



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

JÉSSIA ESTEFÂNIA DE OLIVEIRA AMORIM SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ADSORTIVO DE BIOCAMPÓSITOS DE
POLIURETANO A BASE DE ÓLEO DE MAMONA COM ADIÇÃO DE BAGAÇO DE
MALTE PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS**

**CAMPINA GRANDE - PB
2021**

JÉSSIA ESTEFÂNIA DE OLIVEIRA AMORIM SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ADSORTIVO DE BIOCMPÓSITOS DE
POLIURETANO A BASE DE ÓLEO DE MAMONA COM ADIÇÃO DE BAGAÇO DE
MALTE PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Ciência Ambiental

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz

Coorientadora: Profa. MsC. Fernanda Vieira Amorim

**CAMPINA GRANDE - PB
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586a Silva, Jéssia Estefânia de Oliveira Amorim.

Avaliação do potencial adsorptivo de biocompósitos de poliuretano a base de óleo de mamona com adição de bagaço de malte para remoção de contaminantes orgânicos [manuscrito] / Jéssia Estefania de Oliveira Amorim Silva. - 2021.

52 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Profª. Dra. Márcia Ramos Luiz, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Biopolímeros. 2. Isocianato. 3. Poliál. 4. Malte. I. Título

21. ed. CDD 668.9

JÉSSIA ESTEFÂNIA DE OLIVEIRA AMORIM SILVA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ADSORTIVO DE BIOCAMPÓSITOS DE POLIURETANO A BASE DE ÓLEO DE MAMONA COM ADIÇÃO DE BAGAÇO DE MALTE PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Ciência Ambiental

Aprovado em: 19 / 10 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Márcia Ramos Luiz

Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba

Neyliane Costa de Souza

Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza
Universidade Estadual da Paraíba

Fernando Fernandes Vieira

Profa. Dr. Fernando Fernandes Vieira
Universidade Estadual da Paraíba

A minha mãe, pela dedicação,
companheirismo, incentivo e apoio,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por sempre permanecer presente em minha vida, dando-me forças e coragem mediante as dificuldades encontradas no decorrer de toda a trajetória, sempre me iluminando e guiando-me.

A minha mãe Elizabete, e toda a minha família, agradeço a força, dedicação, compreensão, orientação e incentivo, na qual sempre se fizeram presentes, até mesmo nos momentos mais difíceis tanto na vida pessoal como acadêmica.

Agradeço à minha Orientadora, Dra. Márcia Ramos Luiz, pela paciência, dedicação e companheirismo, sempre estando pronta para me ajudar e orientar da melhor forma possível no meu caminho acadêmico, estando presente desde o meu ingresso no projeto de pesquisa pela Universidade Estadual da Paraíba até a conclusão do meu curso de Graduação. Gratidão por ter me mostrado o caminho correto quando necessário, sempre me motivando na vida profissional e pessoal.

A minha amiga e companheira de graduação, Zenilda, obrigada pela compreensão e paciência que durante toda a trajetória do curso esteve sempre presente, sempre dando apoio psicológico e me incentivando.

E a todos envolvidos que de forma direta ou indiretamente auxiliaram na realização deste trabalho.

RESUMO

O crescente avanço tecnológico possibilitou o desenvolvimento de materiais adsorventes sustentáveis através do uso de recursos renováveis, reduzindo os índices de impactos ambientais. Neste contexto, os materiais adsorventes podem ser desenvolvidos com inserção de resíduos orgânicos gerados na produção industrial, obtendo materiais sustentáveis que apresentam características hidrofóbicas e oleofílicas, uma vez que o desenvolvimento de adsorventes sustentáveis a partir do resíduo orgânico gerado na produção industrial, apresenta-se como uma alternativa viável para essa problemática. A presente pesquisa objetivou no desenvolvimento de um adsorvente com matriz de poliuretano à base de óleo de mamona, com incorporação do bagaço de malte como fase reforço, a fim de estudar seu potencial adsorvivo e sua capacidade de reutilização em sistemas contendo contaminantes orgânicos. O resíduo agroindustrial utilizado no experimento foi o bagaço de malte, sendo submetido ao processo de pré-tratamento, passando pela secagem em estufa a 60°C seguido da peneiração em um conjunto de peneiras de série Tyler entre 1,18 e 2,00 mm de abertura. Neste experimento, foram utilizados como contaminantes o corante têxtil Preto Tupy, óleo de motor, diesel S10 e S500 e óleo de fritura. A formulação dos biocompósitos foi realizada através do processo de mistura dos componentes isocianato e polioliol, na proporção 1,3:1, acrescentando como fase reforço o bagaço de malte variando entre 0, 5, 10, 15 e 20% m/m. O material desenvolvido foi avaliado através da proporção gradual da inserção do resíduo agroindustrial nos corpos de provas, avaliando-se a capacidade de adsorção e reutilização do adsorvente. Na capacidade de adsorção os corpos de provas foram imersos nos contaminantes orgânicos durante 60 minutos em sistema estático. Na avaliação da capacidade de reutilização foram empregados métodos de reuso nos biocompósitos que apresentaram um melhor resultado como material adsorvente. A inserção do resíduo de bagaço de malte atribuiu a espuma características favoráveis, como uma melhor maleabilidade, tornando o material mais poroso, o que gerou um aumento na capacidade de adsorção, sendo esta diretamente ligada à propriedade expansiva da espuma.

Palavras-chave: Biopolímeros. Isocianato. Polioliol. Malte. Oleofílico. Hidrofóbico.

ABSTRACT

The growing technological advance has enabled the development of sustainable adsorbent materials through the use of renewable resources, reducing the rates of environmental impacts. In this context, adsorbent materials can be developed with the insertion of organic waste generated in industrial production, obtaining sustainable materials that have hydrophobic and oleophilic characteristics, since the development of sustainable adsorbents from organic waste generated in industrial production, presents itself as a viable alternative to this problem. The present research aimed to develop an adsorbent with a castor oil-based polyurethane matrix, with malt bagasse incorporation as a reinforcement phase, in order to study its adsorptive potential and its reuse capacity in systems containing organic contaminants. The agro-industrial residue used in the experiment was malt bagasse, which was subjected to a pre-treatment process, undergoing drying in an oven at 60°C, followed by sieving in a set of Tyler series sieves between 1.18 and 2.00 mm of opening. In this experiment, the Black Tupy textile dye, motor oil, S10 and S500 diesel and frying oil were used as contaminants. The formulation of the biocomposites was carried out through the process of mixing isocyanate and polyol components, in a ratio of 1.3:1, adding malt bagasse as a reinforcement phase, varying between 0, 5, 10, 15 and 20% m/m. The developed material was evaluated through the gradual proportion of the insertion of the agro-industrial residue in the specimens, evaluating the adsorption capacity and reuse of the adsorbent. In the adsorption capacity, the specimens were immersed in organic contaminants for 60 minutes in a static system. In evaluating the reuse capacity, reuse methods were used in biocomposites that presented a better result as an adsorbent material. The insertion of malt bagasse residue gave the foam favorable characteristics, such as better malleability, making the material more porous, which generated an increase in the adsorption capacity, which is directly linked to the foam's expansive property.

Keywords: Biopolymers. Isocyanate. Polyol. Malt. Oleophilic. Hydrophobic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura química do ácido ricinoléico	19
Figura 2. Estrutura química do triglicerídeo do ácido ricinoléico.	21
Figura 3. Reagentes da espuma de poliuretano à base de óleo de mamona, MAMONEX® RD70.	22
Figura 4. Bagaço de Malte resultado do processo de mosturação.	31
Figura 5. Conjunto de peneiras com granulometria de 1,18 e 2,00 mm de abertura	33
Figura 6. Fabricação da espuma PU à base de óleo de mamona.	34
Figura 7. Amostras da espuma (EPUMA) e dos biocompósitos (EPUMA-BM).	37
Figura 8. Capacidade de adsorção da EPUMA e da EPUMA-BC utilizando como contaminante o diesel S10, óleo de motor, óleo de fritura e diesel S500.	39
Figura 9. Capacidade de reutilização da EPUMA-BC 20% para recuperação do diesel S500.	41
Figura 10. Capacidade de reutilização da EPUMA - BC 20% para recuperação do diesel S10.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos ácidos graxos presentes no óleo de mamona	21
Tabela 2. Formulação da espuma e dos biocompósitos.	36
Tabela 3. Dados experimentais obtidos no processo adsortivo do corante	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Espumas de Poliuretano	15
3.2 Óleos Vegetais	18
3.2.1 Óleo de mamona (<i>Ricinus communis</i>)	18
3.3 Poliuretano à Base de Óleo de Mamona	21
3.4 Aproveitamento do Resíduo Agroindustrial	23
3.4.1 <i>Bagaço de Malte</i>	25
3.5 Impactos Ambientais Decorridos por Poluentes Orgânicos	26
3.6 Adsorção	28
4 METODOLOGIA	31
4.1 Materiais	31
4.1.1 <i>Espuma de Poliuretano Vegetal</i>	31
4.1.2 <i>Resíduo Agroindustrial</i>	31
4.1.3 <i>Contaminantes</i>	32
4.2 Processamento	32
4.2.1 <i>Preparo do Resíduo Agroindustrial de Bagaço de Malte (fase reforço)</i>	32
4.3 Métodos de Adsorção	34
4.3.1 <i>Capacidade de Adsorção</i>	34
4.3.2 <i>Capacidade de Reutilização do Biocompósito</i>	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 Síntese da Espuma de Poliuretano Vegetal e dos Biocompósitos	36
5.2 Capacidade de Adsorção	37

<i>5.2.1 Corante</i>	37
<i>5.2.2 Contaminantes Orgânicos</i>	38
5.3 Capacidade de Reutilização do Biocompósito	40
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A contaminação dos recursos hídricos tem sido um dos grandes problemas da sociedade, tal problema é decorrente, principalmente do elevado crescimento populacional e das atividades industriais (SILVA, 2013). A grande geração de efluentes nos recursos hídricos acarreta principalmente em alterações dos ciclos biológicos, podendo causar grandes problemas ao ecossistema (GE et al., 2016).

O processo de poluição aquática, ocasionada por rejeitos industriais depositados nos recursos hídricos de forma incorreta, resulta em uma grande ameaça à saúde pública. Torna-se evidente, o grande aumento de águas residuais do setor industrial, assim como também acidentes envolvendo vazamentos de compostos orgânicos insolúveis em água (AMORIM, 2019).

Desta forma, a forte coloração nos efluentes e a presença de contaminantes aquáticos interfere na atividade fotossintética, como também no crescimento de algas, dificultando a sobrevivência da biota aquática. Tendo em vista, toda a problemática envolvendo os contaminantes orgânicos é necessário que as indústrias recorram a tecnologias eficazes e de baixo custo, visando aprimoramento no tratamento de seus efluentes, e minimizando impactos ambientais.

É imprescindível o uso de novas técnicas, que visem o desenvolvimento de materiais que apresentem como principal finalidade a remediação, reduzindo os impactos ambientais, causados por contaminantes orgânicos. A busca por métodos eficientes e com baixo custo, tem se tornado cada vez mais intenso, para a remoção de poluentes orgânicos (GE et al., 2016). Dentre as várias técnicas está o uso de materiais adsorventes (SANTOS *et al.*, 2018).

Têm-se intensificado estudos para criação de bioadsorventes gerados através de resíduos descartados em agroindústrias, em virtude da grande produção agrícola do país e a grande desproporção entre a velocidade de geração de resíduos e a capacidade da natureza em absorvê-los. Esses resíduos, quando dispostos inadequadamente na natureza, aumentam o potencial poluidor, contaminam solos e

corpos hídricos e intensifica a lixiviação desses compostos no ambiente de descarte, acarretando problemas de saúde pública.

Os poliuretanos apresentam uma grande relevância em sua aplicação, uma vez que é uma família de polímeros da engenharia, com boa resistência química e térmica, mostrando-se promissores para utilização como material adsorvente, devido sua boa permeabilidade, baixa densidade, alta porosidade e acessibilidade no comércio (SANTOS *et al.*, 2018).

Os poliuretanos à base de óleo vegetal são biopolímeros provenientes da reação do isocianato com o polioliol, na qual apresentam uma boa permeabilidade, alta biodegradabilidade e não emanam substâncias tóxicas (AKRAMA, 2017).

Neste sentido, é imprescindível destacar a importância da utilização de fontes renováveis para a geração de materiais adsorventes sustentáveis, sendo a adição de resíduos agroindustriais na síntese de espuma de poliuretano uma alternativa atrativa. A remoção dos contaminantes por meio de materiais biodegradáveis, como a espuma de poliuretano à base de óleo de mamona com adição de bagaço de malte evidencia a redução do impacto ambiental e alta tendência de degradação biológica por microrganismos, em relação ao poliuretano convencional.

Diante do contexto apresentado, o presente trabalho associou o interesse científico pela utilização de produtos bioadsorventes para o tratamento de águas residuais, associado ao interesse tecnológico com o desenvolvimento de materiais biodegradáveis promissores para a separação/recuperação de contaminantes aquáticos. Neste trabalho, a grande vantagem do material apresentado consiste no fato de que o contaminante adsorvido por este material poderá ser novamente reaproveitado e a espuma poderá ser reutilizada para novas adsorções, proporcionando uma visão mais ampla relativa à redução dos impactos ambientais de forma econômica.

O presente trabalho se justifica devido ao crescimento dos descartes dos resíduos agroindustriais, sendo necessário a intensificação nos estudos dos resíduos gerados pelo processamento em agroindústrias, na qual apresenta como uma alternativa viável, a incorporação desses resíduos em espumas de poliuretano,

gerando um biocompósito. Portanto, a pesquisa irá apresentar um material sustentável, de fácil acesso em termos econômicos e biodegradável, na qual o fator determinante será a adição do resíduo agroindustrial, para que ocorra uma melhor adsorção dos contaminantes orgânicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a viabilidade adsortiva da espuma de poliuretano à base de óleo de mamona e de biocompósitos formulados a partir do bagaço de malte, em contaminantes orgânicos.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um material bioadsorvente por meio da seleção da granulometria das partículas dos resíduos agroindustriais.
- Possibilitar um destino adequado ao bagaço de malte para adsorção de compostos orgânicos em corpos aquáticos.
- Realizar o experimento em soluções contendo contaminantes orgânicos aquáticos para avaliação da potenciação do processo adsortivo em biocompósitos.
- Estudar a viabilidade de produção das espumas de poliuretano à base de óleo mamona contendo resíduos agroindustriais em proporções variadas, verificando a melhor formulação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Espumas de Poliuretano

O poliuretano é um dos materiais poliméricos mais versáteis, em relação aos seus métodos de processamento e suas propriedades mecânicas, podendo-se obter um plástico rígido cristalino, um elastômero flexível ou um gel viscoelástico. Estes são uma classe de polímeros, que têm ampla gama de aplicações, podendo ainda ser utilizado como espumas, revestimentos, adesivos e fibras (KONG *et al.*, 2013; KIM *et al.*, 2010).

A síntese do poliuretano é constituída pela reação de poliadição entre isocianatos ($-N=C=O$), polióis ($-OH$) e extensores de cadeia (SOUZA, 2013). Este material é considerado como copolímero em blocos segmentados, em que são constituídos por segmentos rígidos e flexíveis. A reação entre o isocianato e os extensores de cadeia forma o segmento rígido, enquanto o polioliol é responsável pelo segmento flexível (PACHECO *et al.*, 2007).

Outros tipos de reagentes são utilizados na síntese dos poliuretanos, como os extensores de cadeia, que geralmente são polióis de cadeias menores, e catalisadores, que apresentam como principal finalidade aumentar a velocidade da reação e estabelecer um equilíbrio proporcionalmente adequado entre a extensão da cadeia e a reação de formação de polímero. Surfactantes e agentes de expansão também são importantes na produção dos poliuretanos. No caso da adição dos agentes de expansão, a principal finalidade é controlar o processo de formação da espuma e a densidade dos materiais poliméricos (FERREIRA, 2003).

Na preparação química dos poliuretanos, diversos métodos são utilizados, porém é importante destacar um dos métodos fundamentais em que todos os reagentes são misturados em uma única etapa denominada *one shot*. Esse processo de mistura ocorre em temperatura ambiente, sob intervalo de agitação definido mediante as características e proporção da quantidade de mols dos reagentes, na qual apresenta como resultado um poliuretano linear que é

proveniente de dois compostos que apresentam dois ou mais radicais da hidroxila e do isocianato (AMORIM, 2019).

A expansão da espuma é caracterizada no momento em que ocorre a mistura dos reagentes no agitador mecânico. Bolhas de ar são formadas na mistura líquida dos componentes, dando início ao processo de nucleação, na qual todo o material sofre expansão através da difusão do gás carbônico. Outro fator que contribui para o crescimento das bolhas são os agentes de expansão auxiliares, uma vez que ao sofrer reação exotérmica sofrem volatilização. Ocorrendo, posteriormente, a estabilização das bolhas e formação da espuma sólida (CÂMARA, 2015).

O mesmo autor faz menção ao formato poliédrico que a espuma apresenta quando sólida, na qual este fenômeno é decorrente do crescimento das bolhas em formato esférico, que apresenta como resultado a expansão e estabilização do material

As esponjas de poliuretano são escolhidas como matérias-primas porque são duráveis, baratas, disponíveis em grande escala e, acima de tudo, têm uma enorme soma de orifícios conectados que podem fornecer uma capacidade de sorção de composto orgânica alta. Além disso, as esponjas de poliuretano possuem excelentes propriedades elásticas e podem recuperar o estado inicial após muitas vezes de compressão. O único obstáculo é que as esponjas de poliuretano são hidrofílicas, sendo necessárias modificações de superfície para melhorar a seletividade (WU *et al.*, 2014).

Em alguns poliuretanos (PUs), o conteúdo do polioliol pode ultrapassar 80% do seu peso. Como tal, o custo do polioliol influencia fortemente no valor comercial final do produto polimérico. Os poliolióis derivados do petróleo, que são comumente empregados para a produção dos poliuretanos, se tornaram onerosos, devido à oferta mais limitada de abastecimento do petróleo bruto. Este fato acarreta alto custo desta matéria-prima para a indústria de poliuretanos. Desta forma, pesquisas buscando poliolióis de baixo custo tem sido realizadas, com intuito de obter, matérias-primas de origem renovável e que não tragam prejuízos ao meio ambiente. Dentro deste contexto, os óleos vegetais se mostram como uma excelente

alternativa para suprir a necessidade das indústrias de poliuretano (PECHAR *et al.*, 2007).

Além dos materiais hidrofóbicos, os materiais sustentáveis, usando recursos renováveis, estão atraindo considerável atenção a pesquisas e meio comercial devido à questão da sustentabilidade (BHOYATE *et al.*, 2018).

Com o passar dos anos, os materiais hidrofóbicos chamaram muita atenção nas aplicações de adsorção de óleo, transporte de óleo e separação de sistemas contendo óleo/água, principalmente devido às suas propriedades únicas de umedecimento (CHU *et al.*, 2015) e baixo custo de material (CHENG *et al.*, 2018).

A vantagem de se empregar os óleos vegetais para produção de polímeros é que sua constituição química o torna suscetível ao ataque de microrganismos. Por isso, podem apresentar características biodegradáveis, sendo naturalmente incorporados ao meio ambiente. O mesmo não ocorre com os polímeros derivados do petróleo, que uma vez descartados, não se degradam ao longo de décadas ou séculos, levando ao agravamento do problema do descarte de resíduos (CANGEMI *et al.*, 2009).

A constante busca por insumos básicos de caráter renovável tem despertado estudos voltados à aplicabilidade de óleos naturais, sendo que estes possuem características favoráveis a superar necessidades energéticas a fim de fortalecer a produção de materiais biodegradáveis (PAIVA *et al.*, 2010).

Alguns autores já vêm estudando esse tipo de espuma: Su *et al.* (2009) relataram uma espuma de poliuretano hidrofóbica com ângulo de contato com água de aproximadamente 152° que pode recuperar o óleo da água. Wu *et al.* (2014) prepararam um material sorvente de óleo com uma capacidade de absorção de 100 g/g de sorvente para o óleo do motor, tratando as esponjas de poliuretano com sol de sílica e depois com gasolina. Zhang *et al.* (2017) relataram capacidades de sorção (g/g) de PU equivalente a 16,8 para o diesel), 15,7 para a gasolina, 20,7 para o óleo de motor, 25,4 para o querosene, 29,8 para o petróleo bruto e quase 100% de remoção de diesel da água foi alcançada.

Os poliuretanos são usualmente obtidos através da reação de isocianatos e polióis. A síntese de poliuretanos utilizando óleos vegetais, como o ácido ricinoleico sintetizado a partir do óleo de mamona é uma tendência global e vem crescendo nas últimas décadas, pela utilização de matérias-primas renováveis e seu apelo ecológico (MALLMANN *et al.*, 2014).

A versatilidade deste polímero se deve às possibilidades de variar sua estrutura química e as formas dos artefatos que constitui. A utilização de reagentes como o polibutadieno hidroxilado, por exemplo, permite produzir materiais uretânicos espumados, conhecidos como espuma de poliuretano, muito utilizados na indústria de eletrodomésticos e embalagens, na área sanitária, bem como no campo da separação química (AMÂNCIO, 2017).

3.2 Óleos Vegetais

Os óleos vegetais são excelentes procedências para a obtenção de insumos poliméricos, na qual resultam da formação de lipídios compostos por triglicerídeos. Ao sofrerem hidrólise, apresentam em sua composição química uma cadeia longa com três ácidos carboxílicos acompanhados do triéster de glicerol (FERRER *et al.*, 2008; DRUMMOND, 2008).

Em geral, este material é biodegradável, o que facilita a alternativa da implantação por meios que gerem menos impactos ao meio ambiente. Além disso, esse composto lipídico, quando implantado em materiais poliméricos, apresenta um baixo custo de produção, e um baixo grau de toxicidade. Portanto, neste sentido torna-se possível a efetivação do óleo vegetal como base de polióis para síntese de poliuretano (ALMEIDA, 2015).

3.2.1 Óleo de mamona (*Ricinus communis*)

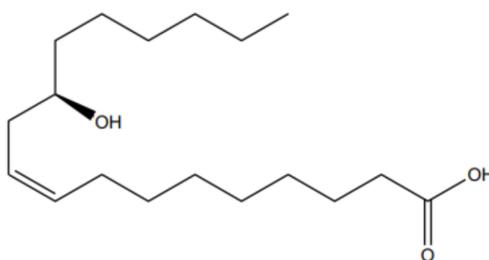
O óleo de mamona, comumente conhecido como óleo de rícino, é extraído da semente da planta *Ricinus communis* L., cujo vegetal apresenta alta abundância no Brasil, especialmente em regiões tropicais. Geralmente em sua composição,

apresenta ácidos graxos variados, destacando-se o ácido ricinoleico, que representa aproximadamente cerca de 90% da composição total do óleo. Apresenta como característica principal alta viscosidade e pouca solubilidade em hexano. Sua estrutura química é constituída de três grupos altamente reativos, na qual apresenta o radical hidroxila como o grupo fundamental para que ocorra a reação com o isocianato (BRESOLIN, 2014; CANGEMI *et al.*, 2008; ALVES *et al.*, 2021).

O óleo de mamona é um poliéster poliálcool trifuncional com grupo hidroxila inerente que ganhou grande atenção sob o poliálcool à base de petróleo para a síntese de poliuretanos biodegradáveis e é um dos mais importantes recursos renováveis, com um triglicérido de vários ácidos graxos (WANG *et al.*, 2018).

Diante do contexto industrial, principalmente no que se refere a indústria química, esse óleo é de extrema relevância, pois apresenta características versáteis. Destacando-se, quando comparado aos outros óleos vegetais, devido à grande quantidade de hidróxidos presente em sua estrutura, onde o ácido ricinoléico simultaneamente com os três sítios reativos atuam com características exclusivas o que proporciona a elaboração de forma ampla de produtos industriais. Neste sentido, é válido ressaltar que o óleo de rícino, devido suas características peculiares, é um dos óleos mais viscosos existentes, apresentando também uma maior estabilidade em condições variadas de pressão e temperatura (BASTOS, 2021).

Figura 1. Estrutura química do ácido ricinoléico



Fonte: Ferreira (2012).

Os grupos funcionais, presentes na estrutura química do óleo de mamona, possibilitam a formação de uma diversidade de produtos, uma vez que não requer

que a matéria-prima passe pelo processo de modificação química para a sua produção em escala industrial (CÂMARA, 2015).

O fruto da mamona apresenta características taxonômicas, em que é uma cápsula de coloração verde ou vermelha que pode ser lisa ou com estruturas semelhantes às dos espinhos. A principal parte da mamoneira é a semente, encontrada dentro do fruto da mamona, dela é extraído o óleo de rícino, (MANO, 2008). Esse líquido viscoso é extraído da semente do vegetal, na qual é obtido pelo processo de prensagem das sementes, através da injeção a quente ou a frio, podendo também ser obtido através da operação pelo contato com um solvente insolúvel específico (COSTA, 2006).

Seu uso é empregado principalmente como base na produção de cosméticos, produtos farmacêuticos, na produção de corantes, anilinas, desinfetantes, germicidas, óleos lubrificantes de baixa temperatura, colas e aderentes, *nylon*, resinas, tubos de irrigação, aditivos para combustíveis, inseticidas, fungicidas, bactericidas, inseticidas, produtos sintéticos, fluido hidráulico, graxas, tintas, vernizes, sabões, próteses em substituição ao silicone, próteses ósseas, cirurgias de mama e de próstata, entre outros (GIBELLI, 2001).

Tabela 1. Composição dos ácidos graxos presentes no óleo de mamona

Ácidos graxos	Teor (%)
Ácido ricinoléico	84,0 - 91,0
Ácido oléico	3,1 - 5,9
Ácido linoléico	2,9 - 6,5
Ácido estereático	1,4 - 2,1
Ácido palmítico	0,9 - 1,5

Fonte: EMBRAPA (2017).

A produtividade de mamona para a safra de 2019/2020 nacional foi em média 950,7 kg/ha. A melhor média é colhida na região Sudeste, 2.000 kg/h, mas as áreas são pequenas e estão diminuindo a cada safra (CONAB, 2020). O óleo da mamona

é um dos melhores produtos para tais finalidades, em função das suas características singulares, entre elas maior densidade, solubilidade em álcool e cerca de 5% de oxigênio a mais na molécula (BELTRÃO et al., 2003).

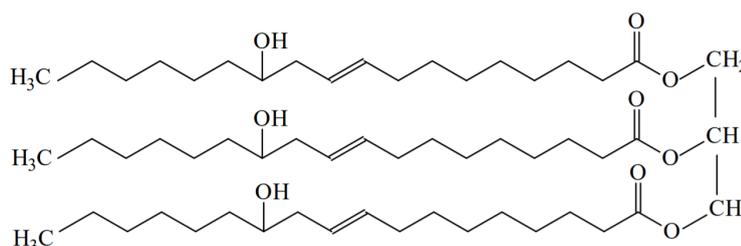
Ressalta-se que na sua semente são encontradas substâncias tóxicas a insetos, animais e humanos; trabalhos desenvolvidos por Lee *et al.* (2006) confirmam que a presença de ricina, proteína cuja ingestão ou inalação pode ser mortal mesmo em pequenas doses, três sementes podem ser suficientes para provocar a morte de um humano jovem.

A proteína da ricina está presente em 6% a 9% na composição da semente fazendo parte de uma ampla família de enzimas conhecidas como proteínas inibidoras de ribossomos que, impossibilitando a síntese proteica, levam à morte celular (LIMA, 2007).

3.3 Poliuretano à Base de Óleo de Mamona

A espuma de poliuretano à base de óleo de mamona apresenta propriedades específicas o que a distingue dos demais polióis derivados de outros óleos vegetais. O ácido ricinoléico é uma peculiaridade na composição química do óleo, o que torna este composto altamente reativo. Neste sentido é importante ressaltar que sua estrutura química favorece a reação de síntese com o polioli poliéster, pois devido à presença de três sítios reativos, que são o radical hidroxila no 12° carbono, a presença de uma insaturação no 9° carbono e o grupo carbonila situado no 1°carbono, conforme apresentado na Figura 2 (ALMEIDA, 2015; CANGEMI et al., 2006).

Figura 2. Estrutura química do triglicerídeo do ácido ricinoléico.



Fonte: CANGEMI *et al.* (2006).

A reação de polimerização desta resina expansiva é sintetizada através de dois componentes, o polioli e o pré-polímero. Na formulação do material polimérico, o polioli é proveniente do óleo de mamona, já o pré-polímero é resultante do isocianato. A principal reação, ao misturar os dois reagentes, é no grupo hidroxila com a substância que contém o isocianato. Segundo a empresa Plural Química, o polioli apresenta como característica a solubilidade em água e densidade equivalente a $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$, enquanto que o isocianato apresenta densidade de $1,24 \text{ g.cm}^{-3}$ (BARBOSA, 2016).

Figura 3. Reagentes da espuma de poliuretano à base de óleo de mamona, MAMONEX® RD70.



Fonte: Amorim (2019).

Conforme relata Cangemi et al. (2008) em seu estudo, o poliuretano derivado do óleo de mamona é um material biodegradável na qual é comprovado através da técnica da zona do halo, onde é avaliado a degradação do material polimérico através da ação de determinada espécie de microrganismo. O mesmo autor também relata que a biodegradabilidade não ocorre de forma significativa em espumas de poliuretano derivados de fontes de petróleo. Logo, é imprescindível mencionar que este material polimérico apresenta características biodegradáveis, uma vez que sua estrutura química a torna suscetível ao ataque dos microrganismos.

As espumas derivadas a partir do óleo de mamona, apresentam em sua composição química uma cadeia longa de ácidos graxos, na qual a mesma estrutura é proveniente de compostos gordurosos. Logo, depreende-se que os microrganismos que se nutrem de substâncias gordurosas, chamados de microrganismos lipolíticos, também degradam o material polimérico que apresenta origem vegetal, em um provável processo de degradação semelhante ao mecanismo de decomposição microbiana das gorduras (CANGEMI *et al.*, 2005).

Limberger *et al.* (2013), ao avaliar a estrutura química do óleo de mamona, conclui que através da transesterificação dos ácidos graxos, o que modifica sua estrutura química, torna-se possível o aumento no número de hidroxilas e consequente redução na viscosidade.

Zhang *et al.* (2014) em seu estudo, relatou uma espuma de poliuretano de óleo de mamona alterada através da reação de epoxidação, onde ocorreu a abertura do anel em sua estrutura química e adicionado fosfato de dietila, comparando o produto final as espumas convencionais, concluindo que houve uma melhora significativa na propriedades de compressão e térmicas.

3.4 Aproveitamento do Resíduo Agroindustrial

A disposição final dos resíduos nas atividades agroindustriais é um problema ambiental (AMAYA *et al.*, 2007). Neste sentido, é importante ressaltar os grandes problemas de descarte destes resíduos agroindustriais o que acarreta a lixiviação e consequentes danos à saúde pública, uma vez que intensifica o potencial poluidor no ambiente terrestre, além de apresentarem um irrelevante valor econômico. Portanto, a reutilização desses resíduos agroindustriais possibilita a minimização de problemas ambientais decorrentes da agricultura, reduzindo o residual (SILVA *et al.*, 2019).

A geração excessiva juntamente com a disposição final ambientalmente regular dos resíduos agroindustriais é uma das problemáticas constantemente decorrentes no cenário da sociedade moderna. A falta de áreas adequadas para a disposição final, assim como também o gerenciamento inadequado destes resíduos

é um dos fatores agravantes resultantes do crescimento populacional (JACOBI; BESEN, 2011).

Da mesma forma que aconteceu com a indústria, a evolução do agronegócio e o desenvolvimento dos processos de transformação de alimentos levaram a geração de muitos resíduos, sendo este um dos principais problemas ambientais, não só no Brasil, mas no mundo como um todo (GIORDANO, 2000).

Todavia, a destinação adequada dos resíduos gerados nos processos resultantes da indústria agroindustrial é de suma relevância, posto que esses resíduos são resultados de perdas econômicas na produção do subproduto, que acarretam danos ambientais, em razão do aumento da carga poluidora. Alguns destes resíduos são utilizados como alimento para animais herbívoros, como o farelo de arroz, a polpa cítrica e o resíduo úmido cervejeiro. Porém, como o resíduo proveniente da indústria cervejeira é gerado em grande volume anualmente, é indispensável a busca por medidas eficazes de reutilização deste resíduo (BROCHIER, 2009).

O Brasil é considerado um dos países com maior produção de resíduos agroindustriais, destacando-se os resíduos gerados pela indústria de polpas de frutas, contribuindo para o crescimento da produção residual orgânica, havendo como consequência problemas de acúmulo ambiental. Neste seguimento, vale salientar o uso contínuo por materiais renováveis, na qual abrange como alternativa o uso de recursos naturais mediante inovação tecnológica associada à pesquisa científica eficaz, sobretudo nas fibras naturais (MARTINS, 2011).

O aproveitamento desses resíduos agroindustriais que são utilizados na produção de subprodutos alimentícios é um segmento industrial relevante devido ao interesse sustentável aliado a tecnologia eficaz de reaproveitamento. Esses resíduos, são reaproveitados e transformados em subprodutos, através do desenvolvimento de métodos eficazes e sustentáveis, levando em consideração a agregação do valor econômico desse (COSTA FILHO et al., 2017).

Nos últimos anos diversos estudos foram executados utilizando os resíduos gerados pela agroindústria, objetivando a diminuição da carga poluidora e

consequente redução nos impactos ambientais, desenvolvendo métodos eficazes que agreguem valor aos subprodutos obtidos através destes resíduos. Em virtude do desperdício gerado pelo setor industrial, uma vez que o aumento do descarte agroindustrial ocasionou uma preocupação social, na qual pode gerar problemas ambientais devido a presença de substâncias que apresentam alto valor orgânico, fontes de nutrientes para microrganismos, como também perdas de biomassa e energia, requerendo investimentos significativos nos tratamentos para um melhor controle do potencial poluidor (PELIZER *et al.*, 2007).

Um dos subprodutos da indústria cervejeira é o bagaço de malte, sendo o malte o termo definido para material resultante do processo de germinação controlada de qualquer tipo de cereal (MENDONÇA, 2012). Este representa 85% dos subprodutos gerados na indústria cervejeira, este subproduto conhecido como grãos usados pelos produtores de cerveja é filtrado e separado do mosto produzido. No mundo, a produção anual média desse resíduo é de aproximadamente 39 milhões de toneladas (LYNCH *et al.*, 2016) e no Brasil, estima-se uma geração anual de 2 milhões de toneladas (CORDEIRO *et al.*, 2013).

Estima-se que a produção de 100L de cerveja gere 20 kg de bagaço de malte seco. Como o Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo (MARDEGAN *et al.*, 2013), uma quantidade considerável de bagaço de malte é gerada. Assim, alternativas para a correta exploração e manejo do bagaço de malte são necessárias (FRANCISKI *et al.*, 2018).

A produção dos resíduos na agroindústria resulta em um valor significativo no que se diz respeito ao potencial poluidor no ambiente terrestre, e a mostra disso, com o desenvolvimento dos problemas ambientais, esses resíduos que são diversamente dispensados em áreas inadequadas ou até mesmo queimados, foram introduzidos na aplicação da cadeia produtiva (BUZO, 2018).

3.4.1 Bagaço de Malte

O malte é a matéria-prima que é resultado da germinação forçada e controlada da cevada do gênero *Hordeum* sp., em condições especiais de umidade

e temperatura. Sua produção resulta no processo de umedecimento e germinação dos grãos da cevada, na qual suas características são decorrentes de diversos fatores, como umidade, extrato, proteínas totais, sacarificação, cor do mosto e da cocção, além das impurezas presentes (BRASIL, 2008).

O bagaço de malte é um subproduto que é formado na produção de cerveja, esse resíduo é gerado após o processo de moagem seguido da filtração do mosto cervejeiro, antes de sua fervura (AMORIM, 2019). Constituído de cascas da cevada malteada, na qual após a filtração, resulta em um resíduo que pode ser destinado como ração para o animal (FRANCISK, 2018).

Este resíduo sólido resultante do processo de mosturação da indústria cervejeira, é considerado o principal subproduto no processo de fabricação de cervejas, onde aproximadamente 85% do total dos resíduos produzidos são o bagaço de malte. Sendo assim, cerca de 14 a 20 kg de bagaço de malte são gerados a cada 100 litros de cerveja produzida, onde anualmente em média 8,5 bilhões de litros de cerveja são produzidos no país, o que acarreta uma grande quantidade de geração deste tipo de resíduo no Brasil (MATHIAS, 2014).

3.5 Impactos Ambientais Decorridos por Poluentes Orgânicos

Com o grande aumento da industrialização e o desenvolvimento econômico no Brasil com aumento da demanda de recursos de tecnologia e produção, vem fazendo com que o meio ambiente seja muito prejudicado. A preocupação com o meio ambiente tem aumentado significativamente, o que gera diversos estudos de controle de impactos ambientais, recuperação de áreas degradadas e contaminadas.

Os prejuízos que as águas residuárias causam ao meio ambiente dependem muito da sua composição química, da quantidade e da velocidade com que estas são lançadas ao meio e da capacidade deste em neutralizar os efeitos adversos causados pelos poluentes através das próprias características ambientais específicas (CARVALHO, 2014).

Combustíveis fósseis, como gasolina e óleo diesel, sempre formaram a principal matriz energética para a movimentação de veículos. Entretanto, apesar da aceitação do uso destes tipos de combustíveis e da existência dos postos de abastecimento em áreas urbanas, não elimina o fato de que estes produtos são constituídos por algumas substâncias altamente poluentes e perigosas (FINOTTI, 2003).

Aproximadamente 90% da composição do petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos, o restante é constituído basicamente por compostos orgânicos sulfurados, nitrogenados, oxigenados e organometálicos. A gasolina é uma fração derivada do petróleo, na qual é constituída por uma mistura de hidrocarbonetos que são voláteis. Predominantemente, os principais compostos dessa substância apresentam cadeias de hidrocarbonetos que são ramificadas de parafinas, cicloparafinas e compostos aromáticos, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX) (FINOTTI, 2009).

Um dos principais problemas da atualidade é o derramamento de petróleo e dos seus derivados em sistemas aquáticos, o que resulta em sérios problemas ambientais. Neste sentido, é indispensável relatar o derramamento da gasolina, que dentre os BTEX, o constituinte que apresenta uma maior toxicidade é o benzeno, que segundo as Normas do Ministério da Saúde o padrão de potabilidade é equivalente a 10 mg/l. Portanto, diante do cenário preocupante de contaminação aquática, a contaminação dos aquíferos torna-se cada vez mais frequente, o que causa a inapropriação do uso da água para o consumo humano (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1993).

A ocorrência ou não de vazamentos de tanque de armazenamento subterrâneo só é identificada, na maioria dos casos, quando uma fonte de captação de água é contaminada. Estudos desenvolvidos envolvendo vazamento de gasolina têm a grande preocupação de descrever a área contaminada e avaliar a possibilidade de degradação natural dos contaminantes. Poucos estudos envolvem a avaliação das consequências do acidente na vida dos habitantes dos locais afetados pelos vazamentos (SILVA, 2002).

Os impactos ambientais causados por essa contaminação são inúmeros com consequências até irreversíveis, afetando não só ecologicamente, mas também socialmente e economicamente, levando consigo consequências em forma de prejuízos à saúde humana.

Os principais efeitos que acontecem quando ocorre um derramamento com a gasolina comercializada no Brasil estão associados à interação do etanol com os hidrocarbonetos presentes na gasolina. Esta interação pode causar um aumento na concentração dos hidrocarbonetos na água (MORENO, 2001).

3.6 Adsorção

A adsorção é um dos procedimentos científicos mais frequentemente utilizados no processo de separação e purificação. Este método tem demonstrado alta eficácia no tratamento dos efluentes com poluentes orgânicos, mostrando uma grande relevância tecnológica, biológica, além da aplicabilidade no setor industrial, o que torna uma estratégia prática e útil em variados setores industriais (GUSGEL, 2007).

Geralmente os poluentes orgânicos que contaminam os recursos hídricos, como o BTEX, os metais tóxicos, entre outros, apresentam uma certa resistência a tratamentos que envolvam a degradação biológica. Neste sentido, é imprescindível o desenvolvimento de tecnologias eficazes na remoção desses poluentes encontrados em sistemas aquáticos.

O processo de adsorção é um método operacional eficaz no tratamento de águas e águas residuárias, cuja aplicação industrial apresenta como finalidade a redução dos níveis de compostos tóxicos presentes nos efluentes que agridem o meio ambiente (SANTANA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2020; MOREIRA et al., 2016). O resultado favorável da adsorção no processo de separação, resulta da seleção adequada do material que será utilizado como adsorvente, assim como o aperfeiçoamento das variáveis do processo (RUTHVEN, 1996).

De acordo com as literaturas da ISI *Web of Science* até abril de 2017, a quantidade de artigos sobre o uso de materiais porosos para a separação óleo/água está aumentando rapidamente (LI et al., 2017).

A adsorção é uma operação unitária em que ocorre a transferência de massa, nesta operação é estudada a habilidade de certos sólidos em concentrar em sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos. Para que esse processo apresenta resultados favoráveis é necessária uma maior área de contato da superfície externa por unidade de massa sólida, na qual o componente adsorvido irá sofrer um acúmulo na superfície externa dos adsorventes (AMORIM, 2019).

Logo, normalmente o material adsorvente é um sólido que apresenta a superfície porosa (RUTHVEN, 1984). A adsorção física, ou de Van der Waals, decorre da ação de forças de atração intermoleculares fracas entre o adsorvente e as moléculas adsorvidas (DRAGONE, 2007).

O fenômeno de adsorção depende de fatores como as propriedades do adsorvente e do adsorvato (material acumulado na superfície), assim como também as condições operacionais como temperatura do sistema, natureza do solvente (COONEY, 1999; RUTHVEN, 1984).

A área superficial é um fator que interfere no processo de adsorção, uma vez que quanto maior a área da superfície do adsorvente mais intenso será a adsorção (SEKAR; SAKTHI; RENGARAJ, 2004). O tamanho da partícula do adsorvato também influencia no processo adsorvativo, pois a velocidade em que ocorre a adsorção é dependente do transporte no interior da partícula. Outro fator, é a polaridade do adsorvato, quanto maior a polaridade do adsorvato irá apresentar uma maior afinidade com o adsorvente (DOMINGUES, 2005).

A temperatura do sistema influencia na constante de velocidade do processo de adsorção, uma vez que com o aumento da temperatura pode gerar um aumento na energia cinética e conseqüente aumento na taxa de difusão no interior da partícula do adsorvato (JIMENEZ; BOSCO; CARVALHO, 2004).

O sistema utilizado por Santos (2005) possibilitou a continuação dos estudos desses materiais na purificação de efluentes contaminados por compostos orgânicos utilizados, por Moraes (2005), ainda em escala de laboratório. Lima (2010) confirmou os resultados satisfatórios obtidos pelos autores supracitados, avaliando a capacidade adsorptiva de contaminantes orgânicos presentes em efluentes aquosos, mediante leito fixo de biomassa em escala ampliada, visando uma maior aproximação dos resultados em escala industrial, obtendo resultados significativos.

Amorim (2016) estudou adsorção de bagaço de cevada para adsorção de compostos orgânicos e Souza (2018) estudou para adsorção com resíduo de acerola.

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais

4.1.1 Espuma de Poliuretano Vegetal

A resina vegetal cujo nome comercial MAMONEX® RD70 foi fornecida em dois reagentes nomeados como componente A, na qual apresenta como composição química o isocianato e o componente B, polioli que apresenta como base o ácido ricinoléico. Essa espuma de poliuretano à base de óleo de semente de mamona foi obtida pela empresa Imperveg® - Polímeros Indústria e Comércio Ltda, localizada em Aguaí – SP.

4.1.2 Resíduo Agroindustrial

O bagaço de malte (*Hordeum vulgare*) utilizado como fase reforço para os biocompósitos está apresentado na Figura 4, obtido através da produção de cerveja em laboratório na Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB.

Figura 4. Bagaço de malte resultado do processo de mosturação.



Fonte: Própria (2021).

O bagaço de malte passou pelo processo de secagem em estufa na temperatura de 60°C durante um período estimado de 24 horas, objetivando a remoção parcial da umidade (abaixo de 10%) presente na matéria-prima e consequentemente resultando na baixa atividade de água e proliferação microbiana.

4.1.3 Contaminantes

Foram utilizados contaminantes como o corante têxtil preto cujo fabricante é a empresa CORANTE TUPY®, obtido no comércio local de Campina Grande, Paraíba; óleo de motor 5W-30, cujo nome comercial é descrito por Mobil Super 2000 5W-30, produzido pela empresa Cosan Lubrificantes e Especialidades S.A.; óleo diesel S10 e diesel S500, adquiridos em posto de distribuição de combustível local e óleo de fritura adquirido nas residências de Campina Grande .

4.2 Processamento

4.2.1 Preparo do Resíduo Agroindustrial de Bagaço de Malte (fase reforço)

Na etapa de preparo do resíduo agroindustrial, o bagaço de malte foi pesado, anotando-se a massa inicial e em seguida levado para a estufa com circulação de ar, cuja temperatura foi de 60°C, com a finalidade de diminuir a quantidade de água presente no resíduo. O peso da amostra foi registrado inicialmente em intervalos de 15 em 15 minutos até atingir uma hora. Após transcorrido o tempo de uma hora, procedeu às pesagens em um intervalo de 30 minutos. Este procedimento foi realizado até a obtenção de peso constante da amostra.

Logo após, o bagaço de malte foi submetido à trituração, com o auxílio de um liquidificador industrial, para diminuição do tamanho dos grãos da biomassa. Em seguida, a biomassa passou por um conjunto de peneiras de 1,18 e 2,00 mm de abertura mesh Tyler, obtendo-se um material devidamente uniformizado.

Figura 5. Conjunto de peneiras com granulometria de 1,18 e 2,00 mm de abertura.

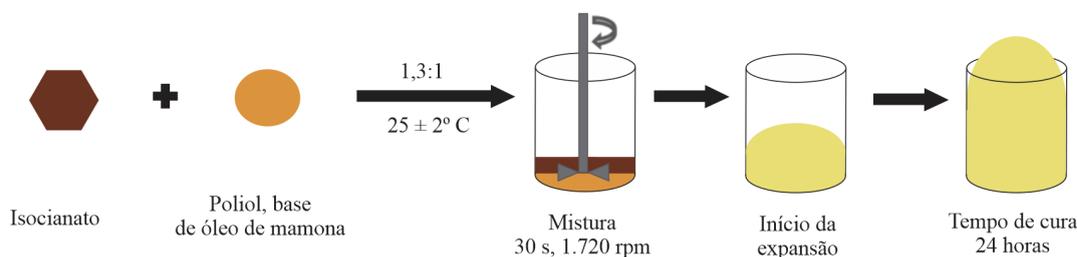


Fonte: Própria (2021).

4.2.2 Fabricação da Espuma de Poliuretano Vegetal e dos Biocompósitos

Para a preparação da Espuma de PU foi realizada a mistura dos reagentes A e B sintetizadas pelo método “one-shot” e para preparação dos biocompósitos, deve ser acrescentada na composição da espuma a fase reforço nas proporções de 0, 5, 10, 15 e 20% (m/m) realizada em um recipiente de 700 mL, misturados sob agitação de um agitador mecânico modelo M 110-VER-4K3/24Vcc, Nova Ética, a uma velocidade de agitação de 1.720 rpm, durante 30 segundos à temperatura ambiente de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ como mostra a Figura 6 (AMORIM, 2019).

Figura 6. Fabricação da espuma PU à base de óleo de mamona.



Fonte: Adaptada Amorim et al., (2019).

Após homogeneização dos reagentes e fase reforço, as amostras dos biocompósitos foram deixadas em repouso para expansão, estimando um tempo de cura de 24 horas.

4.3 Métodos de Adsorção

4.3.1 Capacidade de Adsorção

Inicialmente, o experimento foi desenvolvido em triplicata, na qual o sistema contendo óleo e espumas de EPUMA e EPUMA-BM foi submetido em simulações de sistema estático para a avaliação da capacidade de adsorção, onde os corpos de provas foram imersos no material utilizado como contaminante na pesquisa (10 mL), à temperatura ambiente (25 ± 2°C) com um tempo de contato de 60 minutos.

Posteriormente, após transcorrido o tempo de contato do material com o contaminante, a espuma foi retirada a fim de medir sua massa final e obteve-se o cálculo através da Equação 1, a qual representa a equação de capacidade de adsorção no processo de adsorção estática.

$$Ca(\%) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde, Ca representa a capacidade de adsorção do material adsorvente, m_1 é a massa inicial das espumas antes do processo de adsorção e m_2 é a massa final

das espumas após o processo de adsorção (CHEN et al., 2017; CAO et al., 2018a; LIN et al., 2018).

4.3.2 Capacidade de Reutilização do Biocompósito

No processo de avaliação da capacidade de reutilização dos corpos de prova, adotou-se a forma cúbica para as espumas, com aproximadamente 1cm^3 . O experimento foi realizado em triplicata, totalizando 10 ciclos, cuja capacidade de adsorção foi calculada pela equação 1. Inicialmente, os biocompósitos foram imersos em 10 mL do material contaminante por 10 min, em seguida aplicou-se o método da compressão manual de forma a recuperar o contaminante.

Posteriormente, os materiais adsorventes foram imersos em 10 mL de hexano durante um tempo de 10 min, para possível liberação do material contaminante retido no interior das espumas. Logo após, foram submetidos ao processo de secagem em estufa na temperatura de 100°C com uma duração de 10 min, dando início a um novo ciclo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Síntese da Espuma de Poliuretano Vegetal e dos Biocompósitos

Para a preparação da espuma de poliuretano vegetal e dos biocompósitos foram analisados diversos fatores desde o processamento de trituração dos reforços utilizados, o tratamento da matéria prima utilizada, até o processo de granulometria. Testes foram feitos com os reagentes (isocianatos e polióis) juntamente com o resíduo agroindustrial, denominado de fase reforço, a fim de obter-se um material com flexibilidade e porosidade adequada para um melhor rendimento adsortivo.

De acordo com o fabricante, a mistura dos reagentes A e B deve ser feita na proporção de 1:1 (isocianato:poliol) em v/v, conforme citado por Amorim (2019), porém há uma diferença de densidade e viscosidade entre os componentes (A e B) o que diferencia seu peso em m/m adquirindo uma proporção de 1,3:1 em m/m, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Formulação da espuma e dos biocompósitos.

Matérias primas	0%	5%	10%	15%	20%
Componente A (isocianato)	25,0643	23,8046	22,0922	21,2258	20,0763
Componente B (poliol)	18,1378	17,5223	16,6249	15,6982	14,8633
Bagaço de malte	---	2,1601	4,3202	6,4803	8,6404

Fonte: Própria (2021).

Após a preparação, as amostras foram codificadas em: espuma de poliuretano vegetal de óleo de mamona (EPUMA) inicialmente preparada sem adição de fase reforço especificada como 0%, já os biocompósitos de poliuretano vegetal de óleo da mamona com bagaço de malte (EPUMA-BM) preparados com adição de fase reforço, em proporções de 5, 10, 15 e 20% como mostra a Figura 7.

Figura 7. Amostras da espuma (EPUMA) e dos biocompósitos (EPUMA-BM).



Fonte: Própria (2020).

Posteriormente, seguindo Amorim (2019), os biocompósitos foram cortados em cubos de aproximadamente 1 cm^3 , variando entre 0,0500 e 0,0555 g.

5.2 Capacidade de Adsorção

5.2.1 Corante

Inicialmente, os testes de capacidade de adsorção foram realizados em triplicata para a solução de corante com concentrações de 50, 100, 150, 200 e 250 mg/L, porém verificou-se que a solução, após contato, permaneceu com uma maior absorvância, ou seja, a solução obteve uma maior concentração de corante. Neste sentido, é comprovado que a espuma a base de óleo vegetal não possui capacidade de adsorver o corante, adsorvendo apenas uma pequena quantidade de água, uma vez que este tipo de espuma, conforme citado por Amorim (2019) ao realizar teste de ângulo de contato com a espuma de poliuretano a base de óleo de mamona utilizando como fase reforço o bagaço de malte, detectou que este material possui um acentuado grau de hidrofobicidade.

Tabela 3. Dados experimentais obtidos no processo adsorptivo do corante

Concentração (mg/L)	Absorbância (nm) Antes	Absorbância (nm) Depois
50	0,066	0,079
100	0,095	0,105
150	0,110	0,137
200	0,133	0,159
250	0,160	0,184

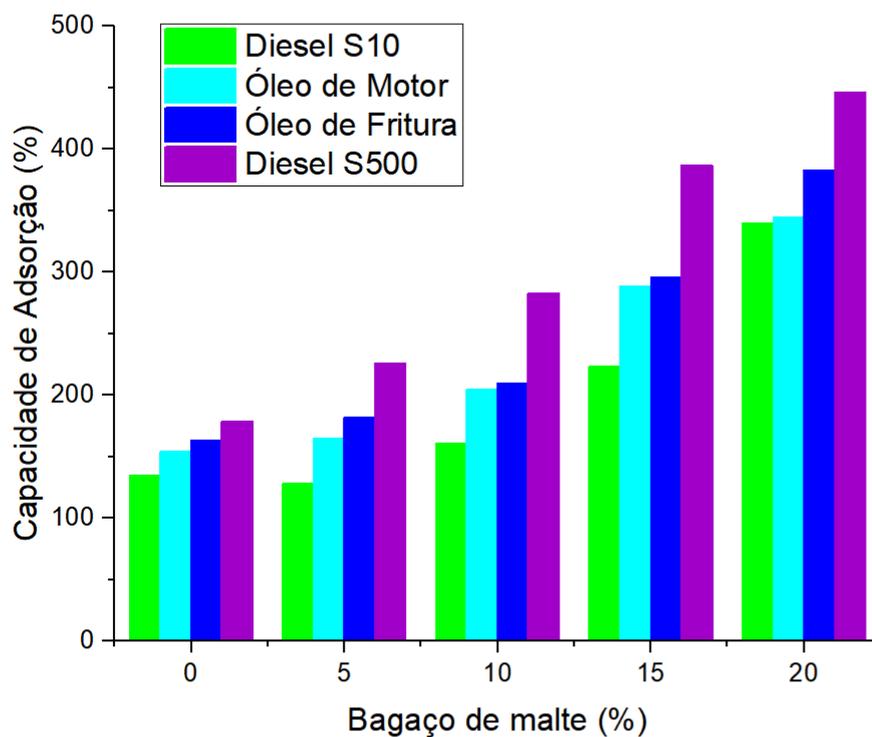
Fonte: Própria (2021).

Torna-se necessário o estudo da variação de pH para verificar a influência na eficiência de adsorção, de acordo Accioly (2008), que variou o pH com os valores 2,60; 6,27 e 10,71, com concentração 10 a 60, sendo verificado que o pH afeta diretamente a eficiência de adsorção. O mesmo estudo foi realizado por Schio (2019), na qual foi avaliado o efeito da quantidade de adsorvente, variando de 0,1 a 1 g, e o efeito do pH, com variação do valor de 2 a 10, comprovando que a adsorção é favorecida em soluções com pH 2, utilizando 1 g de adsorvente.

5.2.2 Contaminantes Orgânicos

A capacidade de adsorção dos biocompósitos EPUMA (0% de bagaço de malte) e EPUMA-BM (5, 10, 15 e 20% de bagaço de malte) utilizando como contaminantes óleos orgânicos, está apresentada na Figura 8, com resultados satisfatórios.

Figura 8. Capacidade de adsorção da EPUMA e da EPUMA-BM utilizando como contaminante o diesel S10, óleo de motor, óleo de fritura e diesel S500.



Fonte: Própria (2021).

A capacidade de adsorção da EPUMA foi inferior a todas as espumas contendo resíduo do bagaço de malte para todos os óleos utilizados no experimento. De acordo com os dados obtidos experimentalmente, verificou-se que a capacidade de adsorção das espumas aumentaram à medida que ocorre o aumento da porcentagem do resíduo utilizado, indicando que as espumas com 20% de bagaço de malte possui uma capacidade de adsorção de 445%, 382%, 344% e 339%, para o diesel S500, óleo de fritura, óleo de motor e diesel S10, respectivamente.

A espuma sem resíduo agroindustrial apresentou uma maior rigidez, enquanto os biocompósitos formulados com a adição do bagaço de malte mostraram uma maior maleabilidade e, conseqüentemente, uma maior quantidade de poros em sua estrutura. À medida que ocorre um acréscimo na proporção da fase reforço, os corpos de provas adquiriram gradualmente uma maior flexibilidade na mesma proporção.

A viscosidade alta dos óleos orgânicos foi um dos motivos ao qual se obteve menores valores na capacidade de adsorção, em virtude dos óleos utilizados no experimento são compostos que apresentam alta viscosidade, variando de 2,5 a 5,5 para o Diesel S10 e S500 a 40°C (SILVA et al., 2017), já para o óleo de motor, de acordo com o fabricante Cosan Lubrificantes e Especialidades S.A., a viscosidade é de 10,5 a 100 °C.

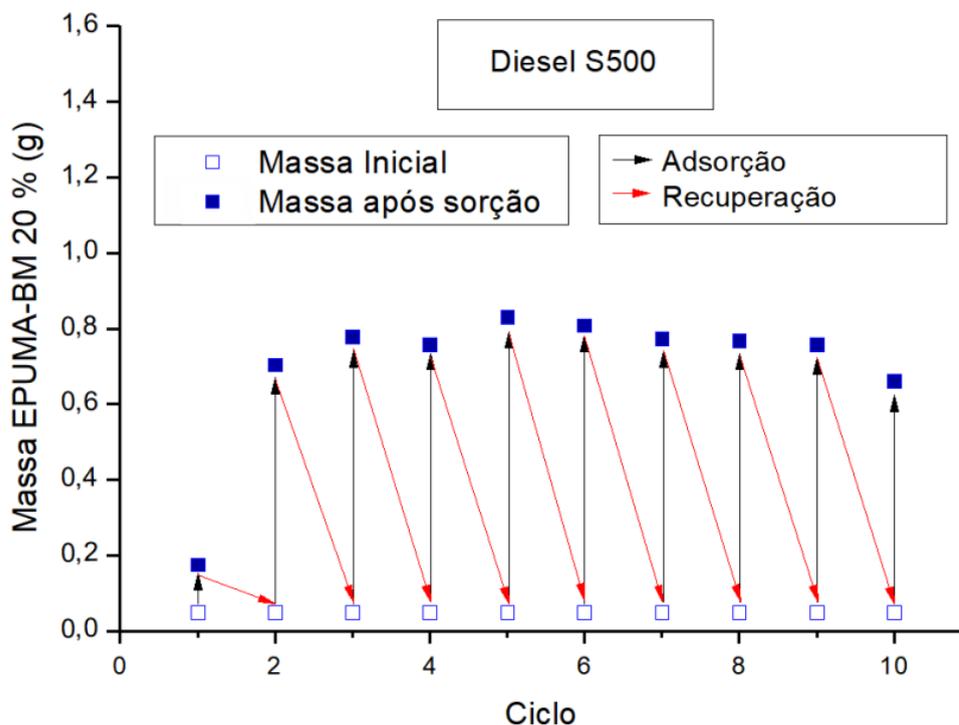
Por efeitos da alta viscosidade, os poros das espumas são afetados e degradados pelos contaminantes orgânicos, que é resultado da baixa velocidade de difusão do adsorvato, que tem como consequência uma menor capacidade de adsorção comparada aos óleos com baixa viscosidade, causando a obstrução dos espaços vazios nos poros das espumas (CHEN et al., 2017).

5.3 Capacidade de Reutilização do Biocompósito

No estudo da capacidade de reutilização do biocompósito, o agente adsorvente utilizado foi o que apresentou melhor resultado nos testes de capacidade de adsorção, no caso a EPUMA-BM 20%, na qual foi utilizado como método a compressão mecânica manual e liberação por solvente.

Na Figura 9, observa-se que no primeiro ciclo a sua recuperação não foi total, pois o diesel S500 não pode ser totalmente eliminado. A partir do segundo ciclo, verificou-se que a espuma adsorveu 1306,6% do contaminante orgânico, resultando em uma maior capacidade de adsorção comparada ao primeiro ciclo, pois quando submetida ao processo de compressão manual, conforme citado por Amorim (2019) todo o ar contido na superfície interna, é retirado, havendo assim uma melhor sucção, devido a maior quantidade de espaços vazios no interior da espuma.

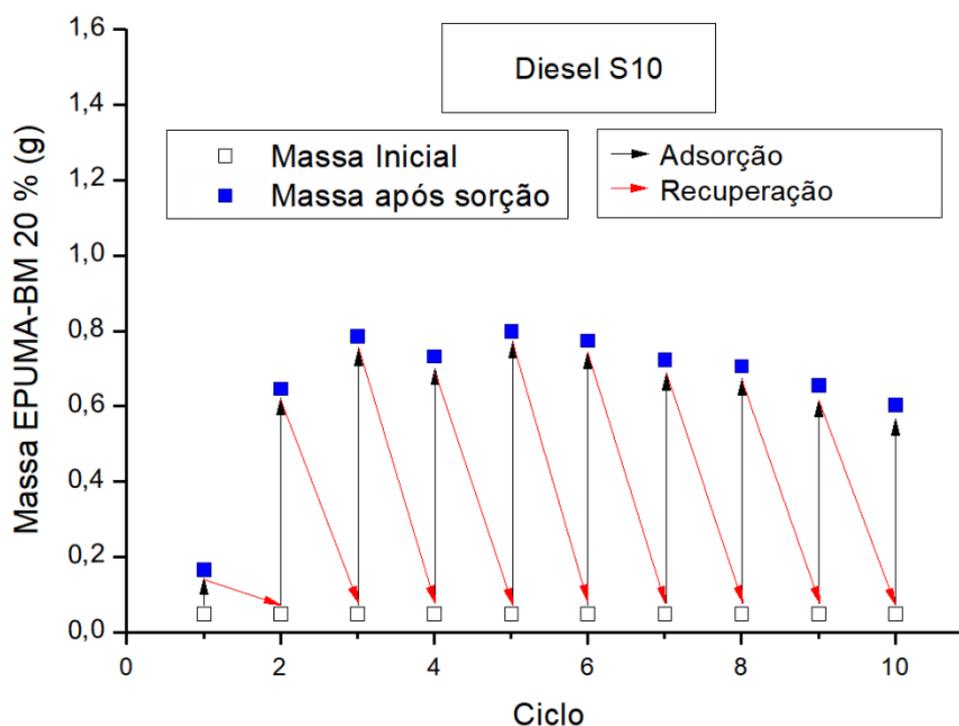
Figura 9. Capacidade de reutilização da EPUMA-BM 20% para recuperação do diesel S500.



Fonte: Própria (2021).

A EPUMA-BM 20% obteve um melhor resultado na adsorção para o diesel S500, devido apresentar uma melhor afinidade com o biocompósito. Conforme apresenta a figura 10, o primeiro ciclo obteve uma capacidade de adsorção de 245,5% para o diesel S10, aumentando, no segundo ciclo, sua capacidade para 1231,7%. Observa-se que ainda no sétimo ciclo, o agente adsorvente mantém o aumento em sua capacidade de adsorção, resultando em 1352%. Reduzindo para 1252% e 1145,9%, respectivamente, no nono e décimo ciclo.

Figura 10. Capacidade de reutilização da EPUMA - BM 20% para recuperação do diesel S10.



Fonte: Própria (2021).

Amorim (2019) relata uma espuma de poliuretano com resíduo de acerola e bagaço de malte, onde foi submetida ao método de compressão manual e ao método de imersão em solvente, em um total de 10 ciclos para cada método. O mesmo autor observou que a capacidade de adsorção aumentou devido a força manual exercida sobre o material adsorvente, por motivo da retirada do ar no interior dos poros e conseqüentemente uma melhor sorção do contaminante.

Na pesquisa de Wu et al. (2014), foi desenvolvido uma espuma de poliuretano com sílica, onde foi realizado o processo de compressão manual em 15 ciclos, constatando que a capacidade de adsorção dos óleos orgânicos utilizados como contaminantes diminuiu de forma gradativa conforme mudança de ciclo.

Portanto o potencial adsorvente no processo de reutilização dos biocompósitos aumenta significativamente, mostrando-se promissores no reuso desses materiais bioadsorventes.

Nessa etapa não foi realizado o experimento com o corante, haja vista não ter apresentado resultados satisfatórios na capacidade de adsorção.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou resultados promissores para remoção de contaminantes orgânicos, no que se refere a viabilidade adsortiva utilizando o sistema estático em processo adsortivo, através do desenvolvimento de biocompósitos formulados a partir do resíduo de bagaço de malte. No estudo da espuma de poliuretano à base de óleo de mamona, EPUMA, a adição de agentes de expansão auxiliares contribuiu de forma significativa para um aumento nas características adsortivas da espuma. O biocompósito desenvolvido obteve uma melhor eficiência na adsorção de óleos orgânicos, enquanto para corantes têxteis não obteve resultados satisfatórios, por isso sugere-se realizar os experimentos com variação de pH.

Devido às espumas apresentarem características hidrofóbicas e oleofílicas, podem ser usadas como biocompósitos de separação óleo/água e reutilizados por causa de sua flexibilidade.

Logo, neste estudo foi possível o entendimento da eficácia da biotecnologia no processo de adsorção, na qual possibilitou a formulação de um material biodegradável, que apresentou em sua composição química a aplicação do óleo de mamona, como recurso renovável, juntamente com o bagaço de malte, reduzindo os impactos ambientais, uma vez que torna o material suscetível ao ataque de microrganismos.

A preparação dos corpos de provas, objetivou o desenvolvimento de um material bioadsorvente que apresentou resultados favoráveis no processo adsortivo, por meio da reutilização de resíduos descartados de bagaço de malte de forma incorreta, selecionando a granulometria das partículas do resíduo agroindustrial.

Assim, o presente estudo mostrou avanços em desenvolver adsorventes sustentáveis usando recursos renováveis, com características hidrofóbicas e oleofílicas, viabilizando um destino adequado ao contaminante utilizando biomassa de bagaço de malte.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, M. G. **Adsorção do corante luganil azul por espuma de poliuretano**. Trabalho de conclusão (Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2008.
- AKRAMA, DEEWAN, OTHMAN HAKAMIB, ERAM SHARMINA, Sharif Ahmad Castor and Linseed oil polyurethane/TEOS hybrids as protectivecoatings: **A synergistic approach utilising plant oil polyols, asustainable resource**. Progress in Organic Coatings 108 (2017) 1–14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.03.012>
- ALMEIDA, E. L. **Preparação e caracterização de poliuretanos com diferentes quantidades de óleo de baru (Dipteryx alata Vog.)**. Dissertação (Mestrado) - Curso Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso. 2015
- ALVES, L. R.; CARRIELLO, G. M.; PEGORARO, G. M., FILHO, J. F. **The use of vegetable oils as a source of polyoles for polyurethane synthesis: a review**. Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 99-118, 2021.
- AMÂNCIO, J. M. **Uso da mistura de polibutadieno hidroxilado com poliestireno do resíduo de isopor na preparação de espumas uretéricas**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2017.
- AMAYA, A.; MEDERO, N.; TANCREDI, N.; SILVA, H.; DEIANA, C. **Activated carbon briquettes from biomass materials**. J. Biores. Technol., v. 98, p.1635-1641, 2007.
- AMORIM, F. V. **Estudo Do Poder Adsorativo do Resíduo Gerado na Produção de Cerveja Utilizando Sistema Em Leito Diferencial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.
- AMORIM, F. V. **Biocompósitos de poliuretano a base de óleo de mamona (Ricinus Communis) contendo resíduos agroindustriais para adsorção de compostos orgânicos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCEN. Ciência de Materiais. Recife, 2019.
- BARBOSA, A. M. **Compósitos poliméricos com resíduo de açaí para mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco-alternativas em habitações na amazônia**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.
- BASTOS, A. M. C.; MENDES, A. L. R.; ARAÚJO, J. L. **Propriedades do óleo de rícino e sua aplicabilidade na indústria farmacêutica**. Revista de Casos e Consultoria, V. 12, N. 1, e24166, 2021.

BELTRÃO, N. E. M. **Crescimento e Desenvolvimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.)**. Comunicado Técnico nº 146, ISSN 0102-0099. Campina Grande, 2003.

BHOYATE, SANKET, M. IONESCU, P.K. KAHOLC, RAM K. GUPTA. **Sustainable flame-retardant polyurethanes using renewable resources**. *Industrial Crops & Products* 123 (2018) 480–488.

BRASIL. PROJETO UTDS. **O Cultivo da Mamona – Recomendações técnicas para a agricultura familiar**. Brasília, 2008. 34p.

BRESOLIN, D. **Poliuretanas obtidas em diferentes técnicas de polimerização oriunda de óleo de mamona modificado**. 2014, 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Florianópolis, SC, 2014.

BROCHIER, M. A., CARVALHO S. **Aspectos ambientais, produtivos e econômicos do aproveitamento de resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cordeiros em sistema de confinamento**. *Ciência Agrotécnica*, v.33, n. 9. 2009, p. 1392-1399.

BUZO, A. L. S. C. **Painéis aglomerados produzidos com partículas de pinus e bagaço de cana empregando-se ureia formaldeído e poliuretano à base de mamona** Dissertação (Mestrado) – Curso Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2018.

CÂMARA, J. R. L. **Obtenção e caracterização de compósito a base de poliuretano de mamona e rejeito de telha visando aplicação como isolante térmico**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

CANGEMI, J.M. **Biodegradação de poliuretano derivado de óleo de mamona**. Tese (Doutorado) – Curso de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CANGEMI, J.M. et al. **Biodegradation of polyurethane derived from castor oil**. *Polimeros: Ciências e Tecnologia*, v.18, n.3, p. 201-206, 2008.

CANGEMI, J.M.; SANTOS, A.M.; NETO, C. S. **Poliuretano: de travesseiros a preservativos, um polímero versátil**. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 3, agosto, 2009.

CAO, X., P. ZHAN, X. WEI, W. ZHAI, G. ZHENG, K. DAI, C. LIU, C. SHEN, **Lightweight, mechanical robust foam with a herringbone-like porous structure for oil/water separation and filtering**, *Polymer Testing* (2018a), doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.09.033>.

CARVALHO, E. da S. **Reuso do Mesocarpo de Coco na Remoção de Contaminantes Derivados de Petróleo Presentes em Corpos D'água, Utilizando Sistema de Adsorção em Leito Diferencial.** Trabalho de Conclusão em Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

CHEN, F., LU, Y., LIU, X., SONG, J., HE, G., TIWARI, M.K., CARMALT, C.J., PARKIN, I.P. **Table Salt as a Template to Prepare Reusable Porous PVDF–MWCNT Foam for Separation of Immiscible Oils/Organic Solvents and Corrosive Aqueous Solutions.** *Adv. Funct. Mater.* 27, (2017), 1702926. doi: 10.1002/adfm.201702926.

CHENG, Q.; LIU, M.; LI, Y.; ZHU, J.; DU, A.; ZENG, J. **Biobased super-hydrophobic coating on cotton fabric fabricated by spraycoating for efficient oil/water separation.** *Polymer Testing*, v. 66, p. 41–47, 2018.

CHU, Z.L., Y.J. FENG, S. **Seeger, Oil/water separation with selective superantwetting/ superwetting surface materials,** *Angew. Chem. Int. Ed.* 54 (2015) 2328–2338.

CONAB. **Estimativa de área plantada –safras 2019/20.** Disponível: <<http://www.conab.gov.br/politicaagricola/safra/cptarebr.cfm>> Acesso em 03 de julho, 2021.

COONEY, D. O. **Adsorption Design for Wastewater Treatment.** Florida: CRC Press, 1999.

CORDEIRO L. G., EL-AOUAR A. A. & ARAÚJO C. V. B. 2013 **Energetic characterization of malt bagasse by calorimetry and thermal analysis.** *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 112 (2), 713–717. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2630-x>

COSTA FILHO, D. V.; SILVA, A. J.; SILVA, P. A. P.; SOUSA, F. C. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos.** II Congresso Internacional Das Ciências Agrárias, cointer-PDVAgro, 2017.

COSTA, T. L. **Características físicas e físico-químicas do óleo de duas cultivares de mamona.** 2006. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

DOMINGUES, V. M. F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas.** 2005. 224 f. Dissertação (Mestrado em controle de qualidade) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2005.

DRAGONE, S. I. M. **Aproveitamento integral de subproduto da indústria cervejeira em processos químicos e biotecnológicos.** Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial. Área de Concentração:

Conversão de Biomassa) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2007.

DRUMMOND, A. L.; Compósitos **Poliméricos obtidos a partir do óleo de baru-Síntese e Caracterização**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília,DF. 2008.

EMBRAPA – **Cultivo da Mamona**. Disponível no portal: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona/caracteristicasoleo.htm>.

FERRER, M. C. C., BABB, D., RYAN, A. J. **Characterisation of polyurethane networks based on vegetable derived polyol**. Polymer 49 (2008) 3279– 3287.

FERREIRA, E. M. M. **Uso de espuma de poliuretano na extração de índio de meio iodeto**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, 106 p., (2003).

FINOTTI, A.R.; TEIXEIRA, C. E.; Fedrizzi, F.; Calgliari, J.; Filho, I. do N. **Avaliação da influência do etanol sobre o grau de volatilização BTEX em solos impactados por derrames de gasolina/etanol**. Revista Nova Técnica, Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14 n.4, Caxias do Sul, 2009.

FRANCISKI, M. A. **Obtenção e caracterização de carvão ativado a partir de bagaço de malte oriundo de cervejarias para utilização como adsorvente do corante azul de metileno**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, RS, 2018.

FERREIRA, L. M. B. **Síntese e caracterização de adutos de óleo de rícino maleinizado meglumina como potenciais carreadores de fármacos**. 2012. 77f. Dissertação (Mestrado em Química) –Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2012.

GE, J.; ZHAO, H.; ZHU, H.; HUANG, J.; SHI, L.; YU, S. **Advanced Sorbents for Oil-Spill Cleanup: Recent Advances and Future Perspectives**. Adv. Mater, v. 28, p. 10459–10490, 2016.

GIBELLI, F. ; CÂMARA, G. M. S.; CHIAVEGATO, E. J. **Projeto poliuretano de óleo de mamona e seus subprodutos**. O agro negócio das plantas oleaginosas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Produção Vegetal, cap. 10, p. 181-184, 2001.

GIORDANO, S. R. **Gestão ambiental no sistema agroindustrial**. 2000.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos avançados, São Paulo. V. 25, n. 71. Issn 0103-4014, 2011.

JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. **Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita– influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares.** Química nova, v. 27, n. 5, p. 734-738, 2004.

KIM, S. H., Lee, M. C., Kim, H. D., Park, H. C., Jeong H. M., Yoon, K. S., Kim. B. K. **Nanoclay Reinforced Rigid Polyurethane Foams.** Journal of Applied Polymer Science, 117, 1992–1997, 2010.

KLOSS, J. R. **Síntese e caracterização de poliuretanos biodegradáveis à base de poli(ϵ -caprolactona)diol.** Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Paraná, 231 p., 2007.

KONG, X., Liu, G., Qi, H., & Curtis, J. M. (2013). **Preparation and characterization of high-solid polyurethane coating systems based on vegetable oil derived polyols.** Progress in Organic Coatings, 76(9), 1151-1160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.03.019>.

LI, L.; ZHANG, J.; WANG, A. **Removal of Organic Pollutants from Water Using Superwetting Materials.** Chem. Rec, v.17, p. 1–20, 2017.

LIMA, E.P. **Estudo da estrutura e função da ricina e de tecnologia para o uso da torta de mamona como alimento animal.** Anais do II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa, 2007.

LIMA, L. M. R.. **Estudo da Ampliação de Escala na Adsorção de Contaminantes Orgânicos Presentes em Efluentes Aquosos Mediante Leito Fixo de Biomassa.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

LIMBERGER, H. J. **Poliuretanos baseados em óleo de mamona.** Revista Jovens Pesquisadores, v. 3, n. 3, p. 6-16, 2013.

LIN, BO, JIAN CHEN, ZENG-TIAN LI, FU-AN HE, DE-HAO LI. **Superhydrophobic modification of polyurethane sponge for the oil-water separation.** Sct (2018), <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.12.054>

LYNCH K. M., STEFFEN E. J. & ARENDT E. K. **Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health.** Journal of the Institute of Brewing, 122, 553–568. DOI: <https://doi.org/10.1002/jib.363>

MALLMANN, E. S.; BARBOSA, M. I. R.; MACIE FILHO, R. **Assessment of Biobased Polyurethane Reaction Kinetics through DSC and FTIR Analysis.** International J. of Scientific Res. Che. Eng. v. 1(4), p. 66-73, 2014.

MANO, D. S. **Desempenho produtivo e econômico da adição de óleos essenciais na suplementação de novilhas em pastagem de Cynodon ssp.** Dissertação, Maringá/Paraná, 75 pag., 2008.

- MARDEGAN, S. F.; ANDRADE, T. M. M.; SOUSA NETO, E. R.; VASCONCELOS, E. B. C.; MARTINS, L. F. B.; MENDONÇA, T. G.; MARTINELLI, L. A. **Stable carbon isotopic composition of Brazilian beers - a comparison between large - and small - scale breweries**. J. Food Compos., v.29, p. 52-57, 2013.
- MARTINS, C. R.; JESUS, L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacionai: panorama**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. ISSN 1678-1953.
- MATHIAS, T.R.S.; MELLO, P.P.M.; SERVULO, E. F. C. **Caracterização de resíduos cervejeiros**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, 2014.
- MENDONÇA, L. M.. **Utilização do resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cabras Anglo Nubiana em final de lactação**. 2012. 66 f. Dissertação – Mestrado em Ciências, Universidade Federal do Sergipe, São Cristovão, 2012.
- MORAIS, V. L. M. **Purificação de Efluentes Contaminados com Hidrocarbonetos por Adsorção em Leito Fixo de Biomassa**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, p. 104, 2005.
- MOREIRA, R. F. P.; HUMBERTO, J. J.; SOARES, J. L. **Isotermas de Adsorção de Corantes sobre Carvão Ativado**. II Encontro Brasileiro de Adsorção – II EBA, Florianópolis – Santa Catarina, pp. 85-91, 2016.
- MOREIRA, S. A.; MELO, D. Q.; LIMA, A. C. A.; SOUSA, F. W.; OLIVEIRA, A. G.; OLIVEIRA, A. H. B.; NASCIMENTO, R. F. **Removal of Ni²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺ and Pb²⁺ ions from aqueous solutions using cashew peduncle bagasse as an eco-friendly biosorbent**. Desalination and Water Treatment, v. 57, n.22, p. 10462-10475, abril, 2016.
- MORENO, F. N.; CORSEUIL, H. X.; **Fitorremediação de Aqüíferos Contaminados por Gasolina**. Florianópolis – SC, 2001.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. 1993. **Nutrient Requirements of warmwater fishes na shellfishes**. Washington: National Academy Press. 102p
- 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, fevereiro, 2020. DOI: 10.1021/acsomega.9b03537
- PACHECO, M. F. M., Fiorio, R., Zattera, A. J., Zeni, M., Crespo, J. S. **Efeito da Concentração de Segmentos Rígidos nas Propriedades Físico-mecânicas, Químicas e na Morfologia de Elastômeros Microcelulares de Poliuretano**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 17, 234-239, 2007

PAIVA, G. M. S. et al. **Síntese de poliuretana obtida do óleo de mamona (*Ricinus communis*) na ausência de solventes**. In: 62º CONGRESSO BRASILEIRO PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. Anais Natal: SBPC, 2010. p. 1.

PECHAR, T. W., Wilkes, G. L., Zhou, B., Luo, N. **Characterization of Soy-Based Polyurethane Networks Prepared with Different Diisocyanates and Their Blends with Petroleum-Based Polyols**. Journal of Applied Polymer Science, 106, 2350–2362, 2007.

PELIZER, L. H.; PONTIRRI, M. H.; MORAES, I. O. **Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental**. Journal of Technology Management & Innovation, Chile, v. 2, n. 1, p.118-127, 2007.

RUTHVEN, D. M. Principles of Adsorption & Adsorption Process. New York, John Wiley & Sons, 1984.

RUTHVEN, D. M. **Adsorption** – Theory & Practice. Fortaleza - CE, 1996.

SANTANA, G.B.; NÓBREGA, D. C.; OLIVEIRA, J. T.; MARTINS, I. A.; NASCIMENTO, R.F.; VIDAL, C. B. **Aplicação da semente de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante natural no tratamento de efluente de indústria de tintas no Ceará**. Revista Tecnologia (UNIFOR), Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-17, jun. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.2020.9889>

SANTOS, E. G.; SOUSA R. C.; VALVERDE C. C.. **Utilização de resíduos para remoção de óleo de ambientes aquáticos**. 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção. Gramado, RS. 2018.

SCHIO, R. R. **Síntese de uma espuma composta de poliuretano/quitosana para adsorção do corante vermelho nº40 em batelada e leite fixo**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. **Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell**. Colloid and Interface Science, v. 279, n. 2, dez./ jun. p. 307-313, 2004.

SILVA, K. C. A. **Caracterização de compósitos de matriz polimérica com ligas com memória de forma para aplicação em microatuadores**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SOUZA, D. R. S. **Preparação e caracterização de poliuretano à base de poli(ϵ caprolactona) reforçado com nanocristais de celulose**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Química – Físico-Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, E. S. Estudo Do Poder Adsorptivo Do Resíduo Gerado do Processamento

De Polpas Da Acerola. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

SOUZA, P. R.; DOTTO, G. L.; SALAU, N. P. G. **Experimental and mathematical modeling of hindered diffusion effect of cationic dye in the adsorption onto bentonite.** Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 7, n. 1, p. 102891, nov./jan. 2019.

WANG, J., H. WANG, G. GENG, **Flame-retardant superhydrophobic coating derived from fly ash on polymeric foam for efficient oil/corrosive water and emulsion separation,** Journal of Colloid and Interface Science (2018b), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.04.069>

WANG, Q., G. CHEN, J. TIAN, Z. YU, Q. DENG, M. YU, **Facile fabrication of fluorine-free, transparent and self-cleaning superhydrophobic coatings based on biopolymer castor oil,** Materials Letters (2018b), doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.07.090>

WU, D.; FANG, L.; QIN, Y.; WU, W.; MAO, C.; ZHU, H. Oil sorbents with high sorption capacity, oil/water selectivity and reusability for oil spill cleanup. **Marine Pollution Bulletin**, v. 84, n. (1-2), p. 263-7, 2014.

ZHANG, MENG, HUI PAN, LIQIANG ZHANG, LIHONG HU, YONGHONG ZHOU, **Study of the mechanical, thermal properties and flame retardancy of rigid polyurethane foams prepared from modified castor-oil-based polyols.** Industrial Crops and Products 59 (2014) 135–143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.016>

ZHANG, TAO., LIYING KONG, YUTING DAI, XUEJIE YUE, JIAN RONG B, FENGXIAN QIU, JIANMING PAN. **Enhanced oils and organic solvents absorption by polyurethane foams composites modified with MnO₂ nanowires.** Chemical Engineering Journal 309 (2017b) 7–14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.085>

ZHANG, W.F., X. LU, Z. XIN, C.L. ZHOU, **A self-cleaning polybenzoxazine/TiO₂ surface with super-hydrophobicity and superoleophilicity for oil/water separation,** Nanoscale 7 (2015) 19476–19483. DOI: 10.1021/am5071333

ZHANG, XIA, DANFENG ZHI, A WENZHONG ZHU, A SANJAYAN SATHASIVAMB AND IVAN P. PARKIN. **Facile fabrication of durable superhydrophobic SiO₂/polyurethane composite sponge for continuous separation of oil from water.** RSC Adv., 2017a, 7, 11362. doi: 10.1039/c7ra00020k.