



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – ICET**

CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

ALMIR ALBERTO FONTES NETO

**PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DA CASCA DO CUPUAÇU
PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE IGARAPÉ**

ITACOATIARA-AM

2025

ALMIR ALBERTO FONTES NETO

**PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DA CASCA DO CUPUAÇU
PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE IGARAPÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Química Industrial
da Universidade Federal do Amazonas
(UFAM), como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Química Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Luís Sitta Severgnini

ITACOATIARA-AM

2025

ALMIR ALBERTO FONTES NETO

**PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DA CASCA DO CUPUAÇU
PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE IGARAPÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Química Industrial da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Química Industrial.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 05/12/2025

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
VANDERLEI LUIS SITTA SEVERGNINI
Data: 22/01/2026 14:26:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vanderlei Luís Sitta Severgnini – UFAM
Orientador



Documento assinado digitalmente
FABIANA MARIA MONTEIRO PASCHOAL
Data: 26/01/2026 12:47:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Fabiana Maria Monteiro Paschoal- UFAM
Avaliador



Documento assinado digitalmente
MOYSES BATISTA DE ARAUJO JUNIOR
Data: 26/01/2026 16:56:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Moysés Batista de Araújo Júnior- UFAM
Avaliador

RESUMO

A água é essencial para a vida e para diversas atividades, como o abastecimento humano, a agricultura e a produção de energia. Em muitas cidades de pequeno porte, o desmatamento e o descarte incorreto de lixo e esgoto acabam poluindo rios e igarapés, prejudicando a qualidade da água. Uma alternativa simples e eficaz para melhorar essa qualidade é o uso do carvão vegetal, que pode ser feito a partir da queima controlada de resíduos como a casca do cupuaçu. Esse material tem a capacidade de reter impurezas e deixar a água mais limpa. Neste trabalho, o carvão foi produzido com cascas doadas por um feirante do município de Itacoatiara-AM. Após a produção por pirólise da casca do cupuaçu, o material foi testado em análises físico-químicas e mostrou potencial para ser usado na purificação da água de igarapés. Além de ajudar na preservação ambiental, essa prática também pode gerar renda para produtores locais e reduzir o desperdício de resíduos agroindustriais. Dessa forma, o uso da casca do cupuaçu na produção de carvão vegetal representa uma alternativa sustentável que une cuidado com o meio ambiente e melhoria na qualidade de vida das comunidades amazônicas.

Palavras-chave: Carvão vegetal. Cupuaçu. Água. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Water is essential for life and for several activities, such as human supply, agriculture, and energy production. In many small towns, deforestation and improper disposal of solid waste and sewage end up polluting rivers and streams, impairing water quality. A simple and effective alternative to improve this quality is the use of charcoal, which can be produced through the controlled burning of residues such as cupuaçu peel. This material has the ability to retain impurities and make water cleaner. In this study, charcoal was produced from peels donated by a market vendor in the municipality of Itacoatiara, Amazonas, Brazil. After being produced through the pyrolysis of cupuaçu peel, the material was tested in physicochemical analyses and showed potential for use in the purification of stream water. In addition to contributing to environmental preservation, this practice can also generate income for local producers and reduce the waste of agro-industrial residues. Thus, the use of cupuaçu peel in the production of charcoal represents a sustainable alternative that combines environmental care with improved quality of life for Amazonian communities.

Keywords: Charcoal. Cupuaçu. Water. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do carvão vegetal.....	16
Figura 2 – Secagem da casca do cupuaçu.....	18
Figura 3 – Material triturado.....	19
Figura 4 – Material na mufla.....	20
Figura 5 – Produção do carvão vegetal da casca do cupuaçu.....	20
Figura 6 – Filtro do carvão vegetal da casca do cupuaçu.....	21
Figura 7 – Determinação do ponto de carga zero (pHCZ).....	22
Figura 8 – Espectrofotômetro UV-Vis.....	22
Figura 9 – Área de coleta de água.....	23
Figura 10 – Medidor multiparâmetro.....	24
Figura 11 – Turbidímetro digital.....	25
Figura 12 – Fotômetro multiparâmetro.....	26
Figura 13 – Bomba de vácuo.....	27
Figura 14 – Câmara incubadora.....	28
Figura 15 – Câmara escura.....	28
Figura 16 – Teste de adsorção do azul de metileno (1ª amostra).....	32
Figura 17 – Teste de adsorção do azul de metileno (2ª amostra).....	32
Figura 18 – Teste de adsorção do azul de metileno (3ª amostra).....	32
Figura 19 – Teste de adsorção do azul de metileno (4ª amostra).....	33
Figura 20 – Água in natura e água tratada com carvão da casca do cupuaçu.	35
Figura 21 – Cor inicial da amostra microbiológica.....	39
Figura 22 – Presença de coliformes totais.....	39
Figura 23 – Presença de <i>Escherichia coli</i>	39
Gráfico 1 – Determinação do ponto de carga zero (pHCZ) do carvão vegetal.	30
Gráfico 2 – Curva de calibração do azul de metileno.....	31

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Testes com as concentrações de azul de metileno	23
Tabela 2 – Resultado do teste com valores de pH inicial e final	29
Tabela 3 – Resultado do teste com as concentrações de azul de metileno	31
Tabela 4 – Comparativo de adsorção de azul de metileno no carvão	33
Tabela 5 – Características físico-químicas da água bruta e tratada	35
Tabela 6 – Resultados dos parâmetros microbiológicos e Vmp	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM – Azul de metileno

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

E. coli – *Escherichia coli*

ICET – Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas

NE – Não especificado

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

pHCZ – Ponto de carga zero

RC – Rendimento em carvão

STD – Sólidos totais dissolvidos

TDS – *Total Dissolved Solids* (Sólidos totais dissolvidos)

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

UV-Vis – Ultravioleta–Visível

VMP – Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. JUSTIFICATIVA	12
3. OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo Geral	13
3.2 Objetivos Específicos.....	13
4. REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 Poluição e tratamento de água na Amazônia.....	14
4.2 Carvão vegetal como material adsorvente.....	14
4.3 Cupuaçu como fonte de biomassa sustentável.....	15
4.4 Adsorção e eficiência no tratamento de água	15
4.5 Sustentabilidade e aplicação social.....	16
5. METODOLOGIA	18
5.1 Coleta e preparação da biomassa	18
5.2 Preparação do carvão vegetal	19
5.3 Preparação do filtro do carvão vegetal da casca do cupuaçu	20
5.4 Pontos de carga zero (pHCZ)	21
5.5 Análise da adsorção por espectroscopia UV-VIS.....	22
5.6 Local de coleta da água	23
5.7 MÉTODOS UTILIZADOS	24
5.7.1 Eletrometria	24
5.7.2 Turbidímetro	25
5.7.3 Fotometria.....	25
5.7.4 Gravimétrico	26
5.7.5 Análise microbiológica	27
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1 Estudo do ponto de carga zero.....	29
6.2 Adsorção do azul de metileno pela biomassa.....	30
6.3 Parâmetros físico-químicos	34
6.4 Análises microbiológicas.....	38
7. CONCLUSÃO	41
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

A água apresenta um grau de relevância para usos múltiplos, como abastecimento humano, industrial, irrigação e geração de energia elétrica, garantindo a vida na Terra (Brasil, 2005). Em áreas urbanas de pequeno e médio porte, é comum observar alterações na paisagem natural, especialmente no que diz respeito ao desmatamento e à poluição dos recursos hídricos (Ribeiro, 2005). Essas mudanças ocorrem, sobretudo, devido à disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes domésticos, que interferem na qualidade da água destinada ao consumo.

Diante desse problema, um processo que pode ser utilizado para a purificação da água é o uso de carvão vegetal. Esse material é obtido a partir da queima ou carbonização de qualquer biomassa lignocelulósica, como madeira ou resíduos agroindustriais. Após esse processo, é gerado um material poroso que possui propriedades adsorptivas, capazes de reter contaminantes presentes na água, como metais pesados e matéria orgânica, melhorando significativamente sua qualidade (OLIVEIRA; SANTOS, 2019; HAMEED, 2009).

Os estudos de Silva *et al.* (2021) mostraram que o carvão vegetal produzido a partir de resíduos agroindustriais possui eficiência na remoção de contaminantes da água. Assim, além de proporcionar uma destinação adequada para os resíduos agroindustriais, esse processo oferece uma alternativa ecológica e eficiente para comunidades ribeirinhas que dependem dos igarapés como fonte de água potável.

Nesse contexto, a produção de carvão vegetal a partir da casca do cupuaçu surge como uma solução sustentável para o tratamento da água de igarapé. De acordo com Silva e Souza (2020), o cupuaçu é uma fruta típica da Amazônia, amplamente cultivada e consumida no Brasil, gerando uma grande quantidade de resíduos, principalmente suas cascas. Esses resíduos, quando adequadamente transformados em carvão vegetal, podem desempenhar um papel crucial na purificação da água de igarapés.

2 JUSTIFICATIVA

Além dos benefícios à saúde da população, a utilização da casca de cupuaçu para a produção de carvão vegetal também pode trazer vantagens econômicas. Segundo Rodrigues *et al.* (2020), a agregação de valor aos resíduos agrícolas pode gerar novas fontes de renda e promover o desenvolvimento sustentável. Ao agregar valor a um subproduto agrícola, cria-se uma nova fonte de renda para os produtores locais, promovendo o desenvolvimento sustentável da região.

Portanto, a produção de carvão vegetal a partir da casca do cupuaçu não só contribui para a preservação dos recursos hídricos amazônicos e à saúde dos que dependem desses recursos, mas também fortalece a economia local e promove práticas agrícolas mais sustentáveis. Esse método inovador exemplifica como soluções simples e ecológicas podem ter um impacto profundo na melhoria da qualidade de vida das comunidades e na conservação ambiental.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Obter carvão vegetal a partir da casca do cupuaçu para o tratamento de água de igarapé destinada ao consumo humano.

3.2 Objetivos Específicos

- Produzir carvão vegetal a partir da casca do cupuaçu;
- Avaliar a capacidade adsortiva do carvão vegetal utilizando o corante azul de metileno;
- Determinar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de igarapé;
- Determinar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de igarapé após o tratamento com o carvão vegetal obtido da casca do cupuaçu.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O acesso à água de qualidade é uma necessidade vital e um direito humano fundamental, porém ainda representa um desafio em diversas regiões da Amazônia, onde comunidades ribeirinhas dependem diretamente de igarapés para o consumo diário. A contaminação desses mananciais por resíduos domésticos, esgoto e descarte irregular de lixo compromete a potabilidade e a segurança sanitária da água (Santos; Almeida, 2022). A busca por tecnologias acessíveis e sustentáveis para o tratamento de água tem impulsionado pesquisas voltadas ao uso de materiais de origem vegetal, especialmente os derivados da biomassa amazônica, como o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*).

4.1 Poluição e tratamento de água na Amazônia

Os igarapés, característicos da região amazônica, apresentam alta vulnerabilidade à contaminação por matéria orgânica e metais pesados, resultado da expansão urbana desordenada e do manejo inadequado de resíduos (Costa *et al.*, 2021). Estudos de Vieira (2025) destacam que a falta de infraestrutura de saneamento básico nos municípios do interior do Amazonas intensifica o lançamento de efluentes nos corpos hídricos. Essa realidade tem levado à necessidade de soluções de tratamento que conciliem baixo custo, viabilidade técnica e preservação ambiental.

Entre os métodos empregados, a adsorção vem ganhando destaque como processo físico-químico eficaz na remoção de contaminantes, pois depende da interação entre o adsorvente e as substâncias presentes na água. Segundo Nakashima *et al.* (2017), o carvão vegetal produzido a partir de resíduos lignocelulósicos apresenta elevada área superficial e propriedades que o tornam eficiente na remoção de compostos orgânicos, corantes e metais pesados.

4.2 Carvão vegetal como material adsorvente

O carvão vegetal é um material carbonáceo obtido pela decomposição térmica da biomassa em ambiente com pouco ou nenhum oxigênio. Sua estrutura porosa e presença de grupos funcionais superficiais conferem alta capacidade adsorptiva (Lima *et al.*, 2022). Diferentemente do carvão ativado industrial, cuja produção demanda alto consumo energético, o carvão vegetal de

origem agrícola tem baixo consumo energético e pode ser obtido a partir de resíduos agroindustriais, tornando-se uma alternativa de baixo custo e impacto ambiental reduzido (FONSECA *et al.*, 2023).

Pesquisas recentes têm demonstrado a eficiência de resíduos amazônicos na geração de adsorventes. O trabalho de Barros *et al.* (2021) evidenciou que o carvão vegetal obtido da casca de açaí apresenta desempenho satisfatório na remoção de íons metálicos em águas superficiais. De modo semelhante, Oliveira e Rocha (2024) verificaram que o carvão produzido a partir da casca de cupuaçu possui estrutura microporosa estável e elevada capacidade de adsorção, sendo eficaz na redução da turbidez e na retenção de compostos orgânicos.

4.3 Cupuaçu como fonte de biomassa sustentável

O cupuaçu é um fruto nativo da Amazônia amplamente explorado na produção de polpas, sucos e doces, gerando uma quantidade significativa de resíduos orgânicos. De acordo com Vieira *et al.* (2023), as cascas representam cerca de 40% do peso total do fruto, sendo geralmente descartadas por feiras e agroindústrias locais. A valorização desse resíduo é uma estratégia de economia circular que contribui para a redução de impactos ambientais e para o aproveitamento integral da cadeia produtiva.

O aproveitamento da casca do cupuaçu na produção de carvão vegetal oferece vantagens significativas. Segundo Araújo *et al.* (2022), o material apresenta composição rica em lignina e celulose, componentes que favorecem a formação de poros durante a carbonização, resultando em maior eficiência na adsorção. Além disso, o uso dessa biomassa local incentiva a sustentabilidade e o desenvolvimento regional, fortalecendo práticas de reaproveitamento de resíduos na Amazônia.

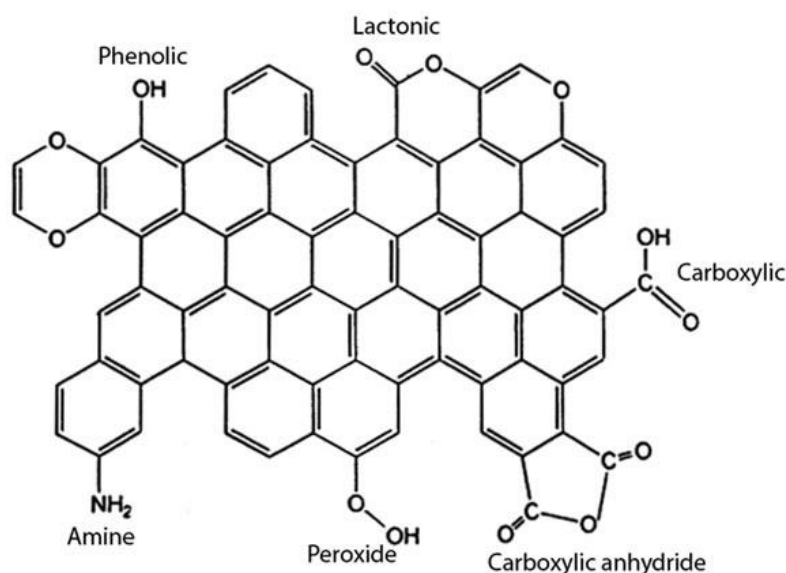
4.4 Adsorção e eficiência no tratamento de água

O processo de adsorção consiste na retenção de moléculas na superfície de um sólido, sendo amplamente utilizado na purificação de líquidos contaminados. Estudos de Nascimento e Carvalho (2021) destacam que o carvão vegetal de origem agrícola apresenta boa eficiência na remoção de corantes, compostos orgânicos e metais pesados, podendo substituir o carvão

ativado comercial em determinados contextos. A eficiência do processo depende de fatores como a granulometria, o tempo de contato, o pH da solução e a concentração inicial dos poluentes (SANTANA *et al.*, 2022).

De acordo com Santos *et al.* (2024), o carvão vegetal produzido a partir da casca de cupuaçu apresentou capacidade de remoção superior a 85% de corantes sintéticos, demonstrando potencial para o tratamento de águas superficiais contaminadas. Essa eficiência está associada à grande quantidade de grupos hidroxila e carboxila presentes na superfície do carvão (figura 1), que favorecem interações com os poluentes.

Figura 1 - estrutura do carvão vegetal



Fonte:Nguyen Hue, 2020.

4.5 Sustentabilidade e aplicação social

O reaproveitamento de resíduos agroindustriais na forma de carvão vegetal reforça os princípios da sustentabilidade ambiental. O trabalho de Melo e Costa (2025) indica que a produção local de adsorventes a partir de biomassa amazônica reduz custos e promove inclusão social, uma vez que pode ser realizada por pequenas comunidades com equipamentos simples. Além do benefício ambiental, há também o aspecto socioeconômico, a criação de microempreendimentos voltados à purificação de água pode gerar renda e melhorar a qualidade de vida de populações ribeirinhas.

A adoção de tecnologias limpas, como a carbonização de resíduos vegetais, alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, especialmente os ODS 6 água potável e saneamento e 12 consumo e produção responsáveis (ONU, 2024). Assim, o uso do carvão vegetal da casca do cupuaçu para o tratamento de água em igarapés representa uma prática integrada que une ciência, sustentabilidade e valorização dos recursos regionais da Amazônia.

5 METODOLOGIA

5.1 Coleta e preparação da biomassa

No mês de março de 2025, foi coletada a casca do cupuaçu, obtida por doação de um feirante do município de Itacoatiara-AM. Na preparação da biomassa, a casca passou por um pré-tratamento, que consistiu na lavagem com água corrente para retirada de sujidades superficiais. Após essa etapa, realizou-se a secagem da biomassa em estufa Vulcan (46 litros, modelo EESCRA-46D) a 105 °C durante 24 horas. O material seco (Figura 1) foi triturado em moinho de facas Solab, com peneira de 1 mm, para obtenção do tamanho de partícula desejado na produção do carvão vegetal (Figura 2).

Figura 2 – Secagem da casca do cupuaçu



Fonte: autor (2025)

Figura 3 – Material triturado

Fonte: Autor (2025).

5.2 Preparação do carvão vegetal

Para a produção do carvão vegetal da casca de cupuaçu, pesou-se um cadinho vazio e anotou-se o peso. Em seguida, pesou-se 20 g da biomassa seca e, com auxílio de uma pinça, transferiu-se o material para a mufla (MUFLA ZEZIMAQ) (Figura 3), sob temperatura de 300 °C por 10 minutos. Após o término do processo, o cadinho foi retirado e colocado em dessecador por 2 horas. Posteriormente, foi novamente pesado com a amostra, a fim de determinar o rendimento em carvão (RC), conforme a equação (eq. 1):

Eq.1

$$RC (\%) = \frac{\text{PESO DO CARVÃO}}{\text{PESO DA MATÉRIA - PRIMA}} \times 100$$

Figura 4 – Material na mufla

Fonte: autor (2025)

Figura 5 – Produção do carvão do cupuaçu

Fonte: Autor (2025).

5.3 Preparação do filtro do carvão vegetal da casca do cupuaçu

Para a montagem do filtro (Figura 5), foram utilizados os seguintes materiais: garrafa PET de 510 mL (plástico polietileno tereftalato), algodão, para reter partículas maiores e evitar entupimento, carvão vegetal da casca do cupuaçu (20

g), responsável pela remoção de odores e impurezas, areia (100 g), utilizada na retenção de partículas menores, pedras ou cascalho (100 g), responsáveis por evitar a mistura da areia com a água filtrada.

Figura 6 – filtro do carvão vegetal da casca do cupuaçu.

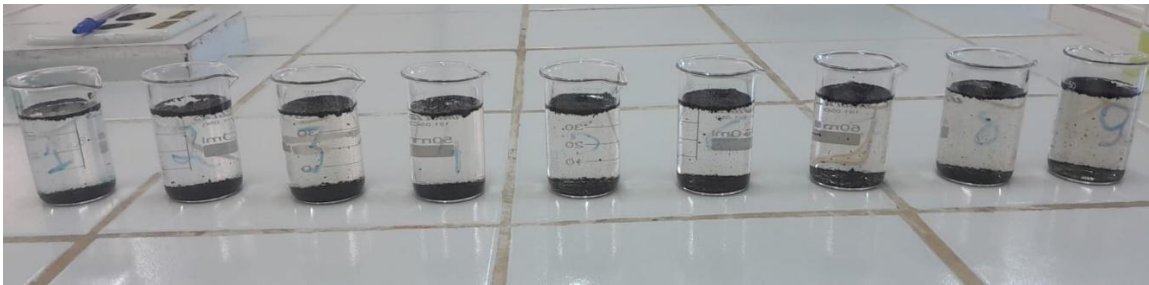


Fonte: autor (2025).

5.4 Pontos de carga zero (pHCZ)

Inicialmente, foram preparadas soluções de ácido sulfúrico (3 mol L^{-1}) e hidróxido de sódio (3 mol L^{-1}). Em seguida, retirou-se uma alíquota de 50 mL e, com auxílio de um medidor de pH da marca AKSO (modelo COMBO 5), ajustaram-se as amostras nos valores de pH de 1 a 9. Após 24 horas, a solução foi novamente medida para monitoramento do pH final.

Figura 7 – Determinação do ponto de carga zero (pHCZ)



Fonte: Autor (2025)

5.5 Análise da adsorção por espectroscopia uv-vis

Para avaliar o potencial de adsorção da biomassa e do carvão vegetal da casca do cupuaçu, realizaram-se testes utilizando 0,1 g de amostra em 10 mL de solução de azul de metileno (AM) nas concentrações de 10, 25, 50 e 100 mg L⁻¹, e em tempos variados (1, 2 e 3 h). As amostras foram quantificadas em espectrofotômetro UV-VIS, no comprimento de onda de 660 nm (Figura 7).

Figura 8 – Espectrofotômetro UV / VIS



Fonte: autor (2025)

Tabela 1 – Testes com as concentrações de azul de metileno

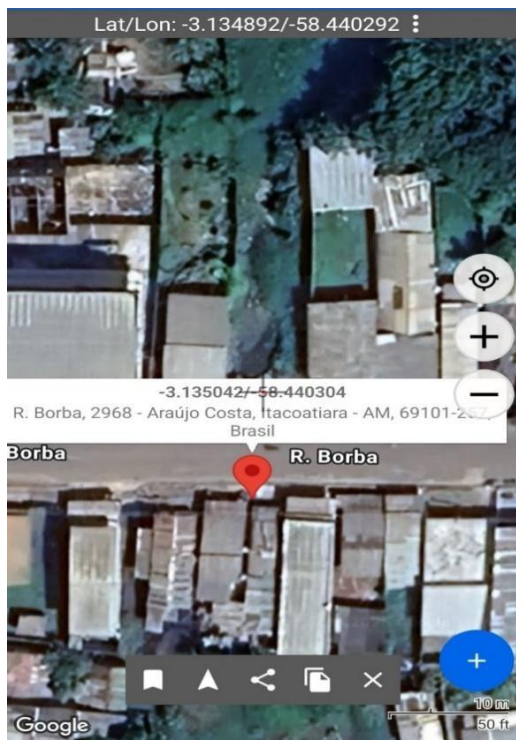
CONCENTRAÇÃO	MASSA (g)	TEMPO (h)
10 mg. L ⁻¹	0,1	1,2,3
25 mg. L ⁻¹		
50 mg. L ⁻¹		
100 mg. L ⁻¹		

Fonte: Elaboração própria

5.6 Local de coleta da água

As amostras de água foram coletadas em igarapé da região de Itacoatiara-AM. Utilizaram-se duas garrafas PET transparentes de 2 L, previamente lavadas, esterilizadas e identificadas. Após a coleta, foram armazenadas em caixa térmica e encaminhadas ao Laboratório de Química do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas.

Figura 9 – Área de coleta de água



Fonte:google Earth



Fonte: autor (2025)

5.7 MÉTODOS UTILIZADOS

5.7.1 Eletrometria

Os parâmetros de pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (TDS), salinidade e temperatura foram determinadas com medidor multiparâmetro AKSO (modelo COMBO 5) (Figura 9).

Figura 10 – Medidor multiparâmetro

medidor multiparâmetro
AKSO (modelo COMBO 5)



Fonte: autor (2025)

5.7.2 Turbidímetro

A turbidez das amostras foi determinada por meio do turbidímetro digital LAB-TB 1000 Microprocessado de bancada (Figura 10).

Figura 11 – Turbidímetro digital



Fonte: Autor (2025)

5.7.3 Fotometria

A determinação dos parâmetros físico-químicos, cor real e aparente, foi feita com fotômetro multiparâmetro da marca Hanna (modelo H183300) (Figura 11).

Nos parâmetros da cor real, filtraram-se 100 mL da amostra utilizando membrana filtrante de acetato de celulose (diâmetro 47 mm, porosidade 0,45 μm). A solução filtrada foi analisada por fotometria, e a membrana contendo sólidos foi usada para a determinação de sólidos suspensos.

Figura 12 – Fotômetro multiparâmetro

Fonte: autor (2025)

5.7.4 Gravimetria

Para a determinação de sólidos suspensos, utilizou-se o método gravimétrico. A membrana foi pesada e levada à estufa (SP Labor, modelo SP-LABOR) a 120 °C por 1 hora, resfriada em dessecador por 45 minutos e novamente pesada até atingir massa constante (m_1). Após a filtração, a membrana com os sólidos foi novamente seca e pesada (m_2). A concentração foi calculada pela equação (eq.2) e a (figura 12):

Eq. 2

$$C_{sts} \text{ (ml/L): } \frac{(m_1 - m_2)}{v} \times 10^6$$

Onde:

C_{sts} = concentração de sólidos suspensos totais;

m_1 = massa da membrana com sólidos;

m_2 = massa da membrana sem sólidos;

v = volume da amostra.

Figura 13 – Bomba de vácuo

Fonte: Autor (2025)

5.7.5 Análise microbiológica

Os parâmetros microbiológicos foram determinados qualitativamente por meio do COLItest (LKP Produtos para Diagnóstico S/C Ltda), substrato cromogênico e fluorogênico utilizado para detecção simultânea de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Adicionou-se um sachê do COLItest a 100 mL de amostra, com agitação até completa solubilização. As amostras foram incubadas em câmara SP Labor (modelo SP-500) a 35 °C por 48 horas. A mudança de cor de púrpura para amarelo indicou resultado positivo para coliformes totais. Para confirmação da presença de *E. coli*, adicionou-se solução de indol e observou-se fluorescência sob luz ultravioleta em câmara escura BOIT-GAB 02 (385 nm) (Figura 14/15).

Figura 14 – Câmara incubadora

Fonte: Autor (2025)

Figura 15: câmara escura

Fonte: Autor (2025)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Estudo do Ponto de Carga Zero

O estudo do ponto de carga zero (Pcz) tem como finalidade identificar o comportamento da superfície do material em diferentes condições de pH, permitindo compreender o caráter ácido ou básico do adsorvente. O Gráfico 1 apresenta os valores de pH inicial e final no intervalo de 1 a 9.

Tabela 2 – Resultado do teste de pH do Pcz.

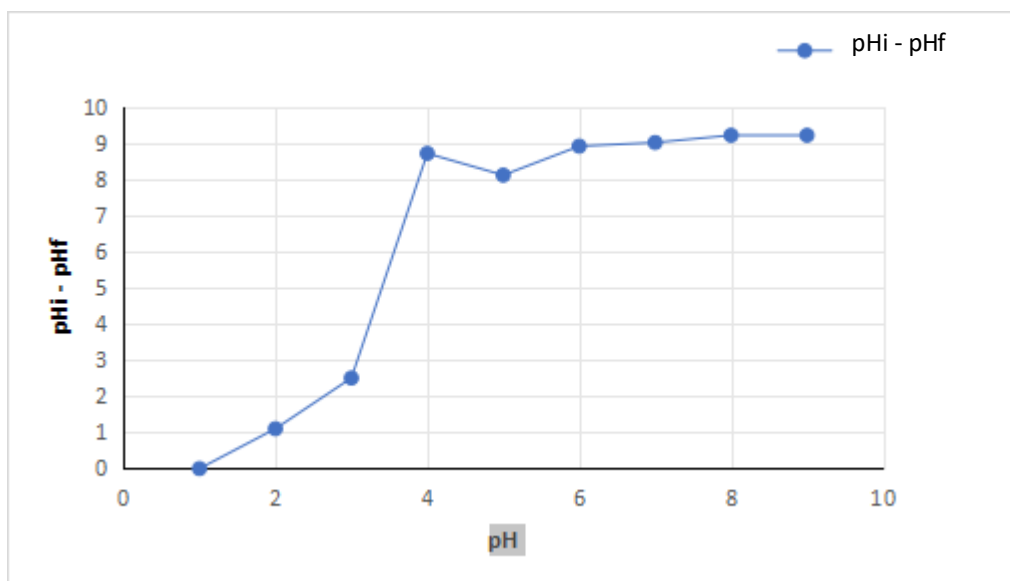
PH INICIAL	PH FINAL
1	0
2	1,1
3	2,5
4	8,7
5	8,8
6	8,9
7	9,0
8	9,2
9	9,2

Fonte: Autor (2025).

pH Pcz= 8,9

pH da amostra tratada= 9,2

Gráfico 1: Determinação do ponto de carga zero (pH_{Cz}) do carvão vegetal da casca de cupuaçu



Fonte: Autor (2025)

O Pcz da superfície do carvão foi de 8,9, resultado da média dos pHs 4,5,6,7,8,9, onde o Pcz apresenta valores constantes, assim que o sistema alcança o equilíbrio, apontando que a superfície do carvão descreve o comportamento de um tampão, conforme mostrado no gráfico 1. Quando o valor de pH estiver abaixo deste valor as cargas superficiais do material adsorvente serão positivas, por outro lado, valores acima deste, a superfície terá cargas negativas, como a água tratada do igarapé apresenta pH (9,2), portanto acima do pH Pcz, essa configuração favorece a interação entre os cátions dos grupos funcionais presentes no efluente e a superfície carregada negativamente do carvão vegetal da casca do cupuaçu.

6.2 Adsorção do azul de metileno pela biomassa

Para avaliar o potencial de adsorção do carvão obtido a partir da casca do cupuaçu, foi feita uma curva de calibração (gráfico 2) com concentrações conhecidas de azul de metileno (tabela 3) para adquirir a equação da reta, com este foi possível calcular as concentrações do azul de metileno após o contato

com o carvão vegetal da casca do cupuaçu. Logo após, foram realizados testes utilizando 0,1 g de amostra em 10 mL de solução do corante azul de metileno (AM) com diferentes concentrações (10, 25, 50 e 100 mg·L⁻¹) e tempos de contato (1, 2 e 3 horas), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 3 - Resultado do teste com as concentrações de azul de metileno

X (concentração mg/L)	Y (absorbância)
0,5	0,04
1	0,078
2	0,138
4	0,197
6	0,396
10	0,685
15	1,003

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 2: Curva de calibração do azul de metileno

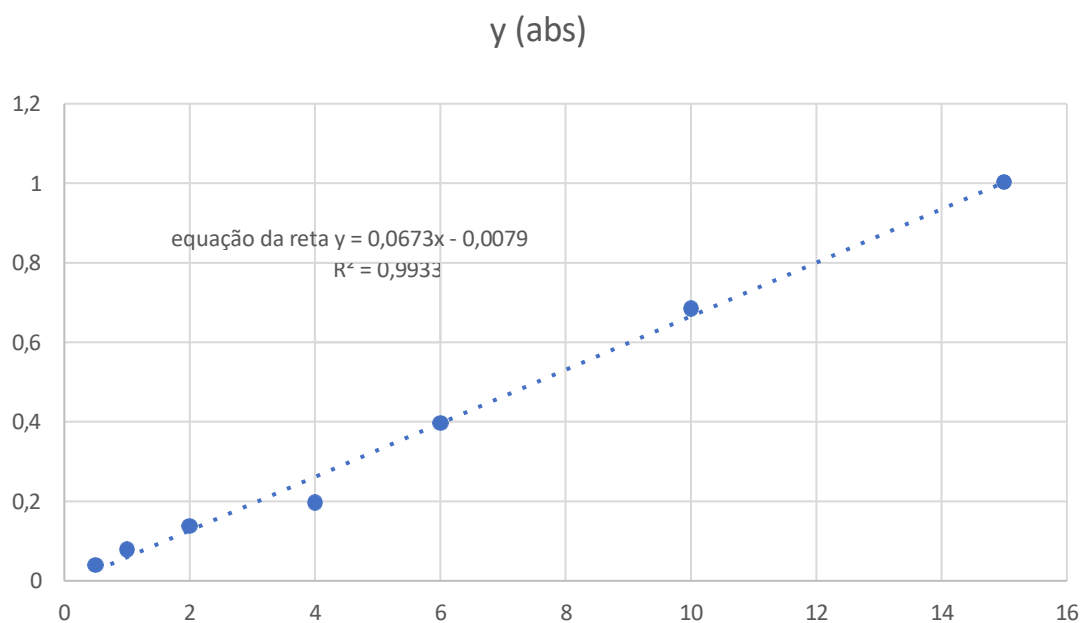
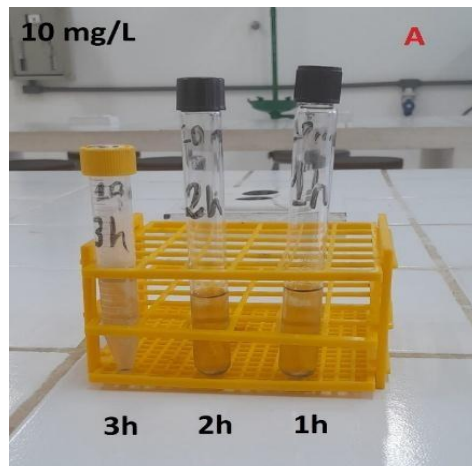
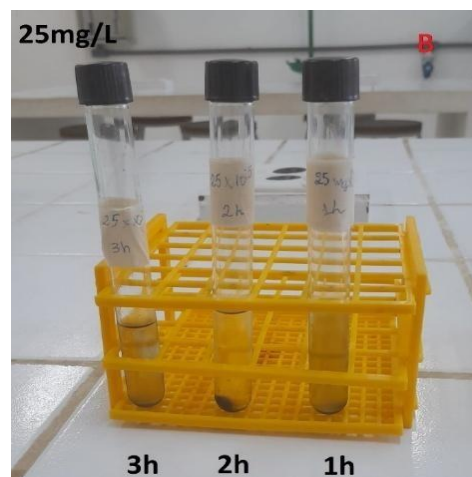
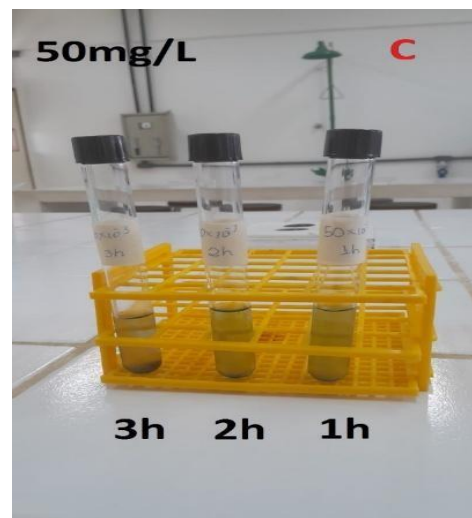


Figura 16 – Teste de adsorção do azul

Fonte : autor(2025)

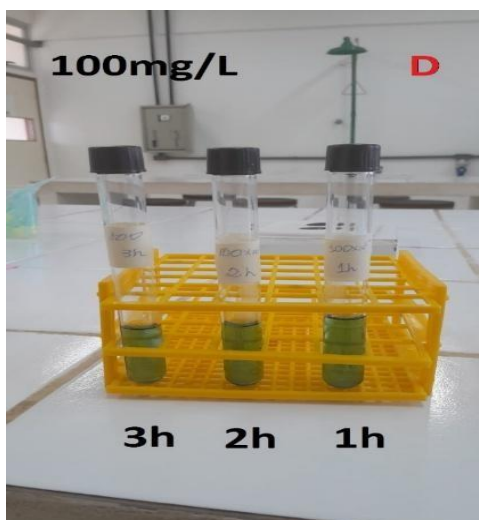
Figura 17 – Teste de adsorção do azul

Fonte: autor(2025)

Figura 18 – Teste de adsorção do azul

Fonte: autor(2025)

Figura 19 – Teste de adsorção do azul



Fonte: autor (2025)

Tabela 4 – Comparativo de adsorção de azul de metileno no carvão

Conc. Inicial (mg/L)	Tempo (h)	Conc. Final (mg/L)	Remoção (%)
10	1	1,72	82,8
	2	2,53	74,7
	3	1,92	80,8
25	1	2,42	90,3
	2	3,15	87,4
	3	2,29	90,8
50	1	4,57	90,9
	2	4,01	92,0
	3	3,58	92,8
100	1	8,00	92,0
	2	7,38	92,6
	3	8,17	91,8

Os resultados da Tabela 4 mostraram alta capacidade de remoção do corante em todas as condições, com eficiência entre 74,7% e 92,8%.

Na influência do tempo de contato, o aumento do tempo influenciou de forma discreta a eficiência de adsorção. Para todas as concentrações iniciais, a maior taxa de remoção ocorreu já na primeira hora, indicando adsorção rápida e equilíbrio em curtos períodos, o que é comum em sistemas com alta porosidade e grupos funcionais ativos, responsáveis por interações eletrostáticas e forças de Van der Waals.

No entanto, o aumento da concentração inicial do corante (10–100 mg·L⁻¹), a eficiência de remoção manteve-se elevada (82–93%). A pequena variação pode ser atribuída à saturação parcial dos sítios ativos da superfície do carvão. Esse comportamento confirma a alta capacidade adsorptiva do carvão vegetal da casca do cupuaçu, mesmo sob cargas maiores de poluentes.

Nas tendências de equilíbrio a variações mínimas entre 2 e 3 horas de contato indicam que o sistema atingiu o equilíbrio antes de 3 horas, o que está em conformidade com estudos anteriores sobre a adsorção de corantes em carvão ativado (SANTOS *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2022).

No desempenho do carvão como adsorvente a remoção acima de 90% confirma o excelente desempenho do carvão vegetal da casca do cupuaçu, mostrando seu potencial como adsorvente em processos de tratamento de efluentes. Sua estabilidade e afinidade com o azul de metileno reforçam sua viabilidade ambiental e técnica.

6.3 Parâmetros físico-químicos

As amostras de água bruta e água tratada foram coletadas no período de cheia e analisadas quanto aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, conforme a Portaria de Consolidação nº 888/2021.

Figura 20 – água *in nature* e água tratada com carvão vegetal da casca do cupuaçu



Fonte: Autor (2025)

Tabela 5: Características físico-químicas da água bruta e tratada.

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Valor máximo permitido	Unidade
Cor real	20	3	NE	uH
Cor aparente	360	58	15	uH
pH	6,59	9,29	6 a 9,5	-
Temperatura	24	25	NE	°C
Condutividade	11,73	10,83	NE	µS/cm
Salinidade	6,79	6,16	NE	mg.L ⁻¹
Turbidez	14	2	5,0	Ut
Sólidos dissolvidos totais	8,74	7,14	500	mg/L ⁻¹
Sólidos suspensos	5	3	NE	mg/L ⁻¹

Unidades: uH (unidade Hazen)

Ut (unidade de turbidez)

As cores aparentes das amostras de água *in nature* e de água tratada podem ser observadas na figura 19. A cor da água sem tratamento deve à presença de sólidos dissolvidos, originado pela decomposição de matéria orgânica (folhas, troncos e pela poluição de lixos domésticos). Neste caso, é notório que houve uma mudança na coloração devido ao tratamento com o carvão, mostrando a eficácia, em relação a sua redução de material sólido dissolvido na água bruta, concedendo-lhe uma cor transparente e límpida. Como pode ser observado na tabela 5, o resultado da cor aparente da água tratada

está muito elevado e acima do permitido pela legislação. A cor aparente é um parâmetro físico exigido pela legislação e seu valor máximo permitido é de 15 uH (BRASIL, 2021).

Na cor real das amostras de água para consumo humano, não é definido um padrão na legislação. Observou-se que houve uma mudança na coloração da amostra de água *in natura* para amostra de água tratada, devido à alta retenção de material orgânico pelo carvão. Resultado no qual, corrobora com aqueles observados na adsorção, pois a variação de resultados, está associado a decomposição de matéria orgânica, principalmente de origem vegetal, e que são causadoras da cor em águas naturais. Além disso, estas substâncias estão em suspensão originando a cor aparente (Piratoba *et al.*, 2017).

Os valores de pH das amostras *in natura* e tratada, 6,59 e 9,29 observadas na tabela, respectivamente, estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Houve um aumento no valor de pH da amostra tratada, em pesquisa realizada com o carvão vegetal da casca do cupuaçu, obtendo pH de 9,29. Resultando em um adsorvente com carga superficial negativa, o que favorece a adsorção de cátions (Silva, 2014). 24°C da amostra *in natura* verificado no local *de coleta* e 25°C da amostra tratada verificado no laboratório, foram as temperaturas encontradas nas análises (tabela 6). Temperaturas das águas e dos fluidos em geral, indicam a magnitude de energia cinética do movimento aleatório das moléculas e sintetiza o fenômeno de transferência de calor a massa líquida. A alteração das águas naturais decorre em especial da insolação, esta é influenciada significativamente pelo clima e pela latitude (Da Silva, 2019).

A Portaria Nº 888/21, do Ministério da Saúde, não estabelece um limite de temperatura para água de consumo humano (Brasil, 2021). Mas o conhecimento para esse parâmetro é muito importante, pois a temperatura da água implica por exemplo, na qualidade da água e influencia propriedades físico-químicas como a solubilidade do oxigênio e a viscosidade. A temperatura também é crucial para a vida aquática, pois afeta o metabolismo e o desenvolvimento de peixes, plantas e outros organismos, influenciando também a presença de doenças e a quantidade de oxigênio disponível.

Medidas de condutividade das amostras de água *in natura* e após tratamento, apresentaram valores de 11,73 μ S/cm e 10,83 μ S/cm respectivamente, como pode ser observado nos dados da tabela 6.

A Portaria Nº888/21 não estabelece um padrão para condutividade (BRASIL, 2021). Porém, ela depende da quantidade de sais dissolvidos na água e é aproximadamente proporcional à sua quantidade. Sua determinação permite obter uma estimativa rápida do conteúdo de sólidos de uma amostra. Quanto maior a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água, que pode variar também de acordo com a temperatura e pH (De Araújo, 2011). Relata Piratoba *et al* (2017) a condutividade muda com a sazonalidade, em águas naturais podem apresentar teores na faixa de 10 a 100 μ S/cm, em ambientes poluídos (esgotos domésticos ou industriais) valores podem chegar a 1.000 μ S/cm. A salinidade corresponde à concentração de sais dissolvidos na água.

A Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, não estabelece um valor estipulado (BRASIL, 2021). Sendo assim, as amostras *in natura* e tratada, respectivamente, variaram de 6, 79mg.L⁻¹ para 6,16mg.L⁻¹ (Tabela 4), havendo uma diminuição após tratamento com a biomassa da casca do cupuaçu. Apesar de não ter um parâmetro estabelecido na Portaria nº 888/2021, é um parâmetro importante para classificar as águas em doce, salobra e salina. A Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) faz a classificação das águas (BRASIL, 2005), em doces quando a salinidade é igual ou inferior a 0,50% (500mg.L⁻¹), salobras com salinidade entre 0,5% e 30% (30.000 mg.L⁻¹); e por fim salinas com salinidade igual ou acima de 30%.

A turbidez é um importante parâmetro a ser analisado a qual está associada a presença de partículas em suspensão que impedem a passagem da luz na água (Xavier, 2020). Os resultados encontrados medidos em NTU (Unidade de Turbidez Nefelométrica) ou Ut (Unidade turbidez) apresenta valores de 14Ut da amostra *in natura* e 2Ut da amostra tratada com o carvão vegetal da casca do cupuaçu, e segundo os padrões estabelecidos pela portaria Nº888/2021 o valor máximo permitido do padrão de turbidez é de 5Ut (Brasil, 2021). Dessa forma, o tratamento com carvão ativado, provocou diminuição da turbidez para valores exigidos pela legislação.

Sólidos totais dissolvidos (STD) é a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água. Mede a concentração de substâncias iônicas e é expressa em mg L^{-1} . As substâncias dissolvidas podem conter íons orgânicos e íons inorgânicos (como o carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio e sódio) que em concentrações elevadas podem ser prejudiciais à vida aquática (EMBRAPA,2011). O limite máximo permitido de STD na água para consumo humano é de 500 mg L^{-1} , valor estabelecido pela portaria nº 888/2021 do ministério da saúde (Brasil, 2021). Com os valores de $8,74 \text{ mg/L}^{-1}$ da amostra da água bruta e $7,14 \text{ mg/L}^{-1}$ da amostra da água tratada, percebendo-se que houve uma redução na concentração de sólidos dissolvidos, indicando que a biomassa é capaz de adsorver parte dos sólidos presentes na amostra.

Os Sólidos em suspensão podem incluir uma ampla variedade de materiais orgânicos e inorgânicos, compreendendo lodo, matéria vegetal e animal em decomposição, resíduos industriais e de esgoto doméstico, micro plásticos, dentre outros. Sólidos em suspensão podem dificultar o alcance da luz sobre a vegetação submersa, limitando a fotossíntese, o que afeta os níveis naturais de oxigênio dissolvido na água e afeta diretamente a turbidez, os resultados encontrados neste trabalho, para amostras de água *in natura* e tratada, 5 mg.L^{-1} e 3 mg.L^{-1} , equiparados com os resultados encontrados na turbidez, onde também houve uma redução na concentração, demonstrando a eficiência do carvão na retenção de partículas. Mas não é atribuído um valor máximo para a concentração de sólidos suspensos na portaria nº 888/2021 do ministério da saúde (Brasil, 2021), valor esse, determinado quantitativamente por meio de filtração a vácuo.

6.4 Análises microbiológicas

Os resultados dos parâmetros microbiológicos de coliformes totais e *E. Coli* das amostras *in natura* e tratada são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6: Resultados dos parâmetros microbiológicos e VMPs segundo a portaria N° 888/21

Parâmetros	Amostra	VMP
Coliformes totais	presente	Ausente em 100mL
<i>E. Coli</i>	presente	Ausente em 100mL

Fonte: Autor (2025).

Para determinar Coliformes Totais e *E. Coli*, utilizou-se o teste qualitativo COLItest, que confere a amostra uma coloração inicial púrpura (figura 20). Após as 48h, observou-se a mudança de cor púrpura, para a coloração amarelo forte (figura 21), considerando-se resultados positivos das amostras *in natura* e tratada para coliformes totais, que compreende um grande grupo de organismos. O amarelo forte e espesso, indica possível contaminação por coliformes fecais (*Escherichia Coli*). Para confirmar ausência ou presença de *E. Coli*, as amostras foram submetidas a radiação UV, em câmara escura, no comprimento de onda 365 nm, apresentando coloração fluorescente (figura 22), confirmando a presença de *E. Coli*. Bactéria do grupo dos coliformes, grupo proveniente do intestino de mamíferos (incluindo o homem), cuja presença na água indica a possibilidade de existência de organismos patogênicos causadoras de doenças como diarreia, hepatite e outros transtornos gastrointestinal (RICHITER, pg 80, 2009).

Figura 21: Cor inicial



Figura 22: Presença de coliformes



Figura 23: Presença de *E. Coli*



Fonte: autor (2025)

Portanto os dados obtidos, com os regulamentados pela Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde, que requerem a ausência de coliformes totais e *E. Coli* para 100 mL, da amostra (Brasil, 2021). Logo, a amostra de água tratada por carvão vegetal da casca do cupuaçu é imprópria para consumo humano, resultado compatível com os do teor de nitrogênio, indicando uma provável contaminação por esgotos domésticos no igarapé, influenciando na má qualidade da água.

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que o carvão vegetal obtido a partir da casca do cupuaçu apresenta capacidade de adsorção do corante azul de metileno em diferentes concentrações e tempos de contato, confirmando seu potencial como material adsorvente sustentável.

Contudo, as análises com a água de Igarapé indicaram a persistência de contaminação microbiológica, com presença de coliformes totais e *E. coli*, o que inviabiliza o uso direto do carvão produzido para purificação completa de água potável.

Os resultados físico-químicos mostraram reduções expressivas na turbidez, cor aparente, sólidos dissolvidos e suspensos, validando a eficácia parcial do processo. A ausência de conformidade microbiológica, porém, evidencia a necessidade de complementação com métodos de desinfecção adequados.

Recomenda-se, em estudos futuros, a modificação do carvão com metais como prata ou cobre para ampliar o espectro antimicrobiano e otimizar a eficiência no tratamento de água.

Conclui-se, portanto, que o carvão vegetal da casca do cupuaçu é uma alternativa ecológica, de baixo custo e tecnicamente viável, contribuindo para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e para o desenvolvimento sustentável da Amazônia, especialmente em comunidades ribeirinhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, F. C. de; LIMA, R. S.; SANTOS, A. G. **Caracterização físico-química da biomassa amazônica aplicada à produção de carvão vegetal**. Revista de Ciências Ambientais, v. 20, n. 2, p. 54–65, 2022.

BARROS, L. M.; SILVA, M. A.; COSTA, R. J. **Carvão vegetal da casca de açaí: desempenho na remoção de metais em águas superficiais**. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, v. 15, n. 4, p. 87–96, 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. Diário Oficial da União, Brasília, 2005. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf. Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. **Portaria de Consolidação nº 888, de 4 de maio de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

COSTA, J. A.; FERREIRA, P. N.; LIMA, E. M. **Contaminação de igarapés urbanos na Amazônia e desafios do saneamento básico**. Revista Amazônica de Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 9, n. 1, p. 77–90, 2021.

DA SILVA, F. L. **Temperatura e condutividade elétrica da água: parâmetros ambientais e ecológicos**. Revista de Recursos Hídricos, v. 11, n. 3, p. 112–120, 2019.

DE ARAÚJO, E. C. **Estudos sobre condutividade elétrica e qualidade da água**. Revista Brasileira de Recursos Naturais, v. 9, n. 2, p. 33–41, 2011.

EMBRAPA. **Qualidade da água para irrigação**. Brasília: Embrapa, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 20 set. 2024.

FONSECA, M. R.; ALMEIDA, G. P.; LOPES, T. J. **Carvão vegetal de resíduos agrícolas: produção e potencial ambiental**. Revista de Engenharia e Sustentabilidade, v. 5, n. 2, p. 22–33, 2023.

HAMEED, B. H. **Adsorption of methylene blue from aqueous solution onto activated carbon prepared from biomass material**. Journal of Hazardous Materials, v. 166, n. 2, p. 193–198, 2009.

LIMA, A. C.; PEREIRA, F. R.; COSTA, M. S. **Efeito da granulometria e do pH na adsorção de corantes em carvão vegetal**. Revista de Engenharia Ambiental, v. 18, n. 1, p. 44–58, 2022.

MELO, T. S.; COSTA, V. L. **Produção de adsorventes a partir de biomassa amazônica: impactos sociais e ambientais**. Revista de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia, v. 7, n. 1, p. 59–70, 2025.

NASCIMENTO, J. R.; CARVALHO, D. F. **Adsorção em carvão vegetal agrícola: eficiência e parâmetros operacionais**. Revista de Ciências Ambientais Aplicadas, v. 14, n. 2, p. 88–99, 2021.

OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, H. R. **Produção e aplicação de carvão ativado a partir de resíduos agrícolas na purificação de água**. Revista de Tecnologias Ambientais, v. 12, n. 4, p. 101–115, 2019.

OLIVEIRA, L. C.; ROCHA, D. P. **Desempenho do carvão vegetal da casca de cupuaçu na remoção de turbidez**. Revista Brasileira de Química Ambiental, v. 9, n. 3, p. 17–29, 2024.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Agenda 2030**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 ago. 2024.

PIRATOBA, A. R. **Qualidade da água em igarapés amazônicos**. Revista de Geografia e Meio Ambiente, v. 4, n. 2, p. 67–79, 2017.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

RODRIGUES, M. P.; SANTANA, F. R.; FERREIRA, L. A. **Valorização de resíduos agrícolas: impactos econômicos e ambientais**. Jornal de Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 2, p. 120–131, 2020.

SANTANA, L. P.; MORAES, J. C.; LIMA, T. F. **Parâmetros que influenciam a eficiência de adsorção de poluentes em carvão vegetal.** Revista Brasileira de Química Aplicada, v. 8, n. 1, p. 55–64, 2022.

SANTOS, A. P.; ALMEIDA, R. F. **Contaminação e potabilidade da água em comunidades ribeirinhas do Amazonas.** Revista Brasileira de Saúde Ambiental, v. 10, n. 1, p. 13–25, 2022.

SANTOS, A. P.; LIMA, D. S.; FERREIRA, P. R. **Eficiência do carvão vegetal de cupuaçu na remoção de corantes sintéticos.** Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, v. 16, n. 4, p. 88–101, 2024.

SILVA, J. A. **Adsorção de cátions em carvão vegetal de resíduos agrícolas.** Revista de Química Aplicada, v. 12, n. 3, p. 45–53, 2014.

SILVA, J. A.; SOUZA, M. P. **Utilização de resíduos agroindustriais na produção de carvão ativado: o caso do cupuaçu.** Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, v. 25, n. 3, p. 45–58, 2020.

SILVA, J. A.; et al. **Uso de carvão ativado na purificação de água.** Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, v. 27, n. 2, p. 71–82, 2021.

VIEIRA, A. L.; COSTA, E. P.; SOUZA, F. T. **Aproveitamento da casca de cupuaçu na cadeia produtiva amazônica.** Revista Agroamazônia Sustentável, v. 2, n. 1, p. 40–50, 2023.

XAVIER, G. T. **Turbidez e qualidade da água: fundamentos e implicações ambientais.** Revista Brasileira de Hidrologia, v. 9, n. 1, p. 11–23, 2020

Nguyen Hue, May 2020, Biochar for Maintaining Soil Health, DOI:10.1007/978-3-030-44364-1_2.

NAKASHIMA, G.T.; ADHMAN, I.C.S.; HANSTED, A.L.S.; BELINI, G.B.; WALDMAN, W.R.; YAMAJI, F.M. materiais lignocelulósicos: caracterização e produção de briquetes. Revista Virtual de Química, v.9, n.1, p.163-175,2017.

VIEIRA, José Moacir de Souza; GOMES, Cilene; MENDES, Rodolfo Moreda; FILHO, Mário Valério. A realidade do saneamento básico nas pequenas cidades do Amazonas. Desenvolvimento em Questão, [S.l.], v.23, n.63, p. e17032,202.

RIBEIRO, N. de F. A questão geopolítica da Amazônia: da soberania difusa à soberania restrita. Brasília: Senado Federal, 2005.