

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL

CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA DE PETRÓLEO – EPET

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SORÇÃO DA CASCA DA *CEIBA*
PENTANDRA EM SISTEMAS OLEOSOS**

BRUNNA VIRNA LUSTOSA ALENCAR E SILVA

MACEIÓ/AL

2021

BRUNNA VIRNA LUSTOSA ALENCAR E SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SORÇÃO DA CASCA DA *CEIBA*
PENTANDRA EM SISTEMAS OLEOSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de Engenheira de Petróleo.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mendonça Tenório de Magalhães Oliveira.

MACEIÓ/AL

2021

Catlogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

- S586a Silva, Brunna Virna Lustosa Alencar e.
Avaliação do desempenho de sorção da casca da *Ceiba pentandra* em sistemas oleosos / Brunna Virna Lustosa Alencar e Silva. – Maceió, 2021. 46 f. : il.
- Orientador: Leonardo Mendonça Tenório de Magalhães Oliveira.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2021.
- Bibliografia: f. 43-46.
1. Adsorção - Baixo custo. 2. *Ceiba pentandra* - Cascas (Planta). 3. Corpos hídricos - Remediação. I. Título.

CDU: 665.6



Universidade Federal de Alagoas

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNNA VIRNA LUSTOSA ALENCAR E SILVA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SORÇÃO DA CASCA DA *CEIBA PENTANDRA* EM SISTEMAS OLEOSOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira de Petróleo.

Aprovado em 18 de fevereiro 2020.

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente

 Leonardo Mendonça Tenorio de Magalhaes Oliv
Data: 20/12/2021 22:07:17-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.º Dr. Leonardo Mendonça Tenório de Magalhães Oliveira

Documento assinado digitalmente

 Lucas Meili
Data: 21/12/2021 20:02:03-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof ° Dr. Lucas Meili

Documento assinado digitalmente

 Jose Leandro da Silva Duarte
Data: 21/12/2021 12:08:55-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof ° Dr. José Leandro da Silva Duarte

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e à Nossa Senhora, por guiarem meus passos e me conduzirem ao caminho do bem.

Aos meus pais, por serem o céu dos meus voos e não medirem esforços para a realização dos meus sonhos, principalmente a Clelinha pelo amor incondicional e por toda abdicação, ao meu irmão, avós, tios e primos.

Aos amigos que fiz durante esse percurso, que me acolheram e se tornaram família, pois em nenhum momento me senti só, por todo amor, afeto, parceria e compreensão.

Ao professor Leonardo que não pensou duas vezes em aceitar a me orientar, por todo direcionamento feito de forma excepcional e por toda paciência.

A todos do Laboratório de Processos (LAPRO), pelo acolhimento e riso constante, vocês aliviaram todo peso desse último período.

A Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e ao Centro de Tecnologia (CTEC) por toda estrutura e equipamentos adequados para a realização das atividades.

A todos os professores que contribuíram para o meu aprendizado e crescimento profissional.

Obrigada, de todo o meu coração.

Aos meus pais, dedico não só este trabalho, mas também todos os meus projetos e ideais de vida.

RESUMO

Os derramamentos de petróleo e derivados causam danos irreversíveis para qualquer ambiente seja ele aquático ou terrestre, e também para flora e para fauna. O petróleo é um combustível fóssil, inflamável, cuja densidade é inferior a da água e que pode trazer consequência a curto e longo prazo para os ecossistemas. Em relação a essa problemática, vários estudos vêm sendo desenvolvidos objetivando a mitigação dos danos, buscando cada vez mais a utilização de métodos de remediação que sejam eficientes e que possuam baixo custo. Os materiais sorventes são uma alternativa interessante e estão despertando o interesse de pesquisadores por atender a essa prerrogativa. Este trabalho tem como foco o uso da casca da paineira que é pouco estudada para esse fim, mas que apresenta potencial para ser utilizada como material sorvente. Foram realizados testes para avaliar a capacidade sorptiva do material, a cinética (velocidade de retenção), a influência de outros tipos de óleo e a identificação dos principais grupos funcionais através da Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, FTIR. O material utilizado apresentou uma capacidade de sorção muito boa se comparado a outros materiais, como a casca de arroz, já os resultados das análises do FTIR demonstraram a presença de alguns grupamentos funcionais tais como, -OH -CH₂, C=C, -C-O-C que influem na capacidade de sorção do material.

Palavras-chave: Adsorvente de baixo custo. Casca da Ceiba pentandra. Remediação de corpos hídrico.

ABSTRACT

Oil and by-product spills cause irreversible damage to any environment, whether aquatic or terrestrial, and also to flora and fauna. Oil is a fossil fuel, flammable, whose density is lower than that of water and which can have short and long term consequences for ecosystems. In relation to this problem, several studies have been developed aiming at the mitigation of damages, seeking more and more the use of remediation methods that are efficient and that have low cost. The sorbent materials are an interesting alternative and are arousing the interest of researchers to fulfill this prerogative. This work focuses on the use of paineira bark, which is little studied for this purpose, but which has the potential to be used as a sorbent material. Tests were carried out to evaluate the sorption capacity of the material, the kinetics (retention rate), the influence of other types of oil and the identification of the main functional groups through Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR. The material used showed a very good sorption capacity when compared to other materials, such as rice husk, as the results of the FTIR analysis showed the presence of some functional groups such as, -OH -CH₂, C=C, -COC that influence the sorption capacity of the material.

Keywords: Sorbents. Bark of *Ceiba pentandra*. remediation of water bodies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Intemperização do óleo no mal.....	14
Figura 2-Técnicas remediadoras utilizadas em derrames de óleo utilizada.....	22
Figura 3- Processos de adsorção e absorção, definição de sorvente, sorvato e soluto	23
Figura 4- Paineira (Ceiba pentandra (L.) Gaertn) Parnamirim-PE.....	26
Figura 5- Fruto da paineira	27
Figura 6- Mapa de localização.....	30
Figura 7- Cascas padronizadas em tamanhos reduzidos e grosserios.....	31
Figura 8- Passo a passo da metodologia utilizada nos testes.....	32
Figura 9- Suporte utilizado nos testes.....	33
Figura 10- Tempo de gotejamento ótimo para o diesel	34
Figura 11- Tempo de gotejamento ótimo para o óleo lubrificante	34
Figura 12- Sorção em óleo diesel.....	37
Figura 13- Sorção em óleo lubrificante	37
Figura 14- Análise dos grupos funcionais da parte interna	38
Figura 15- Análise dos grupos funcionais da parte externa.....	39
Figura 16- Estrutura morfológica das cascas de paina.....	40
Figura 17- Barreiras de contenção desenvolvidas	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo
API	American Petroleum Institute
APROMAC	Associação de Proteção ao Meio Ambiente de Cianorte
ASTM	American Society for Testing and Materials
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paul
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
IPIECA	International Association for Environmental Conservation of the Oil
ITOPF	International Tanker Owners Pollution Federation
NOAN	National Oceanic and Atmospheric Administration
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
OLM	Óleo Lubrificante Mineral
OLUC	Óleo Lubrificante Usado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Comentários Iniciais.....	10
2. OBJETIVO.....	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 Petróleo.....	12
3.2 Derivados do Petróleo	12
3.2.1 Óleo Lubrificante.....	13
3.2.2 Óleo Diesel	13
3.3 Comportamento do Óleo em Ambiente Aquático	14
3.3.1 Ação do Intemperismo.....	14
3.4 Remediação	16
3.4.1 Áreas Contaminadas	17
3.4.2 Metodologias que precedem a Remediação	17
3.4.3 Tecnologias Utilizadas na Remediação de Derramamentos.....	18
3.5 Sorção.....	22
3.5.1 Uso de Sorventes Naturais para Remediação Ambiental	25
3.7 Estado da Arte: Materiais Sorventes	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Materiais.....	30
4.2 Metodologia Geral.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1 Cinética de gotejamento para os combustíveis.....	35
5.2 Teste de sorção	36
5.3 Caracterizações Funcionais e Morfológicas.....	39
5.4 Desenvolvimento de barreira de contenção para testar a aplicabilidade da casca da paineira em ambientes contaminados por derivados de Petróleo.....	42
6 CONCLUSÃO	43

1. INTRODUÇÃO

1.1 Comentários iniciais

O meio ambiente é hoje considerado uma das maiores preocupações do setor industrial e da sociedade em geral. Uma das maiores catástrofes ambientais que podem acontecer são os grandes derrames de petróleo, principalmente quando estes ocorrem em regiões costeiras (PALADINO, 2000). A utilização de petróleo traz grandes riscos ao meio ambiente, desde a extração até o consumo com a produção de gases poluentes, mas é durante o transporte que os piores danos acontecem, com vazamentos de navios petroleiros ou de oleodutos (NORONHA, FERREIRA; PINTO, 2018).

Segundo a ITOPF- International Tanker Owners Pollution Federation (2014), quase 10.000 incidentes já foram constatados desde 1970, a maioria considerada como pequeno derramamento (menor que 7000 toneladas). O volume total de petróleo perdido para o meio ambiente registrado em nesse ano foi de aproximadamente 116.000 toneladas.

Esses acidentes foram reduzindo com o passar dos anos, devido à pressão de órgãos ambientais sobre os setores das indústrias petroleiras para prevenirem a ocorrência destes acidentes. Entretanto, os derramamentos ainda continuam a assustar devido a geração de impactos e por isso, torna-se importante direcionar investimentos em métodos de remediação dos contaminantes oleosos dispersos nas águas costeiras (IPIECA, 1994; LOPES, 2007; ITOPF, 2015).

Existem vários métodos desenvolvidos para a remediação de óleo como remoção manual, barreiras e “skimmers”, remoção mecânica, materiais adsorventes, biorremediação, entre outros. Entretanto, mesmo com essa diversidade de métodos que podem ser empregados em áreas contaminadas é necessário realizar uma avaliação apropriada do tamanho do derramamento, geografia e clima locais (FERRRÃO et al. 2005).

Segundo Annunciado (2005), o uso de sorventes naturais é uma das técnicas de remediação mais utilizada. Geralmente são constituídas por fibras vegetais que possuem fonte renovável e alta capacidade de adsorver o óleo de forma eficiente. Esse material se apresenta como um dos métodos mais efetivos e ecologicamente corretos (PAULAUSKIENĖ, 2015).

A *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn pertencente à família Bombacaceae, é uma espécie arbórea tropical de grande porte, que produz um fruto do qual se aproveitam as fibras que podem ser utilizadas como material sorvente, em travesseiros e em isolamentos acústicos e as sementes que são utilizadas para a produção de óleos (CARVALHO, 1994). Porém a casca do fruto ainda é pouco utilizada em aplicações.

Desse modo, o presente trabalho pretendeu testar a capacidade sorvente em óleo da casca da paineira (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn). O resultado foi satisfatório e confirmado através do resultado da Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) que possibilitou o conhecimento dos grupamentos funcionais presentes na parte interna da casa e que está associada a oleofilicidade do material, sendo assim, útil para ser utilizado na remediação e recuperação de ambientes afetados por derramamentos de petróleo e seus derivados.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Estudar a viabilidade de aplicação da casca da paineira (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) na remediação de cenários de derramamentos de óleos.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as cascas de paineira em termos das dimensões médias;
- Identificar grupos funcionais presentes na casca da paineira via Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR);
- Testar a capacidade de sorção do material em óleo diesel e óleo de motor;
- Avaliar a cinética de sorção para óleo diesel e óleo de motor;
- Simular uma barreira de contenção para testar a aplicabilidade do material.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Petróleo

Para Bozelli et al. (2008), o petróleo apesar de ser um recurso natural não renovável, constitui a principal fonte de energia utilizada pela sociedade contemporânea. Os impactos gerados pela exploração do mesmo tem ocasionado malefícios ao ambiente e com isso tem exigido um processo de licenciamento ambiental, que determina medidas para minimizar esses impactos.

Segundo Szklo (2005), dependendo da proporção de hidrocarbonetos na sua composição, o petróleo se mostra mais adequado para a produção de um ou outro derivado. Sendo assim, suas propriedades físicas variam de acordo com o tipo de hidrocarboneto predominante no petróleo podendo ser do tipo parafínico, naftênico ou aromático.

Além disso, Martins et al. (2015) ressaltam que esse líquido viscoso tem sido produzido desigualmente pelo mundo afora e vem sendo transportado através dos oceanos e oleodutos e, em função dessa grande movimentação há riscos de contaminação tanto no solo e no ar quanto no mar, causando danos ao meio ambiente.

Acidentes causados por vazamentos de petróleo e derivados podem impactar de forma intensa e duradoura não só a fauna e a flora dos ecossistemas, mas também a população, reduzindo a expectativa de vida, prejudicando o turismo e a economia de onde está ocorrendo o derramamento (WAHI et al., 2013).

3.2 Derivados do petróleo

O petróleo é uma matéria prima considerada essencial à vida moderna, pois permite a produção de outros subprodutos como a gasolina, diesel, lubrificantes e é capaz de gerar energia elétrica (PETROBRAS, 2003).

Como os derivados utilizados neste trabalho foram o óleo diesel e o óleo lubrificante, os tópicos a seguir apresentam informações de como eles são formados e as suas principais características.

3.2.1 Óleo lubrificante

O óleo lubrificante é produzido a partir do refino do petróleo ou do rerrefino do óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC), que é um processo industrial que transforma o óleo usado em óleo básico novamente, é o componente principal do óleo lubrificante mineral (OLM), geralmente corresponde a cerca de 80 a 90% do volume total do produto final (APROMAC, 2008). Este óleo é constituído por cadeias de mais de 20 átomos de carbono, com um ponto de ebulição que varia de 350 a 550 °C, sendo pouco voláteis à temperatura ambiente (CONCAWE, 1986).

Esses compostos evitam o atrito e o desgaste de peças metálicas, possuem também as características de, no equipamento aplicado, controlar a formação de depósitos, evitar a entrada de contaminantes suspensos, além de proteger contra a corrosão (AZEVEDO, 2005; APROMAC, 2008) entre outras atividades. Para tanto, é comum a introdução de aditivos aos óleos básicos, atribuindo-lhes propriedades específicas e produzindo assim o óleo acabado (CERQUEIRA, 2014).

3.2.2 Óleo diesel

Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2018), óleo diesel é um combustível composto por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e, em menor proporção, nitrogênio, enxofre e oxigênio. É utilizado principalmente nos motores ciclo Diesel (de combustão interna e ignição por compressão) em veículos rodoviários, ferroviários e marítimos e em geradores de energia elétrica.

Por ser constituído por compostos tóxicos e em altas concentrações, os acidentes envolvendo o derramamento desse combustível é bastante prejudicial ao meio ambiente e pode ocorrer com frequência.

De acordo com a matéria divulgada pelo G1, em dezembro de 2019 houve um vazamento nas ilhas Galápagos, após o naufrágio de uma embarcação que transportava 600 galões de diesel, que corresponde a um valor de 2271,25 litros. Esse acidente deixou um ferido e preocupou ambientalistas pela fragilidade dos ecossistemas.

Segundo dados do relatório de acidentes do IBAMA, em 30 de janeiro de 2008, ocorreu um vazamento de óleo ocasionado pelo emborcamento do comboio oceânico da Companhia de Navegação Norsul, na entrada do Porto de São Francisco do Sul, litoral norte de Santa Catarina. Na embarcação havia 124.350 litros de óleos diesel e lubrificantes, dos quais 116.450 litros foram derramados, segundo informações da empresa.

Do total de resíduo derramado, aproximadamente 7.900 litros foram recolhidos com barreiras e mantas absorventes por empresas contratadas pela NORSUL e destinados ao aterro industrial. A embarcação foi desemborcada e retirada do local.

3.3 Comportamento do óleo em ambiente aquático

3.3.1 Ação do intemperismo

É importante compreender todos os processos que ocorrem quando uma mancha de óleo é liberada e encontra o mar, pois as operações de resposta são facilitadas. A partir desse encontro acontece uma série de processos naturais denominado de intemperismo que sofre influência das características físicas e químicas do produto vazado, da irradiação solar, das variações na temperatura ambiente e da água, pela chegada de frentes frias, pela força dos ventos e pelo impacto das ondas e correntezas.

A Figura 1 ilustra o processo de intemperismo que ocorre com o óleo no mar.

Figura 1- Intemperização do óleo no mar



Fonte: ITOPF

Quando ocorre um vazamento de petróleo no mar, uma variedade de processos pode ocorrer simultaneamente. Para Thomas (2001), tanto o petróleo como seus derivados líquidos combustíveis apresentam baixa solubilidade na água e seu rápido espalhamento pelos ventos ou marés faz com que suas frações leves sejam rapidamente evaporadas.

A Tabela 1 descreve os processos em um derramamento de óleo e a duração correspondente.

Tabela 1- Principais processos

Espalhamento	Evaporação	Dissolução
<p>É o espalhamento pela superfície líquida formando uma mancha que se desloca no sentido das correntes e do vento, para depois se dividir em diversas manchas alongadas. Esse processo pode durar até uma semana.</p>	<p>As frações mais leves do hidrocarboneto se evaporam logo após o derrame, sendo esta evaporação acelerada pela expansão.</p> <p>Esse processo dura horas.</p>	<p>Os hidrocarbonetos aromáticos, entre outros compostos, dissolvem-se por ação das ondas e correntes e passam para a coluna d'água.</p> <p>Pode durar até 24 horas.</p>
Dispersão Natural	Emulsificação	Oxidação
<p>A mancha de óleo é fragmentada em gotículas, em decorrência da agitação do mar, do vento e das ondas (dispersão natural).</p> <p>Esse processo tem duração de até um mês.</p>	<p>As moléculas de hidrocarbonetos incorporam moléculas de água, formando emulsão água-óleo, ou o chamado "mousse de chocolate".</p> <p>Pode durar até um ano.</p>	<p>Os compostos formados nesta reação tornam-se mais tóxicos e solúveis na água e passam da superfície para a coluna d'água.</p> <p>Dura até um mês</p>
Sedimentação	Biodegradação	

<p>Os componentes mais pesados do óleo que não se dissolvem na água aderem às pequenas partículas inorgânicas e aos materiais sólidos flutuantes (detritos, galhos e resíduos) e tendem a ir ao fundo. Pode durar anos.</p>	<p>É a degradação natural das moléculas de hidrocarbonetos por bactérias e fungos, que ocorre na superfície, na coluna d'água, no sedimento e nos demais ambientes como praias, costões e manguezais. Inicia-se na primeira semana, torna-se mais intenso nos primeiros trinta dias.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: LOPES et al. (2007). Retirado de CETESB.

De acordo com a base de dados da International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF, 2006) entre o ano de 1970 a 2005 cerca de 5.700.000 toneladas do óleo foram lançados no oceano. A quantidade de acidentes e o volume de óleo derramado têm reduzido progressivamente, ao longo dos últimos quarenta e cinco anos, e de 1970 a 2010, considerando apenas os derramamentos de petróleo transportados por petroleiros legalizados, que excedem setecentas toneladas tem regredido de uma média de 25,3 para 3,3 por ano.

Os acidentes geram consequências que atingem desde o setor econômico, por problemas causados na indústria pesqueira, ou qualquer indústria que utilize recursos marinhos como matéria prima, até a inutilização de regiões turísticas (PALADINO, 2000).

3.3.1 Remediação

Remediação é definida segundo Eugris (2008), como sendo a incorporação de metodologias direcionadas à imobilização dos poluentes ou à redução dos poluentes para níveis aceitáveis, tais técnicas podem ser aplicadas sozinhas ou combinadas com outras. A remediação pode ocorrer in-situ ou ex-situ. Em determinadas circunstâncias é necessário lançar mão de tecnologias ex-situ, que podem ser aplicadas no próprio local da contaminação ou em instalações especializadas.

De acordo com Furtado (2008), as tecnologias de remediação de áreas tendem a resolver problemas no local, in-situ, e as tecnologias ex-situ, que são caracterizadas pela remoção do solo para aterramento ou da água para tratamento até o uso de biopilhas, onde se

removem e empilham solos contaminados, misturados com matérias orgânicas, instalando-se tubulações para aeração e injetando nutrientes para incentivar a biodegradação. É inquestionável que a melhor opção tanto em eficiência, como em custo, será sempre a remediação in-situ.

3.4.1 Áreas contaminadas

É definida como sendo qualquer local que seja comprovado a poluição ou a contaminação por substâncias que tenham sido introduzidas de forma acidental ou natural CETESB (2001).

A Lei 6.938 (BRASIL, 1981), regulamentada pelo Decreto 99.274/90, sobre Política Nacional do Meio Ambiente, determina a responsabilidade e penalidades para casos de poluição em seus artigos 2º e 4º e apresenta como objetivo a “recuperação de áreas degradadas e ao poluidor, a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados”. Segundo a Política Nacional do Meio Ambiente - Lei Federal 6.938/81 os bens a proteger são: a saúde e o bem-estar da população; a fauna e a flora; a qualidade do solo, das águas, do ar; os interesses de proteção à natureza; a ordenação territorial e planejamento regional e urbano; a segurança e a ordem pública.

Os poluentes podem ser propagados pelo ar, solo, águas subterrâneas e superficiais, alterando sua qualidade e gerando impactos negativos e riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em suas vizinhanças.

3.4.2 Metodologias que precedem a remediação

Conforme Stier (2004), para que uma tecnologia de remediação seja escolhida corretamente, deve-se considerar a geologia, características físicas e químicas dos contaminantes, aspectos regionais (custos de energia, preço de mão-de-obra) e aspectos políticos. Lopes et al. (2001), acrescentam ainda o tempo e os recursos disponíveis.

Normalmente, a decisão sobre o melhor método a ser utilizado, é tomada pelo proprietário da área contaminada. Como nem sempre o proprietário tem experiência ou

conhecimento sobre o assunto, esta decisão deve estar baseada na recomendação de um consultor e supervisionada pela autoridade competente (STIER, 2004).

O autor ainda afirma que normalmente, o processo de remediação tende a responder a um questionamento:

A área contaminada justifica a pesquisa?

A área contaminada requer uma ação de remediação?

Qual ação de remediação é necessária?

A ação de remediação, uma vez concluída, atingiu sua meta?

A análise de risco é utilizada para amparar as decisões nas necessidades das ações de remediação. Segundo o mesmo autor, ela deve ser utilizada em todas as fases de remediação, pois, quando aplicada holisticamente, a análise de risco subsidia as decisões do gerenciamento do risco tornando mais eficiente o uso dos recursos para proteger a saúde pública e o meio ambiente.

3.4.3 Tecnologias utilizadas na remediação de derramamentos

Com o intuito de reduzir os impactos desenvolvidos nos ecossistemas costeiros ocasionados por derramamentos, surgiram diversas metodologias de remediação. O tipo de derramamento, o óleo e a área afetada devem ser analisados, uma vez que uma escolha equivocada pode prejudicar ainda mais o ecossistema afetado pelo petróleo. Por esta razão, existem critérios que devem ser considerados na escolha da melhor técnica a ser utilizada (CANTAGALLO et al., 2007).

Conforme Eugris (2008), as tecnologias podem ser categorizadas em tratamentos biológicos que correspondem aos processos nos quais os contaminantes são transformados em substâncias como dióxido de carbono, água e biomassa em função da ação de microorganismos, em tratamentos físico-químicos que são aqueles que usam as propriedades físicas e/ou químicas e/ou elétricas do contaminante e/ou do meio contaminado para destruir (conversão química), separar ou conter a contaminação. Nos processos químicos, as

substâncias são alteradas por meio de reações químicas a fim de produzir compostos menos tóxicos.

Atualmente, os métodos usualmente utilizados na limpeza envolvem a remoção manual, barreiras e skimmers, remoção mecânica, jateamento com água, materiais adsorventes, dispersantes químicos, queima in situ, biorremediação, e limpeza natural, entretanto, existem outras formas pouco utilizadas (LOPES et al., 2007; FERRÃO, 2005). A remoção manual, Figura 2-a, é um método de limpeza mais trabalhoso, feito manualmente com os utensílios como pás, rodos, não causando nenhum dano adicional ao ambiente afetado pelo derramamento. É bastante eficaz em ambientes como costões rochosos, praias e, principalmente, em locais restritos como conjunções de rochas, e até

mesmo em áreas maiores como praias de areia (ERNESTO, 2010).

A remoção mecânica, Figura 2-b, é utilizada para recolher o óleo na zona entremarés, e diferente da remoção manual, pode gerar graves danos à comunidade biológica que é removida junto com a areia. Esse método utiliza máquinas pesadas, como tratores e retroescavadeiras que causam a compactação do substrato, aumentando ainda mais os danos à comunidade existente na areia (LOPES et al., 2007).

As barreiras e skimmers, Figura 2-c, intencionam conter o óleo derramado em locais propícios para facilitar a sua remoção. Este método está entre os principais na etapa

inicial da remediação de áreas costeiras impactadas, tornando-o indispensável na redução das contaminações de outras áreas (LOPES et al., 2007; CETESB, 2015). Junto às barreiras, são utilizados equipamentos, como “skimmers”, barcaças recolhedoras, cordas oleofílicas entre outros, com intuito de remover o poluente. (LOPES et al., 2007; FERRÃO, 2005).

O jateamento com água (hidrojateamento), Figura 2-d, é um método bastante eficaz, principalmente na remoção do óleo em ambientes costeiros formados por rochas e ainda em armações. Pode ser realizado no mar ou em terra, em diferentes temperaturas, com água doce ou salgada, agregados ou não a substâncias como surfactantes e dispersantes, conforme o grau do impacto causado (LOPES et al., 2007; MILANELLI, 1994).

Algumas técnicas podem ser feitas por meio da projeção de um jato de areia ou de vapor sob pressão que é aplicado sobre superfícies sólidas, como costões rochosos e substratos artificiais, como pilares de portos. Esses métodos favorecem a contaminação de áreas adjacentes, pois o óleo removido e/ou agregado aos grãos de areia tendem a afundar (LOPES et al., 2007).

Outro método que é comumente utilizado é a queima *in situ*, Figura 2-e, que consiste na queima controlada do óleo proveniente de acidentes marinhos no próprio ambiente do derrame ou nas vizinhanças, a partir de substratos combustíveis. Para a realização desta prática de limpeza, é necessário garantir que não sejam gerados efeitos ainda mais prejudiciais aos ecossistemas, então é imprescindível a análise criteriosa das propriedades e espessura da camada de óleo na superfície, estado hidrodinâmico do mar, condições climáticas, entre outros. (ITOPF, 2015; LOPES et al., 2007; NOAA, 2001).

As barreiras antifogo são necessárias para a realização deste procedimento por ter a finalidade de evitar que o fogo se alastre, impedindo maiores consequências na região. Entretanto, apesar da viabilidade do mecanismo da queima *in situ*, os riscos na utilização desta técnica são inerentes, uma vez que este método desencadeia numerosos problemas que limitam a sua prática, como o perigo da fonte de ignição, poluição atmosférica e o desenvolvimento de compostos densos de alta viscosidade. (CRAIG et al., 2012; ITOPF 2015; LOPES et al., 2007; NOAA, 2001;).

Além desses processos, a remediação também pode ocorrer de forma natural, a biorremediação é uma técnica em que são inseridas bactérias responsáveis por catalisar os processos de degradação natural do óleo no local impactado. A aplicação deste mecanismo dependerá das propriedades que os óleos apresentam bem como as características da área impactada (CRAIG et al., 2012; LOPES et al., 2007; MOREIRA, 2011).

A limpeza natural, é outro exemplo de processo que pode ocorrer naturalmente, a Figura 2-f demonstra essa alternativa que ocorre quando o óleo não é removido do ambiente pelos métodos convencionais e os processos naturais de limpeza e remoção atuam. Os principais são a ação das ondas, das marés e as correntes marítimas/costeiras. Isso significa que os principais processos naturais de limpeza da costa são mais eficientes em locais ou em períodos de maior agitação hidrodinâmica (TKALICH; CHAN, 2002).

Além das tecnologias citadas, existem os produtos absorventes que podem ser divididos em duas categorias básicas: sintéticos e naturais (LOPES; MILANELLI; GOUVEIA, 2005). Em relação aos estudos dos autores citados, os absorventes sintéticos, são desenvolvidos industrialmente a partir de polímeros como a espuma de poliuretano e polipropileno, entre outros. Possuem as maiores capacidades de absorção: até setenta vezes o seu peso em óleo e podem ser utilizados na forma de mantas, barreiras ou a granel. Por possuírem potenciais baixos de biodegradação, não devem ser lançados a granel no ambiente, sem ser recolhidos depois.

Já os absorventes naturais podem ser classificados em: minerais ou orgânicos. A produção dos absorventes minerais é feita a partir do tratamento industrial de rochas, calcários, sílica. Possuem boa eficiência de absorção. No entanto, se lançados a granel em grande quantidade no ambiente podem causar impactos adicionais pelo recobrimento físico de organismos (LOPES et al., 2007).

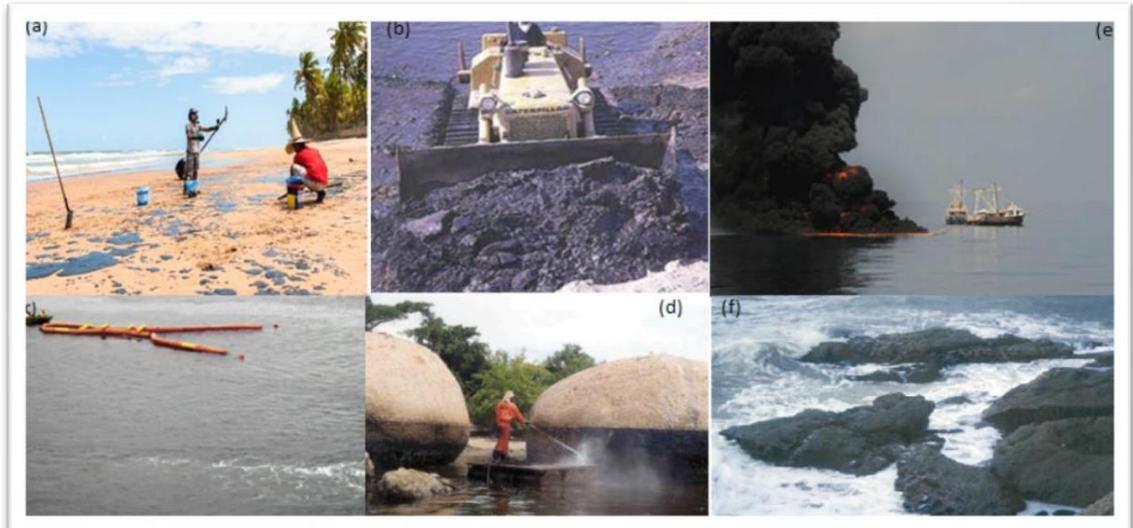
Os autores ainda explicam que a produção dos absorventes naturais orgânicos não industrializados são derivados de matéria-prima vegetal, como palha, feno, casca de coco e são utilizados quando não se dispõe de outros recursos para ação imediata, além disso, com esses materiais é possível improvisar barreiras absorventes e malhas de filtragem para absorver pequenas quantidades de óleo.

Segundo Lopes; Milanelli; Gouveia, (2005), a capacidade de absorção dos absorventes orgânicos industrializados são preparados para otimizar a aplicação, o transporte e o armazenamento. Entre eles estão os produtos à base de turfa, celulose e semente de algodão, que podem ser preparados de acordo com diferentes usos e granulometrias, esses compostos apresentam boa biodegradabilidade, boa flutuabilidade, boa eficiência e ausência de toxicidade.

As técnicas remediadoras podem proporcionar danos ambientais. Sendo assim, o custo-benefício é um fator importante na determinação do melhor método a ser utilizado.

Escolhe-se a princípio, o menos agressivo ambientalmente e ao mesmo tempo que apresente um maior benefício social e financeiro (LOPES et al., 2007). A Figura 2 abaixo retrata algumas das técnicas citadas usadas na remediação de ambientes contaminados por óleo.

Figura 2- Técnicas remediadoras utilizadas em derrames de óleo: (a) Voluntários do grupo Guardiões do Litoral em Camaçari (BA), (b) Remoção de óleo e areia com máquina em zona entremarés, (c) Barreiras de contenção (d) Jateamento de costões rochosos, (e) Queima in-situ, (f) Limpeza natural.



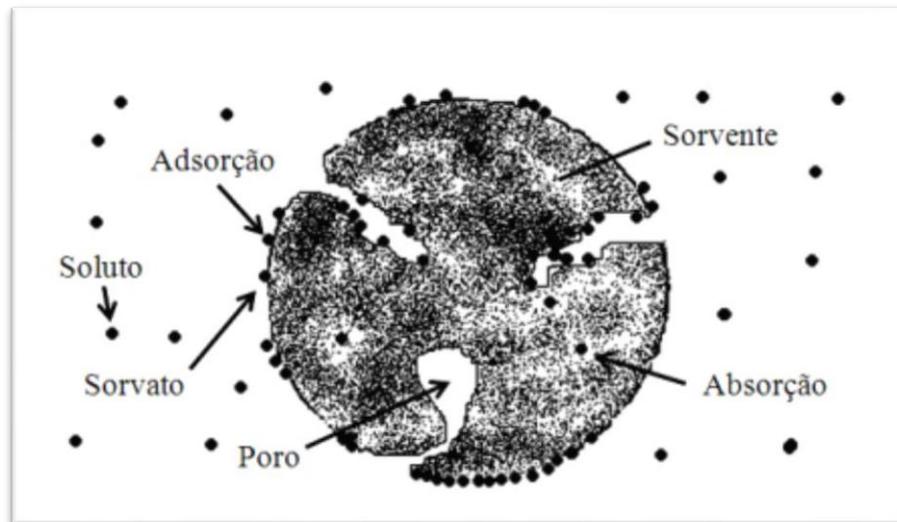
Fonte: (a) Foto: Mateus Morbeck, 2019. (b) Banco de imagens da CETESB, 2015. (c) Banco de imagens da CETESB, 2015. (d) Banco de imagens da CETESB, 2015. (e) NOAA, 2015. (f) Banco de imagens da CETESB, 2007.

3.3.2 Sorção

Sorção é um termo associado aos processos de adsorção e absorção. A diferença fundamental entre esses dois processos é que na adsorção a concentração de um sorvato acontece em uma superfície ou interface, já na absorção o processo ocorre pela penetração de um sorvato no interior da estrutura molecular. O sorvato é a espécie química no estado sorvido, enquanto que a espécie química a ser sorvida é chamada de soluto. O material sobre o qual a sorção ocorre é chamado de sorvente (PERRY et al., 1984).

Em outras palavras, SCHEER, (2002) define absorventes como sendo materiais em que o óleo penetra no interior dos seus poros e adsorventes são materiais que atraem o óleo para sua superfície, mas não permitem que penetrem o seu interior, conforme é demonstrado na Figura 3.

Figura 3- Processos de adsorção e absorção, definição de sorvente, sorvato e soluto



Fonte: Adaptada de MONTANHER et al., (2007).

A adsorção pode resolver sérios problemas de poluentes diluídos em efluentes líquidos, incluindo a área petroquímica. Os materiais adsorventes podem ser usados uma vez e descartados ou, como é mais comum, empregados várias vezes após regeneração. O principal requisito para um processo adsorptivo econômico é um adsorvente com altos valores de seletividade, capacidade e tempo de vida. Os adsorventes naturais vêm ganhando mais força e campo na recuperação de diversos materiais (SCHEER, 2002).

Schneider e Rubio (2003) em seus estudos de sorção do óleo livre ou emulsificado em folhas secas de uma biomassa conhecida por *Salvinia* sp., observaram que o mecanismo se dá por adsorção, onde o óleo adere à interface da planta devido à sua estrutura hidrofóbica e por absorção (difusão) do óleo no interior dos poros vazios da biomassa, por capilaridade. Este fenômeno é conhecido como interpenetração na fase sólida, processo decorrente da alta porosidade do material.

O processo de adsorção tem a finalidade de separar uma substância de interesse existente em uma fase, que esteja acompanhada pelo seu acúmulo ou pela concentração de outra substância localizada em outra superfície (GOLIN, 2007).

A sorção em sólidos sorventes é bastante eficaz na remoção de poluentes de soluções líquidas e de correntes gasosas.

Além disso, a utilização desse material pode atingir altos graus de purificação. Por este motivo, a sorção é uma técnica utilizada no final da sequência de processos para tratamento de águas e efluentes (FÉRIS, 2001).

A sorção pode ser química (também chamada de quimissorção) ou física (também chamada de fisissorção). Na maioria dos processos de separação por sorção ocorre o fenômeno físico (RUTHVEN, 1984).

As principais características que diferenciam os tipos de sorção são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2- Diferenças entre sorção física e química

Sorção Física	Sorção Química
Baixo calor de sorção (mesma ordem de grandezada entalpia de condensação)	Alto calor de sorção (2 ou 3 vezes maior queo calor latente de vaporização)
Não específica Monocamada ou multicamadas	Altamente específica Somente Monocamada Pode envolver
Nenhuma dissociação das espécies	dissociação
Significativa somente a temperaturas relativamente baixas Rápida, reversível	Possível em uma ampla faixa de temperatura
Sem transferência ou compartilhamento de elétrons.	Pode ser lenta e irreversível
Polarização do sorvato pode ocorrer.	Transferência ou compartilhamento de elétrons com formação de ligações entre sorvato e sorvente.

Fonte: Adaptada de RUTHVEN (1984).

Além disso, na sorção física é possível formar camadas moleculares sobrepostas, enquanto que na sorção química forma-se uma única camada molecular sorvida (RUTHVEN, 1984; FÉRIS, 2001). Embora com todas as diferenças entre ambas as sorções, existem muitos casos intermediários, não sendo possível eleger um sistema particular quanto ao tipo de sorção (RUTHVEN, 1984).

3.5.1 Uso de sorventes naturais para remediação ambiental

Os sorventes naturais (inorgânicos e orgânicos) são usados desde o início para a remediação de áreas costeiras contaminados por acidentes com óleo e derivados. (ANNUNCIADO, et al., 2005).

Geralmente, são formados a partir de matérias-primas vegetais, que incluem as fibras de paina, sisal, coco e serragem, bem como bagaço de cana-de-açúcar e resíduos folhosos. Alguns minerais como rochas, sílicas, calcários, argilas e vermiculitas são submetidos a processos industriais para obtenção dos sorventes inorgânicos (LOPES, et al., 2007; ANNUNCIADO et al., 2005; EPA, 1999; API, 2015).

Para a maior eficácia deste mecanismo, os sorventes devem apresentar características hidrofóbicas, uma vez que a retenção da água poderia ocasionar um aumento na densidade do material e, conseqüentemente, leva-lo a afundar conduzindo o óleo para o sedimento. A habilidade desta prática depende, sobretudo, de fatores climáticos, tipo de óleo, e de sua viscosidade (EPA, 1999; NOAA, 2013; LOPES, et al., 2007).

A utilização destes materiais atribui-se à sua fonte renovável bem como a suas propriedades de atrair óleo para as suas estruturas. Os adsorventes orgânicos e inorgânicos possuem a capacidade de aderir 3 a 15 e 4 a 20 vezes do seu peso em óleo, respectivamente (API, 2015; EPA, 1999). São utilizados em áreas inacessíveis ao uso de skimmers e onde equipamentos como veículos e máquinas pesadas podem causar danos excessivos e também, nos estágios finais da limpeza (ANNUNCIADO, 2005).

Os materiais adsorventes utilizados devem ser extraídos adequadamente após a limpeza do local e descartados em terra ou ainda tratados e posteriormente reciclados (API, 2015; EPA, 1999). A utilização deste método desperta interesse de várias empresas, uma vez que os materiais sorventes possuem propriedades biodegradáveis, são oriundos de produtos considerados como resíduos, possuindo assim, baixo custo e baixo impacto ambiental.

3.3.3 Paineira (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn)

São consideradas árvores de grande porte, podendo chegar a cinquenta metros de altura e dois metros de diâmetro. É uma espécie exclusivamente tropical, típica da Ásia, África e América do Sul, suscetível ao frio, sendo incapaz de produzir sementes em locais onde a temperatura atinge 20° C à noite, em época da floração. Produz na faixa de 300 a 700 frutos (ANNUNCIADO, 2005; SOUZA et al., 2005).

Segundo a EMBRAPA (2002) a paineira é uma espécie que se desenvolve bem a pleno sol, apresentando característica de terrenos muito úmidos e pantanosos da mata primária de várzea. Ocorre também em vegetações secundárias, comportando-se como planta pioneira.

Por causa da exigência de luz, a regeneração natural não é abundante, ainda que produza um grande número de sementes.

Devido às suas características peculiares, é um composto que vem despertando uma crescente atenção nos últimos anos. Convencionalmente, a paina é utilizada como enchimento para camas, estofados, travesseiros, e equipamento de segurança aquático (salva-vidas) devido à sua excelente flutuabilidade e para isolamento contra o som e o calor devido ao seu lúmen cheio de ar, além dessas utilidades, a fibra possui uma camada de cera na sua superfície que permite que esta fibra apresente excelentes características hidrofóbicas e oleofílicas, sendo assim, ideais para aplicações como material absorvente de óleos (ZHENG et al., 2015). A Figura 4 exhibe a árvore Paineira.

Figura 4 - Paineira (*Ceiba pentandra* (L) Gaertn) Parnamirim-PE



Fonte: Autor (2020).

O fruto da paineira é uma cápsula globosa seca de 20 cm de comprimento por 5 cm de diâmetro com numerosas sementes, de 120 a 175, envolvidas em filamentos sedosos (ESALQ, 2005). A Figura 5 demonstra o fruto e seus componentes internos: fibras e sementes.

Figura 5- Fruto da paineira: (a) Fruto, (b) Sementes envoltas pelas fibras, (c) Fibras



Fonte: Autor (2019).

A utilização de cascas como material sorvente na remediação de ambientes contaminados por derivados de petróleo é uma alternativa bastante atrativa, por se tratar de

uma material de fonte renovável, biodegradável, de baixo custo e que não oferece riscos ao meio ambiente. A seguir, serão introduzidas pesquisas que foram desenvolvidas sobre essa temática e que comprovam a eficiência de retenção desse material.

3.3.4 Estado da arte: Materiais sorventes

Luiz (2007) estudou a capacidade da casca de arroz para adsorção de óleo lubrificante mineral, a adsorção foi relativamente baixa, uma vez que, o material em questão apresentou baixos valores de área superficial, pois não houve moagem do mesmo, e também devido a alta parafinização do óleo lubrificante que dificulta sua entrada nos poros do adsorvente.

Foletto et al., (2009) examinaram a capacidade de absorção de sete biomassas (casca de amendoim, casca de arroz, cinzas de casca de arroz, sabugo de milho triturado, borra de café em pó, serragem e carvão ativado) e um adsorvente comercial de origem vegetal (*salvília* sp.) em dois tipos de óleos de viscosidades diferentes.

O último adsorvente citado apresentou uma maior absorção em relação aos demais, sendo justificada pela presença de ceras nos pelos das suas folhas conferindo ao vegetal um caráter hidrofóbico e oleofílico.

Costa et al., (2011) avaliaram os resultados de adsorção em leito diferencial usando casca da banana como bioadsorvente de compostos orgânicos derivados do petróleo. A eficiência da biomassa casca da banana como bioadsorvente foi comprovada a partir de experimentos realizados variando a concentração da gasolina/diesel. Para concentrações baixas (1% e 3%) houve uma extração de 100% de contaminante e com o aumento da concentração de contaminante para 5% para a menor espessura estudada (2mm) houve a adsorção de 75% do contaminante e com o aumento da espessura (3mm) observou que 95% do contaminante havia sido adsorvido no mesmo intervalo de tempo que a camada anterior.

Costa, (2014) avaliou a capacidade da biomassa oriunda da casca do mandacaru do Rio Grande do Norte e da Paraíba como adsorvente de gasolina em corpos d'água. A quantidade máxima do derivado adsorvido no material foi de 7 g por grama de biomassa do mandacaru proveniente do RN, enquanto que o mandacaru oriundo da Paraíba apresentou uma adsorção de 6 g por grama de biomassa.

O resultado foi satisfatório, uma vez que SILVA et al., (2011) obtiveram uma quantidade máxima de 4g de gasolina por grama do adsorvente oriundo da biomassa da casca de banana.

Costa; Jeremias; Menezes, (2015) usaram o carvão ativado feito da casca de arroz que apresenta baixo custo e mecanismos de adsorção comprovados no que diz respeito a remoção de poluentes derivados de petróleo, e a turfa decomposta, que apresentou resultados promissores em termos de adsorção, porém, em função da sua composição e possíveis efeitos ambientais devido a sua composição e formas de extração, ainda são necessários maiores estudos com vistas a sua viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Schneider et al., (2016), realizaram estudos em que as propriedades da casca de arroz foram analisadas, encontrando um volume de poros de 3,422 cm³ /g e um diâmetro médio de poros de 0,6818 nm. Todavia, os autores ressaltam que estes resultados são muito variáveis, dada a alta heterogeneidade das cascas.

Neste mesmo trabalho foi testada a aplicabilidade da casca como adsorvente no processo de tratamento de óleo residual, visando a redução de seu índice de acidez, obtendo 53% de redução do índice após 6 horas. As características sorventes da casca de arroz são dadas pela presença de sílica, celulose, hemi-celulose e lignina neste material (Tarley et al, 2004; Tarley & Arruda, 2004).

Jian et al., (2018) produziram carvão da casca de arroz utilizando o método de pirólise a temperatura de 923K. O carvão obtido apresentou diminuição em sua estrutura dos grupos contendo oxigênio, grupos estes que podem suprimir a adsorção de compostos orgânicos.

Assim sendo, tendo em vista a literatura já vigente, este trabalho tem a finalidade de testar a casca da paina para determinar se ela possui alguma afinidade com óleo e assim, ser usada para remediação de áreas contaminadas por esse tipo de contaminante.

3.3.5 Teste de Sorção em Óleo

De acordo com Bazargan et al., (2015) a metodologia mais simples usada para medir a capacidade de retenção dos materiais é feita a partir da pesagem de uma amostra, que é colocada em contato com um líquido por um tempo determinado e depois esse material é

soerguido, através de um aparato, para que o contaminante em excesso na amostra seja drenado. Após a drenagem, a capacidade de sorção é calculada.

De acordo com as normas ASTM F726-12 para materiais adsorventes e ASTM F716-09, para materiais absorventes, é sugerido para um teste curto, um tempo de contato de 15 minutos entre o líquido e o adsorvente, seguido por um tempo de gotejamento ou drenagem de 15 segundos ou 2 minutos, dependendo da viscosidade do óleo.

No teste longo, é sugerido um tempo de contato de 24 horas, em vez de 15 minutos, e as outras características do teste permanecem as mesmas.

O tempo de gotejamento é muito importante e a sua escolha não deve ser feita de forma aleatória, pois ele é estimado para garantir que uma parte do líquido contido no material seja perdido devido à força gravitacional. Se a drenagem não for adequada ou suficiente, os valores relatados para a capacidade de absorção serão absurdamente altos ou abaixo do valor real (BAZARGAN et al., 2015).

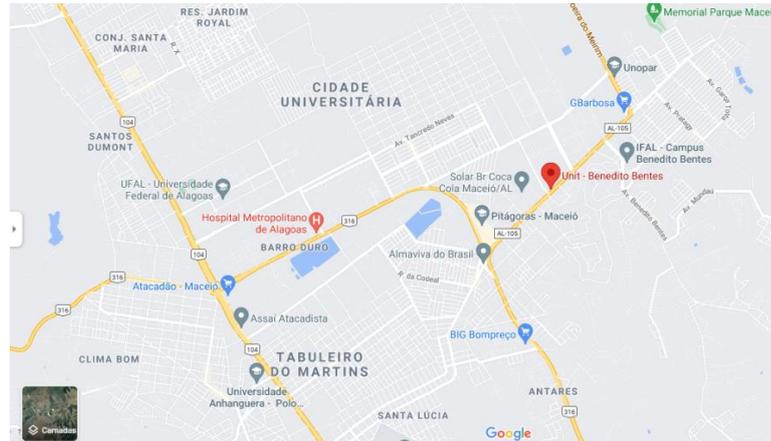
Em 2007, Albuquerque executou experimentos baseando-se na metodologia citada por Bazargan et al., (2015) e criou um equipamento capaz de auxiliar na etapa de gotejamento e na confiabilidade dos resultados. O autor desenvolveu um aparato de metal, no qual o material adsorvente (paua e poliuretano) permanece encaixado na fase de contato do adsorvente no líquido e na fase de gotejamento do líquido livre do material.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

O óleo diesel e o óleo lubrificante usados nos experimentos de sorção são de caráter comercial e foram adquiridos em um posto de combustível Petrobras, na cidade de Maceió – AL.

A casca da kapok utilizada como material sorvente foi obtida em árvores localizadas no bairro do Benedito Bentes, 9°33'1"S - 35°43'30"O.

Figura 6- Mapa de localização

Fonte: Google Maps.

4.2 Metodologia geral

Inicialmente, foram realizadas as coletas dos frutos no Benedito Bentes, a separação das fibras e das sementes foram conduzidas em seguida, no Laboratório de Processos, localizado no CTEC, após essa etapa, foi feita a padronização das cascas, cortando-as em tamanhos maiores e outros menores. A Figura 7 abaixo ilustra como foram feitas a padronização das cascas.

Figura 7: Cascas padronizadas em tamanhos reduzidos e grosserios, respectivamente



Fonte: Autor (2020).

Por fim, foram realizados os testes de sorção para avaliar a capacidade de retenção do material e, assim, determinar qual opção, cascas em tamanhos grosseiros ou em tamanhos reduzidos, apresentam maior capacidade de retenção. Ambos os testes foram efetuados em duplicatas, utilizando o óleo diesel e o óleo lubrificante e seguiram a metodologia citada. A caracterização do material via FTIR foi a última etapa do processo.

O esquema abaixo demonstra de forma objetiva o processo descrito na metodologia para ambos os casos.



A metodologia adotada nesta pesquisa foi baseada nos experimentos de Bazargan et al., (2015) e Albuquerque (2017), porém, foi necessário executar dois testes preliminares, o cinético para descobrir qual o melhor tempo de drenagem e o branco.

O experimento cinético consistiu em colocar a amostra em contato com o óleo e em seguida foi feito o soerguimento da mesma através de um equipamento que a sustentou, a contagem do tempo foi iniciada e a massa foi medida a cada trinta segundos durante quinze minutos.

Já o branco correspondeu a um experimento que visa retirar a contribuição do suporte utilizado para melhor quantificar a capacidade de sorção do material.

Finalizada essa etapa, foi feito uso da balança para aferir a massa inicial do material que correspondeu a valores aproximados de 0,5 g para todos os experimentos e a massa de óleo diesel que foi fixada em 100 mL.

Em seguida, o material foi colocado em um suporte e inserido dentro do béquer que continha a amostra de óleo diesel. A partir desse contato, iniciou-se a contagem do tempo que variou de 5, 15 e 30 minutos. Com o término do contato definido, a amostra foi soerguida para o gotejando, esse tempo variou de acordo com o combustível utilizado, sendo 5 minutos para o diesel e 10 minutos para o óleo lubrificante.

Com o fim da drenagem, a massa final do fluido no béquer foi pesada. O mesmo procedimento foi repetido com o óleo lubrificante para fins comparativos.

A metodologia empregada para a realização dos testes de sorção e a representação do suporte utilizado são demonstradas nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

Figura 8- Passo a passo da metodologia utilizada nos testes: (a) Pesagem da amostra, (b) Medição do volume do líquido, (c) Contato entre a amostra e o líquido, (c) Gotejamento



Fonte: Autor (2020).

Figura 9- Suporte utilizado nos testes



Fonte: Autor (2020).

O cálculo da sorção pode ser obtido por meio da Equação (1) abaixo.

$$S = \frac{m_i - m_f}{m_p} \quad (1)$$

Onde:

S é a capacidade de sorção da amostra em porcentagem;

Mi é a massa inicial do fluido;

Mf é a massa final do fluido;

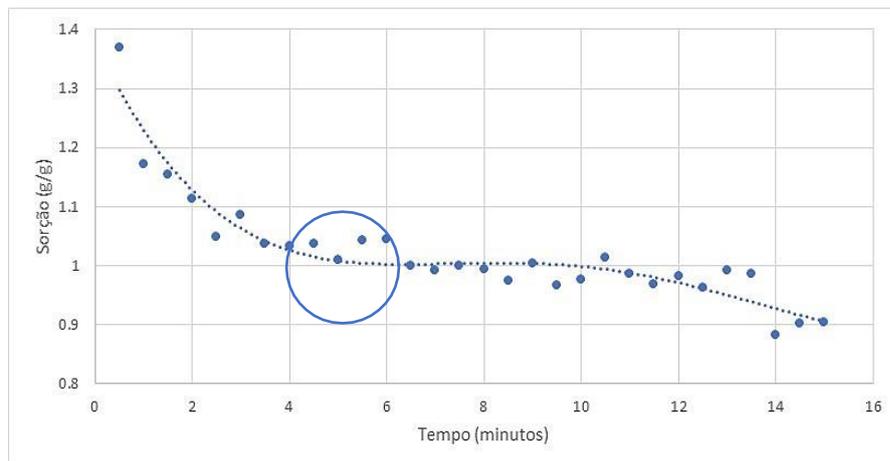
Mp é a massa inicial da amostra de sorvente utilizada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Cinética de gotejamento para os combustíveis

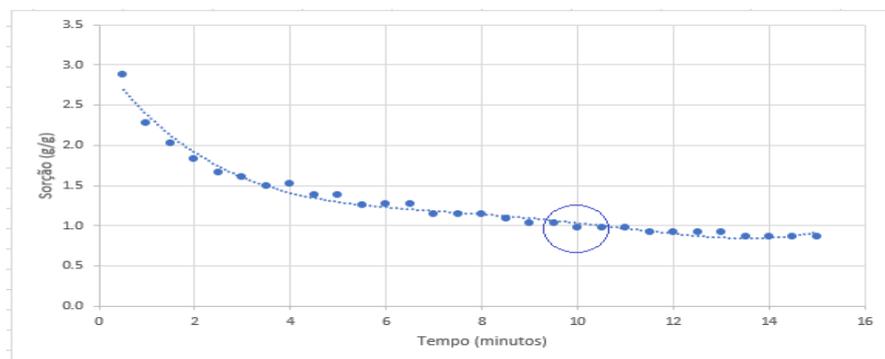
As Figuras 10 e 11 demonstram os resultados referentes ao tempo de gotejamento ótimo para sorção do óleo diesel e do óleo lubrificante, respectivamente. Os dois óleos apresentaram tempos de gotejamento distintos e isso pode ser explicado segundo os estudos desenvolvidos por Bazargan, et al., (2015), que citam que a interação entre cada sistema sorvato-sorvente apresenta um perfil de gotejamento diferente, que vai depender da viscosidade, densidade e tensão superficial do líquido, entre outros fatores.

Figura 10- Tempo de gotejamento ideal para o diesel



Fonte: Autor (2019).

Figura 11- Tempo de gotejamento ideal para o óleo lubrificante



Fonte: Autor (2019).

Observou-se a partir dos resultados acima que no experimento executado com o diesel, o perfil de gotejamento cessou sua drenagem antes que o experimento realizado com o óleo lubrificante, sendo assim, ficou definido o tempo de 5 minutos para o diesel, Kumpanenko et al. (2015) também relatam que este é o tempo de contato ideal para as frações leves dos derivados do petróleo, como o diesel, pois a baixa viscosidade desses produtos saturam o material em tempos menores, e para o óleo lubrificante, o tempo de 10 minutos.

Bazargan et al., (2015) explicam que logo após o contato entre os materiais, adsorvente e o líquido, as forças gravitacionais agem sobre o sistema, causando a remoção de grandes quantidades de óleo do adsorvente. Como mais óleo é perdido e a drenagem progride, o óleo que resta do adsorvente torna-se menos suscetíveis a gotas.

5.1 Teste de sorção

Seguindo a metodologia descrita pelos autores Bazargan et al., (2015) e Albuquerque (2017), foram realizados testes preliminares para retirar a contribuição do suporte, objetivando obter um resultado mais exato da capacidade de sorção das cascas.

Para esses experimentos, o material foi colocado em contato com os combustíveis durante 5, 15 e 30 minutos e o tempo de gotejamento foi definido como sendo de 5 minutos para o diesel e de 10 minutos para o óleo lubrificante, conforme o resultado da cinética de gotejamento.

Os Quadros 3 e 4 foram construídos com os principais resultados da sorção em diesel e em óleo lubrificante.

Quadro 3- Dados de sorção utilizando o óleo diesel

Material	Tempo de contato (min)	Sorção Média (g/g)	Desvio-Padrão
CASCAS EM TAMANHO REDUZIDO	5	0,140	0,154
	15	1,009	0,039
	30	1,059	0,268
CASCAS EM TAMANHO GROSSEIRO	5	0,219	0,119
	15	0,1703	0,051
	30	0,918	0,0296

Fonte: Autor (2020).

Quadro 4- Dados de sorção utilizando o óleo lubrificante

Material	Tempo de contato (min)	Média(g/g)	Desvio-Padrão
CASCAS EM TAMANHO REDUZIDO	5	1,155	0,150
	15	0,464	0,274
	30	0,187	0,040
CASCAS EM TAMANHO GROSSEIRO	5	0,212	0,277
	15	1,723	0,559
	30	0,559	0,286

Fonte: Autor (2020).

Em relação aos resultados contidos no Quadro 3, as cascas em tamanhos reduzidos apresentaram maior saturação em diesel no tempo de 30 minutos (1,059 g/g), e em relação aos demais tempos, com 1,009 g/g para 15 minutos e 0,140 g/g para 5 minutos.

Esse resultado pode ser explicado conforme os estudos de Manique (2011) que relata que a área superficial do material afeta a capacidade de adsorção, pois como a adsorção é uma interação de superfície, quanto maior a superfície disponível para ligação com o adsorvato, maior será a quantidade que poderá ser adsorvida. O tamanho das partículas do adsorvente também influencia o resultado, pois partículas menores apresentam área superficial maior quando comparados a um mesmo volume de partículas maiores.

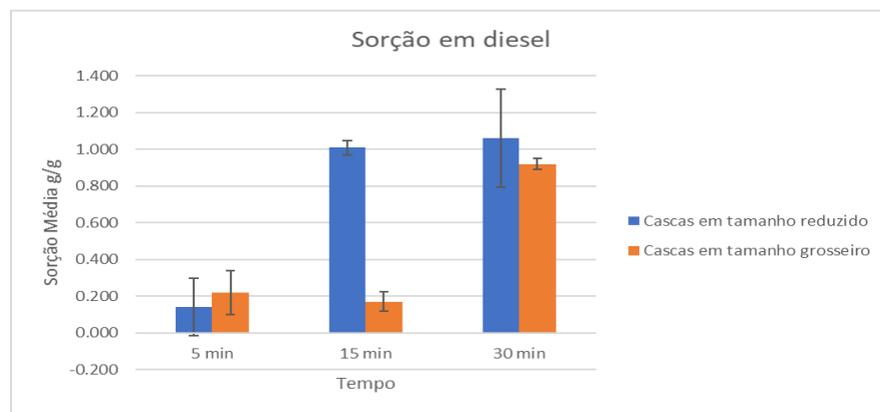
Os resultados da sorção em óleo lubrificante estão inseridos no Quadro 4. As cascas em tamanhos grosseiros apresentaram maior sorção do contaminante no tempo de 15 minutos (1,723 g/g), para os demais tempos, essa capacidade reduziu para (0,559 g/g) em 30 minutos e para (0,212 g/g) em 5 minutos.

Em 5 minutos, as cascas grosseiras não obtiveram contato suficiente para apresentar uma sorção considerável, esse resultado também pode ser explicado pela natureza do óleo, já que o óleo lubrificante apresenta maior viscosidade e, portanto, maior dificuldade para penetrar nos poros do material. Com o aumento do tempo de contato para 15 minutos, a amostra apresentou uma capacidade de retenção bem maior que nos demais tempos, embora que, por falta de afinidade/interação com o óleo, para tempos maiores tendeu a ocorrer a dessorção no material, reduzindo a capacidade de sorção em 30 minutos.

Como as cascas em tamanhos reduzidos possuem maior área superficial, em 5 minutos houve a maior capacidade de sorção (1,155 g/g), mas alguma funcionalidade ou composição do óleo não apresentou afinidade às cascas e possivelmente, com o passar do tempo houve uma dessorção por essa baixa afinidade. Ifelebuegu e Momoh (2015) utilizaram resíduos da casca do coco para remover óleo vegetal e combustível diesel e constataram que a elevada taxa inicial de retenção do material sorvente pode ser atribuído também a existência de sítios ativos sobre o material usado.

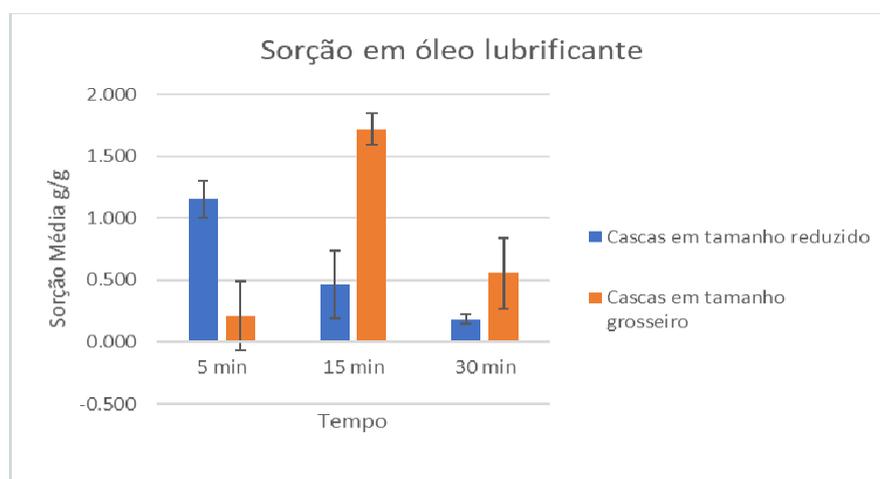
A média dos resultados obtidos nos ensaios em óleo diesel e em óleo lubrificante para as cascas em tamanhos grosseiros e reduzidos estão apresentadas nas Figuras 12 e 13 abaixo.

Figura 12 - Sorção em óleo diesel para as cascas em tamanhos grosseiros e reduzidos



Fonte: Autor (2020).

Figura 13- Sorção em óleo lubrificante para as cascas em tamanhos grosseiros e reduzidos



Fonte: Autor (2020).

Os resultados encontrados são satisfatórios quando comparados a alguns estudos presentes na literatura. Neto (2007), trabalhando com a adsorção de óleo lubrificante mineral (OLM) em cascas de arroz, obteve em 30 minutos o maior valor de saturação, o equivalente a 0,906 g/g, já as cascas da paineira em tamanhos grosseiros obtiveram melhor resultado, 1,723 g/g, nesse mesmo tempo de contato. Ele ainda explica que dentre outras variáveis, a capacidade de adsorção baixa encontrada para a casca de arroz pode ser explicada pelos valores baixos de área superficial deste material, já que não houve moagem do mesmo durante o estudo.

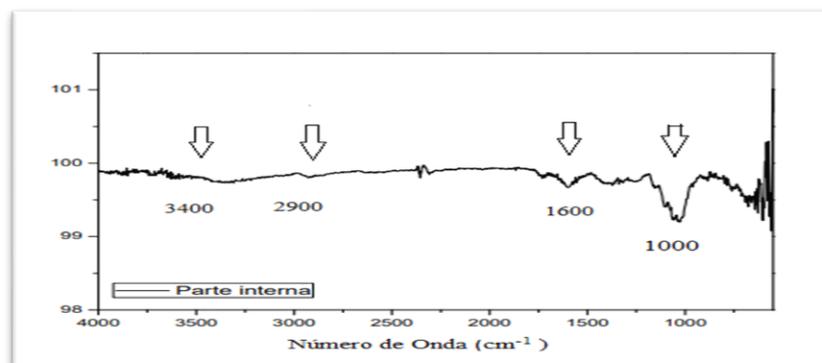
Comparando os resultados encontrados com os obtidos por Costa (2014), as cascas da paineira não apresentaram desempenhos tão viáveis. O autor utilizou em seus estudos cascas de dois tipos diferentes de mandacaru e gasolina como adsorvato. A capacidade de adsorção foi de 7,5 g/g para um tipo de mandacaru e para outro, 6,0 g/g, a diferença entre os desempenhos dos materiais pode ser explicada pela afinidade do mandacaru com a gasolina e o tamanho dos poros presente na superfície desse material.

Silva et al., (2001) testaram a biomassa oriunda da casca de banana e também obtiveram valores melhores de adsorção, o material desenvolvido por eles conseguiu adsorver 4 g de gasolina por grama do material.

5.2 Caracterizações funcionais e morfológicas

As Figuras 14 e 15 apresentam o espectro de absorção na região do infravermelho (FTIR) referentes à parte interna e externa da casca da Ceiba pentandra, respectivamente.

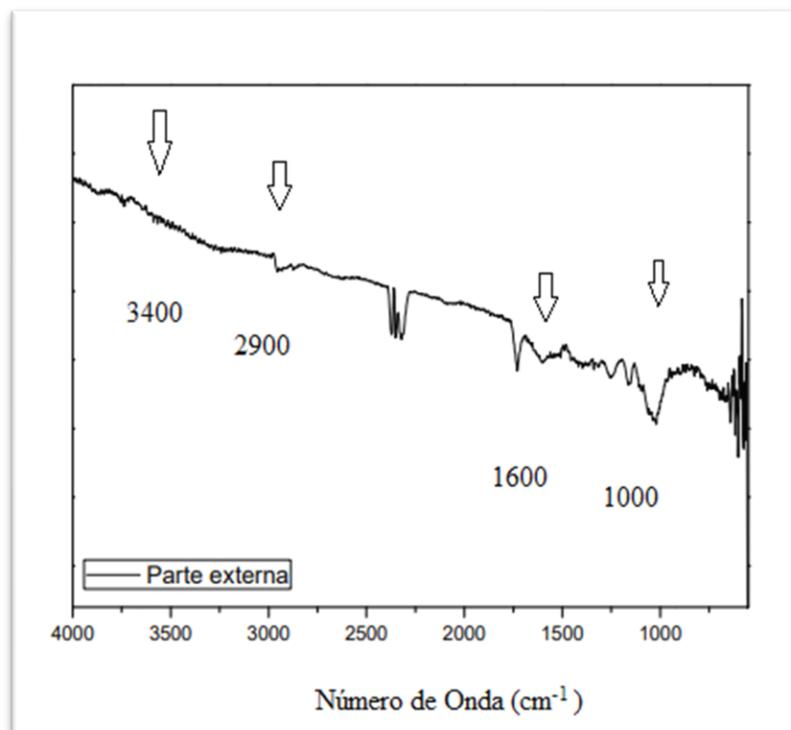
Figura 14- Análise dos grupos funcionais da parte interna



Fonte: Autor (2020).

A interpretação do espectro referente à parte interna da casca está condizente com a literatura. Segundo Liang et al., (2019), na Figura 14, os picos por volta de 3400 cm^{-1} representam à vibração de estiramento dos grupos $-\text{OH}$, geralmente esse resultado está associado a presença de água, álcool, fenóis e ácidos carboxílicos (FONTES et al.,2009). Picos presentes nesse intervalo de número de ondas explicam a afinidade com compostos polares (ASADPOUR et al., 2016). Já os picos na faixa de 2900 cm^{-1} e 1640 cm^{-1} representam à vibração de alongamento de $-\text{CH}_2$ e $\text{C}=\text{C}$ respectivamente, que está associado a oleofilicidade do material, a baixa intensidade do pico explica a pouca absorção em óleo da amostra. Em 1040 cm^{-1} representa o estiramento $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, que está associado a presença de celulose (LIANG et al., 2019).

Figura 15- Análise dos grupos funcionais da parte externa



Fonte: Autor (2020).

A interpretação do espectro referente à parte externa, foi baseada na pesquisa de Liang et al., (2019) e apresenta picos mais acentuados quando comparados aos apresentados no espectro da parte interna. Vale ressaltar que para este caso, os grupos funcionais são

caracterizados mais intensamente na faixa de 1600 cm^{-1} a 2900 cm^{-1} , assim sendo, utilizar essa região da casca é uma opção mais viável devido a maior capacidade oleofílica dessa parte.

O Quadro 5 fornece um resumo das regiões e o número de onda com as suas respectivas contribuições.

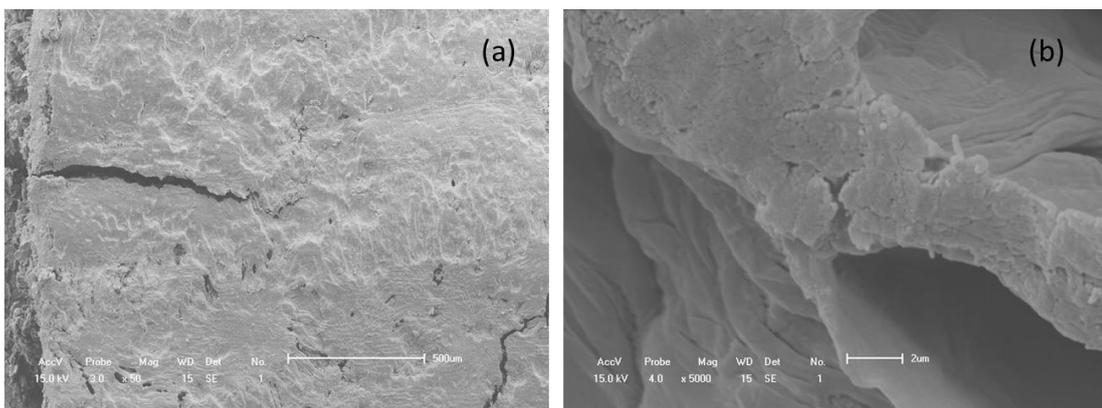
Quadro 5- Principais bandas detectadas no FTIR da casca da paineira

Número de Onda (cm^{-1})	Grupo Funcional	Referências
3400	-OH	Liang et al., (2019) e Fonts et al., (2009)
2900	-CH ₂	Liang et al., (2019)
1600	C=C	Liang et al., (2019)
1000	-C-O-C	Liang et al., (2019)

Fonte: Autor (2020).

A Figura 16 por sua vez traz as microscopias eletrônicas de varredura (MEV) das cascas da paineira, indicando que o material apresenta estrutura superficial rugosa, conforme aumento de 50 x em (a) e elevada área superficial pela presença de protuberâncias e fendas entre as camadas fibrosas conforme observado em (b), sugerindo espaços passíveis de preenchimento pelo óleo quando este em contato.

Figura 16- Estrutura morfológica das cascas de paina a (a) 50x de aumento e (b) 5000x.



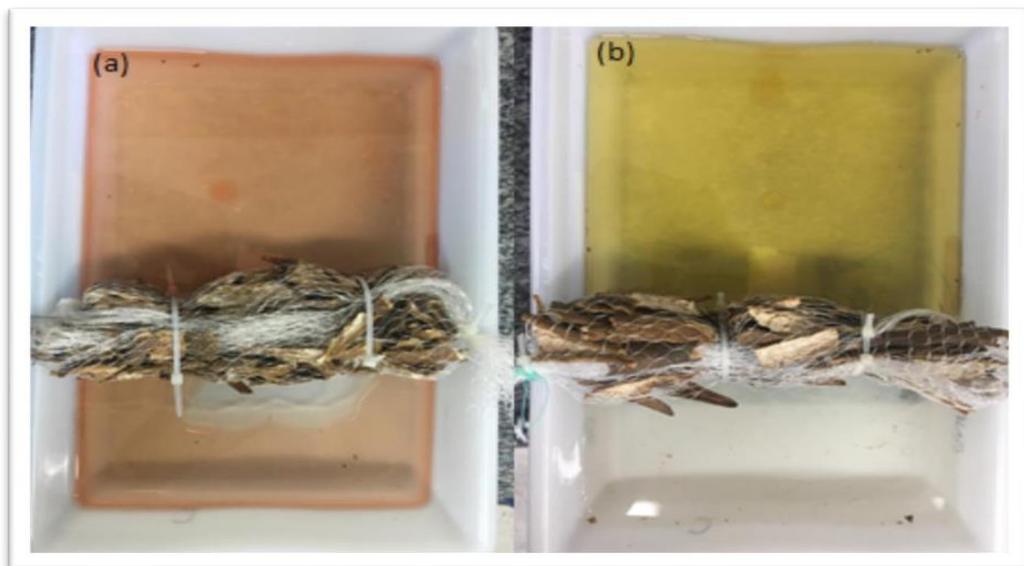
Fonte: Autor (2020).

5.3 Desenvolvimento de barreira de contenção para testar a aplicabilidade da casca da paineira em ambientes contaminados por derivados de petróleo

Foram desenvolvidas mini barreiras de contenção para analisar a aplicabilidade do material *in natura* em meio aquoso contaminado por derivados de petróleo, nesse caso, diesel e óleo lubrificante. Usou-se um recipiente de plástico com água para simular o corpo hídrico, as barreiras foram improvisadas inserindo as cascas em um material de nylon e testadas conforme as que apresentaram melhor desempenho de sorção no contaminante.

É possível perceber que a barreira, Figura 17-b, possuindo as cascas em tamanhos grosseiros conseguiu conter cerca de 200 mL de óleo lubrificante que foi lançado lentamente no reservatório. Já a barreira que continha as cascas em tamanhos reduzidos, Figura 16-a, foi testada com diesel, seguindo a mesma metodologia adotada no primeiro experimento. Como óleos menos viscosos se espalham com maior facilidade foi necessário pouco mais de 50 mL do gasóleo. O formato do reservatório e a quantidade de amostra do material abaixo do necessário proporcionaram um mau encaixe da barreira que geraram brechas que acarretaram na passagem do contaminante, proporcionando um resultado abaixo do esperado quanto o alcançado com o óleo de motor. A figura seguinte demonstra o resultado dos experimentos com as barreiras.

Figura 17- Barreiras de contenção desenvolvidas a partir das cascas *in natura* da paineira



Fonte: Autor (2020).

6 CONCLUSÃO

O projeto apresentado neste trabalho teve como finalidade o desenvolvimento de mini barreiras que apresentassem capacidade de contenção para serem aplicadas em cenários contaminados por derramamentos de óleo. Foram elaboradas duas barreiras, uma para avaliar o poder das cascas em tamanhos reduzidos de conter o óleo diesel e a outra para avaliar o poder das de tamanhos grosseiros de conter o óleo lubrificante.

A caracterização dos grupamentos funcionais em espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR) ajudaram a explicitar a maior funcionalidade oleofílica da parte externa das cascas.

A partir dos gráficos de sorção das amostras foi possível constatar o tempo de contato ideal, de 30 minutos, para as cascas em tamanhos reduzidos e para a opção de cascas grosseiras, o tempo de 15 minutos, para o diesel e o óleo lubrificante, respectivamente. A capacidade de sorção nesses tempos corresponderam a 1,059 g/g e 1,723 g/g, na devida ordem.

De acordo com o que foi obtido, torna-se necessário o aperfeiçoamento da metodologia utilizada na simulação com o interesse de torná-la mais eficaz, podendo ser aplicada na contenção de contaminantes derivados de petróleo em efluentes aquáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. G. **Avaliação Da Capacidade De Retenção Da Espuma De Poliuretano E Da Fibra Da Paina (*Chorisia Speciosa*) Aplicado Na Limpeza De Derramamento De Óleo Diesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, n. 67, Maceió, 2017.

ANNUNCIADO, T. R. **Estudo da *Chorisia speciosa* e outras fibras vegetais comosorventes para o setor de petróleo**. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

ASADPOUR, R., SAPARI, N. B., ISA, M. H., & KAKOOEI, S.; Acetylation of oil palm empty fruit bunch fiber as an adsorbent for removal of crude oil. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-11, 2016.

BAZARGAN, A., MCKAY, G., & TAN, J.; Standardization of Oil Sorbent Performance Testing. **Journal of Testing and Evaluation**, v.43, n.6, p. 1271-1278,2015.

BOZELLI, R. L.; LOPES, A. F.; SANTOS, L. F.; SILVA, J. M. C. Impactos ambientais da exploração e produção de petróleo na bacia de campos, RJ. **IV Encontro Nacional da Anppas**, Brasília, 2008.

BRASIL. CONAMA. Resolução n° 269, de 14 de setembro de 2000. **Regulamenta o uso de dispersantes químicos em derrames de óleo no mar**.

BRASIL. Lei n.º 6.938 de 31/08/1981: **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, Distrito Federal, 1981.

CANTAGALLO, C.; MILANELLI J. C.; DIAS-BRITO, D. **Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo: uma revisão**. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, v. 2, n. 1, p. 1-12. , 2007.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso de madeira**. Embrapa -CNPQ, 1994. Brasília.

CHANG, M.; DELONG, R. Calcium phosphate formation in gelatin matrix using free ion precursors of Ca²⁺ and phosphate ions. **Dent Mater**; 25:261-8. 2009

COSTA, P. D., JEREMIAS, T. C., MENEZES, C. T. B. Estudo de turfa e carvão ativado como adsorventes para remoção de hidrocarbonetos de meio aquoso; PEAT AND ACTIVATED CARBON AS ADSORBENT FOR AQUEOUS MEDIUM OIL REMOVAL. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 21, n.1, Criciúma, SantaCatarina2015.

COSTA, P. R. F. Da. **Tratamento Eletroquímico de Efluente Proveniente de Caixas Separadoras de Água e Óleo de Postos Revendedores de Combustíveis**. Natal - RN,Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

CRAIG, A., et al. **Técnicas de limpeza de vazamentos de petróleo em alto mar. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 1, n.15, UNIT, Aracaju, p. 75-86, 2012.

DOSHI, B., SILLANPAA, M., KALLIOLA, S., **A review of bio-based materials for oil spill treatment, Water Research**, n. 135 p. 262-277. 2018.

EMBRAPA. **Recomendações Técnicas**. Belém do Pará: 2002.

ERNESTO, M. F. S., **Poluição por petróleo nos ambientes marinho e costeiro**. Universidade Norte do Paraná. 2010.

EUGRIS – **European Information System Soil and Groundwater**. Consulta geral a homepage. 2008. Disponível em: < <http://www.eugris.info> > Acesso em dez.2019.

FERRRÃO, C., et al., **Derramamentos de Óleo no Mar por Navios Petroleiros**. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Abril 2005.

FÉRIS, L.A. **Aproveitamento de um subproduto do beneficiamento do carvão mineral na remoção de poluentes por sorção-flotação FAD**. 2001. 176. Tese de Doutorado em Engenharia. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGEM–UFRGS. 2001.

FIORINI, E.J.; **Fourier Transform Infrared Spectroscopy**. Material de Apoio. Universidade Federal de Campinas. 2000.

FOLETTTO, E. et al., **Uso de biomassa como absorvente para a contenção de derramamento de óleo**, v. 6. n.1. Santa Maria, Rio Grande do Sul , 2009,

GOLIN, D. M. **Remoção de chumbo de meios líquidos através de adsorção utilizando carvão ativado de origem vegetal e resíduos vegetais**. Mestrado (Dissertação), Universidade Federal do Paraná, 2007.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. **Relatórios Acidentes Ambientais**. 2008.

IFELEBUEGU, A. O., & MOMOH, Z.; An Evaluation of the Adsorptive Properties of Coconut Husk for Oil Spill Cleanup. **adsorption**, v. 6, n.7, p.8, 2015.

INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION - **ITOPF**. Disponível em: < <http://www.itopf.com/> >. Acesso 25 de janeiro de 2020.

ITOF. **Oil Tanker Spill Statistics**, 2015. Disponível em: <<http://www.itopf.com/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>> Acesso em: jul. 2019.

JIAN, X. et al. Comparison of characterization and adsorption of biochars produced from hydrothermal carbonization and pyrolysis. **Environmental Technology & Innovation**, v. 10, p. 27–35, 2018

KUMPANENKO, I. V, et al. **Application of Sorbents to the Collection of Crude Oil and Refined Product Spills**. Russian Journal of Physical Chemistry B, 9(2), 295–299, 2015. <http://doi.org/10.1134/S1990793115020232>

KURNIAWAN, A. et al. Novel, Integrated Biorefinery Approach of Ceibapentandra (Kapok) Seed and Its Secondary Waste, [S.I], p.1-8, 2013.

LOPES, C. F.; MILANELLI, J. C. C.; POFFO, I. R. F. Ambientes Costeiros contaminados por óleo Procedimentos de limpeza- Manual de orientação. São Paulo: CETESB, 120 p .2007.

LIANG, SD. et al. Hierarchical Biocarbons with Controlled Micropores and Mesopores Derived from Kapok Fruit Peels for High-Performance Supercapacitor Electrodes. **ACS Omega**. 2019.

MANNHEIMER WA. Microscopia dos materiais., Rio de Janeiro: **E-paper**; 2002.

PALADINO, E. E.; **Modelagem matemática e simulação numérica de trajetórias de derrames de petróleo no mar**. 2000.

MILANELLI, J.C.C.; LOPES, C.F. **Recuperação de praias atingidas por derrames de óleo**: procedimentos emergenciais adotados pela CETESB In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA: oceanografia e sociedade - um desafio à teoria e prática, n. 14., 2001, Rio Grande, RS. Anais: n. 83. 2001

MONTANHER, S.F.; OLIVEIRA, E.A.; ROLLEMBERG, M.C. Utilization of agro-residues in the metal ions removal from aqueous solutions. Hazardous Materials and Wastewater: Treatment, Removal and Analysis, *Nova Science Publishers*, p. 51-78, 2007.

MOREIRA, D. R. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia**. Mestrado (Dissertação), Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010.

MOREIRA, I.T.A. **Avaliação da eficiência de modelos de remediação aplicados em sedimentos de manguezal impactados por atividades petrolíferas**. Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 163 p. 2011.

Neto, L. A. B. **Uso de casca de arroz para adsorção de óleo lubrificante mineral**,2007.

NORONHA, I. R.; FERREIRA, M. I. P.; PINTO. A. E. M. Riscos E Danos Ambientais Associados Às Atividades Da Cadeia Produtiva Do Petróleo: Instrumentos De Comando E Controle Para Mitigação Dos Impactos De Vazamentos De Óleo. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. v.7, n.1 2018.

OLIVEIRA, F. et al., Uso da casca da banana como bioadsorvente em leito diferencial na adsorção de compostos orgânicos costea. **Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia/UEPB**. Campina Grande, 2011.

PAULAUSKIENĖ, T.; JUCIKĖ, I. **Aquatic oil spill cleanup using natural sorbents**. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 19, p. 14874-14881, 2015.

PERRY, R.H.; GREEN, D.W.; MALONEY, J.O. Chemical engineer' handbook. 6thed. **New York: McGraw-Hill**, 1984.

RUTHVEN, D. M. Principles of adsorption and adsorption processes. **New York: Wiley**, 1984.

SCHEER, AGNES DE PAULA. Desenvolvimento de um sistema para simulação e otimização do processo de adsorção para avaliação da separação de misturas líquidas. **Tese de doutorado, UNICAMP**, 204p. Campinas, 2002.

SCHNEIDER, IVO A. H.; RUBIO, J. Plantas Aquáticas: Adsorventes Naturais para a Melhoria da Qualidade das Águas. **XIX Prêmio Jovem Cientista**, Água: Fonte de Vida. UFRGS, 2003.

SCHNEIDER, L. T. et al. Potencial da utilização de casca de arroz in natura no processo de tratamento de óleo residual. **XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA**. Fortaleza - CE. Anais. p. 8. 2014.

SOUZA, C. R. et al. **Sumaúma (Ceiba pentandra (L.) Gaerth)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 22, 2005.

SILVA, V. L. M. M. et al.. Estudo comparativo da cinética de adsorção de gasolina utilizando como biomassas adsorventes o bagaço de cana-de-açúcar e a casca de banana. **4º Congresso Norte- Nordeste de Química - 2º Encontro Norte-Nordeste de Ensino de Química**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2011.

S. S. S. MARTINS et al. **PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E IMPACTOS AMBIENTAIS: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES**. 2015.

SZKLO, A.S. **Fundamentos do Refino do Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS. 2005.

Tarley, C.R.T., Arruda, M.A.Z. Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. **Chemosphere**, v. 54, p. 987-995, 2004.

Tarley, C.R.T., Ferreira, S.L.C., Arruda, M.A.Z. Use of modified rice husks as a natural solid adsorbent of trace metals: characterization and development of an on-line preconcentration system for cadmium and lead determination by FAAS. **Microchemical Journal**, v. 77, p.163-175, 2004.

TKALICH, P.; CHAN, E.S. Vertical mixing of oil droplets by breaking waves. **Marine Pollution Bulletin**, UK, v. 44, n. 11, p. 1219- 1229, 2002.

UNITED STATES. EPA. **Oil spill prevention, preparedness & response: response techniques – sorbents**. WASHINGTON, 2004.

ZHENG, Y. et al. Research and application of kapok fiber as an absorbing material: a mini review. **Journal of Environmental Sciences**, v. 27, p. 21-32, 2015.