



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA / CENTRO DE ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE RECURSOS HUMANOS EM PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS
(PRH-55.1)

CARLOS EDUARDO DE LIMA SOUSA

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DA CASCA E DO CAROÇO DE
ABACATE NA REMOÇÃO DE HIDROCARBONETOS DE EFLUENTES OLEOSOS**

MOSSORÓ - RN

2023

CARLOS EDUARDO DE LIMA SOUSA

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DA CASCA E DO CAROÇO DE
ABACATE NA REMOÇÃO DE HIDROCARBONETOS DE EFLUENTES OLEOSOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), campus Mossoró, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Wilton
Miranda Silva.

Co-orientador: Prof^a. Dra. Regina Celia de
Oliveira Brasil Delgado.

MOSSORÓ - RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva

ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

dL732 de Lima Sousa, Carlos Eduardo .
a AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DA CASCA E
DO CAROÇO DE ABACATE NA REMOÇÃO DE
HIDROCARBONETOS DE EFLUENTES OLEOSOS / Carlos
Eduardo de Lima Sousa. - 2023.
58 f. : il.

Orientador: Francisco Wilton Miranda Silva..
Coorientadora: Regina Celia de Oliveira
Brasil Delgado..
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2023.

1. Adsorção. 2. Água produzida. 3. Turbidez.
4. TOG. 5. Resíduos do abacate. I. Miranda Silva.,
Francisco Wilton , orient. II. de Oliveira Brasil
Delgado., Regina Celia , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas

da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.


CARLOS EDUARDO DE LIMA SOUSA

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DA CASCA E DO CAROÇO DE
ABACATE NA REMOÇÃO DE HIDROCARBONETOS DE EFLUENTES OLEOSOS**


Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), campus Mossoró, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Defendida em: 29 / 09 / 2023.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 FRANCISCO WILTON MIRANDA DA SILVA
Data: 20/10/2023 19:31:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Wilton Miranda da Silva (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 JARDEL DANTAS DA CUNHA
Data: 20/10/2023 20:39:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jardel Dantas da Cunha (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 RUZA GABRIELA MEDEIROS DE ARAÚJO MACEDO
Data: 21/10/2023 07:46:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^{ta}. Dr^a. Ruza Gabriela Medeiro de Araújo Macedo (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus, que me fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos, com persistência, fé e muita dedicação.

Aos meus pais, M^a Alvaneide e Erasmo Carlos, meus irmãos, toda a minha família e amigos, pelo apoio ao longo de todo esses períodos na qual me dediquei a este trabalho.

Agradeço a orientação do Prof. Dr. Francisco Wilton Miranda Silva e Prof^a. Dra. Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado, pela paciência, disposição e dedicação durante todo o caminho do desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH/ANP.

Agradeço a Banca Examinadora pela disponibilidade do tempo para a avaliação do meu trabalho. A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”.

Isaac Newton.

RESUMO

Vários segmentos da indústria petrolífera enfrentam desafios constantes, nos quais a gestão da água produzida é um dos principais impasses desse segmento. Neste contexto, o processo de adsorção, apresenta um potencial no tratamento da água produzida, pois pode remover efetivamente o óleo presente na água, refletindo na redução do Teor de Óleos e Graxas (TOG). Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso dos resíduos do abacate (casca e caroço) como bioadsorventes no tratamento de efluentes oleosos sintéticos simulando uma água produzida e fazendo uma análise comparativa com uma amostra de carvão ativado comercial. Os experimentos foram realizados em sistema de banho finito. Foram realizadas a medição de turbidez e das concentrações (mg/L) por espectrofotometria do fluido antes e depois do contato com os materiais, e, subsequência tratados os dados em porcentagem de remoção. Os resíduos utilizados passaram por lavagem e separação granulométrica nas faixas: 0,234 - 0,318 e 0,318 - 0,635 mm. Para a preparação do efluente oleoso, foi usado óleo diesel S500 em uma proporção de 20% de óleo diesel em relação ao volume de água. Foram avaliados os efeitos da massa dos bioadsorventes e tamanho da partícula. Os resultados para a turbidez mostram que 5 gramas do caroço do abacate foi o que apresentou o maior percentual de remoção (41,69%). Com relação as diferentes faixas granulométricas, foram obtidos valores de percentuais de remoção de 41,44 e 40,94% para as faixas de 0,234 a 0,318 e 0,318 a 0,635 mm, respectivamente. Para análise do TOG, o fluido sintético foi preparado utilizando petróleo bruto, cloreto de sódio e água destilada. As etapas consistiram-se na extração do óleo emulsionado utilizando hexano como solvente para medir o TOG inicial (77,33 mg/L). Para analisar a remoção do óleo, foram testadas diferentes massas de amostra de carvão ativado (0,25 a 1,25 g). Observou-se que quanto maior a massa de carvão ativado utilizada, maior o percentual de remoção. Para a massa de 0,5 g de amostra, o TOG final foi de 19,35 mg/L, valor inferior ao máximo limite permitido para descarte de água produzida em campos terrestres (< 20 mg/L). Para os bioadsorventes não foi possível fazer o tratamento dos dados por espectrofotometria, pois mesmo após múltiplas lavagens, o material continuava a liberar componentes em solução, o que conseqüentemente interferia na confiabilidade da leitura do espectrofotômetro UV-Vis, devido à extração desses componentes orgânicos pelo hexano.

Palavras-Chave: Adsorção, Água produzida, Turbidez, TOG, Resíduos do abacate.

ABSTRACT

Various segments of the oil industry face constant challenges, in which the management of produced water is one of the main impasses in this segment. In this context, the adsorption process has potential in the treatment of produced water, as it can effectively remove the oil present in the water, resulting in a reduction in the Oil and Grease Content (TOG). This work aims to evaluate the use of avocado waste (peel and pit) as bioadsorbents in the treatment of synthetic oily effluents, simulating produced water and making a comparative analysis with a sample of commercial activated carbon. The experiments were carried out in a finite bath system. Turbidity and concentrations (mg/L) were measured by spectrophotometry of the fluid before and after contact with the materials, and the data was subsequently processed in percentage removal. The waste used underwent pre-treatment and particle size separation in the ranges: 0,234 a 0,318 and 0,318 a 0,635 mm. To prepare the oily effluent, S500 diesel oil was used in a proportion of 20% diesel oil in relation to the volume of water. The effects of bioadsorbent mass and particle size were evaluated. The results for turbidity show that 5 grams of avocado pit presented the highest percentage of turbidity removal, approximately 41.69%. In the case of particle size differences, removal percentage values of 41.44 and 40.94% were obtained for the ranges of 0,234 a 0,318 and 0,318 a 0,635 mm, respectively. For TOG analysis, the synthetic fluid was prepared using crude oil, sodium chloride and distilled water. The steps consisted of extracting the emulsified oil using hexane as solvent to measure the initial TOG (77.33 mg/L). To analyze oil removal, different masses of activated carbon samples (0.25 to 1.25 g) were tested. It was observed that the greater the mass of activated carbon used, the greater the removal percentage. For a mass of 0.5 g of sample, the final TOG was 19.35 mg/L, a value lower than the maximum limit allowed for the disposal of water produced in terrestrial fields (< 20 mg/L). For bioadsorbents, it was not possible to process the data using spectrophotometry. Because, even after multiple washes, the material continued to release components in solution, which consequently interfered with the reliability of the UV-vis spectrophotometer reading, due to the extraction of these organic components by hexane.

Keywords: Adsorption, Produced water, Turbidity, OGC, Avocado waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de adsorção	25
Figura 2- Principais cultivares do abacate no Brasil.	30
Figura 3 - Morfologia do fruto do abacate.	30
Figura 4 - Média da quantidade de produção do abacate (2009 – 2021).....	31
Figura 5 - Fases da metodologia experimental da pesquisa.	33
Figura 6 - Bioadsorventes preparados: (a) casca e (b) caroço de abacate.	34
Figura 7 - Carvão Ativado.	34
Figura 8 - Distribuições dos adsorventes em contato com o fluido.....	37
Figura 9 - Experimentos na incubadora Shaker SL 222 (SOLAB).	37
Figura 10 - Curva analítica para determinação do TOG.....	39
Figura 11 - pH dos experimentos com e sem tratamento.	41
Figura 12- Percentual de remoção de turbidez a partir da variação da massa dos bioadsorventes.	42
Figura 13 - Efeito do bioadsorvente (casca) na variação da granulometria.	43
Figura 14 - Percentual de remoção dos bioadsorvente.	43
Figura 15 - Percentual de remoção de óleo em função da massa de carvão.....	45
Figura 16 - Concentração de óleo água antes e após o tratamento por adsorção.	45
Figura 17 - Interferência analítica prejudicada devido à presença de resíduo da casca de abacate.	46
Figura 18 - Interferência analítica prejudicada devido à presença de resíduo do caroço do abacate.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise elementar do petróleo.	18
Tabela 2 - Propriedades físico-químicas da água produzida.	21
Tabela 3 - Principais diferenças entre os tipos de adsorção física e química.	26
Tabela 4 - Estudos com aplicação de bioadsorventes em tratamento de efluentes.....	29
Tabela 5 - Distribuição e configuração dos ensaios realizados.	36
Tabela 6 - Tratamento dos dados na análise de Turbidez.	40
Tabela 7 - Resultados da remoção de óleo com uso de carvão ativado (TOG).	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

AP – Água Produzida

API – Application Programming Interface

BEN – Balanço Energético Nacional

C – Crisotila

CA – Carvão Ativado

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EPA – Environmental Protection Agency

EUA – Estados Unidos da América

FAI – Flotação por Ar Induzido

FC – Fibra de Carbono

GPSA – Grupo de Pesquisa em Separações por Adsorção

HPA – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NTU – Nephelometric Turbidity Unity

pH – Potencial Hidrogeniônico

PPM – Partes Por Milhão

RAO – Relação Água/Óleo

RPM – Rotações Por Minuto

TOG – Teor de Óleos e Graxas

UFC – Universidade Federal do Ceará

UV-VIS – Ultravioleta visível

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivos Geral.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1. Petróleo	18
3.2. Água Produzida	19
3.2.1. Definição	19
3.2.2. Composição da Água Produzida	21
3.3. Regulamentação para o Tratamento de Água Produzida.....	22
3.4. Métodos de Tratamento da Água Produzida	23
3.5. Processo de Adsorção	24
3.5.1. Conceito	24
3.5.2. Carvão Ativado Comercial	26
3.5.3 Adsorção por Meio dos Resíduos Orgânicos.....	27
3.5.4 Resíduo do Abacate (Casca e Caroço)	29
4. METODOLOGIA.....	33
4.1. Seleção e preparo dos adsorventes	33
4.2. Síntese do efluente oleoso	35
4.2.1.Turbidez.....	35
4.2.2.Espectrofotometria: Determinação do Teor de Óleos e Graxas (TOG).....	35
4.3.Ensaio de Adsorção.....	36
4.3.1.Turbidez.....	36
4.3.2.Espectrofotometria: Determinação do Teor de Óleos e Graxas (TOG).....	37
4.4. Tratamento dos dados	38

4.4.1. Análise de turbidez	38
4.4.2. Espectrofotometria: Determinação do Teor de Óleos e Graxas (TOG).....	38
4.5. Análise do pH.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1. Avaliação do Potencial de Adsorção por Turbidez.....	40
5.1.1 Efeito da massa dos bioadsorventes	41
5.1.2. Efeito do tamanho da partícula (faixa granulométrica) dos adsorventes	42
5.1.3. Análise geral da redução da turbidez	43
5.2. Avaliação do TOG por Espectrofotometria	44
6. CONCLUSÃO.....	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

A água produzida (AP) é o maior efluente decorrente dos processos ligados a exploração de petróleo e gás, sendo o principal subproduto da indústria petrolífera gerado durante o processamento primário. A água produzida pode ser oriunda de duas fontes principais: a primeira, é a denominada água de formação, que ocorre naturalmente na formação geológica do reservatório e, a segunda fonte, é a água de injeção, que é direcionada aos reservatórios para aumentar o nível da produção. Normalmente, durante a fase de vida do poço, inicialmente a produção de água do campo é relativamente pequena, mas ao decorrer do tempo, esse subproduto vai aumentando o nível de acordo com a sua maturação chegando a cerca de 90% quando o campo atinge seu estágio final de produção (RAY; ENGELHARDT, 1992).

Esse efluente desperta grande preocupação na indústria e nos órgãos ambientais devido à sua composição complexa, que engloba uma variedade de compostos inorgânicos e orgânicos, tais como hidrocarbonetos, microrganismos, partículas em suspensão resultantes das técnicas de conversão, diferentes sais, metais pesados e outros elementos (THOMAS et al., 2004; CUNHA; DUTRA, 2014; AL-GHOUTI et al., 2019). Estudos realizados mostram que diariamente cerca de 7 milhões de m³ de água produzida são descartados em áreas oceânicas. No contexto brasileiro, observa-se um crescimento progressivo no volume de água produzida que é descartada no oceano ao longo dos anos. Registros feitos a partir de 2022 indicam volumes superiores a 76,8 milhões de m³/ano (PETROBRAS, 2023).

Considerando o elevado volume de água produzida de forma contínua, mesmo mediante a aplicação do método de injeção como medida de recuperação secundária em poços de petróleo, uma significativa parcela desse volume é direcionada para descarte em corpos receptores. Com isso, é de extrema importância o tratamento adequado desse efluente antes de ser descartado nos mares ou corpos receptores. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão que regulamenta o descarte em corpos receptores, conforme estabelecido na resolução 430/2011. Conforme a resolução, a concentração máxima permitida do teor de óleo e graxas (TOG) na água produzida para campos *on shore* é 20 mg. L⁻¹ (CONAMA 430, 2005). Para as plataformas *off shore*, o descarte é aplicado pela resolução 393/2007 do CONAMA, que estabelece os limites para o teor de óleos e graxas (TOG) como uma média aritmética simples mensal de até 29 mg. L⁻¹, com valor diário máximo de 42 mg. L⁻¹ (CONAMA, 2007). Para o caso da água destinada à injeção em poços de petróleo, essas devem apresentar um teor máximo de 5 mg. L⁻¹ de TOG (SANTIAGO, 2009).

Nessa perspectiva, são estudadas e desenvolvidas técnicas e novos métodos com materiais e tecnologia que proporcione uma maior eficiência no tratamento na remoção do óleo emulsionado presente na água produzida (MOTTA et al., 2013). Diversas técnicas já foram aplicadas e outras ainda estão em estudos implementando novos métodos e uso de materiais alternativos. Alguns exemplos são esses: coagulação química (VEPSÄLÄINEN; SILLANPÄÄ, 2020), adsorção (ALBUQUERQUE, 2021), gravitação (MENEZES et al., 2011), flotação por tensoativos (SILVA, 2008) e separadores gravitacionais (THOMAS, 2004). Geralmente, alcançar uma eficiência satisfatória na remoção de óleo emulsionado é uma tarefa desafiadora. Portanto, recorrem-se a uma série de procedimentos de tratamento com o propósito de otimizar o desempenho. Como exemplo, é possível identificar estudos nos quais múltiplas técnicas são empregadas de maneira simultânea. Como filtração, adsorção e foto-fenton (CARVALHO, 2016), tensoativos e polieletrólitos (ROCHA, 2018) e o método combinado eletroflotação/fenton (OLIVEIRA, 2020).

Dentre as técnicas citadas, podemos destacar a adsorção que vem ganhando destaque por sua eficiência no tratamento de águas contaminadas, além de ser considerada uma técnica simples e economicamente viável (GURGEL, 2007; OLIVEIRA et al., 2020). Essa técnica é capaz de remover o óleo presente na água de forma eficaz, o que pode resultar na redução do teor de óleos e graxas (TOG). Como tal, a técnica de adsorção tem sido objeto de investigação tanto em métodos convencionais quanto em abordagens não convencionais para o tratamento de águas produzidas (CRINI *et al.* 2018).

Vários adsorventes têm sido objeto de estudo e os materiais mais comuns em aplicações industriais são alumina ativada, sílica-gel e carvão ativado. Conforme mencionado por Curbelo (2002), a adsorção tem sido um tratamento bastante usado principalmente devido à possibilidade do uso de bioadsorventes oriundos de subprodutos industriais e da agricultura.

No Brasil, devido à grande produção agrícola do país, são gerados diversos produtos e resíduos agroindustriais. No entanto, a disposição final dos resíduos tornou-se um grave problema ambiental (INYANG *et al.*, 2012). Diante desse cenário, é interessante a investigação da eficiência desses resíduos agroindustriais como adsorventes em *in natura*. Dentre os vários resíduos já testados no tratamento de efluentes aquosos, podemos citar: casca e castanha de caju (OLIVEIRA, 2021); bagaço da cana-de-açúcar (ARAÚJO, 2017); palha de milho (MA *et al.*, 2019); casca de laranja (XI; CHEN, 2014), entre outros.

O potencial produtivo da cultura do abacate cresceu e ainda cresce, batendo recordes a cada safra. Um dos motivos para tamanha expansão é o aumento no consumo devido às propriedades nutricionais cientificamente comprovadas. A produção mundial de abacates é de

3,81 milhões de toneladas, plantados em uma área de 301 mil hectares. No Brasil, há 10 mil hectares plantados com uma produção de 213 mil toneladas, mostrando ser o país com a maior média em produtividade, em torno de 21,3 toneladas por hectare/ano (RIBEIRO et al, 2020). Logo, a quantidade de cascas e caroços de abacate oriundo desse fruto também é elevada.

Diante do que foi apresentado, a investigação do comportamento das cascas e caroços de abacate no tratamento de fluidos oleosos torna-se uma proposta interessante, uma vez que pode abordar simultaneamente duas questões distintas. A primeira, no que diz respeito ao tratamento da água produzida em poços de petróleo, buscando-se dar um fim nobre aos resíduos agroindustriais. A segunda questão está relacionada ao destino final dos resíduos, fornecendo uma solução sustentável para sua disposição adequada. Além, de identificar três principais vantagens no uso desse material como adsorvente: custo reduzido, ampla disponibilidade e sua morfologia compatível para o processo de adsorção.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o uso de resíduos do abacate, especificamente a casca e o caroço como bioadsorventes para a remoção de óleo de um efluente sintético oleoso.

2.2 Objetivos Específicos

As finalidades específicas deste estudo são:

- Realizar a lavagem, secagem, preparação e separação granulométrica da casca e caroço do abacate;
- Avaliar os efeitos da variação granulométrica e massa dos bioadsorventes na remoção de óleo do fluido sintético;
- Investigar qualitativamente a remoção de óleo através da análise da turbidez do fluido sintético e quantitativamente a concentração de teor de óleo e graxa (TOG) por espectrofotometria;
- Avaliar a metodologia da proposta empregada com uso da amostra de carvão ativado comercial.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão abordados os principais aspectos teóricos envolvidos na execução deste trabalho. Inicialmente é feita uma fundamentação a respeito do petróleo, como a origem da palavra, composição elementar, características, contexto histórico e subprodutos oriundo da atividade de extração. Na sequência é feita uma análise geral sobre a água produzida referente à sua origem, definição, dados de geração, composição, caracterização, descarte, legislação ambiental e tecnologias de tratamentos. Por fim, será estudado o conceito de adsorção, carvão ativado, bioadsorventes e os resíduos do abacate (casca e caroço).

3.1. Petróleo

O petróleo é uma fonte de energia fóssil não renovável, oriunda basicamente da decomposição dos restos de animais e vegetais, ou seja, da matéria orgânica ao longo dos milhares de anos. A palavra petróleo tem sua origem do latim “*petroleum*”, onde é a combinação de duas palavras pedra “*petrus*” e óleo “*oleum*”. A extração do petróleo é realizada nas rochas de reservatório, que, por sua vez, são rochas sedimentares com uma permeabilidade que possibilita a remoção do petróleo (NEIVA, 1986).

O petróleo é constituído de hidrocarbonetos e as impurezas, esses hidrocarbonetos podem ser classificados em quatro categorias principais que são classificados como: aromáticos, parafínicos, naftênicos e olefínicos. Essa nomenclatura está relacionado de acordo com as formas de ligação dos seus átomos de carbono. A Tabela 1 mostra a composição elementar do petróleo. A depender das condições do reservatório, suas características podem variar de um reservatório para outro, mas sempre apresentando esses constituintes variando apenas a composição, além de apresentar algumas mudanças como coloração, viscosidade, densidade (grau API), quantidade de enxofre e acidez (BARCZA, 2012; THOMAS, 2004).

Tabela 1 - Análise elementar do petróleo.

Elemento	Porcentagem Mássica
Carbono	83,0 a 87,0
Hidrogênio	11,0 a 14,0
Enxofre	0,06 a 8,0
Nitrogênio	0,11 a 1,7
Oxigênio	0,5
Metais (Fe, Ni, V etc.)	0,3

Fonte: Farah e Araújo (2012).

Em um contexto histórico, há registros do uso do petróleo desde a antiguidade, onde essa matéria-prima era obtida espontaneamente através da superfície terrestre. Em 1291, o petróleo era utilizado como combustível para lâmpadas (TESTA e WINEGARDNER, 2000). Em meados do século XIX, os americanos nativos usaram o óleo cru encontrado nas cavernas e rios como algo medicinal (EIA, 2001). A exploração comercial e competitiva do petróleo foi iniciada em 1859, onde foi realizada a primeira perfuração do poço na Pensilvânia nos Estados Unidos por Edwin L. Drake, responsável pelas atividades da empresa *Seneca Oil Company* (THOMAS, 2004).

Na produção de petróleo a geração de resíduos pode ser encontrada em todas as etapas do seu processamento, desde a exploração de poços, à sua perfuração e produção, refino e transporte. Dentre as diversas etapas abordadas tem-se o processamento primário, esse tem por finalidade na separação do gás, óleo e água. Sob condições controladas, tratar a fase oleosa para redução do teor de água emulsionada e sais dissolvidos; processar a fase gasosa na redução do teor de água e outros elementos contaminantes, bem como tratar a água para fins de descarte ou reinjeção em poços maduros. Com intuito de manter a estabilidade do óleo, viabilizando sua transferência para a unidade de refinação. Contudo, esse processamento tem a geração de um subproduto em grande escala, denominada de água produzida (AP) (BRASIL et al., 2014; BRITO, 2015).

3.2. Água Produzida

3.2.1. Definição

A água produzida ocorre de forma natural em poços de petróleo devido ao mecanismo operacional do poço, que na extração traz consigo uma combinação de gás, óleo e água. Esses componentes são posteriormente separados durante o tratamento primário em vasos bifásicos ou trifásicos. A água produzida representa a maior corrente de efluente gerada no processo de extração do petróleo, sendo a sua produção mundial (*onshore* e *offshore*) diária estimada em cerca de 40 milhões de metro cúbicos. Esse tipo de efluente representa um risco ao meio ambiente, pois contém em sua composição, micro-organismos, sólidos de produção, gases dissolvidos, compostos químicos dispersos, gerando uma emulsão. A composição da água produzida varia de acordo com a formação geológica que a originou, apresentando teores de compostos orgânicos (CARMO et al., 2017).

A terminologia "água produzida" é atribuída tanto à água presente originalmente no reservatório chamada de água conata, quanto à água injetada durante o processo de produção de recuperação secundária (NUNES, 2013).

A Primeira mencionada é a água conata ou de formação, são águas que foram removidas do ciclo hidrológico por soterramento em sedimentos, e que ocupa os volumes porosos ou os interstícios de uma rocha. Essa por sua vez é originada junto com o petróleo e a medida que o óleo vai se deslocando e a água como é mais densa, ela vai se depositando no fundo do reservatório (CARVALHO, 2016). À medida que o poço vai amadurecendo esse volume vai aumentando à medida que a zona produtiva do reservatório se desenvolve (USGS, 2017).

As águas de injeções são usadas no processo secundário, na recuperação ou na manutenção da pressão nos poços de produção, podendo ser água doce ou a própria água produzida, mas com adição de alguns aditivos. Nessa etapa, o poço já se encontra em um estado maduro, podendo se encontrar uma maior quantidade de água do que de óleo produzido, e quando se chega na fase final do poço a proporção de água/óleo (RAO) é de aproximadamente 98% (SANTACESARIA et al, 2012).

Inicialmente, nas fases iniciais de exploração de um campo, é comum observar níveis baixos de água produzida. No entanto, à medida que o tempo de produção avança, a diminuição da pressão do reservatório próximo aos poços exerce uma influência direta no fluxo dos fluidos presentes no reservatório e modifica o contato entre o petróleo e a água. Como resultado, a água passa a ser produzida em maior proporção juntamente com o óleo (CAVACO & DE BARROS, 2005). Com o envelhecimento dos campos produtores, ocorre um aumento progressivo na produção de água pelos poços, tornando o gerenciamento desse resíduo uma questão de extrema importância (LIMA, 2017).

A busca por novos métodos de tratamento de águas produzidas é de suma importância, especialmente quando se constata um notável aumento na produção de petróleo ao longo dos anos, gerando em um crescimento gradativo desse subproduto. Segundo Carvalho (2016), a produção de óleo é de aproximadamente 80 milhões de barris por dia. Em linhas gerais, a relação de proporção entre água e óleo é de aproximadamente 3 para 1.

3.2.2. Composição da Água Produzida

A água produzida apresenta uma composição complexa, pois, a mesma varia de acordo com as condições ambientais extremas que fica submetida. São essas, diferenças de temperaturas, alta pressões e reações químicas às quais a água e o óleo passam durante seu processo de formação, ao tipo de reservatório que está presente e até efluentes do fluido de perfuração e completação usado durante a perfuração do poço (CAVACO; DE BARROS, 2005). Isso significa dizer que, a composição do petróleo está relacionada com o meio na qual ele esteve associado ao longo de milhares de anos, e dependendo das condições a água produzida irá apresentar características e composição distintas. Ademais, os tipos de rochas também influenciam, já que existem diversos tipos de rochas sedimentares. Esses fatores desempenham um papel crucial tanto na composição do recurso principal (petróleo) quanto na composição da água produzida, que é um subproduto resultante desse processo (STEWART; ARNOLD, 2011).

A quantidade de óleo presente na água produzida é influenciada por vários elementos, como pH, salinidade, relação óleo/água, temperatura, composição do óleo, além do tipo e quantidade de produtos químicos utilizados durante o processo de produção (OLIVEIRA, 2013). A água produzida comumente apresenta uma variedade de componentes, como minerais dissolvidos, óleo dissolvidos e disperso, produtos químicos utilizados durante o processo de produção, sólidos e gases. Alguns desses sólidos podem conter metais pesados e, em certos casos, níveis elevados de radiação devido possível presença de elementos como estrôncio e rádio (ARPEL, 2005). Importante destacar que muitos desses componentes dissolvidos não são facilmente separados pelos processos convencionais de tratamento (OLIVEIRA, 2013). A Tabela 2 apresenta algumas propriedades físico-químicas da água produzida.

Tabela 2 - Propriedades físico-químicas da água produzida.

Propriedades	Água de produção
Densidade (Kg.L ⁻¹)	1,0274
Viscosidade (10 ⁻³ Kg.m ⁻¹ s ⁻¹)	0,9837
Tensão Superficial (N.m ⁻¹)	73,1912
pH	8,09
Turbidez (NUT)	6,75
Salinidade (mg de Cl ⁻ . L ⁻¹)	44.870,42
Condutividade (S.m ⁻¹)	60,50

Adaptado de Moraes (2005).

3.3. Regulamentação para o Tratamento de Água Produzida

Conforme mencionado anteriormente, a água produzida apresenta diversos compostos químicos que são nocivos ao meio ambiente. Por essa razão, alguns fatores devem ser levados em consideração quando se referem no descarte de um efluente, que apresenta na sua composição um ou mais elementos químicos. Considerações essas, como a quantidade e a característica do local onde o efluente será descartado, que esse, por sua vez, devem ser avaliados com bastante atenção para possíveis impactos ambientais. São considerados a alta salinidade, sólidos suspensos metais pesados, orgânicos (solúveis e insolúveis), produtos químicos e a radioatividade (SANTIAGO, 2009).

Assim, para a escolha do local e do processo de tratamento do efluente, são considerados apenas alguns parâmetros, como a salinidade da água produzida e o teor de óleos e graxas (TOG). Em 1993, a agência de proteção ao meio ambiente dos EUA (*Environmental Protection Agency* – EPA), na qual estabeleceram parâmetros mensais para o TOG livre na água produzida em ambientes *offshore* de 40 mg/L até 100 mg/L. Vale salientar, que essa concentração permitida varia para cada país. Na conversão de Paris, estabeleceram uma redução de 40 mg/L para 30 mg/L (SANTIAGO, 2009; OLIVEIRA, 2013).

No Brasil, o órgão responsável por administrar a legislação ambiental é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Esse por sua vez, é o órgão ambiental que é constituído por conselhos municipais, estaduais e empresariais. Esse corpo colabora na elaboração de leis e normas que atenda o objetivo de promover o equilíbrio entre as atividades humanas e do meio ambiente (CONAMA, 2023). Diferente um pouco dos demais órgãos do mundo, são estabelecidos parâmetros de TOG para a destinação final do efluente no corpo receptor, são esses, para corpo terrestre um limite mensal de 20 mg/L de TOG na água produzida, de acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA e conservada na Resolução 430/2011 do CONAMA (CONAMA, 2011). Para o ambiente marítimo a resolução vigente é a CONAMA 393/2007, na qual é estabelecido para o descarte uma média aritmética simples mensal de TOG de até 29 mg/L, com um valor máximo diário de 42 mg/L. E por fim, para as águas tratadas para a injeção em poços de petróleo é estabelecido o limite máximo de 5 mg/L do TOG (SANTIAGO, 2009).

No contexto geral, as empresas do setor petrolífero estão cada vez mais conscientes de suas responsabilidades em relação ao meio ambiente. Elas reconhecem que não apenas as leis que estão em vigor que as força em algumas tomadas de decisão, mas também alguns danos muitas vezes irreversíveis, podem prejudicar o ecossistema, como também todos os custos financeiros envolvidos na recuperação das áreas atingidas. Por isso, essas empresas estão constantemente

investindo e buscando no desenvolvimento mais sustentável, visando não só uma maior eficiência nos processos, mas também no equilíbrio ou melhoria na produtividade, de modo a beneficiar tanto a população quanto o ecossistema.

3.4. Métodos de Tratamento da Água Produzida

O desenvolvimento de estudos e técnicas para tratar a água produzida é para atender dois objetivos principais, sendo o primeiro as normas vigentes acerca dos despejos em corpos d'água como também a recuperação dos óleos livres e emulsificado presente na corrente da água produzida (COUTINHO, 2016).

Existem diversos sistemas empregados no tratamento de águas produzidas, com o objetivo de diminuir a concentração de óleo disperso, permitindo assim que essas águas sejam descartadas no ambiente de forma segura ou injetadas em poços para a recuperação de petróleo. Alguns desses sistemas mais aplicados nas indústrias são: separadores por gravidade, hidro ciclones, flotação, floculação, filtração, adsorção, processos de separação por membranas e tecnologias térmicas. Outras técnicas em estudo são, destilação multiefeitos, destilação por compressão de vapor, filtros aerados biológicos, flotação de gás, eletrodialise, osmose reversa entre outros (BORGES, 2017; IGUNNU & CHEN, 2014).

No estudo realizado por Oliveira *et al.* (1999), foi empregada a técnica de flotação por gás armazenado, na qual o agente floculante era o n-dodecano. Os critérios usados para a avaliação da remoção do óleo foi a presença ou ausência de um tensoativo, o nonyl-fenol. Os resultados obtidos nesse estudo demonstraram que a utilização do tensoativo na flotação liderou uma melhoria na remoção do óleo. Isso ocorreu devido ao aumento do tempo de indução e à redução da tensão interfacial entre as gotas de óleo e as bolhas de ar, facilitando a separação eficiente das fases durante o processo de flotação.

No trabalho realizado por Bezerra *et al.* (2018), os autores estudaram a tecnologia de filtração por osmose reversa na purificação da água. A osmose reversa é uma tecnologia de filtragem de água que utiliza uma membrana semipermeável para remover impurezas e contaminantes presentes na água. Essa tecnologia é amplamente utilizada em processos de purificação de água potável, tratamento de água industrial e dessalinização. No trabalho, o objetivo é mostrar as principais características e aspectos fundamentais sobre a tecnologia de filtração por osmose reversa, as membranas usadas no estudo, são o acetato de celulose, a poliamida e os seus derivados. O autor dividiu o procedimento em duas etapas, a primeira chamada de pré-tratamento, com intuito de reduzir a turbidez do efluente devido a grande

quantidade de sólidos suspensos, com uso de coagulantes para neutralizar as suspensões coloidais e a retirada desse sólido através da passagem por filtros. A segunda etapa, é lavagem química, na qual alimenta a corrente de água com elementos químicos (cloro e bromo) para fazer a remoção dos componentes presentes da água como matéria orgânica, metais oxidáveis e bactérias. Esses desinfetantes devem ser retirados da corrente, pois, os mesmos afetam a camada polimérica das membranas na osmose reversa. O resultado obtido foi em relação a membrana usada no processo de dessalinização com potencial de filtração de impurezas acima de 99%. O estudo também destaca que é uma técnica de custo-benefício favorável, por apresentar um custo elevado através do uso de energia, mas apresenta uma viabilidade pela eficiência do resultado.

Especificando os tratamentos e técnicas desenvolvidas para o gerenciamento da água produzida, das diversas técnicas existente, a que vem ganhando muito espaço, é a adsorção pela sua eficiência, por ser uma técnica de baixo custo e ser uma das técnicas que apresenta uma metodologia simples para o tratamento de efluentes com intuito de reduzir o TOG (NONATO et al. 2018). Ademais, diferentes estudos têm mostrado a eficiência da adsorção nos tratamentos de efluentes contaminados por óleos, metais pesados e outras substâncias tóxicas e, pesquisas vêm sendo realizadas visando compreender a eficiência de materiais adsorventes de fácil obtenção e baixo custo (CRINI et al., 2018).

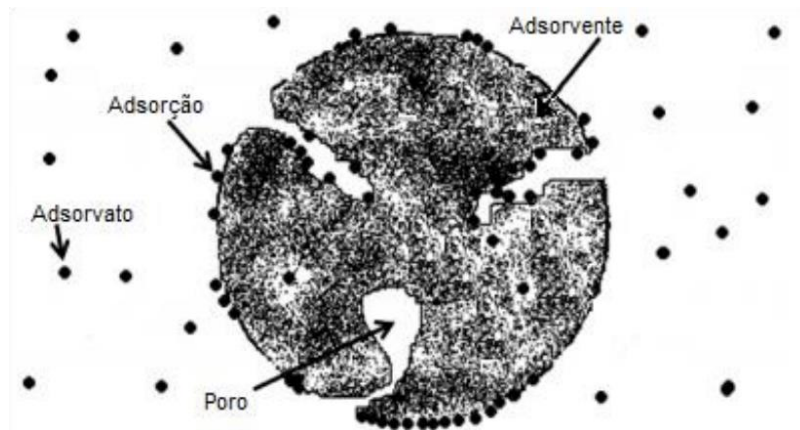
3.5. Processo de Adsorção

3.5.1. Conceito

O processo de adsorção teve início no século XX, sendo inicialmente utilizado para remover parafinas em soluções. Essa técnica expandiu-se significativamente, impulsionada pela indústria do petróleo e beneficiada por ser considerada uma técnica de baixo custo de investimento e pela facilidade do processo. Atualmente, a adsorção é amplamente utilizada em diversos setores, como na indústria química, petroquímica, farmacêutica, de alimentos, entre outros. Ela desempenha um papel importante em várias aplicações, incluindo purificação de líquidos, remoção de poluentes, separação de compostos, catálise heterogênea e tratamento de efluentes (RUTHVEN, 1984). Os materiais adsorventes mais usados incluem carvão ativado, zeólitas, sílica gel, resinas de troca iônica, entre outros. Levando em consideração durante a seleção do adsorvente apropriado as características do adsorvato e o processo específico (RUTHVEN, 1984).

A adsorção pode ser conceituada como um processo físico-químico na qual uma concentração finita de moléculas ou íons são retidos em uma superfície sólida, formando uma camada molecular ou monomolecular, conhecida como camada adsorvida (DABROWSKI, 2001). Isso ocorre, devido a um desequilíbrio de forças. Esse fenômeno ocorre através de três agentes principais, o primeiro é o fluido ou adsorvato, a superfície onde o fenômeno ocorre chamado também de adsorvente e por último os componentes retidos pela superfície os adsorbatos (CASTELLAN, 1978). A Figura 1 apresenta de forma ilustrativa o processo de adsorção com os agentes responsáveis nesse processo, o adsorbato, o meio adsorvativo e o adsorvente.

Figura 1 - Processo de adsorção



Fonte: adaptado de Montanher *et al.* (2007).

Ademais, o processo de adsorção pode ocorrer por meio de diferentes controles, incluindo adsorção física, na qual envolve as forças intermoleculares fracas as de Van der Waals, é um processo reversível onde parâmetros como temperatura e pressão podem reverter o composto adsorvido, o processo físico consiste em uma molécula entra em contato com a superfície do adsorvente e se aderir a ela por meio de forças físicas formando multicamadas moleculares sobrepostas. Por sua vez, a adsorção química ocorre na formação de ligações químicas entre o adsorbato e o adsorvente que forma uma camada molecular única denominada de monocamada (CUEVAS, 2011; SCHMA, 2011). A Tabela 3 mostra as principais diferenças entre os dois tipos de adsorção (física e química).

Tabela 3 - Principais diferenças entre os tipos de adsorção física e química.

Característica	Adsorção Física (Fisissorção)	Adsorção Química (Quimissorção)
Sólidos	Acontece em todos os sólidos	Depende do sólido
Gás	Acontece em todos os gases	Depende do gás
Temperatura	Ocorre somente em temperaturas rel. baixa	Ocorre em uma ampla faixa de temperatura
Cobertura	Multicamadas (Várias camadas)	Monocamada (Única camada)
Reversibilidade	Reversível, rápida e não ativada	Irreversível, as vezes lenta e ativada
Energia de Ativação	Nula	Maior que zero
Calor de adsorção	2 a 3 vezes menos que o calor latente de evaporação (baixa)	2 a 3 vezes maior que o calor latente de evaporação (alta)
Ligação	Forças de Van der Waals	Ligações covalentes

Fonte: Adaptado de Ruthven (1984) e Tambosi (2008).

Em uma contextualização geral acerca da Tabela 3 é possível entender as principais diferença entre a adsorção fisissorção e quimissorção, e entender qual a adsorção escolher para o processo. A eficiência da adsorção é influenciada por vários fatores, como a temperatura, a concentração do adsorvato, o tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato, além das propriedades físico-químicas do sistema como estrutura, área superficial e natureza do sólido, solubilidade do soluto e parâmetros como temperatura e pH (BORGES, 2017).

3.5.2. Carvão Ativado Comercial

No início do século XX, o carvão ativado comercialmente viável foi desenvolvido pelo cientista sueco *Von Ostreijko*, que obteve duas patentes em 1900 e 1901. Essas patentes introduziram os conceitos fundamentais da ativação química e física, sendo esta última também conhecida como ativação térmica (BHATNAGAR *et al.*, 2013).

O carvão ativado é um tipo de material de carbono altamente poroso, constituído através da decomposição térmica de materiais carbonáceos (ossos, carvão, casca, entre outros) (BOLIGON, 2015). A prática comumente desenvolvida para a obtenção do carvão ativado é através de um processo conhecido como pirólise oxidativa, empregando-se matérias-primas como madeiras macias e duras, turfa, linhita, carvão mineral, casca de coco e resíduos vegetais (ARAÚJO *et al* 2018).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), o carvão ativado é um material excelente no processo de adsorção por ser capaz de coletar seletivamente gases, líquidos e impurezas. Essa característica está relacionada ao fato de ter uma elevada porosidade, uma estrutura bem desenvolvida que abrange os poros micro, meso e macro. Além disso, apresenta uma grande quantidade de diversos grupos funcionais na superfície da matriz ativada, boa distribuição de tamanhos de poros, área superficial e volume dos poros (OKIEL *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et. al.*, 2014).

Por essas características, é frequentemente usado no tratamento de água potável e efluentes industriais para remover contaminantes, como compostos orgânicos dissolvidos, cloro, compostos voláteis e metais pesados e de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) (RUTHVEN, 1984; ROY, 1995; FERREIRA, 2016; ARAÚJO *et al* 2018). Com o intuito de remover impurezas e clarificar o petróleo com alta eficiência, as indústrias petrolíferas fazem o uso do carvão ativado no tratamento das águas produzidas (KALICHEVSKY; KOBE, 1958). No entanto, apesar da alta eficiência do carvão ativado como adsorvente e sua excelente aplicação para o tratamento de contaminantes de diferentes matrizes, esse é um material caro, o que possibilita a busca e estudo por materiais alternativos mais baratos (LOANNIDOU; ZABANIOTOU, 2007).

3.5.3 Adsorção por Meio dos Resíduos Orgânicos

Nas últimas décadas a técnica da adsorção vem sendo bastante estudada e se mostrando bastante eficiente no tratamento de águas contaminadas (GURGEL, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Segundo Curbelo (2002), a adsorção tem sido um tratamento bastante usado, principalmente devido à utilização de adsorventes naturais oriundos de subprodutos industriais e da agricultura.

Os resíduos orgânicos podem ser provenientes de fontes naturais, como cascas de frutas, bagaço de cana-de-açúcar, serragem, entre outros, ou de resíduos industriais e agrícolas. Esses materiais geralmente possuem uma estrutura porosa, rica em compostos orgânicos, como

celulose, lignina e hemicelulose, que apresentam capacidade de adsorção (DIVBAND HAFSHEJANI et al., 2016). Ademais, fatores que podem influenciar na estrutura do bioadsorvente são: as proporções entre os constituintes, composição das fibras, tipo do material, condições climáticas, idade e processo de degradação (YANG et al., 2015).

A utilização de resíduos orgânicos como adsorventes apresentam várias vantagens. O primeiro ponto, é uma forma de dar um fim nobre a esses resíduos, uma vez que seriam apenas descartados, sendo assim, oferecendo um valor e passando a ser um produto útil. Além disso, a utilização de adsorventes orgânicos é considerada mais sustentável em comparação com adsorventes minerais comumente usados, visto que reduz a dependência de produtos químicos e materiais de origem não renováveis (FILHO; MOTA; SEOLATTO, 2011)

Diversos estudos demonstraram a eficiência dos resíduos orgânicos como adsorventes para a remoção de poluentes presentes em efluentes industriais e águas contaminadas. Como, compostos orgânicos, corantes, compostos fenólicos, pesticidas e metais pesados. A capacidade de adsorção desses materiais pode ser influenciada por parâmetros como pH, temperatura, tempo de contato, concentração inicial do poluente e tamanho da partícula do adsorvente (SCHWANKE, 2003; YAASHIKAA et al., 2020). Atualmente, muitos estudos e pesquisas foram realizados alcançando resultados promissores ao empregar bioadsorventes agrícolas no tratamento de efluentes na remoção de óleos, metais pesados, poluentes orgânicos e inorgânicos.

Em um contexto geral e os dados apresentados na Tabela 4, pode se inferir que os resíduos orgânicos vêm mostrando ser uma alternativa viável e sustentável para o uso como adsorventes em tratamentos e remoção de poluentes de efluentes. Fatores como capacidade de adsorção, baixo custo, disponibilidade de acesso e entre outros indicam que estes materiais têm potencial para a purificação de água e tratamento de efluentes industriais. Ademais, os resíduos acabam contribuindo para a redução do impacto ambiental e proporciona uma economia circular (DAI et al., 2018; NAMASIVAYAM e KAVITHA, 2002). Na Tabela 4 foram listados alguns desses dos estudos que foram conduzidos utilizando esses materiais, demonstrando suas aplicações (Adaptado de OLIVEIRA, 2021).

Tabela 4 - Estudos com aplicação de bioadsorventes em tratamento de efluentes.

Resíduo	Poluente	Referência
Bagaço do Caju	Pb ²⁺ , Cu ²⁺ , Ni ²⁺ , Cd ²⁺ e Zn ²⁺	Moreira <i>et al.</i> (2009)
Torta da Moringa oleífera Lam	Petróleo bruto	Pereira <i>et al.</i> (2011)
Casca de girassol	Cu ²⁺	Witek-Krowiak (2012)
Palha de arroz	Ni ²⁺	Sharma & Singh (2013)
Casca de Laranja	Naftaleno	Xi & Chen (2014)
Semente de mostarda	Corante ácido	Safa (2016)
Bagaço de cana de açúcar	NO ₃ ⁻	Araújo (2017)
Madeira pinus	Pb ²⁺ , Cd ²⁺ e Cr ³⁺	Schwantes <i>et al.</i> (2018)
Borra de café	Cr ⁶⁺	Oliveira (2018)
Palha de milho	Cr ⁶⁺	Ma H. <i>et al.</i> (2019)
Casca e castanha de caju	Cu ²⁺ , Pb ²⁺ e Cr ³⁺	Oliveira (2021)
Óleo de coco de babaçu saponificado	Petróleo bruto	Silva (2021)
Endocarpo e mesocarpo do coco	Parafínicos e Naftênicos	Maia (2022)

Fonte: (Adaptado de Oliveira, 2021).

3.5.4 Resíduo do Abacate (Casca e Caroço)

Se retratando dos aspectos botânicos, o abacateiro (*Persea americana* Mill.) é uma árvore frutífera de médio a elevado porte com cerca de 12 a 20 metros de altura. São frutas originárias da América Central e do México. Sendo cultivada em várias regiões do mundo, grande parte, em áreas tropicais e subtropicais, inclusive em regiões de topografia acidentada. Bastante popular devido ao seu valor nutricional e sabor (TEIXEIRA et al., 1992). É uma árvore frutífera pertencente à família Lauraceae, gênero *Persea*. As características físicas do fruto do abacateiro podem ser em formato oval ou periforme, com casca verde escura ou roxa e polpa cremosa de cor verde claro a amarelo pálido (KOLLER, 1984). No mercado esse fruto é comercialmente variado e diversificado de acordo com a demanda. A Figura 2 mostra as principais variedades do abacate comercializadas no Brasil.

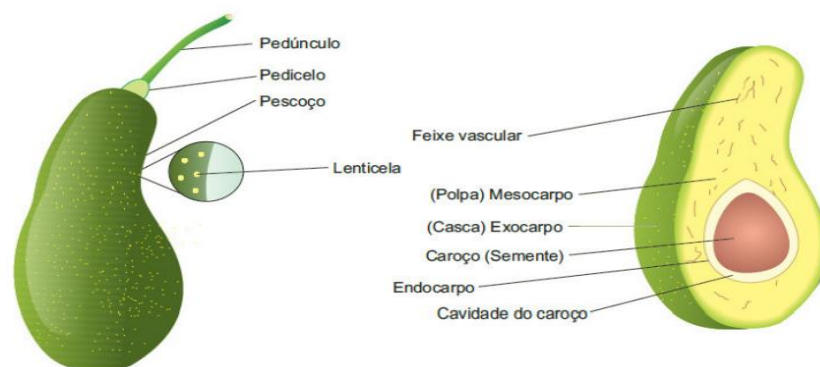
Figura 2- Principais cultivares do abacate no Brasil.



Fonte: Adaptado Pereira, 2015.

Nessa perspectiva, apesar das variedades dos tipos de abacates, todos apresentam a mesma característica. Como ilustrado na Figura 3, onde representa a estrutura do fruto do abacateiro.

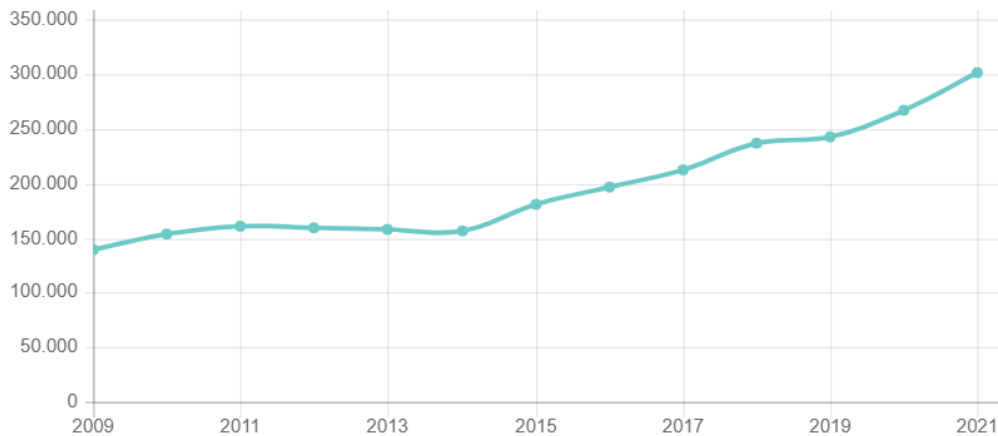
Figure 3 - Morfologia do fruto do abacate.



Fonte: Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura. São Paulo: PBMH, 2015.

Se tratando da produtividade do abacate no Brasil, é classificado como um dos principais produtores mundiais, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2021). A produção nacional de abacate em 2021 foi de 300.894 toneladas, sobre uma área plantada de 18.254 hectares e colhida 18.106 hectares. Apresentando um rendimento médio do cultivo de 16.618 kg/ha, totalizando um valor de produção de R\$ 710.363.000,00. A Figura 4 apresenta a produção média nacional dos anos de 2009 a 2021.

Figura 4 - Média da quantidade de produção do abacate (2009 – 2021).



Fonte: IBGE (2021).

Seguindo nessa perspectiva, no Brasil, a cultura do abacate abrange praticamente todos os Estados brasileiros, destacando-se, como uma das frutíferas mais produtivas por unidade de área cultivada. São cultivadas várias variedades de abacates, cujos cada frutos exibem uma composição química variável (TEIXEIRA et al., 1992). No aspecto geral a produção de abacate no país é basicamente direcionada para o mercado interno, por conta disso, a quantidade de variedades cultivadas aumenta de acordo com a exigência e demanda do local. Como é uma planta nacional alguns aspectos importantes devem ser atendidos, devido a necessidade da planta se adaptar a vários locais. Às condições climáticas, hábitos de consumo, resistência a doenças, qualidade, aparência e conservação pós-colheita (DONADIO, 1995).

A Tabela 5 mostra os percentuais dos principais constituinte do fruto *in natura*, destacando que não é somente de uma classe do fruto e sim de uma contextualização geral.

Tabela 5 – Composição do abacate *in natura*.

Parte do Fruto	Composição (%)
Exocarpo (Casca)	8,62 ± 0,1
Mesocarpo (Polpa)	72,04 ± 1,68
Semente (Caroço)	19,39 ± 1,74
Caroço - Casca	28,01 ± 1,74

Fonte: Adaptado TANGO et al. 2004.

Diante disso, é gerado um grande volume de resíduo oriundo do fruto, logo, estudar um emprego ou caracterização desse resíduo se torna uma alternativa interessante, uma vez que, os

resíduos agroindustriais podem apresentar uma boa eficiência como adsorventes (INYANG et al., 2012).

A casca do abacate pode apresentar características finas ou grossas, lisas ou rugosas. Sua composição predominante é composta principalmente por celulose, lignina e hemicelulose, que são compostos orgânicos. Esses componentes contêm grupos funcionais, como hidroxilas e carboxilas, que estão presentes em certos compostos orgânicos. Devido a essas características, o abacate *in natura* tem sido objeto de estudos para a remoção de corantes, metais pesados e compostos orgânicos em soluções aquosas (MARANCA, 1980).

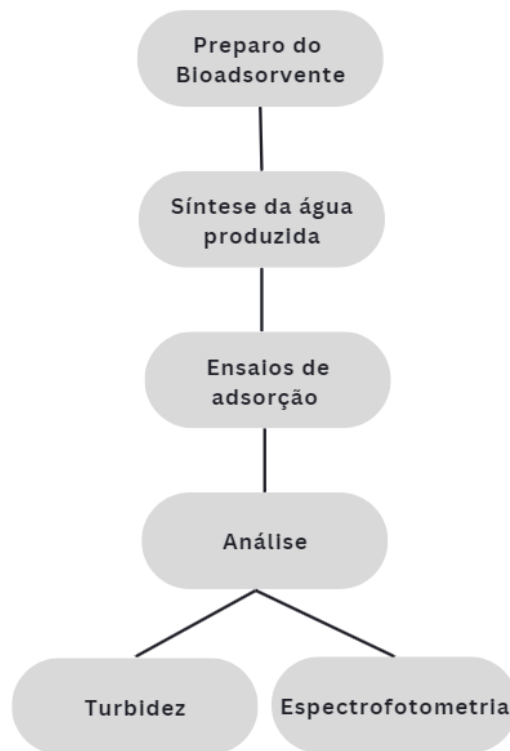
Por sua vez, o caroço do abacate apresenta uma riqueza em polímeros, tais como lignina e celulose, além de conter substâncias como taninos, antocianinas, catequinas, proantocianidinas e compostos fenólicos. Esses componentes apresentam características e propriedades adsorventes que podem ser empregados na remoção de compostos orgânicos e metais pesados de soluções líquidas. Assim como a casca, o caroço de abacate tem sido foco em estudos para a eliminação de corantes têxteis e compostos fenólicos presentes em soluções aquosas (GEISSMAN; DITTMAR, 1965).

4. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados utilizando como fonte oleosa, o diesel S500 adquirido em postos de combustíveis localizados no município de Mossoró-RN e uma amostra de petróleo bruto. Os resíduos do abacate (caroço e casca) foram utilizados como bioadsorventes.

Para a realização da pesquisa, a metodologia experimental foi dividida em etapas conforme mostrado na Figura 5:

Figura 5 - Fases da metodologia experimental da pesquisa.



Fonte: Autor (2023).

4.1. Seleção e preparo dos adsorventes

Casca e caroço do abacate

As cascas e os caroços do abacate utilizado neste estudo foram coletados nas cidades de Mossoró-RN e Russas-CE. Adaptado de Araújo (2017), inicialmente os resíduos *in natura* foram selecionados e desidratados em estufa a 65 °C por 24 horas. Em seguida, foram triturados e somente as cascas foram separadas em duas faixas de tamanho utilizando peneiras de aço inoxidável do tipo Tyler. Utilizou-se as faixas granulométricas de -14+28 e -28+48 mesh, que correspondem em mm respectivamente a 0,635 - 0,318 e 0,318 - 0,234. Posteriormente, cada material passou por um processo de lavagem em água corrente para remover quaisquer sujeiras

que pudessem comprometer a precisão dos ensaios e a confiabilidade dos resultados. E por fim, as amostras foram secas e reservadas como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Bioadsorventes preparados: (a) casca e (b) caroço de abacate.



Fonte: Autor (2023).

Carvão ativado (CA)

Para efeito de validação de metodologia, foi utilizado como adsorvente um carvão ativado comercial (nomeado por WV1050). A amostra foi produzida pela empresa Mead-Westvaco e foi gentilmente cedida pelo Grupo de Pesquisa em Separações por Adsorção (GPSA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Previamente ao ensaio de remoção de óleo, o adsorvente foi ativado a 120 °C por 3 horas em estufa com circulação de ar. Em seguida, a amostra foi reservada e resfriada até a temperatura ambiente em dessecador, conforme representado na Figura 7. Esta etapa de ativação térmica é realizada para remover quaisquer contaminantes orgânicos que tenham sido adsorvidos previamente.

Figura 7 - Carvão Ativado.



Fonte: Autor (2023).

4.2. Síntese do efluente oleoso

4.2.1. Turbidez

Para análise de turbidez, a sintetização do efluente oleoso foi fundamentada em estudos anteriores (BARBOSA *et al.*, 2018; DOMINGOS *et al.*, 2020). O mesmo foi preparado em uma proporção de 20% de óleo diesel S500 em relação ao volume de água.

A mistura água/diesel foi submetida inicialmente a agitação em um agitador turratec (modelo TE-102) por 1 hora para promover uma mistura forçada. Esse procedimento ocorreu com intuito de fazer a ruptura das gotículas do óleo e emulsioná-lo à água. Em seguida, a emulsão foi colocada em um funil de decantação e deixada em repouso por 24 horas para separação das fases (óleo em excesso e fase aquosa). Após a separação, a fase aquosa (efluente emulsificado) foi coletada e utilizada na etapa a seguir.

4.2.2. Espectrofotometria: Determinação do Teor de Óleos e Graxas (TOG)

No estudo da espectrofotometria, para preparação do efluente oleoso, utilizou-se uma metodologia adaptada descrita por Rocha (2018). A água produzida foi sintetizada usando água destilada, cloreto de sódio (NaCl) e petróleo. A síntese é realizada em três etapas: preparação da salmoura, dispersão do óleo e extração do óleo. A primeira etapa consistiu na preparação da salmoura com concentração de 40.000 mg/L de cloreto de sódio em água. Após a adição do sal à água, a solução foi agitada com o uso de agitador magnético até a completa dissolução.

Na segunda etapa, foi realizada a dispersão de óleo na salmoura. Em um becker, foi adicionado cerca de 400 mL da salmoura, na qual foi submetida a agitação utilizando um agitador do tipo dispersor. Durante a agitação, a amostra de petróleo foi adicionada lentamente à solução com o auxílio de uma seringa de haste longa. É necessário o uso da seringa para garantir que o óleo seja injetado bem próximo ao impelidor e, assim, evitar a perda do óleo na parede do becker. A mistura foi mantida sob agitação de 12.000 rpm por 10 minutos. Após esse período, foi adicionado o restante de salmoura produzida (cerca de 600ml) e manteve-se a agitação por mais 3 minutos. Por fim, a emulsão preparada foi deixada sob repouso por 30 minutos e, em seguida, retirou-se o óleo sobrenadante usando um papel filtro.

Na última etapa, a concentração de óleo na água produzida sintética foi determinada por espectrofotometria UV-Vis. Inicialmente, foi retirada uma alíquota da água produzida para extrair o óleo usando hexano como solvente. Em seguida, a absorbância foi medida usando um espectrofotômetro e, então, calculou-se a concentração a partir da curva analítica.

4.3. Ensaio de Adsorção

4.3.1. Turbidez

Para os ensaios de turbidez, a avaliação dos resíduos do abacate como bioadsorvente foram realizadas pelo método da adsorção em banho finito. Em erlenmeyers de 250 ml, foi colocado uma quantidade de massa de material em contato com 200 mL de fluido oleoso. Foi avaliado a influência da massa do adsorvente (1 e 5 g) e da faixa granulométrica. A Tabela 5, mostra detalhadamente a configuração dos ensaios realizados.

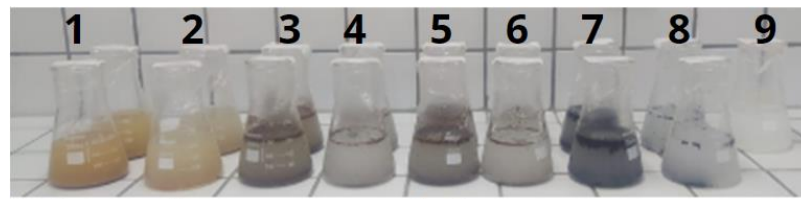
Tabela 5 - Distribuição e configuração dos ensaios realizados.

Experimento	Adsorvente		Massa
	Casca		
1	-14+28 mesh	0,635 - 0,318 mm	1
2			5
3	-28+48 mesh	0,318 - 0,234 mm	1
4			5
5	Caroço		1
6			5
7	Carvão		3
8	AP sem contato		-

Fonte: Autor (2023).

Seguindo o método da Almeida (2021), as amostras em erlenmeyers (bioadsorvente e fluido) foram colocadas em uma incubadora modelo Shaker SL 222 (SOLAB) e foram submetidos a agitação de 170 rpm a temperatura constante de 30 °C por 12 horas. Em seguida, os erlenmeyers foram retirados e deixados em repouso para decantação durante 4 horas. Finalmente, foram coletadas amostras de fluido de cada erlenmeyer para medir a turbidez. Nas Figuras 8 e 9, estão representados, respectivamente, os materiais bioadsorventes e o carvão ativado em contato com o fluido ao final do ensaio e os experimentos na incubadora Shaker. É importante ressaltar que cada experimento foi realizado em duplicata e a média entre os valores serão apresentados posteriormente.

Figura 8 - Distribuições dos adsorventes em contato com o fluido.



- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1 - Caroço - 5 g | 6 - Casca |
| 2 - Caroço - 1 g | (0,234 - 0,318 mm) - 1 g |
| 3 - Casca | 7 - Carvão Ativado - 5 g |
| (0,318 - 0,635 mm) - 5 g | 8 - Carvão Ativado - 1 g |
| 4 - Casca | 9 - Fluido sem contato |
| (0,318 - 0,635 mm) - 1 g | |
| 5 - Casca | |
| (0,234 - 0,318 mm) - 5 g | |

Fonte: Autor (2023).

Figura 9 - Experimentos na incubadora Shaker SL 222 (SOLAB).



Fonte: Autor (2023).

4.3.2. Espectrofotometria: Determinação do Teor de Óleos e Graxas (TOG)

Seguindo o método aplicado na turbidez, inicialmente os ensaios foram conduzidos em regime de banho finito. Em frascos Erlenmeyer de 250 ml, foram adicionadas diferentes massas do adsorvente (0,25 g, 0,50 g, 1,00 g e 1,25 g), os quais foram colocados em contato com 100 ml da água produzida sintética. As amostras foram submetidas a agitação a 30°C por um período

de 15 minutos. Após esse intervalo de tempo, os frascos foram deixados em repouso durante 1 hora para permitir a decantação. Em seguida, alíquotas do fluido de cada ensaio foram retiradas para a extração do óleo com hexano. A leitura da absorvância da solução óleo/hexano foi realizada utilizando um espectrofotômetro (modelo UV/Vis-34G da marca GENAKA) no modo varredura. A concentração de óleo remanescente foi calculada com base na absorvância medida, usando a curva analítica previamente obtida. Cabe destacar que o pico de absorvância mais proeminente na mistura óleo/hexano foi identificado a 330 nm. A concentração de óleo na água produzida foi considerada como o Teor de Óleos e Graxas (TOG).

4.4. Tratamento dos dados

4.4.1. Análise de turbidez

A análise da remoção dos óleos através dos adsorventes, foi avaliada de maneira qualitativa por meio da medição da turbidez, expressa em *Nephelometric Turbidity Unity* (NTU), do fluido sintético antes e depois do tratamento com adsorventes e bioadsorventes. Para isso, utilizou-se um turbidímetro AP 2000 W da marca PoliControl®. Cada teste de turbidez foi realizado em duplicata, ou seja, foram realizadas duas medições, e o valor utilizado foi a média aritmética dessas medições.

Para uma melhor visualização dos níveis de remoção do óleo durante o teste de turbidez, escolheu-se trabalhar com as porcentagens de remoção de turbidez do fluido, utilizando os valores iniciais e finais de turbidez. A porcentagem de remoção (%Remoção) de óleo foi dada a partir da seguinte equação Eq.1:

$$\%Remoção = \left(1 - \frac{T_f}{T_i}\right) * 100 \quad (\text{Eq.1})$$

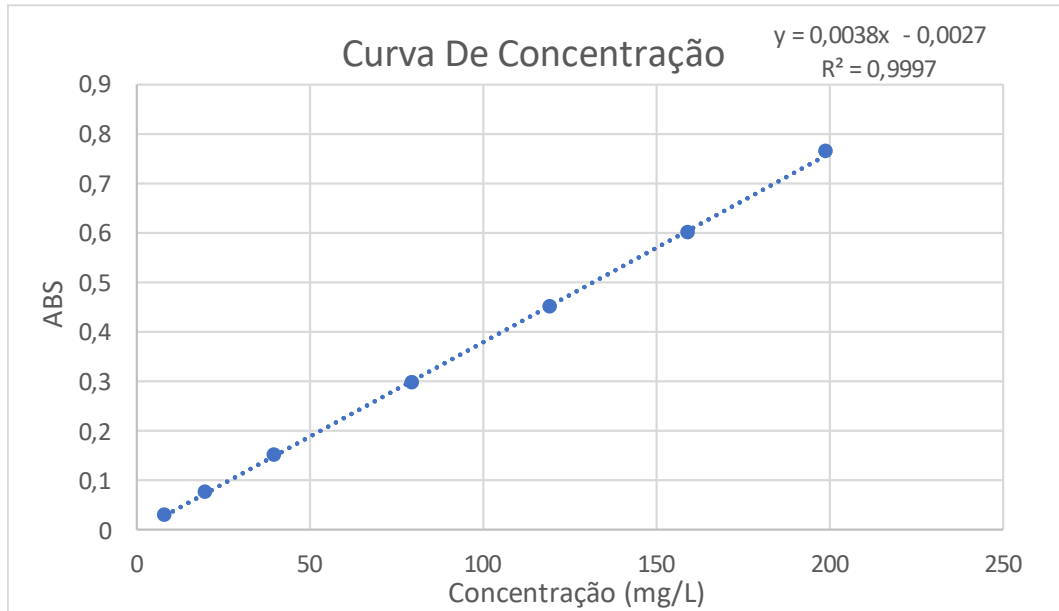
Onde, T_i é a turbidez do fluido não tratado (antes do ensaio com os adsorventes) em NTU e T_f é o valor final da turbidez do fluido tratado (após ensaio com os adsorventes) em NTU.

4.4.2. Espectrofotometria: Determinação do Teor de Óleos e Graxas (TOG)

Utilizou-se para validar os resultados obtidos anteriormente, o teste de espectrofotometria. O método foi usado para analisar a remoção de óleo e graxas, a partir da absorvância, que permite determinar a concentração. Inicialmente foi elaborada e realizada a curva analítica, representada na Figura 10, o processo ocorreu na variação de concentração de óleo 0 a 200 mg/L

em n-hexano. Então realizado a varredura, foi estabelecido um comprimento de onda de 330 nm para ser feita a determinação dos valores de TOG através da curva analítica.

Figura 10 - Curva analítica para determinação do TOG.



Fonte: Autor (2023).

O potencial de remoção do adsorvente foi avaliado através da determinação do Teor de Óleos e Graxas (TOG) dos efluentes oleosos tratados com diferentes massas do carvão ativado. A porcentagem de remoção de óleo (%Remoção) foi dada a partir da seguinte equação Eq.2:

$$\%Remoção = \left(1 - \frac{TOGf}{TOGi}\right) * 100 \quad (\text{Eq.2})$$

Na qual, em que, $TOGi$ é o teor de óleos e graxas da água produzida não tratada (em (mg/L)) e $TOGf$ se refere a concentração final de óleo após o tratamento por adsorção.

4.5. Análise do pH

Para a análise do pH, foi utilizando o pHmetro de bancada. Usando o próprio Erlenmeyer, adiciona o eletrodo combinado em vidro em contato com o fluido sintético para medir o pH. Obtido o resultado quando estabilizado, é registrado e feito a limpeza do equipamento para a leitura dos demais experimentos em sequência.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão foram divididos em duas partes. Na seção 5.1, foram selecionados os resultados obtidos na primeira fase do estudo, relacionados à análise por meio da medição da turbidez. Já na seção 5.2, serão considerados os resultados das análises do teor de óleo e graxa (TOG) por meio da espectrofotometria de absorbância.

5.1. Avaliação do Potencial de Adsorção por Turbidez

Na avaliação do potencial de adsorção, inicialmente avaliou-se a capacidade de remoção de óleo pelos adsorventes por análise da turbidez do efluente oleoso. Os bioadsorventes foram avaliados em sua forma natural, analisando o efeito de duas variáveis (a massa e o tamanho das partículas dos bioadsorvente). Por fim, também foi usada uma amostra de carvão ativado comercial com intuito de fazer uma análise comparativa e de validação de metodologia, tendo em vista que é um material comumente usados na remoção de contaminantes da água. É importante ressaltar que a medição da turbidez inicial do efluente sintético, realizada para todos os experimentos, resultou em uma média de 401 NTU e que todos os ensaios foram realizados em duplicata, apresentando excelente reprodutibilidade com um desvio padrão médio de 2,6%. A Tabela 6 apresenta a configuração dos experimentos realizados na avaliação de turbidez, em que a Turbidez (NTU) é dada pela média das medições T1 (turbidez 1 em NTU) e T2 (turbidez 2 em NTU).

Tabela 6 - Tratamento dos dados na análise de Turbidez.

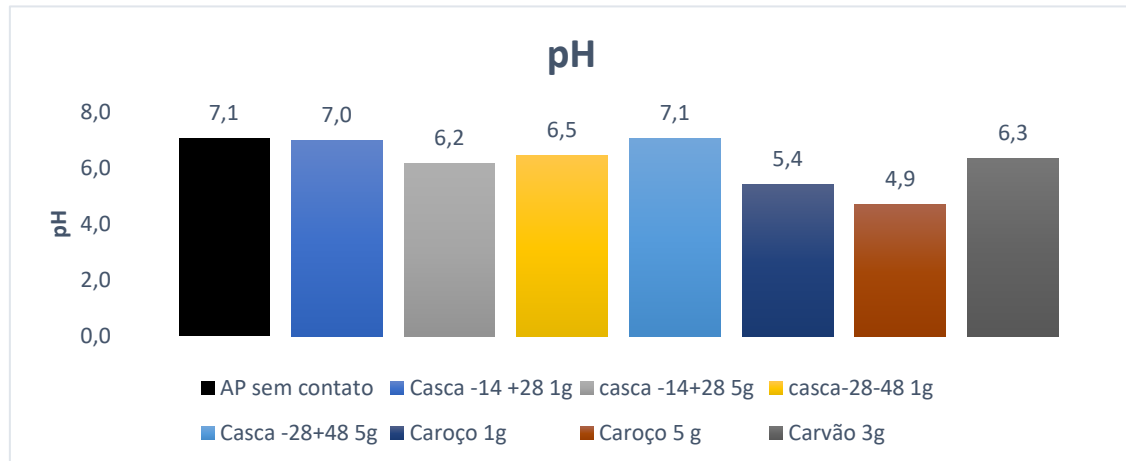
Ensaio	Adsorvente	Massa (g)	T 1	T 2	Turbidez	pH	%Remoção
Casca							
1	-14+28 mesh	1	320	311	315,5	7,0	21,36
2	0,635 - 0,318 mm	5	232	238	235,0	6,2	41,44
Caroço							
3	-28+48 mesh	1	309	320	314,5	6,5	21,65
4	0,318 - 0,234 mm	5	233	241	237,0	7,1	40,94
Carvão							
6		1	318	331	324,5	5,4	19,04
7		5	229	239	234,0	4,9	41,69
8	Carvão	3	72	61	66,5	6,3	83,35
9	AP sem contato	-	401	401	401	7,1	-

Fonte: Autor (2023).

Outro parâmetro analisado foi o pH da emulsão do fluido sintético. Na Figura 11, ambos os bioadsorventes reduziram a turbidez da água e mantiveram o pH dentro dos limites

estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 430, que estabelece que o efluente deve apresentar um pH entre 5 e 9.

Figura 11 - pH dos experimentos com e sem tratamento.



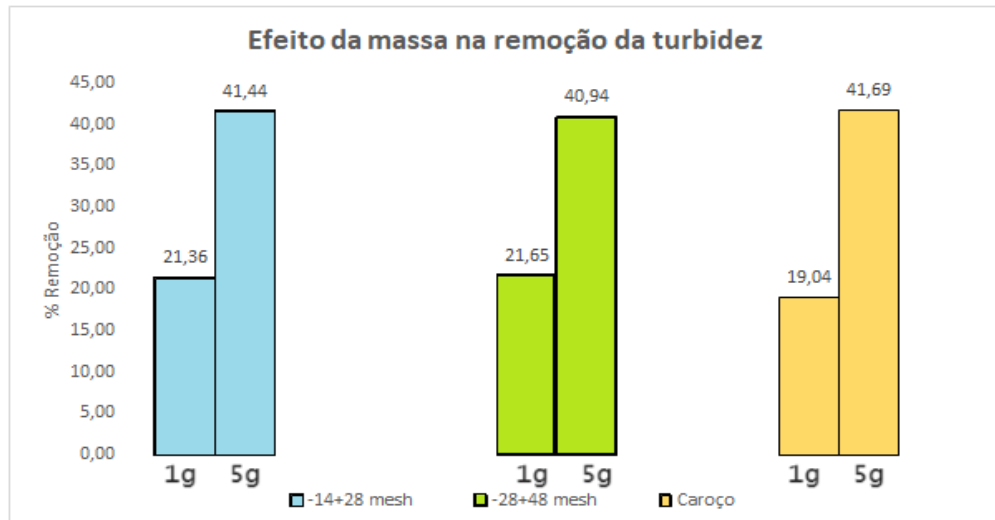
Fonte: Autor (2023).

5.1.1 Efeito da massa dos bioadsorventes

A Tabela 6 apresenta a distribuição dos adsorventes variando a massa de 1 e 5 gramas para a casca (0,635 - 0,318 mm e 0,318 - 0,234 mm) e o caroço. Para 1g de bioadsorventes, foram obtidos percentuais de redução de turbidez entre 19,04 e 21,65%. Por sua vez, quando foi utilizado massa de 5 g do bioadsorvente, notou-se que ocorreu uma maior porcentagem de redução de turbidez, entre 41,44 e 41,69%.

Para uma melhor visualização, a Figura 12 mostra o percentual de remoção de turbidez de acordo com a variação da massa.

Figura 12- Percentual de remoção de turbidez a partir da variação da massa dos bioadsorventes.



Fonte: Autor (2023).

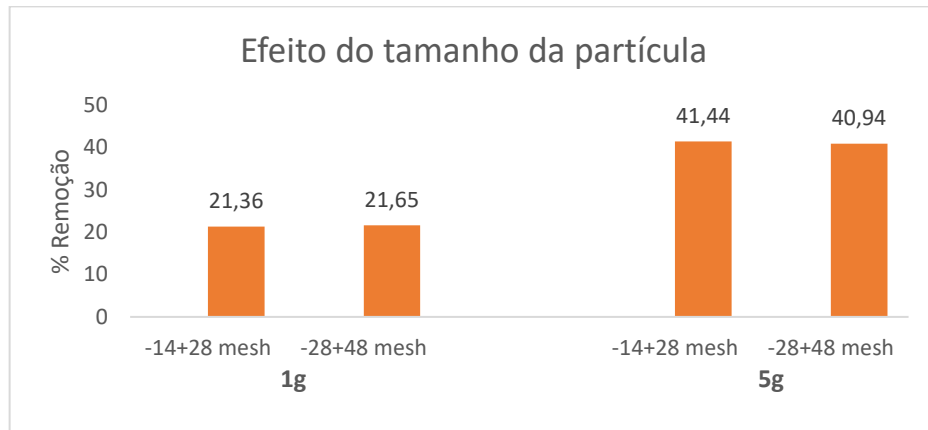
Analisando o efeito da variação da massa dos adsorventes, os resultados obtidos estão de acordo com dados da literatura. Costa et al. (2017), realizaram estudos da remoção de cromo a partir de um efluente aquoso e, perceberam que quanto maior a massa do adsorvente, maior foi a taxa de remoção do elemento estudado.

É possível notar que a casca e o caroço do abacate apresentaram bons resultados na redução de turbidez. Com os testes realizados, observa-se um valor máximo de remoção de 41,69% quando se utiliza 5 g do caroço (Figura 12). Um estudo posterior pode ser realizado a fim de otimizar esse processo de adsorção.

5.1.2. Efeito do tamanho da partícula (faixa granulométrica) dos adsorventes

Para a análise e discussão dos resultados obtidos, foram definidos intervalos de 1 e 5 gramas, com o objetivo de examinar a influência da variação granulométrica em duas faixas específicas (-14+28 e -28+48 mesh), correspondendo a tamanhos de partículas de (0,635 - 0,318 mm) e (0,318 - 0,234 mm), respectivamente. A Figura 13 apresenta duas faixas granulométricas em ambas as condições de massa (1 e 5 gramas).

Figura 13 - Efeito do bioadsorvente (casca) na variação da granulometria.



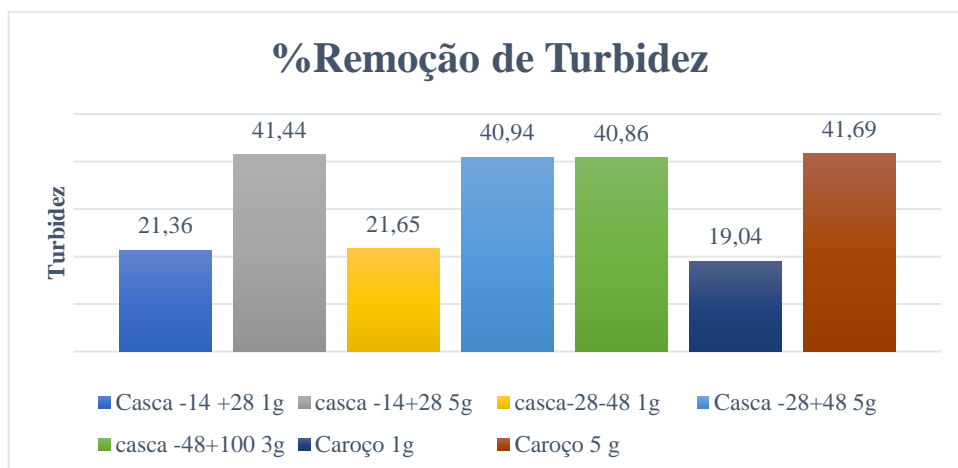
Fonte: Autor (2023).

Ao analisar a Figura 13, observa-se que a granulometria não exerceu nenhuma influência na redução da turbidez do fluido, mostrando percentuais de redução próximos para cada massa, independente da granulometria do material.

5.1.3. Análise geral da redução da turbidez

A Figura 14 apresenta o percentual de remoção dos bioadsorventes. É possível notar que a casca e o caroço do abacate apresentaram remoção de turbidez, sendo o percentual máximo obtido para a casca de 41,44% quando utilizou 5 g e 41,69% quando utilizou 5 g do caroço.

Figura 14 - Percentual de remoção dos bioadsorventes.



Fonte: Autor (2023).

Para efeitos comparativos com outros trabalhos que utilizaram bioadsorventes no tratamento de efluentes, o trabalho de Almeida (2021) avaliou a eficiência da casca de maracujá no tratamento de efluentes oleosos (óleo diesel S500). Os ensaios de adsorção foram realizados

em sistema de banho finito, utilizando 5 g de casca de maracujá em contato com 190 ml de fluido sintético. Os resultados obtidos na redução da turbidez do material *in natura* variaram de 33,8% a 51,5%.

5.2. Avaliação do TOG por Espectrofotometria

Para uma análise mais realística, os bioadsorventes foram avaliados na remoção de óleo da água através de espectrofotometria do UV-Vis. Inicialmente, foi investigado o percentual de remoção de óleo usando o carvão ativado comercial como adsorvente. Avaliou-se a remoção em função da massa do adsorvente. Os resultados da água produzida sintética tratada e não tratada estão mostrados na Tabela 7. Para cada massa de carvão, foram calculados a concentração final de óleo remanescente na água (TOG) e o percentual de remoção (%).

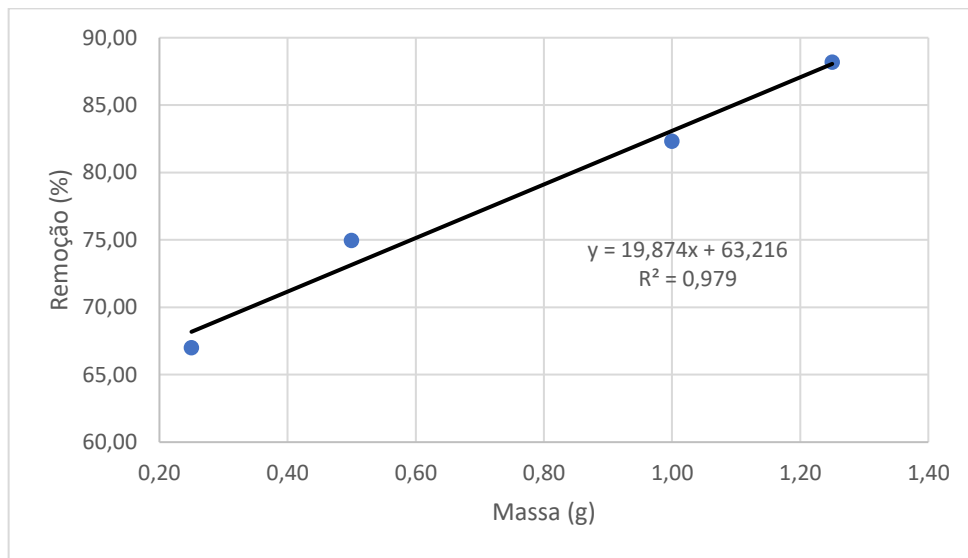
Tabela 7 - Resultados da remoção de óleo com uso de carvão ativado (TOG).

Massa (g)	Concentração (mg/L)	Absorbância	Remoção (%)
Branco	77,329	0,585	-
0,25	25,511	0,482	67,01
0,50	19,353	0,365	74,97
1,00	13,668	0,257	82,32
1,25	9,142	0,171	88,18

Fonte: Autor (2023).

O fluido preparado apresentou concentração de 77,33 mg/L de óleo e graxas, valor característico da água produzida não tratada. Após o tratamento por adsorção foi possível observar remoção de óleo significativa para todas as massas de carvão ativado investigadas. Usando massa de 1,25 g do carvão ativado, observa-se que a concentração foi reduzida para 9,14 mg/L, representando uma remoção de 88,18% em relação à concentração inicial. É importante mencionar que essa concentração final está em conformidade com o parâmetro do TOG estabelecido pela Resolução CONAMA 430/2011 para o descarte de efluentes. Para uma análise mais detalhada, a Figura 15 mostra o percentual de remoção em função da massa de carvão ativado. Note que quanto maior a massa, maior é a remoção de óleo e que o comportamento é linear.

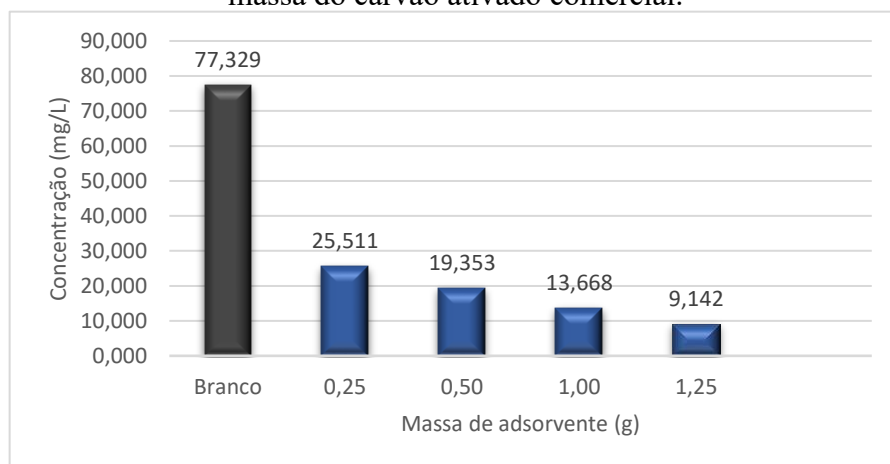
Figura 155 - Percentual de remoção de óleo em função da massa de carvão.



Fonte: Autor (2023).

Por sua vez, a Figura 16 exibe a concentração de óleo na água antes e após o contato com o material adsorvente. Ao empregar 0,25 g de carvão ativado, a concentração final de óleo e graxas é de 25,51 mg/L. Portanto, é necessário realizar tratamento adicional ou aumentar a quantidade de adsorvente para viabilizar o descarte do efluente. Ao utilizar massa de 0,5 g já se alcança uma água que atende aos padrões convencionais para descarte em campo terrestre (TOG < 20 mg/L).

Figura 166 - TOG antes e após o tratamento do efluente sintético por adsorção em função da massa do carvão ativado comercial.



Fonte: Autor (2023).

A metodologia aplicada para avaliação do TOG por espectrofotometria de absorvância UV-Vis foi desenvolvida tanto para o carvão ativado quanto para os resíduos do abacate. Toda

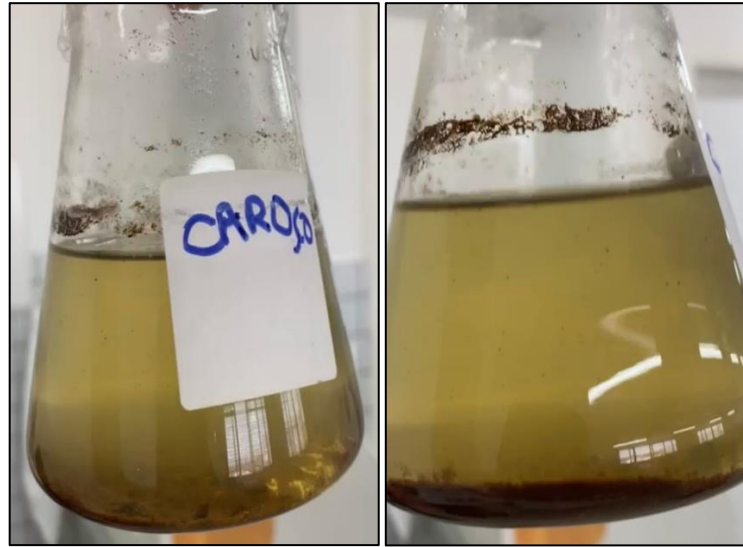
via, não foi possível obter resultados satisfatórios para a casca e o caroço do abacate, pois se mantinham resíduos que impedia a leitura no equipamento. Uma possível causa é que, mesmo após uma série de lavagens dos bioadsorventes, estes ainda liberavam uma coloração avermelhada em solução. Além disso, o hexano em contato com o material orgânico, pode influenciar na extração de maneira a prejudicar na confiabilidade na leitura do espectrofotômetro UV-Vis. As Figuras 17 e Figuras 18 mostram a água produzida sintética tratada pela casca e caroço do abacate, respectivamente. Nota-se a elevada turbidez da emulsão, provavelmente devido à extração de componentes orgânicos pelo hexano, o que interferiu na estimativa da TOG remanescente após o tratamento.

Figura 177 - Interferência analítica prejudicada devido à presença de resíduo da casca de abacate.



Fonte: Autor (2023).

Figura 188 - Interferência analítica prejudicada devido à presença de resíduo do caroço do abacate.



Fonte: Autor (2023).

Essa situação se assemelha ao trabalho do Araújo (2017), na qual o estudo realizado envolvia a metodologia de análise da quantificação do teor de óleos e graxas semelhante ao realizado nesse experimento e, os resultados não foram satisfatórios com o uso do bagaço da cana-de-açúcar.

De modo similar ao reportado neste estudo, Araújo (2017) relatou que houve interferência na leitura no espectrofotômetro UV-Vis em virtude que os componentes orgânicos do bagaço também foram extraídos pelo clorofórmio, que foi o solvente usado no trabalho citado. Contudo, ao usar uma amostra de carvão ativado comercial como adsorvente, não foi constatado problemas na leitura de absorvância, conforme também se observou na metodologia empregada neste estudo usando hexano como solvente.

Portanto, é necessário ressaltar a necessidade de explorar adaptações metodológicas ou a incorporação de ferramentas para garantir as quantificações do teor de óleos e graxas em pesquisas futuras com materiais bioadsorventes in natura.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada análise de adsorção do óleo de fluidos sintéticos por resíduos do abacate (a casca e o caroço), como adsorventes alternativos. Ademais, investigou-se a influência dos tamanhos das partículas (a granulometria), assim como, a massa dos bioadsorventes em contato com o fluido. Foi ainda feito um estudo comparativo com o carvão ativado comercial, a fim de validar metodologia. Por fim, foram realizadas análises de turbidez do fluido e a quantificação do teor de óleo e graxa (TOG) por espectrofotometria UV-Vis, antes e após o tratamento.

Os resultados afirmam que os resíduos do abacate tanto a casca quanto os caroços apresentam um potencial razoável de redução de turbidez, o que pode estar relacionado a redução do teor de óleos e graxas através da adsorção. O uso de 5 gramas do resíduo do caroço do abacate foi o que apresentou o maior percentual de redução de turbidez (41,69%). Mas em termos gerais, os materiais (casca e o caroço) apresentaram essa faixa percentual de redução de turbidez.

As análises referentes as variações de condições como, tamanho de partícula e massa do adsorvente, mostram que a massa influencia no potencial de remoção do óleo, ou seja, a medida em que se aumenta a quantidade de adsorvente, observe-se que há um aumento no percentual de redução da turbidez. No entanto, o mesmo efeito não aconteceu na avaliação da variação granulométrica, uma vez que, os experimentos não apresentaram influência sobre a remoção do óleo, sendo os percentuais similares e iguais a 41,44% e 40,94% para as faixas de (-14+28) e (-28+48) mesh, respectivamente.

O carvão comercial apresentou uma alta eficiência da redução da turbidez com uma maior porcentagem (83,35%), em comparação com os bioadsorvente (o caroço), que apresentou uma maior remoção de 41,69% em seu estado natural.

A metodologia de análise empregada na determinação do teor de óleos e graxas (TOG) por espectrofotometria não foi satisfatória nos experimentos em que se utilizou os resíduos do abacate. Considerando que, mesmo após múltiplas lavagens, o material continuava a liberar componentes em solução, o que conseqüentemente interferia na confiabilidade da leitura do espectrofotômetro UV-Vis, devido, provavelmente, à extração desses componentes orgânicos pelo n-hexano. Ficando como proposta, o uso da técnica de filtragem antes da análise no espectrofotômetro, para analisar possíveis melhorias no resultado. Os resultados referentes ao carvão ativado comercial foram representativos e não exibiram quaisquer interferências nas leituras de absorbância. Observou-se que quanto maior a massa do carvão ativado utilizado, maior o percentual de remoção. Para a massa de 0,5 de amostra, o TOG final foi de 19,35 mg/L,

valor inferior máximo ao limite permitido para descarte de água produzida em campos terrestres (< 20 mg/L). Referente ao que foi mencionado, fica a consideração do uso da casca e caroço do abacate para futuras pesquisas e avaliações no âmbito da remoção de óleo em meio aquoso. Com o uso de outras ferramentas analíticas para a quantificação do teor de óleos e graxa

Com base nas ocorrências apresentadas e resultados obtidos é possível inferir que os resíduos do abacate (casca e caroço) podem apresentar um potencial como adsorvente alternativo para o tratamento de efluentes oleosos. No entanto, se faz necessário realizar outros estudos sobre outras condições, tais como a variação de temperatura, investigar o efeito da hidrofobização dos bioadsorventes, período de contato, análise da estrutura do bioadsorvente após o tratamento, diferentes técnicas de pré-tratamentos, uso de outras técnicas analíticas na medição da remoção e a aplicação de diferentes bioadsorventes originados da agroindústria.

Sendo esses novos resultados obtidos de forma positiva, o resíduo do abacate torna-se um adsorvente em potencial e os impactos gerados pelo seu descarte indiscriminado acaba sendo sanado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, L. B. D. Utilização do pó de serragem no tratamento de efluentes oriundos de campos de petróleo. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade federal rural do semi-árido. 2021.
- ALMEIDA C.S., DIÓGENES AVG, MAIA M.M. M, FERREIRA D.A.C, SILVA F.W.M., SANTOS Z.M. DELGADO R.C.O.B., Estudo da eficiência da casca de maracujá na remoção de turbidez de efluente oleoso. Cap. 1, p. 1-8, Coleção desafios das engenharias: engenharia química 2. Ponta Grossa-PR: Editora Atena, 2021.
- ARAGÃO, M. G. B.. Adsorventes sintetizados a partir da biomassa Moringaoleifera lam utilizado no tratamento de água produzida de petróleo. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.
- ARAÚJO, D. A.; GARNICA, A. I. C.; CURBELO, F. D. S.; BRAGA, R. M.. Remoção do óleo da água produzida utilizando o carvão ativado comercial. HOLOS (NATAL. ONLINE), 2018.
- ARAÚJO, D. A. Remoção de óleo da água produzida por adsorção: estudo de adsorventes, comparação entre processos e proposição de aumento de escala. Mestrado em engenharia química. João pessoa- PB. abril, 2017
- ARPEL. Disposal and treatment of produced water. n. 91, 2005.
- AL-GHOUTI, M. A., AL-KAABI, M. A., ASHFAQ, M. Y., & DA'NA, D. A. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. Journal of Water Process Engineering, v. 28, p. 222-239, 2019.
- BARBOSA, A. F. F.; FREIRE, F. I. C.; MOTA, A. L. N.; GOMES, K. K. P.; DELGADO, R. C. O. B. Uso de planejamento experimental na otimização das variáveis do processo de adsorção com turfa para remoção da turbidez de efluente oleoso. Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – CONEPETRO, III, Anais eletrônicos... Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: Acesso em: 25 jan. 2023.
- BARCZA, M.V. Petróleo. Apostila da Disciplina de Processos Químicos Industriais. Lorena, Escola de Engenharia de Lorena, 2012.
- BEZERRA, A.G. Estudo da tecnologia de filtração por osmose reversa na purificação da água. Monografia (graduação) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Curso de ciência e tecnologia, 2018. 58 f.
- BHATNAGAR, A.; HOGGLAND, W.; MARQUES, M.; SILLANPÄÄ, M. An Overview of the Modification Methods of Activated Carbon for Its Water Treatment Applications. Chemical Engineering Journal, v. 219, p. 499–511, 2013.

- BORGES, B. B. G. Tratamento da água produzida do petróleo para injeção em mananciais. Natal, 2017.
- BOLIGON, J. Produção e caracterização de carvão ativado a partir da borra de café solúvel. Dissertação de Mestrado. UTFPR, 2015.
- BRASIL, N. Í., ARAÚJO, M. A., SOUSA, E. C. Processamento de Petróleo e Gás. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- BRITO, E. Avaliação do teor de óleo e graxas sob a perspectiva da resolução conama nº 393/207 para o descarte de água produzida em plataformas de petróleo na costa do Espírito Santo. 2015, 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Campo) - Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- CASTELLAN, G. W. Adsorção sobre sólidos: in fenômenos de superfície. 3 a ed. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1978.
- CARMO, S. do; ALVES NETO, T. L.; OLIVEIRA, G. N.; CASTRO, V. D. de; FIGUEIREDO, K. C. de S. Tratamento de água produzida de petróleo utilizando microfiltração. E-Xacta, v. 10, n. 2, p. 95-106, 2017.
- CARVALHO, P. C. de A. P. de. Tratamento combinado da água produzida de petróleo: filtração, adsorção e foto-Fenton. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- CAVACO, P. C., DE BARROS, A. B. Gestão de efluentes e recursos hídricos em campos de produção de petróleo terrestres. In: II SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO ETECNOLOGIA - SEGeT. 2005, p.576 – 588.
- COSTA, D. A.; MENDONÇA, R. H.; WYSARD JUNIOR, M. M. Avaliação da remoção de cromo (III) por materiais compósitos porosos adsorventes de PE-g-MA, fibra de coco e quitosana, usando planejamento experimental. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 6, p. 1203-1213, 2017.
- CRINI, G.; LICHTFOUSE, E.; WILSON, L. D.; MORIN-CRINI, N. Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. Environmental Chemistry Letters, v. 17, n. 1, p. 195-213. Springer Science and Business Media LLC. 2018.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama> >. Acesso em: 16 jun. 2023.
- CONAMA. Resolução n 357, 18 de março de 2005.
- CONAMA. Resolução n 393, 8 de agosto de 2007.
- CONAMA. Resolução n 430, 13 de maio de 2011.

- COUTINHO, N. A. F. S. Otimização do Processo de Flotação do Minério Fosfático Silicocarbonatado de Araxá-MG. Minas Gerais, 2016.
- CRINI, G.; LICHTFOUSE, E.; WILSON, L. D.; MORIN-CRINI, N. Conventional and nonconventional adsorbents for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, v. 17, n. 1, p. 195-213, 2018.
- CUEVAS, L. A. Adsorção de corantes em turfa de origem Magalhânica. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 2011.
- CUNHA, G. S.; DUTRA, A. J. B. Avaliação da eletroflotação no tratamento de água produzida de petróleo. *HOLOS*, v. 3, p. 212-219, 2014.
- CURBELO, F. D. da S. Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.
- DABROWSKI, A. Adsorption: From Theory to Practice. *Advances in colloid and interface science*, v. 93, n. 1–3, p. 135–224, 2001.
- DAI, Y. et al. Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review *Chemosphere*, 2018.
- DIVBAND HAFSHEJANI, L.; HOOSHMAND, A.; NASERI, A. A.; MOHAMMADI, A. S.; ABBASI, F.; BHATNAGAR, A. Removal of nitrate from aqueous solution by modified sugarcane bagasse biochar. *Ecological Engineering*, 2016.
- DONADIO, L. C. Abacate para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: DENACOOP, 1995. 53 p. (Série de publicações técnicas da FRUPEX).
- DOMINGOS, I. S.; FREIRE, F. I. da C.; DELGADO, R. C. de O. B.; MOTA, A. L. N.; BARBOSA, A. F.; CUNHA, J. D. da; SANTIAGO, R. C. Análise da eficiência da diatomita no tratamento de fluido sintético oleoso, visando aplicação em água produzida em campos de petróleo. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 89329-89339, 2020.
- EIA - Energy Information Administration. Annual Energy Review 2000. DOE/EIA0384(00), Washington, 2001. Disponível em <www.eia.doe.gov>.
- FARAH, M. A.; ARAÚJO, M. A. S.; *Petróleo e seus Derivados*. 1 ed. Rio de Janeiro, Editora Livros Técnicos e Científicos, 2012.
- FERREIRA, B. H. Estudo dos processos de tratamento de água produzida de petróleo. Trabalho Final de Curso. UFRN, 2016.

- FILHO, C. J. S.; MOTA, D. L. F.; SEOLATTO, A. A. Estudo do processo de adsorção de chumbo, cádmio e cromo em casca de pequi por meio de isotermas. In: 63^a Reunião Anual da SBPC, 2011, Goiânia. Anais/Resumos da 62^a Reunião Anual da SBPC, 2011.
- FREUDENRICH, C. C. How Oil Refining Works. HowStuffWorks Inc, Atlanta, 2001. Disponível em <http://www.howstuffworks.com/environmental/energy/oilrefining.htm>.
- GEISSMAN, T.A., DITTMAR, H.F.K., *Phytochemistry*, 4, (1965), 359.
- GABARDO, I. T. Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. Tese de Doutorado. UFRN, 2007.
- GURGEL, L. V. A. Mercerização e modificação química de celulose e bagaço de cana-de-açúcar com anidrido succínico e trietanolamina: Preparação de novos materiais quelantes para a adsorção de Pb (II), Cd (II), Cr (VI) e Cu (II). 2007. 2003 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- IBGE, Produção Agrícola Municipal 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- IGUNNU, Ebenezer T.; CHEN, George Z. Produced water treatment technologies. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 9, n. 3, p. 157-177, 2014.
- INYANG, M. GAO, B.; YAO, Y.; XUE, Y.; ZIMMERMAN, A.; PULLAMMANAPPALLIL, P.; CAO, X.. Removal of heavy metals from aqueous solution by biochars derived from anaerobically digested biomass. *Bioresource Technology*. v.110, n.1, p.50-56, abr. 2012.
- KALICHEVSKY, V. A. e KOBE, K. A. *Petroleum Refining with Chemicals*. New York, cap. 5, pág. 184-222, 1958.
- KOLLER, O. C. *Abacaticultura*. Porto Alegre: UFRGS, 1984.138p.
- LIMA, V. A. B. Estudo do tratamento de água produzida visando a irrigação de plantas oleaginosas para uso na produção de biodiesel. Natal, 2017.
- LOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production-a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 11, pg. 1966 – 2005, 2007.
- MA, H.; YANG, J.; GAO, X.; LIU, Z.; LIU, X.; XU, Z. Removal of chromium (VI) from water by porous carbon derived from corn straw: Influencing factors, regeneration and mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, 2019.
- MARANCA, G. *Fruticultura comercial Manga e Abacate*. São Paulo: Nobel, 1980. p 81-133.
- MENEZES, C. T., BARROS, E. C., RUFINO, R. D., LUNA, J. M., & SARUBBO, L. A. Replacing synthetic with microbial surfactants as collectors in the treatment of aqueous effluent produced by acid mine drainage, using the dissolved air flotation technique. *Applied biochemistry and biotechnology*, v. 163, n. 4, p. 540-546, 2011.

- MIORANZA, D. T. Remoção de gasolina sintética de corpos hídricos utilizando carvão ativado como adsorvente. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.
- MONTANHER, S. F.; OLIVEIRA E. A.; ROLLEMBERG, M. C. Utilization of agroresidues in the metal ions removal from aqueous solution. *Harzadous Materials and Wastewater: Treatment, Removal and Analysis*, Nova Science Publishers, p. 51-78, 2007.
- MORAES, N.A. Estudo da hidrodinâmica de um novo separador líquido-líquido: aplicação ao sistema óleo bruto/água produzida. 2005. 107f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal- RN.
- MOREIRA, S. A.; SOUSA, F. W.; OLIVEIRA, A. G.; NASCIMENTO, R. F.; BRITO, E. S. DE. Remoção de metais de solução aquosa usando bagaço de caju. *Química Nova*, 2009.
- MOTTA, A. R. P. D., BORGES, C. P., KIPERSTOK, A., ESQUERRE, K. P., ARAUJO, P. M., & BRANCO, L. D. P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2013.
- NAMASIVAYAM, C.; KAVITHA, D. Removal of Congo Red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith, an agricultural solid waste. *Dyes and Pigments*, 2002.
- NEIVA, J. Conheça o Petróleo / Prefácio de Ozires Silva. 5ª ed., Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1986.
- NONATO, T. C. M. et al. Produced water from oil-A review of the main treatment technologies. *J. Environ. Toxicol*, v. 2, p. 23-27, 2018.
- NUNES, J. M. Tratamento de água de produção de petróleo visando o aproveitamento na obtenção de baunilhas. UFNR, 2015.
- OKIEL, K., EL-SAYED, M., & EL-KADY, M. Y. (2011). Treatment of oil–water emulsions by adsorption onto activated carbon, bentonite and deposited carbon. *Egyptian Journal of Petroleum*, 20(2), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2011.06.002>
- OLIVEIRA, L. H., SCHERER FILHO, J. A., De SOUZA, U. A. A., & GUELLI, S. M. A. (2014). Aplicação De Carvão Ativado No Tratamento Da Água Produzida Sintética Na Indústria Petroquímica. *Anais do COBEQ 2014*.
- OLIVEIRA, F. F.; MOURA, K. O.; COSTA, L. S.; VIDAL, C.B.; LOIOLA, A.R.; NASCIMENTO, R.F. Reactive Adsorption of Parabens on Synthesized Micro- and Mesoporous Silica from Coal Fly Ash: pH Effect on the Modification Process. *ACS Omega*, Fortaleza, v. 5, n.7, 2020, p. 3346-3357, 2020.3

OLIVEIRA, J. D.J Desenvolvimento de bioadsorventes a partir da casca da munguba para adsorção de metais. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2020.

OLIVEIRA, J. F., GONZALEZ, G., OLIVEIRA, R. C. G.; Interfacial studies on dissolved gas flotation of oil droplets for water purification, *Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 154, p. 127-135, 1999.

OLIVEIRA, K. F. S. de. Bioadsorvente derivado do carvão da casca da castanha de caju para remoção de contaminantes em água produzida. 2021. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais., Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/33206/1/Bioadsorventederivadocarvao_Oliveira_2021.pdf. Acesso em: 21 jun. 2023.

OLIVEIRA, L. H. de. Tratamento de água produzida contaminada com óleo diesel utilizando adsorventes funcionalizados. 2015. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 205. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/159438>. Acesso em: 14 set. 2023.

OLIVEIRA, R. C. G. de; OLIVEIRA, M. C. K. de. Removal of the Toxic Contaminants of the Liquid Effluents Derived From the Activity of Oil Production in the Sea. *Boletim Técnico - Petrobrás*. 2013.

OLIVEIRA, T. A. de. Remoção de Cromo VI em Efluentes Sintéticos Utilizando Borra de Café como Adsorvente / Tatyana Alexandre de Oliveira. - João Pessoa, 2018. 29 f.

PEREIRA, P. A. Evolução da produção mundial e nacional de abacate 2015. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) -Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

PEREIRA, D. F.; ARAÚJO, N. A.; SANTOS, T. M.; SANTANA, C. R.; SILVA, G. F. da. Aproveitamento da torta da Moringa oleifera Lam para tratamento de água produzida. *Exacta*, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 323–332, 2011. DOI: 10.5585/exacta.v9i3.3065. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/3065>. Acesso em: 19 set. 2023.

PETROBRAS (2023). Ambiental Água e Efluentes. Disponível em:< <https://sustentabilidade.petrobras.com.br/w/2022-agua-e-efluentes#:~:text=Em%202022%2C%20n%C3%B3s%20descartamos%20cerca,%25%20do%20volume%20disposto%2C%20respectivamente.>>. Acesso em: 12 de setembro de 2023

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA – Normas de Classificação –São Paulo: PBMH, 2015.

RAY, J. P.; ENGELHARDT, F. R. Produced water: technological environmental issues and solutions. Nova Iorque: Plenum Press, 1992.

RIBEIRO, Y. L. L.; PIMENTA, M. F. LEITE, B. H. G.; GOUVEIA, A. M. Abacate: Condução do plantio à colheita. Campos & Negócios, Online, 2020.

ROCHA, B. da S. Avaliação de metodologia combinada com uso de tensoativos e polieletrólitos para tratamento de água produzida. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018.

ROY, G. M. Activated carbon applications in the food and Pharmaceutical industries. Technomic Publishing Company, Inc. Basel, Switzerland, 1995.

RUTHVEN, D. M. Principles of Adsorption and Adsorption Processes, New York: John Wiley & Sons, 1984.

SAFA, Y. Utilization of mustard and linseed oil cakes: novel biosorbents for removal of acid dyes. Desalination and Water Treatment, 2016.

SANTIAGO, R. C. Rejeito de xisto como adsorvente para remoção de fenol em águas produzidas na indústria de petróleo. Dissertação de Mestrado. UFRN, 2009.

SANTANA, C. R. Tratamento de água produzida através do processo de flotação utilizando a Moringa Oleífera Lam como coagulante natural. Dissertação de Mestrado. Brasil. 2009.

SANTACESARIA, E.; SÉRIO M. D.; TESSER, R. Main technologies in biodiesel production: State of the art and future challenges. Catalysis today, v. 195, n. 1, p. 2-13, 2012.

SCHMAL, M. Catálise Heterogênea, Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

SCHWANKE, R. O. Determinação da difusividade de hidrocarbonetos aromáticos em zeólitas Y por métodos cromatográficos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química - Programa de PósGraduação em Engenharia Química - PPGEQ. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC: p. 115, 2003.

SCHWANTES, D.; GONÇALVES, A. C.; CAMPAGNOLO, M. A.; TARLEY, C. R. T.; DRAGUNSKI, D. C.; VARENNES, A. DE; SANTOS SILVA, A. K. DOS; CONRADI, E. Chemical modifications on pinus bark for adsorption of toxic metals. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018.

SHARMA, R.; SINGH, B. Removal of Ni (II) ions from aqueous solutions using modified rice straw in a fixed bed column. Bioresource Technology, 2013.

SILVA, D. C. da. Flocculação iônica e extração líquido-líquido utilizando tensoativos e sistemas microemulsionados para remoção de óleo de água produzida. 2021. 177 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/32480>. Acesso em: 18 set. 2023.

SILVA, P. K. L. D. Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativos de origem vegetal. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2008.

SILVA, S. S. da. Integração dos processos de flotação e foto-fenton para redução de óleos e graxas de água produzida em campos de petróleo. 2013. 140 f. Tese (Doutorado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SPAGNOLI, A. A.; GIANNAKOUDAKIS, D. A.; BASHKOVA, S. Adsorption of methylene blue on cashew nut shell based carbons activated with zinc chloride: The role of surface and structural parameters. *Journal of Molecular Liquids*, 2017.

STEWART, Maurice; ARNOLD, Ken. *Produced water treatment field manual*. Gulf Professional Publishing, 2011.

TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. *Revista Brasileira Fruticultura*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, abr. 2004.

TAMBOSI, J. L. Remoção de fármacos e avaliação de seus produtos de degradação através de tecnologias avançadas de tratamento. 2008. 141 f. Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

TESTA, S. M.; WINEGARDNER, D. L. *Restoration of Contaminated Aquifer: Petroleum Hydrocarbons and Organic Compounds*. Lewis Publishers, Chelsea, 2000.

TEIXEIRA, C. G.; BLEINROTH, E. W.; CASTRO, J. V.; MARTIN, Z. J.; TANGO, J. S.; TURATTI, J. M.; GARCIA, A. E. B. ABACATE: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos. 2ª. ed. Série Frutas Tropicais nº 8, ITAL, Campinas, 1992. 250p.

THOMAS, J.E. (Org). *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. USGS. Mineral commodity summaries. U. S. Geological Survey (USGS), 2017.

THOMAS, J. E., TRIGGIA, A. A., CORREIA, C. A., VEROTTO FILHO, C., XAVIER, J., & MACHADO, J. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. ed. Interciência: Petrobrás, Rio de Janeiro, Brasil. (2004).

- VEPSÄLÄINEN, Mikko; SILLANPÄÄ, Mika. Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters. In: Advanced water treatment. Elsevier, 2020. p. 1-78.
- WITEK-KROWIAK, A. Analysis of temperature-dependent biosorption of Cu²⁺ ions on sunflower hulls: Kinetics, equilibrium and mechanism of the process. Chemical Engineering Journal, 2012.
- XI, Z.; CHEN, B. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from aqueous solution by raw and modified plant residue materials as biosorbents. Journal of Environmental Sciences (China), 2014.
- YAASHIKAA, P. R. et al. A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. Biotechnology Reports, v. 28, p. e00570, 2020.
- YANG, J.; WEI, W.; PI, S.; MA, F.; LI, A.; WU, D.; XING, J. Competitive adsorption of heavy metals by extracellular polymeric substances extracted from *Klebsiella* sp. J1. Bioresource Technol. 12 de agosto de 2015.