UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

ALICE SABRINA FERREIRA DA SILVA

USO DE FLOCULANTE NATURAL DA CASCA DO MARACUJÁ PARA TRATAMENTO E REUSO DA ÁGUA DA LAVAGEM DE BIODIESEL DE ÓLEO DE FRITURA

Recife
2020

ALICE SABRINA FERREIRA DA SILVA

USO DE FLOCULANTE NATURAL DA CASCA DO MARACUJÁ PARA TRATAMENTO E REUSO DA ÁGUA DA LAVAGEM DE BIODIESEL DE ÓLEO DE FRITURA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

Área de concentração: Fontes Renováveis de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Kátia Aparecida da Silva Aquino.

Coorientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.

Recife

2020

Catalogação na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S586u Silva, Alice Sabrina Ferreira da.
Uso de floculante natural da casca do maracujá para tratamento e reuso da água da lavagem de biodiesel de óleo de fritura / Alice Sabrina Ferreira da Silva. – 2020.
96 f.: il., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Kátia Aparecida da Silva Aquino.
Coorientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Recife, 2020.
Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Energia nuclear. 2. Biocombustível. 3. Resíduo. 4. Floculante natural. 5. Tratamento de água. I. Aquino, Kátia Aparecida da Silva (Orientadora). II. Menezes, Rômulo Simões Cezar (Coorientador). III. Título.

UFPE

621.042 CDD (22. ed.) BCTG/2022-160

ALICE SABRINA FERREIRA DA SILVA

USO DE FLOCULANTE NATURAL DA CASCA DO MARACUJÁ PARA TRATAMENTO E REUSO DA ÁGUA DA LAVAGEM DE BIODIESEL DE ÓLEO DE FRITURA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: Fontes Renováveis.

Aprovada em: 30/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

_____
Profa. Dra. Kátia Aparecida da Silva Aquino (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Dr. James Correia de Melo (Examinador Externo)
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste

_____
Prof. Dr. Elvis Joacir de França (Examinador Interno)
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste

_____
Profa. Dra. Rosa Virgínia Tavares Grangeiro (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba

_____
Prof. Dr. Alexandre Ricardo Pereira Schuler (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

À Deus por me agraciar com saúde, força e determinação para superar as dificuldades.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) principalmente ao Departamento de Energia Nuclear, seu corpo docente, direção e secretaria, pela oportunidade de realização do doutorado.

A minha querida Profa. Orientadora Kátia Aquino por todo apoio, dedicação, responsabilidade e amor com que me acolheu durante esses quatro anos. És um exemplo de mulher, pesquisadora e principalmente de ser humano, aprendi e cresci muito ao seu lado. Muito obrigada, por todas as correções, sugestões, conselhos e incentivos.

Ao professor Elvis França por me ensinar da forma mais humana que tipo de profissional eu quero ser. Muito obrigada.

Aos professores Rômulo Menezes, Emanuel Dutra, Rosa Grangeiro e Alexandre Schuler, pelo apoio e importantes contribuições.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), responsável pela concessão da bolsa de doutorado.

À minha mãe Adijane Ferreira, que sempre foi o motivo do meu esforço diário, sem seu exemplo de força e determinação eu jamais chegaria tão longe.

À minha avó Marú, Ericka, Erick, Jeferson, Agnes, Adriana, Amanda e toda a família Ferreira, por todo amor, compreensão e incentivo.

Aos meus amigos irmãos Natache Ferrão e Arthur Tavares por tudo que fazem e são para mim.

Ao grupo de Energia de Biomassa, aos projetos de pesquisa envolvidos e todos que fazem parte da BERSO.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho a vocês meu muito obrigada.

RESUMO

A crescente produção e consumo de combustíveis fósseis faz parte de uma problemática global que envolve a produção e queima de componentes químicos. Tais componentes contribuem negativamente para o aumento do efeito estufa. Dentre os biocombustíveis possíveis substitutos aos combustíveis de origem fóssil o biodiesel tem se destacado sendo produzido e comercializado em larga escala mundial. Além da preocupação com a matéria prima destinada a produção de biodiesel que não deve se sobrepor a segurança alimentar outro fator que requer bastante atenção é a etapa de purificação do biocombustível. Ao purificar o biodiesel são gerados cerca de 3 L de água residual por litro de biodiesel produzido, esse efluente se descartado no ambiente pode ocasionar contaminação ao solo e lençóis freáticos. Outra problemática de suma importância é o tipo de tratamento empregado no tratamento da água, pois o uso de Coagulantes Químicos CQ no tratamento de água costuma ocasionar problemas ambientais e de saúde pública como por exemplo aumento nos casos de Alzheimer e câncer. Esta referida pesquisa buscou além de produzir o biodiesel com óleo de fritura residual, tratar e reusar a água de lavagem, resíduo da produção com diferentes concentrações de CQ e um resíduo vegetal como Floculante Natural FN buscando diminuir a quantidade de CQ comerciais como o sulfato de alumínio e o cloridróxido de alumínio que são comumente utilizados no tratamento de águas residuais. Neste processo, foi possível concluir que apenas com uso de FN é possível tratar, reutilizar a água no processo e repetir esse ciclo uma segunda vez sem que o biodiesel purificado com água tratada com FN residual perca suas propriedades interferindo no desempenho e qualidade final do biocombustível.

Palavras-chave: biocombustível; resíduo; floculante natural; tratamento de água.

ABSTRACT

The growing production and consumption of fossil fuels is part of a global problem that involves the production and burning of chemical components. Such components contribute negatively to the increase of the greenhouse effect. Among the biofuels that are possible substitutes for the criteria of fossil origin, biodiesel has been produced and sold on a large scale worldwide. In addition to the concern with the raw material destined for the production of biodiesel, which should not overlap food security, another factor that requires a lot of attention is the stage of purification of biofuel. When purifying biodiesel, about 3 L of residual water is generated per liter of biodiesel produced, this effluent if discarded in the environment can cause contamination of the soil and groundwater. Another issue of paramount importance is the type of treatment treatment in water treatment, as the use of Chemical Coagulants CQ in water treatment usually causes environmental and public health problems such as an increase in cases of Alzheimer's and cancer. This research sought in addition to producing biodiesel with residual frying oil, treating and reusing washing water, production residue with different QC specifications and a plant residue such as Floculante Natual FN seeking to reduce the amount of commercial QC such as aluminum sulfate and aluminum hydrochloride, which are commonly used in wastewater treatment. In this process, it was possible to achieve that only with the use of FN it is possible to treat, reuse water in the process and repeat this cycle a second time without the biodiesel purified with water treated with residual FN losing its properties interfering with the performance and final quality of the biofuel.

Keywords: biofuel; waste; natural flocculant; water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reação de Transesterificação..... 21
Figura 2 - Gráfico segundo informações contidas no site oficial da ANP demonstrando os tipos de matérias primas destinada para produção de biodiesel no Brasil..... 25
Figura 3 - Estrutura química da pectina..... 32
Figura 4 - Ilustração da Ação da Pectina na Remoção de Impurezas da Água Residual..... 33
Figura 5 - Gráfico segundo informações contidas no site oficial do IBGE demonstrando a produção brasileira de maracujá por região fisiográfica, ano de 2018..... 37
Figura 6 - Esquema contendo as etapas do tratamento da água de lavagem proveniente da lavagem do biodiesel..... 43
Figura 7 - Esquema ilustrativo contendo as etapas do tratamento da água residual proveniente da purificação do biodiesel..... 44
Figura 8 - Resíduo orgânico proveniente de cascas de maracujá, coletada no CEASA..... 45
Figura 9 - Passo a passo do procedimento de preparação da farinha do maracujá..... 46
Figura 10 - Jar Test Machine, equipamento utilizado para tratamento de água usando ensaios de coagulação e floculação..... 47
Figura 11 - Cone de Imhoff, utilizado para sedimentação dos sólidos após ensaios de coagulação e floculação..... 48
Figura 12 - Espectro RMN 1H do Óleo de Fritura Residual (OFR)..... 51
Figura 13 - RMN Biodiesel..... 57
Figura 14 - Representação gráfica da planta de biodiesel..... 90
Figura 15 - Fluxograma etapas da pesquisa..... 91
Figura 16 - Sugestão para adicionar um sistema de tratamento da água residual a usina de biodiesel, uma alternativa de baixo custo..... 92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Crescimento do percentual de biodiesel implementado no diesel fóssil no Brasil..... 18

Tabela 2 - Informações contidas no site oficial da ANP demonstrando o crescimento da produção de biodiesel no Brasil..... 19

Tabela 3 - Informações contidas no site oficial da ANP relacionada a produção de biodiesel nas regiões brasileiras em junho de 2020..... 20

Tabela 4 - Informações do site oficial da BIODIESELBR demonstrando plantas experimentais de biodiesel no Estado de Pernambuco..... 21

Tabela 5 - Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel 24

Tabela 6 - Informações do CONAMA, segundo site oficial do Ministério do Meio Ambiente (MMA) 29

Tabela 7 - Informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ano 2018..... 36

Tabela 8 - Materiais utilizados e suas respectivas quantidades para produção de biodiesel por batelada..... 40

Tabela 9 - Equações utilizadas para análise físico-química do OBC a partir do espectro integrado de 1H RMN..... 41

Tabela 10 - Parâmetros para Caracterização do Biodiesel..... 42

Tabela 11 - Concentrações iniciais dos coagulantes químicos utilizados nos ensaios de coagulação e floculação..... 49

Tabela 12 - Proporções entre coagulantes químicos e floculante natural, Farinha da Casca do Maracujá (FCM) utilizadas nos ensaios de coagulação e floculação..... 49

Tabela 13 - Atribuições dos picos em cada deslocamento químico (δ) encontrados no espectro do OFR da Figura 10..... 52

Tabela 14 - Caracterização do Óleo de Fritura Residual..... 52

Tabela 15 - Caracterização do biodiesel proveniente de óleo de fritura residual..... 55

Tabela 16 - Caracterização da água de residual do biodiesel..... 59

Tabela 17 - Caracterização da água residual de biodiesel Após Tratamento 1 (caixa de gordura e decantação) 61
Tabela 18 - Variáveis físico-químicas comparando as concentrações dos coagulantes químicos utilizados Genfloc e Sulfato de alumínio..... 62
Tabela 19 - Variáveis físico-químicas para determinar as concentrações do floculante natural..... 63
Tabela 20 - Aferição das variáveis físico-químicas para determinar as melhores proporções entre coagulantes químicos e floculante natural..... 64
Tabela 21 - Variáveis físico-químicas para determinar as melhores proporções entre coagulantes químicos e floculante natural..... 66
Tabela 22 - Qualidade do biodiesel gerado após diferentes lavagens..... 67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 12
2 REVISÃO DE LITERATURA..... 15
2.1 Biodiesel..... 15
2.2 Biodiesel no Brasil..... 16
2.2.1 Reação de Transesterificação..... 21
2.2.2 Matéria Prima para Produção de Biodiesel..... 23
2.3 Biodiesel de óleo de fritura residual..... 25
2.4 Água residual da lavagem de biodiesel..... 27
2.4.1 Métodos usuais de tratamento para águas residuais de biodiesel..... 29
2.4.2 Coagulantes/Floculantes naturais utilizados no tratamento de águas oleosas..... 31
3 MATERIAL E MÉTODOS..... 39
3.1 Produção de biodiesel..... 39
3.2 Caracterização do óleo por ressonância magnética nuclear (RMN)..... 40
3.3 Caracterização do biodiesel..... 42
3.4 Captação da água de lavagem e tratamento..... 43
3.5 Obtenção da farinha da casca do maracujá..... 45
3.5.1 Coagulação e floculação..... 46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 51
4.1 Óleo de fritura residual..... 51
4.2 Caracterização do biodiesel proveniente do OFR..... 55
4.3 Água de lavagem do biodiesel (ALB)..... 58
4.3.1 Tratamento 1: Caixa de Gordura e Decantação..... 60
4.3.2 Tratamento 2: coagulação, floculação e sedimentação..... 61
4.4 Qualidade do biodiesel após lavagem com água tratada..... 66
5 CONCLUSÃO..... 72
6 PERSPECTIVAS..... 74
REFERÊNCIAS..... 75
APÊNDICE A – CONSTRUÇÃO DA PLANTA DE BIODIESEL DE

BAIXO CUSTO..... 88
APÊNDICE B – ETAPAS DA PESQUISA..... 91
ANEXO A – PLANTA ALTERNATIVA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL..... 92
ANEXO B – ATIVIDADES DE EXTENSÃO REALIZADAS DURANTE A PESQUISA..... 93
ANEXO C – REPORTAGENS E ENTREVISTAS..... 94
ANEXO D – PRODUTOS DA TESE & TITULOS..... 95

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional e a expansão do desenvolvimento industrial contribuem para o crescente consumo de combustíveis fósseis, combustíveis que não apresentam características renováveis e além disso causam problemas ambientais. Os combustíveis fósseis são resultado da decomposição natural de organismos vivos, processo que pode levar milhões de anos para ocorrer e dependem de condições ideais de temperatura e pressão. No entanto, a problemática que envolve a escarces destes combustíveis derivados do petróleo aumenta a relevância de pesquisas na área (BAJAJ *et al.,* 2010; ARAUJO, 2014).

A queima dos combustíveis fósseis contribui negativamente para o aumento do efeito estufa, pois emitem grande quantidade de dióxido de carbono para a atmosfera. Uma das alternativas para amenizar esse efeito seria a substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis provenientes da fauna e flora, que são considerados renováveis por participarem do ciclo de carbono na atmosfera. O uso de biocombustíveis diminui significativamente o impacto ambiental causado pelas emissões (MOTA *et al.,* 2009; KARMAKA, 2010).

Nesse contexto o biodiesel apresenta-se como alternativa sustentável, podendo substituir o diesel de petróleo com resultados semelhantes, sem que haja necessidade de modificações nos motores, e principalmente, diminuindo as emissões de gases poluentes para a atmosfera (WONG et al., 2019). Além disso, o biodiesel é considerado um combustível ambientalmente benéfico devido às suas propriedades únicas, como biodegradabilidade e renovabilidade (CHUAH *et al.,* 2017).

Por outro lado, durante o processo de purificação do biodiesel são gastos aproximadamente três litros de água para cada litro de biodiesel produzido (GRANGEIRO, 2014). Tal quantidade de água se descartada sem tratamento prévio, torna-se um risco ao meio ambiente, pois possui características contaminantes para o solo e lençóis freáticos, como altas Demandas Químicas de Oxigênio (DQO), Demandas Bioquímica de Oxigênio (DBO), Teor de Óleos e Graxas (TOG) e turbidez.

Para tratamento desse tipo de efluente são comumente usados coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio que tem como finalidade remover as impurezas presentes no meio, sua aplicação apresenta ótimos resultados na

recuperação da água. Porém, o uso contínuo desse material pode acarretar problemas ambientais como, contaminação do solo e lençóis freáticos e problemas de saúde pública, como por exemplo infecções, câncer e até mesmo aumento nos casos de Alzheimer (JANCULA; MARSALEK, 2012; LI *et al.,* 2020). Na busca por tratamentos de coagulação/floculação menos danosos, surge à possibilidade de utilizar auxiliares de floculação naturais. Esses floculantes ajudam na formação e sedimentação dos flocos, substituindo total ou parcialmente os coagulantes convencionais.

É importante ressaltar que, com a necessidade de desenvolver métodos para produção de biocombustíveis, também surge a necessidade de desenvolver tecnologias mais sustentáveis. Neste contexto, o uso da água se destaca por ser um recurso escasso e utilizado em grandes volumes na indústria, o que torna o uso inteligente da água um enorme desafio na produção e viabilidade de biocombustíveis como o biodiesel. De acordo com Wasif (2015), a produção de biodiesel ainda pode não ser uma alternativa economicamente viável devido aos altos custos de materiais e energia no processo de produção, outro fator determinante é a quantidade de água gasta na etapa de purificação. O reuso de água no processo é benéfico não apenas para a reduzir a demanda de água, mas também contribui positivamente com a melhora da viabilidade econômica do biocombustível.

Neste trabalho, foi estudado o resíduo da casca de maracujá como floculante natural a fim de tratar a água residual da produção de biodiesel com outro resíduo que também poderia contaminar o ambiente se descartado de maneira incorreta. Assim, são propostas a produção do biodiesel e a identificação dos melhores materiais e parâmetros para o tratamento da água residual proveniente do processo de purificação do biodiesel, por meio de ensaios de proporções entre coagulantes químicos e floculantes naturais.

A referida pesquisa busca contribuir de maneira sustentável com o meio ambiente, tendo como objetivos específicos produzir biodiesel a partir do óleo de fritura residual, caracterizar o efluente gerado, tratar a água residual testando diferentes concentrações e proporções de coagulantes químicos e floculante natural residual, reutilizar a água tratada no processo de produção e analisar o biodiesel purificado com água de reuso, com o intuito de avaliar se este

biocombustível continua dentro dos parâmetros especificados pela legislação vigente. Por fim, pretende-se disponibilizar as metodologias desenvolvidas nesta pesquisa para que para outras instituições e municípios possam replicá-la.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste tópico será abordada de maneira objetiva uma revisão bibliográfica sobre o uso de floculante natural para o tratamento e reuso da água de lavagem do biodiesel produzido através do reuso de óleo de fritura. Desta forma, buscou-se de forma sucinta contribuir para a integração dos trabalhos mais importantes relacionados ao tema, introduzindo conceitos que ajudarão a compreender a metodologia e os resultados obtidos.

2.1 Biodiesel

Biodiesel é um biocombustível obtido a partir de óleos ou gorduras que podem ser de origem vegetal ou animal, sendo empregado em motores de ignição e combustão interna. Seu uso pode substituir total ou parcialmente a utilização do diesel fóssil (BARBOSA et al., 2008 e MAAWA *et al.,* 2020). O diesel fóssil é um dos combustíveis derivados do petróleo mais consumido mundialmente. Os combustíveis de origem fóssil são provenientes da decomposição de organismos vivos e tal processo pode levar milhões de anos para ocorrer (CARVALHO, 2008; MARQUES *et al.,* 2018).

Nesse contexto, pesquisas que busquem alternativas aos combustíveis fósseis vêm ganhando espaço, a fim de diminuir a dependência mundial aos combustíveis derivados do petróleo. Desta forma é possível amenizar a degradação ambiental, causada pela queima destes combustíveis, que geram gases nocivos ao efeito estufa (MARQUES *et al*., 2018; CHEN 2020).

As emissões de CO_2 têm sido apontadas como uma das principais responsáveis pelo aumento dos gases de efeito estufa (GEE), e consequentemente interferem negativamente nas mudanças climáticas. Cerca de 76,7% das emissões de GEE, emanam de emissões de CO_2 provenientes de atividades antrópicas principalmente de países em desenvolvimento (ABOKYI *et al.,* 2019). O biodiesel além de diminuir a quantidade de CO_2 liberada durante a queima do diesel, seu uso não necessita de nenhuma alteração no motor, e pode ser utilizado sem causar danos. O biodiesel também pode promover uma melhora na eficiência da combustão e reduzir o potencial de oxidação do combustível, devido a porcentagem média de 10% de oxigênio no meio (MAHLIA *et al.,* 2020).

Portanto, dente os biocombustíveis mais utilizados mundialmente a fabricação de biodiesel é uma das produções que mais cresce, em 2017 foram gerados 142 bilhões de litros de biocombustíveis já em 2019 houve um aumento de 20 bilhões de litros chegando a produção anual de 162 bilhões de litros de biocombustíveis. Os principais países investidores em biodiesel atualmente são Brasil, Alemanha e Estados Unidos da América (EUA) (MAHLIA et al., 2020). Administração de Informação em Energia (EIA) divulgou dados recentes da produção de biodiesel em 2018, nos EUA, mostrando a quebra do terceiro recorde consecutivo no setor, marcando o número de 7 bilhões de litros de biodiesel fabricados por usinas norte americanas (BIODIESELBR, 2019).

2.2 Biodiesel no Brasil

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de biodiesel, as primeiras iniciativas voltadas ao uso do biodiesel no país surgiram em 1970 na busca por estratégias focadas na autonomia energética do Brasil, nesse mesmo ano foi criado o programa Pro Óleo que buscava testar diversos tipos de óleos vegetais no estado natural, em motores de combustão interna (RAMOS *et al*., 2017). Os testes realizados durante o programa Pró Óleo constaram que não é viável o uso de óleos in natura diretamente em motores de combustão interna, pois podem causar severos danos ao motor entre eles dificuldade de partida, entupimento, carbonização e dentre outros problemas relacionados ao bom funcionamento e vida útil dos motores o que impulsionou a busca por pesquisas na área de transesterificação, reação química que origina o biodiesel (RAMOS *et al*., 2011; ANP, 2020).

Embora os primeiros registros do uso de biodiesel no Brasil tenham início na década de 70, apenas em 2005 após o artigo 6° da Lei 11.097, de 13 de janeiro, foi estabelecido de maneira legal a entrada do biodiesel para fins de transporte na matriz energética brasileira.

> Biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. p. 01.

Com a Lei 11.907 foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Um programa de grande apelo social elaborado pelo governo federal. O objetivo é utilizar um combustível mais sustentável, incluindo o biodiesel no mercado brasileiro (CARTILHA, 2004). Esse programa proporcionou uma diminuição nos gastos referente à exportação do diesel, produzindo um combustível nacional e gerando renda para a população. O biodiesel não contém petróleo, porém pode ser misturado a ele.

O biodiesel de soja emite 41% menos gases poluentes que o diesel fóssil e apresenta melhor desenvolvimento nos motores. Portanto, uma vez que a molécula de biodiesel é oxigenada, é melhor lubrificante do que o combustível diesel, melhora o desempenho da queima e consequentemente aumenta a vida útil dos motores (VIOLA *et al.,* 2012; FERREIRO *et al.,* 2016;). A Agência Nacional de Petróleo, Gás
Natural e Biocombustíveis (ANP) é responsável por ajustar, contratar, analisar e fiscalizar, além de outras atividades que envolvam qualquer um dos combustíveis citados anteriormente, bem como todos os seus derivados (LEGISLAÇÃO, 2005). A ANP segue como base os critérios e especificações de qualidade do plano internacional ASTM D6751, que abrange as características padrões para produção e uso do biodiesel, como ponto de fulgor, estabilidade oxidativa e outros (SPECIFICATION, 2019).

Vale salientar que os óleos vegetais in natura não devem ser utilizados diretamente nos motores sem tratamento prévio, pois podem gerar problemas como o aumento da deposição de carbono no motor, entupimento dos bicos injetores e dentre outros fatores que interferem negativamente no desempenho e vida útil do motor (RAMOS *et al.,* 2017). De acordo a resolução da ANP (art. 2°, § 1°) o Brasil passou a adicionar 2% de biodiesel (B2) ao diesel fóssil utilizado até o ano de 2008, o que corresponde a cerca de 840 milhões de litros de biodiesel. Logo em seguida uma nova resolução 2/2008 indicava o uso de 3% de biodiesel (B3) acrescido ao diesel comercializado a partir de julho de 2008 (GUIMARÃES, 2013). Os percentuais de biodiesel adicionados ao diesel e a perspectiva de crescimento no decorrer dos anos de 2008 a 2023 estão apresentados na Tabela 1. Atualmente se utiliza a porcentagem de 12% de biodiesel acrescido ao diesel fóssil e a tendência é que em 2023 esse valor chegue a 15%.

Tabela 1 - Crescimento do percentual de biodiesel implementado no diesel fóssil no Brasil

Data	Biodiesel em %	Denominação oficial
Janeiro/2008	2%	B2
Julho/2008	3%	B3
Julho/2009	4%	B4
Janeiro/2010	5%	B5
Agosto/2014	6%	B6
Novembro/2014	7%	B7
Março/2017	8%	B8
Março/2018	10%	B10
Setembro/2019	11%	B11
Março/2010	12%	B12
Março/2021	13%	B13
Março/2022	14%	B14
Março/2023	15%	B15

Fonte: ANP (2020)

A produção mundial de biodiesel cresceu 23% ao ano entre 2005 e 2015 o que causou um aumento na demanda em mais de sete vezes em uma única década (NAYLOR, 2017). O Brasil apresenta aumento significativo na produção de biodiesel puro (B100) de 2005 a 2019 é possível observar o crescimento de aproximadamente 700% (Tabela 2). Esse crescimento se dá principalmente pelo aumento dos percentuais de biodiesel adicionados ao diesel fóssil comercializado no país.

Tabela 2 - Informações contidas no site oficial da ANP demonstrando o crescimento da produção de biodiesel no Brasil

Ano	Biodiesel (m^3)
2005	736
2006	69.002
2007	404.322
2008	1.167.128
2009	1.608.448
2010	2.386.399
2011	2.672.760
2012	2.717.483
2013	2.917.488
2014	3.422.210
2015	3.937.269
2016	3.801.339
2017	4.289.840
2018	5.336.528
2019	5.902.461
2020	2.950.000*

Fonte: ANP (2020)

Nota: Os dados de produção do ano 2020 estão incompletos, pois a ANP só disponibilizou até o presente momento os dados de janeiro a junho deste ano.

De acordo com a ANP e seu mais recente boletim divulgado, trazendo dados referentes ao mês de junho de 2020, a previsão é que a produção deste ano seja inferior ao ano de 2019, pois o atual contexto de pandemia mundial tem interferido no mercado. A região de maior produção de biodiesel no Brasil atualmente é a região Sul que possui uma das maiores capacidade autorizada pela ANP. No mês de junho de

2020 a região Sul produziu 218.385 m^3 de biodiesel o que equivale a aproximadamente 41% da produção total, a região Norte é a zona com menor produção de biodiesel do Brasil responsável por apenas 3,4% da produção nacional, seguida da região Nordeste que possui a segunda menor produção por região totalizando 7,2% apenas da produção nacional (Tabela 3). Isso ocorre, pois em todo o território nordestino só existem três usinas de biodiesel autorizadas pela

ANP. Uma no Ceará no município de Quixadá, pertencente ao grupo Petrobras Biocombustíveis com capacidade para 301.71 m^3 por dia, em funcionamento desde o ano de 2009. E mais duas plantas de biodiesel no estado da Bahia situadas respectivamente nas cidades de Iraquara, capacidade 360.00 m^3 por dia e Candeias, capacidade de 603.42 m^3 por dia (ANP, 2020).

Tabela 3 - Informações contidas no site oficial da ANP relacionada a produção de biodiesel nas regiões brasileiras em junho de 2020

Região	Produção de biodiesel junho/2020 (m^3)	Porcentagem (%)
Centro-Oeste	212.786	39,9
Nordeste	38.381	7,2
Norte	18.031	3,4
Sudeste	45.728	8,6
Sul	218.385	40,90
Total	533.311	100

Fonte: ANP (2020)

As usinas pertencem aos grupos Oleoplan Nordeste em funcionamento desde 2006 e a Petrobras Biocombustíveis implantada em 2010, totalizam capacidade máxima de produção em torno de 1.265.13 m^3 por dia. Os demais estados nordestinos inclusive Pernambuco, por sua vez não possuem usinas habilitadas pela ANP, o biodiesel usado no estado provém de outras regiões do país (ANP, 2020).

O estado de Pernambuco, mesmo não apresentando nenhuma usina autorizada pela ANP possui quatro plantas de biodiesel, consideradas usinas experimentais. As usinas de Pernambuco são projetadas para converter, por transesterificação, matérias primas distintas entre elas: óleo de algodão, mamona, dendê, gorduras vegetais entre outras. As quatro plantas juntas se estivessem em funcionamento poderiam alcançar a capacidade de 12 mil m^3 de biodiesel como é possível observar na Tabela 4 (BIODIESELBR, 2019).

Tabela 4 - Informações do site oficial da BIODIESELBR demonstrando plantas experimentais de biodiesel no Estado de Pernambuco

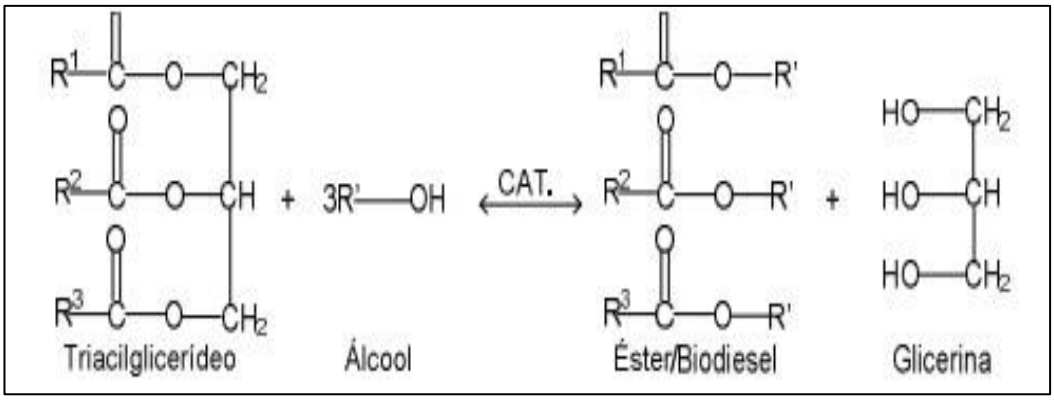
Usina	Município	Capacidade anual autorizada em (m^3)	Investimento R$	Situação da planta
Experimental de Caetés	Caetés	600	800.000/ MCT	Não funcionamento
Governador Miguel Arraes	Pesqueira	3.000	1.550.000/ MCT + 600.000 PMP	Não funcionamento
Serrote Redondo	São José do Egito	6.000	2.500.000 GSR	Não funcionamento
Serra Talhada	Serra Talhada	3.000	1.800.000 MCT	Não funcionamento

Fonte: BiodieselBR (2019)

2.2.1 Reação de Transesterificação

A transesterificação é a reação química que origina o biodiesel e é representada pela Equação 1 ALVES (2012). Onde o triglicerídeo reage com o álcool alifático de cadeia curta, geralmente na proporção 1:3. O álcool utilizado é tipicamente etanol ou metanol, na presença de um catalisador formando ésteres monoalquílicos e glicerol como subproduto (FADHI *et al.,* 2017).

Figura 1 - Reação de Transesterificação



Fonte: Alves (2012)

A escolha do álcool é essencial para determinar os parâmetros no meio reacional. O metanol é geralmente o álcool mais utilizado para fins de transesterificação, visto que o seu uso simplifica o processo. Além das vantagens físicas e químicas, o metanol é de fácil acesso, torna o processo mais rápido e é homogeneizado facilmente ao catalisador (MUSA, 2016). A utilização do metanol favorece a separação espontânea entre o biodiesel e o glicerol, possui alto

rendimento e baixos teores de água. Porém o metanol é proveniente de combustíveis fósseis, é altamente tóxico e oferece riscos durante o manuseio. Já o etanol promove rendimento inferior na reação, seu uso mesmo que anidro, provoca dificuldade de separação do glicerol, tornando o processo mais lento e necessitando de uma razão molar maior (VICENTE *et al.,* 2004).

Segundo Garcia (2006), a faixa de fração molar (triglicerídeo/ álcool) indicada para o processo de transesterificação é considerada bem ampla. Para metanol, os valores ficam em torno de 6:1 a 12:1 e para etanol os padrões ficam entre 6:1 a 30:1. Outro ponto importante é a presença de água no etanol, pois a presença de água no processo de transesterificação pode acarretar diversos problemas incluindo a presença de possíveis reações secundárias, como a hidrólise, considerada uma reação de competição, pois forma ácidos carboxílicos que diminuem o rendimento dos ésteres monoalquílicos (ULF *et al.,* 1998).

Os catalisadores podem ser homogêneos ou heterogêneos. Atualmente os catalisadores homogêneos são os mais utilizados principalmente por apresentarem menor tempo de reação, porém os catalisadores heterogêneos estão conquistando espaço no mercado (DANG *et al.,* 2013). Embora os catalisadores heterogêneos sejam menos utilizados, pesquisas atuais têm apontado esse tipo de catalisador como um forte substituto aos catalisadores tradicionalmente usados, pois além de diminuir os custos com processo podem diminuir possíveis contaminações ao ambiente. Os catalisadores utilizados são matéria prima residuais como argilas, oxido de zinco e óxido de estanho (YUSUFF e OWOLABI, 2019).

Portanto, a catálise é responsável por acelerar a reação, diminui a energia de ativação e consequentemente aumentar a velocidade da reação. Os catalisadores podem ser ácidos, básicos ou ainda enzimáticos. Os catalisadores ácidos são usualmente o ácido sulfúrico e ácido clorídrico, já os catalisadores alcalinos mais comumente utilizados são hidróxido de sódio e hidróxido de potássio (BANERJEE *et al*., 2009). Apesar dos catalisadores ácidos apresentarem alto rendimento, sua utilização implica em alta razão molar álcool/óleo, além de requerer maior tempo de reação. Por outro lado, o uso de catalisadores ácidos favorece a utilização de matérias primas com alto teor de ácidos graxos livres, o que seria um empecilho na catálise básica (RAMOS *et al*., 2017). A catálise básica por sua vez é geralmente o processo mais utilizado, pois evidencia alto

rendimento, é considerada uma reação mais rápida, apresenta menor potencial corrosivo e consequentemente manuseio mais seguro (GARCIA, 2006).

Todavia, a catálise básica mesmo sendo a via mais indicada para o processo de transesterificação, seu uso também acarreta algumas desvantagens como, a formação de reações secundárias não favoráveis que consomem parte do catalisador. (ULF *et al.,* 1998). Os catalisadores básicos, ainda apresentam ineficiência em relação ao tipo de matéria prima utilizada, insumos com alto teor de Ácido Graxos Livres (AGL), pode propiciar a produção de sabão, diminuindo o rendimento do processo. Portanto, pode dificultar as fases de purificação dos ésteres e separação do glicerol (QUAH *et al.,* 2019).

Os catalisadores enzimáticos possuem algumas vantagens relacionadas à catálise química, pois seu uso favorece a recuperação do glicerol, diminui gastos energéticos, é menos poluente em comparação aos demais e evita a formação de subprodutos indesejáveis. Em contrapartida, o custo desse processo é muito mais elevado, o tempo de reação é maior e o rendimento é inferior, além de demandar mais água e solventes (BAJAJ *et al.,* 2010; MOHAMED, *et. al.,* 2019). A escolha do tipo de álcool e catalisador são de suma importância para o bom desenvolvimento do processo de produção do biodiesel e por esse motivo precisam ser levados em consideração todos os fatores que interferem na qualidade do produto final.

2.2.2 Matéria prima para produção de biodiesel

O biodiesel foi por muitos anos produzido apenas de óleos vegetais, o uso direto de alimentos para produção de biodiesel causou várias discussões, principalmente com relação à segurança alimentar, onde a produção de biocombustíveis não pode competir diretamente com os alimentos utilizados na dieta da população no geral (ARANSIOLA *et al.,* 2014). Portanto, o biodiesel de primeira geração que utiliza matérias primas comestíveis como insumo apresenta riscos e limitações, sendo assim o aumento do custo faz com que outras alternativas sejam avaliadas para a produção de biodiesel com matérias primas alternativas, sustentáveis e economicamente viáveis (SINGH *et al.,* 2020).

A competição com culturas alimentícias impulsionou a comunidade científica a buscar outros tipos de materiais, que não competissem com a produção de alimentos ou de óleos vegetais comestíveis. Desde então, diversas pesquisas tem o intuito de aprimorar o uso de novas matérias primas, sejam elas residuais ou não, mas que apresentem bons rendimentos. É possível observar alguns exemplos de matérias primas e materiais utilizadas na produção de biodiesel na Tabela 5 (ULLAH, 2015).

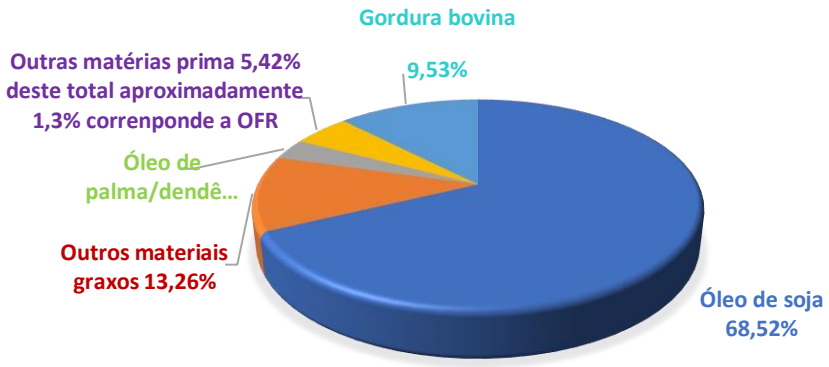
Tabela 5 - Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel

Matéria Prima	**Conversão (%)**	**Rota**	**Referência**
Óleo de Cardo	87,4	Metílica	Ullah et al. (2015)
Microalgas	99,0	Metílica	Teo et al. (2016)
Resíduo de óleo de canola/colza	89,8	Metílica	Banerjee *et al.* (2009)
Lama de Escórias	22,7	Metílica	Yi *et al*. (2016)
Gordura Bovina	98,9	Metílica	Bankovic *et al*. (2014)
Gordura de Porco	90,8	Metílica	Mata *et al*. (2011)
Gordura de Frango	94,8	Metílica	Fayyazi *et al.* (2015)
Óleo de Palma/Dendê	98,0	Metílica	Nongbe *et al*. (2017)
Óleo de Mamona	91,0	Metílica	Baskar *et al*. (2016)
Óleo de fritura	96,0	Metílica	Corro *et al.* (2016)
Óleo de fritura	96,2	Metílica	Sakkari *et al.* (2020)
Óleo de Soja	99,0	Etílica	Almeida *et al*. (2016)

Fonte: A autora (2020)

No Brasil, a matéria prima utilizada para fins de produção de biodiesel é bastante diversificada, porém o óleo de soja corresponde à maior parcela. Aproximadamente 68,5% do biodiesel brasileiro provém do óleo de soja (Figura 1). Os 5,42% representam outras matérias primas também utilizadas na produção do biodiesel brasileiro como: óleo de canola, óleo de fritura residual, óleo de algodão, gordura de porco e gordura de frango, contudo em quantidades ainda insignificantes comparadas ao volume utilizado do óleo de soja (ANP, 2020).

Figura 2 - Gráfico segundo informações contidas no site oficial da ANP demonstrando os tipos de matérias primas destinada para produção de biodiesel no Brasil



Fonte: ANP (2020)

Além de óleos comestíveis apresentarem desvantagens como relação a competição com alimentos e demanda de área para cultivo, outro fator determinante é o custo. Aproximadamente 70% do custo total de produção do biodiesel é referente a matéria prima, enfatizando a importância de óleos e gorduras residuais como o óleo de fritura, resíduo facilmente encontrado em residências e estabelecimentos comerciais (FONSECA *et al.,* 2019).

2.3 Biodiesel de óleo de fritura residual

São gerados mensalmente no Brasil cerca de 200 milhões de litros de óleo de fritura residual por mês (ECÓLEO, 2020). Desse volume, apenas 5% é reciclado ou destinado de maneira ambientalmente correta, os demais 95% não há registros de como esse descarte é realizado (FREITAS, 2015). Provavelmente esse resíduo é descartado diretamente na pia, no solo ou encaminhado para a coleta de lixo público que, indiretamente, será depositado em lixões, aterros controlados e outros, podendo contaminar o solo e lençóis freáticos. A cada litro de óleo descartado na pia ou em vasos sanitários, 25.000 litros de água podem ser contaminados (SABESP, 2019).

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) estão terminantemente proibidos, o descarte de óleos usados ou contaminados nos subsolos, solos, esgotos e águas, em geral. A resolução 357/05, que abrange os parâmetros aceitáveis da presença de óleos e graxas nas águas residuais,

aponta tolerância zero para esse tipo de contaminante, ou seja, não devem ser lançados no ambiente e sim encaminhados para reuso ou reciclagem.

O óleo de fritura residual pode ser reutilizado. O encaminhamento desse material para a reciclagem diminui os riscos de descartado incorreto e minimiza os riscos de problemas ambientais (BIODIESELBR, 2019). A reutilização do óleo de fritura residual vem ganhando outros espaços no Brasil. Hoje já é possível encontrar aplicações distintas para esse resíduo, como por exemplo a produção de sabões, detergentes, massa de vidraceiro, tintas, biodiesel, dentre outras. O grande problema da reutilização desse material é a falta de consciência ambiental da população e a ausência de incentivos governamentais para que esse óleo seja segregado nas residências e estabelecimentos, sejam eles públicos ou privados, pois sem a separação dos resíduos se torna inviável a realização em processos de reciclagem (MOECKE *et al.,* 2012).

Embora existam vários insumos para produção de biodiesel o óleo de fritura residual apresenta-se como matéria prima com grande potencial. Tendo em vista que o custo de obtenção é mínimo e principalmente por se tratar de um resíduo altamente poluente, que se descartado de maneira incorreta poderá acarretar degradação ambiental. A qualidade do biodiesel é um fator determinante para validar o uso de matérias primas residuais na produção de biodiesel, entre as principais analises realizadas está o rendimento, análise que determina quanto de triglicerídeo foi transformado em ésteres.

Yusuffi e Owolabi (2019) produziram biodiesel a partir de óleo de fritura residual, por rota metílica, utilizando derivados da casca da concha de moluscos como catalisador natural. A fração molar utilizada foi 18:1, temperatura reacional de 65°C e obtiveram o rendimento de 95,84%. Para transesterificação de óleo residual por rota etílica, utilizando cinzas de casca de arroz como catalisador, os resultados foram semelhantes. Almeida *et al*.(2016) conseguiram rendimentos de 90% de conversão dos triglicerídeos em biodiesel, em temperatura de 60°C. Pesquisas com produção de biodiesel de óleo de fritura residual em condições semelhantes de fração molar entre 6:1 e 18:1, a 90°C utilizando como catalisador argila de montmorilonie K-30 por rota metílica, obtiveram rendimentos menores. O rendimento obtido foi 80% possivelmente pelo tipo de catalisador empregado (AYOUB *et al.,* 2016).

Na Tailândia, pesquisadores testaram o uso de duas catálises no mesmo processo com o intuito de aumentar o percentual de conversão. Foram utilizados ácido sulfúrico e hidróxido potássio, os autores afirmam que obtiveram um aumento de 28% na conversão dos ésteres e apontam como melhor condição de processo: rota metílica, fração molar 6:1, temperatura a 51°C com 60 minutos de reação (CHAROENCHAITRAKOOL, 2011).

Ainda utilizando OFR, Ali *et al.* (2020) encontraram resultados similares em seus estudos. Utilizando como catalisador heterogêneo $CuFe_2O_4$, metanol, fração molar de 18;1 e 3% em peso de catalisador. O rendimento máximo da reação foi 90,4%. Estudos realizados para obtenção dos rendimentos máximos para óleo de palma, peixe e OFR, por rota metílica e hidróxido de sódio como catalisador, mostraram que o rendimento desse tipo de matéria prima pode variar entre 80 - 98% (ALMEIDA *et al.,* 2015). Pesquisa sobre a produção de biodiesel utilizando como matéria prima o OFR com carbonato de dimetil, utilizando ácido bromídrico como catalisador, obteve rendimento de 94% por rota metílica, na velocidade de 300 rpm, temperatura de 80ºC e tempo reacional de 50 minutos (PANCHAL *et al.,* 2019).

Inayat *et al.* (2019) produziram biodiesel a partir de OFR, por rota metílica utilizando como catalisador argila K-30, fração molar utilizada de 9:1 e temperatura reacional de 69°C, obtiveram o rendimento de 93,5%. Resultados semelhantes também foram encontrados por Guo *et al.* (2020) em estudos de produção de biodiesel proveniente de OFR, utilizando metanol e lipase candida antarctica (CALA) como catalisador, além de fração molar de 7:1 e temperatura de 30°C por 22 horas, o rendimento dessa reação foi de 94,6%. Corroborando com os resultados encontrados por Silva Filho *et al.* (2018) obtendo rendimento aproximado a 90% de conversão dos triglicerídeos em biodiesel, a fração molar usada foi de 6:1. Tais estudos mostram a viabilidade da produção de biodiesel proveniente de OFR que possuem rendimento próximo ou superior a 90%.

2.4 Água residual da lavagem de biodiesel

Para produção de biodiesel é necessária etapa de purificação dos ésteres. Essa purificação é realizada normalmente por meio de lavagens, do biodiesel

produzido, com água e é considerada um dos procedimentos mais importante no processo de transesterificação (OKUMUS *et al.,* 2019). A purificação do biodiesel pode ser realizada pela lavagem a seco, lavagem úmida ou por tecnologias de separação de membranas, esta apresenta custo elevado e por esse motivo é menos utilizado. A lavagem a seco geralmente usa uma resina de troca iônica ou um pó de silicato de magnésio para remover impurezas no biodiesel gerado (VELJKAVIC *et al*., 2014).

No entanto, o método convencional de purificação é a lavagem úmida, que utiliza em média três litros de água para cada litro de biodiesel produzido. Este efluente gerado encontra-se quimicamente inadequado para descarte, pois apresentam elevados valores de contaminantes como resíduos de sólidos, óleos e graxas além de baixa concentração de nitrogênio o que dificulta sua degradabilidade natural (DE BONI et al., 2007; MENESES *et al.,* 2012).

Segundo Nilva *et al.* (2017), o processo de purificação do biodiesel pode gerar até 10 litros de água residual para cada litro de biodiesel produzido, o que é um número bastante alarmante considerando um efluente altamente contaminante e fora dos parâmetros estipulados para descarte, sendo assim só poderá ser lançado diretamente nos corpos receptores após tratamento. O método de lavagem por via úmida produz águas residuais, chamadas Águas de Lavagem do Biodiesel (ALB).

Esse efluente contém óleo ou a gordura que não reagiu, resíduos de catalisador, sais, sabões e impurezas orgânicas (VELJKAVIC *et al.,* 2014).

Além disso, a ALB apresenta alta Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Teor de Óleos e Graxas (TOG) e impurezas do processo como mono, di e tri-glicerídeos, resíduos de álcool e glicerol (GRANGEIRO, 2014). A ALB apresenta valores de referência acima do permitido pela legislação para descarte em corpos hídricos. Portanto, diversos estudos comprovam a não conformidade do resíduo com as normas vigentes o que reforça a necessidade de tratamento desse resíduo.

Srirangsan e Chavalparit (2009) em pesquisas com água residual da produção de biodiesel encontraram altos valores de DBO 31.000 (mg/L) e DQO 41.000 (mg/L). Grangeiro et al. (2014) após caracterização da água residual apontaram resultados próximos de DQO 9.500 (mg/L O2), DBO 3.150 (mg/L O2),

TOG 1.855 (mg/L) e Turbidez 2.550 (UNT). Os parâmetros citados apresentam-se acima dos valores aceitáveis pela legislação vigente para águas residuais. Ainda não há uma legislação específica para água residual de lavagem do biodiesel. Porém a resolução 430/11 (art. 16, I) do (CONAMA) complementa a Resolução 357/05 e estabelecem padrões mínimos para que esse resíduo possa ser lançado nos corpos hídricos. Os parâmetros e seus respectivos valores podem ser encontrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Informações do CONAMA, segundo site oficial do Ministério do Meio Ambiente (MMA)

Parâmetros	Padrões de descarte	unidade
pH	6-9	--
Turbidez	40	NTU
TGO	50	mg/L
DBO	120	mg/L

Fonte: CONAMA (2020)

Pode-se encontrar em águas residuais oleosas, óleos e graxas na forma livre ou emulsionada. Quando é possível observar as gotículas de óleo na água dizemos que o mesmo se encontra na forma livre, tamanho superior a 150 µm. Quando não for possível distinguir a fase oleosa então se trata de um óleo emulsionado, tamanho menor que 20 µm. Diversos tipos de tratamento têm sido empregado para tratamento de águas oleosas entre eles os processos oxidativos, eletrocoagulação e coagulação/floculação têm apresentado resultados satisfatórios de até 90% de remoção de impurezas (MOZAFFARIKHAH *et al.,* 2017)

2.4.1 Métodos usuais de tratamento para águas residuais de biodiesel

Os métodos de tratamento para efluentes oleosos de ALB partem do pressuposto que a modificação dos contaminantes dissolvidos e em suspensão deve ser sedimentado para que haja posterior segregação das fases sólidas e líquidas. Liu *et al.* (2017) desenvolveram experimentos por meio de processos eletroquímicos, usando a técnica de eletrocoagulação e utilizando reator com eletrodo de alumínio. O objetivo do trabalho foi remover óleos emulsionados na água por meio da eletrocoagulação que acelerou o processo de flutuação do óleo e mostrou eficiência reduzindo 97% do óleo na amostra.

Santos e Bittencourt (2015) também utilizaram o método de eletrocoagulação para ALB e conseguiram reduzir o pH, condutividade elétrica, DQO e sólidos totais, porém o método não foi eficiente para adequar a DBO às exigências para descarte de efluentes. Outros experimentos com eletro-oxidação produziram resultados ainda mais significativos em ALB, usando eletrodo (Ti/RuO_2), mostraram alta eficiência, reduzindo cerca de 99% DQO, óleo e graxas, além de reduzir a DBO em mais de 95% (JURUWAT *et al.,* 2010).

Estudos utilizando nanofiltração para avaliar a eficiência de redução de DQO, DBO e sólidos totais (ST) mostram a eficiência do método, que utilizou membranas comerciais de nanofiltração e conseguiram redução de 85,8% DQO, 85,6% DBO e 98% ST (MOZAFFARIKHAH *et al*., 2017). Pintor *et al.* (2016), mostraram a necessidade de utilização de pré-tratamento nas águas oleosas antes de utilizar qualquer método seja ele químico, físico-químico ou biológico. Geralmente a densidade é o fator determinante para esse método que visa retirada de óleos livres e sólidos em suspensão. Sua capacidade de remoção varia bastante de acordo com o tipo de água, tamanho das partículas e tempo de sedimentação do efluente. Esse método sem custo, também conhecido como caixa de gordura pode ser empregado a qualquer tipo de água residual oleosa.

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) também são bastante comuns no tratamento de águas oleosas. Dincer *et al*. (2008) usaram o método fenton para tratamento de águas oleosas residuais proveniente da indústria de petróleo, seu uso resultou na diminuição da DQO em 81%. Grangeiro (2014) também alcançou valores semelhantes para DQO e turbidez. Utilizando processos oxidativos em ALB, apresentou redução de 80% na DQO e 90% na turbidez. As principais reações que ocorrem no processo fenton são baseadas na formação de radicais hidroxilas (•OH) que apresenta forte comportamento oxidante em contato com contaminantes na água. Tais reações estão representadas nas Equações 1 a 4 (SUN *et al.,* 2007; NEYENS; BAYNES, 2003; GRANGEIRO, 2014).

Equações:

$$Fe^{2+}+H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+}+OH^- + \bullet OH \text{ (em meio ácido)} \quad \text{(Eq.1)}$$

$$RH + \bullet OH \rightarrow R\bullet + H_2O \quad \text{(Eq.2)}$$

$$Fe^{2+} + \bullet OH \rightarrow Fe^{3+} + OH^{-} \quad \text{(Eq.3)}$$

$$H_2O_2 + \bullet OH \rightarrow H_2O + HO_2\bullet \quad \text{(Eq.4)}$$

A coagulação e floculação agem principalmente na remoção de partículas em suspensão não sedimentadas. Pesquisas abordam a coagulação e floculação como um dos principais métodos de tratamento para águas residuais. Guimarães (2013) utilizou quitosana e sulfato de alumínio em seus experimentos com ALB, os testes foram realizados em escala laboratorial com o auxílio de um aparelho Jar-test. Os resultados para redução de 50% da DQO e apontam que o pH influencia diretamente na quantidade da matéria orgânica do meio. Pitakpoolsil e Hunsom (2013) também empregaram a quitosana como coagulante para tratamento água residual oriunda de ALB e conseguiram redução de DQO em torno de 90%, DBO 76% e teor de óleos e graxas 67%.

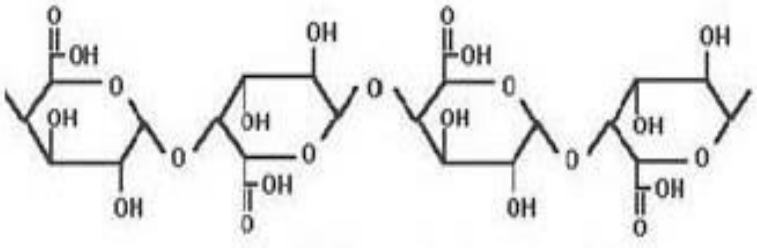
2.4.2 Coagulantes/Floculantes naturais utilizados no tratamento de águas oleosas

A coagulação e floculação são métodos já estabelecidos para tratamento de água residual oleosa, porém seu uso destinado a tratamento de ALB ainda é bastante escasso. Muitas substâncias inorgânicas e polímeros sintéticos podem ser incluídos no processo, toda via o uso demasiado dessas substâncias pode agregar malefícios ao ambiente e á saúde da população. Dentre esses malefícios estão as contaminações do solo e lençóis freáticos, infecção de pessoas e animais por ingerirem altas doses de metais e dentre outros problemas socioambientais. A utilização de coagulantes químicos pode contaminar solo, água subterrâneas e até deixar resíduos em plantas. Seu uso pode colocar em risco não só ambiente, mais também a saúde humana (LI *et al.,* 2020). Um dos problemas mais graves relacionados a saúde da população é o aumento dos casos de Alzheimer que pesquisadores associam a quantidade de íons residuais de alumínio em águas tratadas (ANASTASAKIS *et al*., 2009; MARIN, *et al.,* 2019). O uso de coagulantes químicos pode causar alterações significativas em comunidade fitoplanctônicas, interferindo negativamente na base da cadeia alimentar em ecossistemas aquáticos (JANCULA; MARSALEK, 2012).

Além disso, o lodo formado nas estações de tratamento durante a floculação com substâncias inorgânicas e polímeros sintéticos tem baixo potencial para reciclagem, por conta da sua não degradabilidade, diferentemente do lodo formados por floculantes naturais. Por esse motivo, o uso de floculantes naturais é considerado uma técnica ambientalmente correta que pode amenizar problemas ambientais e de saúde pública (ANASTASAKIS *et al.,* 2009).

É nesse contexto que os auxiliares de floculação naturais ganham espaço. Esses floculantes podem ser utilizados em conjunto com outros coagulantes convencionais ou sozinhos. Sua eficiência está diretamente ligada as suas propriedades de gelificantes. A pectina, cuja estrutura pode ser visualizada na Figura 2, pode ser considerada como um floculantes natural (KAKOI *et al.,* 2016).

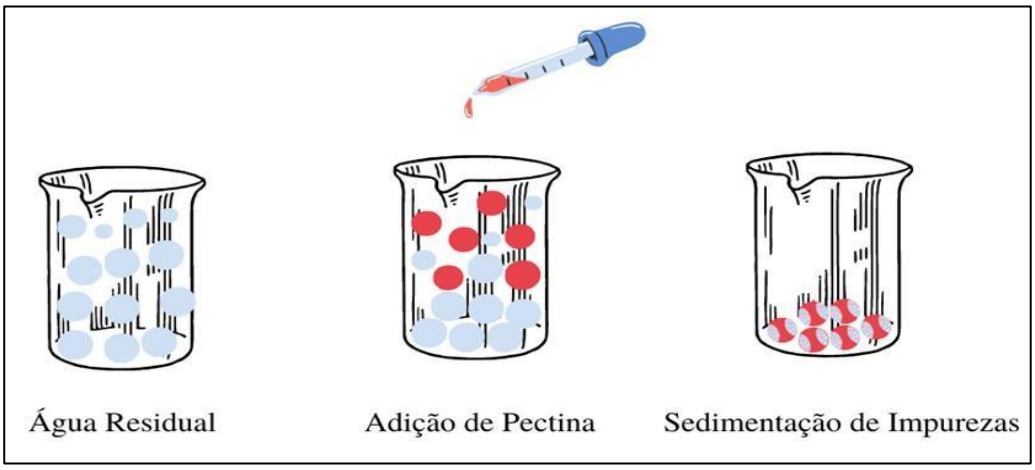
Figura 3 - Estrutura química da pectina



Fonte: FoodIngredients Brasil (2014)

A pectina é um dos mais importantes polissacarídeos, apresenta em sua estrutura mais de 65% de ácido galacturônico em maior parte metil-esterificados, sendo associada por lignina, celulose e hemicelulose ao dissolvê-la em água forma dispersões coloidais que quase sempre são insolúveis em álcool. A estrutura gelatinosa usada principalmente na culinária, também pode ser utilizada para outros fins como, na indústria farmacêutica e auxiliar de floculação. No processo de floculação o gel proveniente da pectina é utilizado para arrastar e sedimentar impurezas nos fluidos, como podemos observar na Figura 3 (CANTERI *et al*., 2010; OLIVEIRA, *et al*., 2016).

Figura 4 - Ilustração da Ação da Pectina na Remoção de Impurezas da Água Residual



Fonte: A autora (2020)

Ferreira *et al.* (2016) extraíram a pectina da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis*) para estudos voltados ao controle da atividade poligalacturonase e encontraram valores próximos a 20, 22% de pectina em suas amostras. Resultados similares também foram encontrados por Canteri *et al* (2010), que obtiveram resultados de extração próximos a 20%. Já Oliveira e Resende (2012), em estudo sobre a interferência do estado de maturação do fruto e rendimento da farinha do maracujá, encontraram resultados em torno de 26,4% de pectina extraída. Outros estudos apontam que a média percentual de extração da pectina do maracujá está na faixa de 30%, um pouco maior que os valores encontrados pelos estudos citados acima. A diferença entre a quantidade de pectina extraída da mesma matéria prima se dá principalmente pelo tempo de extração. Quanto maior for o tempo de extração, possivelmente maior será a possibilidade de reação (REOLON, *et al.,* 2009, Oliveira e Resende, 2012; LIEW *et al.,* 2014).

Pesquisas comprovam que semente de feijão (*Phaseolusvulgaris*) tem propriedades coagulantes. Após trituração das sementes e realização de solução aquosa de 10g/L com água destilada, foram testadas diversas doses da solução em água turva sintética. A atividade de coagulação foi maior na dose 0,125mL/L (KUKI et al., 2015). Choyet *et al.* (2016) realizaram experimentos para analisar a eficiência do amido de milho, arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum*) e batata (*Solanumtuberosum*) na remoção da turbidez de amostras de água. O amido de

arroz após autoclave superou os outros coagulantes naturais, pois a remoção de turbidez chegou a 50% com uma dosagem de 120 mg/L.

Por outro lado, o uso do amido de arroz autoclavado juntamente com o coagulante químico cloreto de polialumínio aumentou a eficiência na remoção de turbidez em 30%. Extratos de castanhas europeias também foram analisadas, quanto ao possível potencial de coagulação. Dentre as sementes estudadas a bolota de carvalho apresentou maior eficiência, expressando atividade de coagulação elevadas, entre 70-80%, com dose mínima de 0,5 mL/L. A aloe vera (*Aloesuccotrina*) também se apresenta como ótimo coagulante/floculante natural, pesquisas mostram o seu potencial floculante em conjunto com dois coagulantes químicos (LEE *et al*., 2015a).

Devrimci et al. (2012), utilizaram aloe vera com sulfato de alumínio (ALSA) e aloe vera com sulfato de magnésio (ALSM). Os experimentos foram realizados em águas residuais de corante de metileno. Os resultados foram bastante satisfatórios, ALSA apresentou 50-55% de remoção de corantes e ALSM reduziu 60-70%. Devido a capacidade de geleificação do alginato de cálcio, derivado de algas marinhas, seu potencial como possível coagulante tem sido estudado para auxiliar no tratamento de águas residuais. Pesquisas estão sendo realizadas a fim de avaliar sua capacidade de coagular e comprovaram que o alginato de cálcio consegue reduzir a turbidez em até 98%.

A banana (*Musa*) também apresenta propriedades coagulantes. Pesquisas desenvolvidas em águas de rio poluído apresentaram significativas remoções de turbidez e DQO nas amostras atingindo entre 60- 100% de eficácia. Isso mostra o quão viável é a utilização de floculantes naturais em substituição aos floculantes sintéticos comercializados. No entanto, as concentrações de sólidos em suspensão, nitratos, ferro e manganês excederam os limites recomendados pela legislação vigente e, portanto, necessitam de tratamento suplementar (KAKOI *et al.,* 2016).

Um dos coagulantes/floculantes naturais mais populares é o quiabo maduro (*Abelmoschus esculentus*) especialmente porque ser um resíduo. O quiabo maduro é rejeitado pelo consumidor e consequentemente é descartado. O emprego do quiabo para fins de coagulação em conjunto com coagulantes químicos como o cloreto férrico, apresenta redução de turbidez acima de 90%.

Estudos com quiabo no tratamento de águas contaminadas com óleo mostram resultados significativos de desestabilização de emulsões, o que apontam benefícios no seu uso (LIMA, 2007; SILVA, *et al.;* 2014). Anastasakise *et al.* (2009) utilizaram o quiabo e a malva como floculantes naturais, testando suas propriedades de remoção de turbidez em águas sintéticas e de efluentes provenientes de unidades de tratamento de água. Os dois floculantes apresentaram significativas remoção da turbidez nas amostras testadas, porém o quiabo foi mais eficaz.

O uso desse tipo de auxiliar de floculação traz bastantes benefícios além de não apresentarem propriedades tóxicas, assim como reduzem os custos de processo e operação. O uso do quiabo como floculante também obteve sucesso em tratamento de lamas visando à extração da água no meio. Estudos comprovam que o quiabo atua de forma semelhante aos floculantes sintéticos comerciais apresentando uma remoção entre 68 – 98% de sólidos suspensos (LEE, *et al.,* 2015b).

De acordo com estudos realizados para comparação da eficiência entre os floculantes; cloreto férrico (agente químico) e quiabo em águas residuais provenientes das indústrias têxtil mostraram que, o uso do quiabo para remoção de DQO, turbidez e cor apresentaram resultados positivos. Cerca de 50% a mais no potencial de remoção comparado ao floculante sintético geralmente utilizado (FREITAS *et al.,* 2015). Diversas pesquisas vêm apresentando interesse em testar o uso de floculantes naturais na busca de substituir os floculantes sintéticos. Tais testes são desenvolvidos em águas residuais como é possível observar nos parágrafos acima. No entanto, a bibliografia referente ao uso de floculantes naturais no tratamento de ALB é praticamente nula, essa escassez de pesquisas voltadas para essa temática reforçam a relevância de estudos na área.

Neste trabalho foi utilizado o maracujá amarelo (*Passiflora edulis*), como floculante natural no tratamento da água proveniente da lavagem de biodiesel (ALB). O maracujá amarelo é uma fruta tropical de sabor exótico, característico. O fruto tem origem na América, apresenta altos teores de vitamina C, cálcio e fosforo. A forma mundialmente mais utilizada do maracujá é em sucos e polpas (FERRARI, *et al.;* 2004).

O maracujá vem ganhando espaço cada vez maior no setor de fruticultura mundial, pois seu cultivo oferece rápido retorno financeiro. O investimento no plantio do maracujá é considerado economicamente viável o que favorece o cultivo e comercialização do mesmo, até para o agricultor familiar (MELETTI, 2011). O Brasil, atualmente é um dos maiores produtores mundiais de maracujá. Em 2018 foram produzidas 602.651 toneladas de maracujá amarelo, distribuídas entre as regiões do país (Tabela 7).

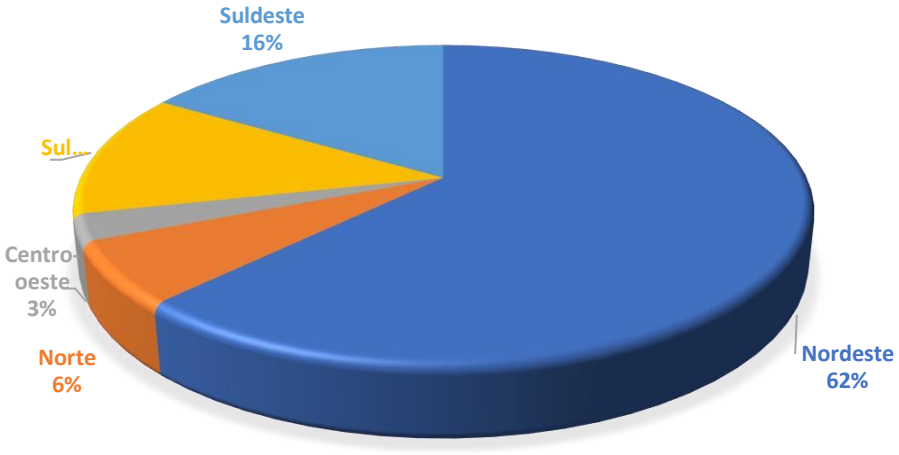
Tabela 7 - Informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ano 2018

Regiões do Brasil	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio (t/ha)
Norte	3.385	38.309	11,32
Nordeste	29.144	375.541	12,89
Sudeste	5.708	97.307	17,05
Sul	3.648	75.245	20,63
Centro-Oeste	846	16.249	19,21
Brasil	42.731	602.651	14,10

Fonte: IBGE (2020)

O Nordeste é a região que mais cultiva maracujá no Brasil. Segundo dados do IBGE, em 2018 o Nordeste foi responsável por 62% da produção nacional (Figura 3) e por consequência é a região que produz maior quantidade de resíduos proveniente da casca de maracujá.

Figura 5 - Gráfico segundo informações contidas no site oficial do IBGE demonstrando a produção brasileira de maracujá por região fisiográfica, ano de 2018



Fonte: IBGE (2018)

Tendo em vista que 65% do fruto em massa, está localizado na casca, apenas 35% é utilizado na produção de sucos e polpas. Neste cenário, mais da metade do fruto é descartado, gerando grande volume de Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO). Relacionando os dados da literatura com a produção nacional do maracujá, é possível estimar que foram gerados em 2018 aproximadamente 391.7 toneladas de cascas de maracujá. Tais resíduos necessitam de tratamento adequado e deposição final ambientalmente correta (OLIVEIRA, *et al*.; 2015).

Os resíduos sólidos orgânicos assim como qualquer outro tipo de resíduos, não devem ser encaminhados ao aterro sanitário, precisam ser direcionados a algum tipo de compostagem. Segundo a lei 12.305/2010 que instituiu o plano nacional de resíduos sólidos, só devem ser destinados para aterros sanitários rejeitos, ou seja, aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado. Pensando em métodos de reutilização da casca do maracujá, e levando em consideração o volume gerado e a carência de métodos alternativos para tratamento de água residual, surge a necessidade de pesquisas que indiquem maneiras eficientes de solucionar problemas ambientais de forma sustentável e integrada (Brasil, 2010).

Por esse motivo a casca do maracujá em especial apresenta grande vantagem em relação a outras matérias primas, que poderiam ser utilizadas para testes de floculação em ALB. Além de ser um resíduo gerado em abundancia, não oferece custo de obtenção para ser destinado ao tratamento de água. O descarte inadequado de RSO pode contaminar solo e lençóis freáticos, bem como o

descarte incorreto da ALB. O intuito desse trabalho é propor um método alternativo integrado para tratamento de águas residuárias, através de outro contaminante que possivelmente promoveria mais um problema socioambiental.

O uso da farinha do maracujá no processo de coagulação e floculação pode diminuir ou até substituir o uso de coagulantes químicos. Diminuindo as chances de problemas de saúde pública como Alzheimer, econômicos com custo de materiais inorgânicos e ambientais que envolvem desde a contaminação direta ao solo e lençóis freáticos, a formação de lodo com baixo potencial de biodegradabilidade, causados pelo uso de coagulantes inorgânicos a longo prazo. Além disso o tratamento e reuso da ALB pode contribuir positivamente para tornar a produção de biodiesel uma técnica mais sustentável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este projeto teve como objetivo principal o estudo sobre o resíduo da casca de maracujá como floculante natural a fim de tratar a água residual da produção de biodiesel com outro resíduo que também poderia contaminar o ambiente se descartado de maneira incorreta. Assim, são propostas a produção do biodiesel e a identificação dos melhores materiais e parâmetros para o tratamento da água residual proveniente do processo de purificação do biodiesel, por meio de ensaios de proporções entre coagulantes químicos e floculantes naturais.

A referida pesquisa busca contribuir de maneira sustentável com o meio ambiente, tendo como objetivos específicos produzir biodiesel a partir do óleo de fritura residual, caracterizar o efluente gerado, tratar a água residual testando diferentes concentrações e proporções de coagulantes químicos e floculante natural residual, reutilizar a água tratada no processo de produção e analisar o biodiesel purificado com água de reuso, com o intuito de avaliar se este biocombustível continua dentro dos parâmetros especificados pela legislação vigente. Por fim, pretende-se disponibilizar as metodologias desenvolvidas nesta pesquisa para que para outras instituições e municípios possam replicá-la.

3.1 Produção de biodiesel

A água residual utilizada neste estudo foi obtida a partir de uma usina de biodiesel alternativa, que foi construída com materiais de baixo custo na área interna do galpão pertencente ao Departamento de Energia Nuclear (DEN), situado no *campus* Recife da Universidade de Federal de Pernambuco (UFPE). A UFPE fica localizada no bairro da Várzea (Cidade Universitária), no município do Recife. Informações mais detalhadas sobre a planta de biodiesel, encontra-se no apêndice A.

A fonte de produção do biodiesel é o óleo de fritura proveniente de lanchonetes, quiosques e restaurantes da UFPE. Na Tabela 8 são apresentadas as quantidades de reagentes e água que foram utilizadas para a produção de uma batelada de 37, 2L de biodiesel. O biocombustível foi produzido na planta da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos da UFPE- BERSO

(APÊNDICE A) Todas as etapas da pesquisa podem ser encontradas no (APÊNDICE B).

Tabela 8 - Materiais utilizados e suas respectivas quantidades para produção de biodiesel por batelada

Material	**Quantidades**
Óleo de fritura	40 L
H_2SO_4	180 g
Metanol	10,8 L
NaOH	400 g
Água	20 L

Fonte: A autora (2020)

3.2 Caracterização do óleo por ressonância magnética nuclear (RMN)

As análises das características químicas de óleo de fritura foram obtidas a partir do espectro integrado da Ressonância Magnética Nuclear de Prótons (^{1}H RMN) utilizando um espectrômetro Varian Unitty Plus 300 MHz, pertencente a central analítica da UFPE. No espectro integrado são apresentadas as áreas dos picos em deslocamentos químicos **(**δ em ppm) específicos dos prótons (hidrogênios) pertencentes à molécula de óleo. Os valores das áreas foram utilizados para os cálculos dos índices de acidez (IA), iodo (II), saponificação (IS), estado de Oxidação (R_{oa}) e Massa molar da amostra de óleo, por meio da metodologia desenvolvida nos estudos de Carneiro *et al*. (2005); Reda e Carneiro (2006), cujas equações estão sumarizadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Equações utilizadas para análise físico-química do OBC a partir do espectro integrado de ^{1}H RMN

Propriedade	Equações de Carneiro *et al,* (2005)	Grandezas
Massa molar	$Mw = 119{,}70 + 7{,}036T + 5.983V$	g mol^{-1}
Índice de saponificação	$IS = -0{,}2368Mw + 398{,}42$	mgKOH g^{-1}
Razão entre prótons oleofínicos e alifáticos	$R_{oa} = V / (A + Ln_{metila})$	adimensional
Índice de acidez	$IA = 3.0597 \times (R_{oa})^2 - 6.3181 \times R_{oa} + 3.3381$	mgKOH g^{-1}
Índice de iodo	$Ii = [126{,}91 * 100V] / Mw$	mgI$_2$ g^{-1}
Ácido linolênico	Ln = Ln metila/Ln metila + A	%*
Ácido oleico		%**
Ácido linoleico	$L = \frac{F}{6} - 2ln$ $O = \frac{D}{12} - \frac{F}{6} + L$	L (%) ** O (%) **

Fonte: A autora (2020)

Nota: *Ln_{metila} = área do pico referente ao próton do grupo metila ligado ao ácido linolênico (C18:3) que se apresenta em 0.98 mg/L e A é o pico do próton referente ao grupo metila que aprece em 0.9 mg/L **O valor percentual é obtido ao multiplicar por 100 o valor obtido na equação.

Na Tabela 9, o número de total de prótons apresentados no espectro é representado por T. Para calcular T, primeiro é preciso conhecer a área de um único próton (AP) conforme Equação 5.

Equação:

AP = H + I / 4 (Eq.5)

Em que H= área do pico entre 4.10mg/L e I= área do pico em 4.40 mg/L, ambos referentes aos prótons do grupo glicerol do óleo. Então T é facilmente calculado pela Equação 6.

Equação:

T = *soma das áreas de todos os picos* / pH (Eq.6)

Por outro lado, também é preciso saber a quantidade de prótons vinílicos na molécula do óleo, representado por V, para que seja possível a utilização das equações da Tabela 10. Neste caso, V pode ser calculado conforme a Equação 7.

Equação:

V = (K + J) – pH / pH (Eq.7)

Em que K +J = área dos picos dos prótons vinílicos que se encontram em 5,20 e 5,30 mg/L, respectivamente.

3.3 Caracterização do biodiesel

O uso do RMN nas análises da qualidade do biodiesel é essencial para identificar se o método de tratamento da água e reuso empregado interferem na qualidade do produto final. Portanto, o biodiesel utilizado neste estudo foi caracterizado segundo as orientações da resolução ANP nº 45/2014 e análises de RMN quanto aos seguintes parâmetros: teor de água, índice de acidez, ponto de fulgor, massa específica a 20°C, estabilidade oxidativa, e viscosidade cinemática a 40ºC. As análises foram realizadas no Laboratório de Combustíveis (LAC) do Departamento de Engenharia Química da UFPE e no Laboratório de Fitoquímica e Processos (LAFIP) do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE). Os laboratórios são credenciados pela ANP respeitando as determinações nacionais e internacionais para produção, avaliação e uso do biodiesel (Tabela 10).

Tabela 10 - Parâmetros para Caracterização do Biodiesel

Parâmetros	Unidade	Especificação	Métodos
Massa específica 20°C	kg/m^3	850,0 a 900,0	NBR 14065-13 ASTM D 4052-16
Teor de água	mg/kg	máx. 200	ASTM D 6304-16
Ponto de fulgor	°C	Mín. 100,0	NBR 14598-13 ASTM D 93-16a
Estabilidade oxidativa a 110°C	h	Mín. 8,0	EN14112 (5)
Viscosidade a 40°C	mm^2/s	3,000 a 6,000	ASTM D7042
Índice de acidez	mg KOH/g	máx. 0,50	NBR14448 ASTM D 664

Fonte: A autora (2020)

Para a análise do grau de conversão (GC) do óleo em biodiesel foi utilizado espectro integrado ^1H RMN obtido por meio de um espectrômetro Varian Unitty Plus 300 MHz e a partir da Equação 8 (GILBARD *et al.,* 1995).

Equação:

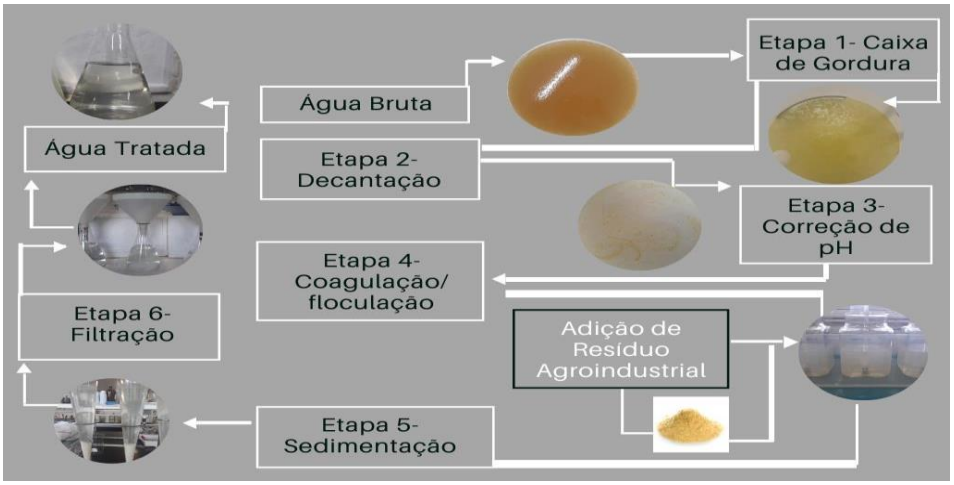
$$GC\% = 100 * (2AME) / 3\ (ACH2) \qquad \text{(Eq.8)}$$

Em que ACH2 é a área dos prótons metilenos próximos ao grupo éster do óleo em δ 2, 3 ppm e AME área dos prótons do grupo metila ligados ao éster metílico do biodiesel que aparecem em δ 3,7 ppm.

3.4 Captação da água de lavagem e tratamento

A água residual proveniente do processo de lavagem do biodiesel é um resíduo tóxico altamente poluente que não pode ser descartado sem tratamento prévio. Neste estudo foi proposto um sistema de tratamento para o efluente (ALB) contendo seis etapas (Figura 6).

Figura 6 - Esquema contendo as etapas do tratamento da água de lavagem proveniente da lavagem do biodiesel

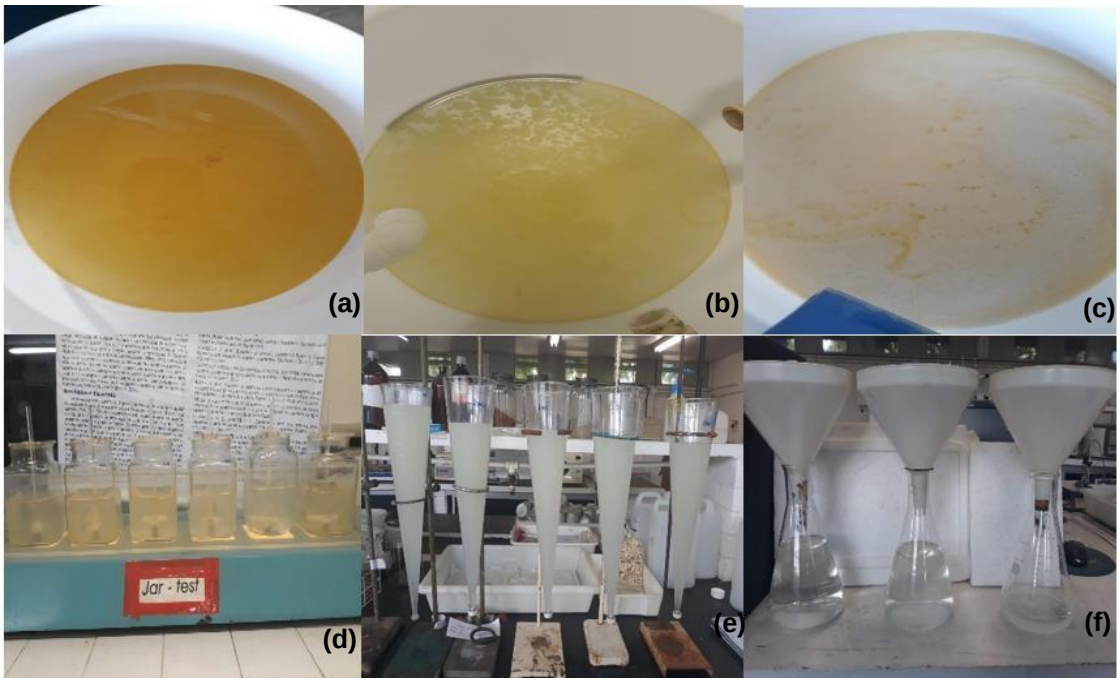


Fonte: A autora (2020)

A água de lavagem originária da usina de biodiesel é acondicionada em dois tanques (TQ 106 e TQ 107) de 200 litros, cada, onde permanecem por cerca de 2 horas. Este tempo é proposto para que haja a decantação de resíduos sólidos, facilitando então a retirada da camada de óleos e gorduras que se deposita na superfície dos tanques. A água bruta possui uma camada superior de óleos e graxas não emulsionados, como podemos observar na Figura 7(a) Esses tanques funcionam como uma espécie de caixa de gordura a fim de retirar toda a parte de óleos e graxas encontrados na forma livre, Figura 7(b). Depois de retirada da gordura preliminar a água é submetida ao processo de decantação que consiste em deixar a água em repouso por 30min a 1h esse tempo é destinado a separação da fração de oleosa livres que permanece no efluente, Figura 7(c). Em seguida a água tem o pH neutralizado com adição de soluções de NaOH ou HCl a 0,10mol/L a quantidade vai depender do índice de pH da amostra (AMBROSIO et al., 2017). Após verificação do pH a ALB é encaminhada para tratamento de coagulação e floculação para retirada de impurezas, óleos e graxas na forma emulsionada.

O processo de coagulação e floculação consiste em utilizar um coagulante juntamente com um floculante os dois homogeneizados na amostra de água de lavagem em tempo e rotação controlados, Figura 7(d). Após a coagulação e floculação da amostra segue a etapa sedimentação dos flocos gerados, onde a água residual permanece por cerca de 60 min em cones de Imhoff Figura 7(e). A última etapa é a filtração que consiste em reter as partes sólidas residuais, utilizando funis de plástico e papel de filtro qualitativo, gramatura 80g/m2 velocidade de filtração norma DIN 53137(s): 20-25, fabricante Unifil (Figura 7(f)).

Figura 7 - Esquema ilustrativo contendo as etapas do tratamento da água residual proveniente da purificação do biodiesel



Fonte: A autora (2020)

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ) e no Laboratório de Energia de Biomassa (DEN/UFPE) conforme a metodologia descrita em Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2005).

3.5 Obtenção da farinha da casca do maracujá

O floculante natural utilizado neste estudo foi a casca do maracujá, resíduo orgânico que apresenta uma geração expressiva. O maracujá utilizado para produção da farinha foi coletado no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA) situado na Rodovia BR 101, N. 70, Curado, Recife - PE. O resíduo foi coletado em grades plásticas (Figura 8), e levado ao Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco onde recebeu tratamento específico.

Figura 8 - Resíduo orgânico proveniente de cascas de maracujá, coletada no CEASA

Fonte: A autora (2020)

As cascas do maracujá foram tratadas no Laboratório de Energia de Biomassa no Departamento de Energia Nuclear- DEN/UFPE. Onde foram lavadas em água corrente (Figura 9(a)) para retirada das impurezas e resíduos de polpa, após lavagem as cascas (compostas de mesocarpo e epicarpo) foram imersas em água a 100 ° C (Figura 9(b)) por 3 min. Seguido de resfriamento em banho de gelo processo denominado branqueamento (Figura 9(c)). As cascas foram acondicionadas em bandejas de alumínio (Figura 9(d)) e secas em estufa com circulação de ar a 65 ° C até obtenção de peso constante (Figura 9(e)). Em seguida, foram trituradas em um macro moinho tipo Willy, referência R-TE-650/1, fabricante Tecnal (Figura 9(f)) e passadas por uma peneira de 0,250 mm. Após trituração as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenada

sob refrigeração em geladeira segundo metodologia descrita por Oliveira *et al.* (2016).

Figura 9 - Passo a passo do procedimento de preparação da farinha do maracujá

Fonte: A autora (2020)

3.5.1 Coagulação e floculação

Para tratamento da água de lavagem oriunda da produção do biodiesel foi utilizada a técnica de coagulação e floculação seguida de sedimentação. Os processos de coagulação e floculação combinados propiciam a formação de agregados que se depositam no fundo do recipiente sedimentando óleos, graxas e impurezas. O seu uso é comumente empregado em tratamento de águas, especialmente águas oleosas por apresentar alta eficiência para aglomerar e sedimentar coloides e outros. Após a retirada dos óleos e graxas de forma livre, utilizando os processos de caixa de gordura e decantação, a ALB é encaminhada para testes de coagulação e floculação. Os ensaios foram realizados em aparelho Jar Test Machine, modelo 73.01 da Coffman Industries, Inc Kansas City, Kans (Figura 9).

As análises de coagulação e floculação foram realizadas no laboratório de análise da qualidade de água, situado no Departamento de Engenharia Química da UFPE e no laboratório de energia de biomassa, situado no Departamento de Energia Nuclear da UFPE. Para realização dos ensaios de coagulação e floculação é necessário que os fluídos estejam em temperatura ambiente e pH entre 5-9. Cada jarro do equipamento comporta até 2 L para este experimento foi utilizado o volume de 1 L em cada jarro (ASTM D 5141).

Figura 10 - Jar Test Machine, equipamento utilizado para tratamento de água usando ensaios de coagulação e floculação

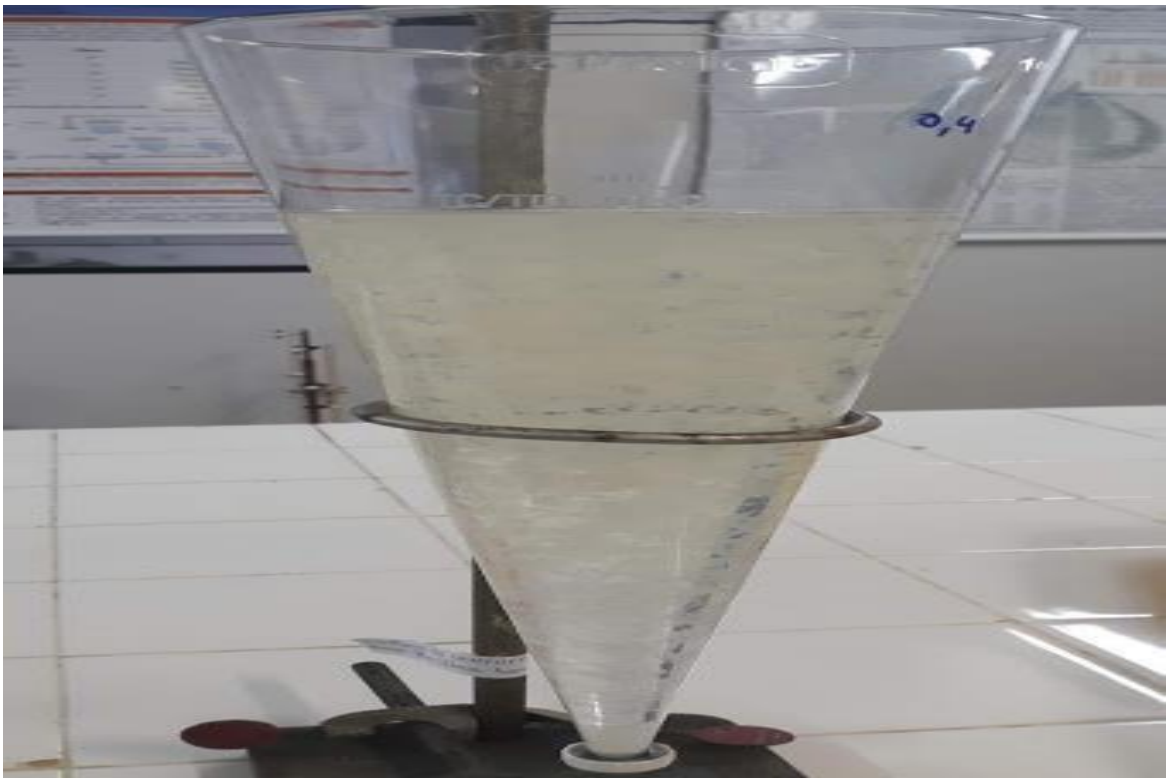
Fonte: A autora (2020)

Neste estudo, foram utilizados dois compostos como coagulante químico (QC): o Genfloc (Coagulante comercial) e o Sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$). O Genfloc é composto por cloridróxido de alumínio, tem validade de um ano após data de fabricação, a empresa fabricante é a Genco que sugere a utilização em torno de 3 a 6 mL/m^3. Estudos com cloridróxido de alumínio para tratamento de água residual apontam o uso do coagulante entre a faixa de 1 – 10 mL/L (GHAFARI *et al.,* 2009). Já para o sulfato de alumínio foi utilizada como base a dosagem ótima encontrada na no trabalho de Duad *et al.* (2015); Anastasakis et al. (2009) para água de lavagem do biodiesel de 500 mg/L solução mãe ou 0,5 g/L visando a minimização do custo das dosagens e melhor desempenho no tratamento foram utilizadas

dosagens já adotadas na literatura. Para os estudos com floculante natural foram utilizadas as cascas de maracujá *(Passiflora edulis)* por se tratar de um resíduo rico em pectina. Foram realizados testes para definição da melhor dosagem entre coagulante e floculante e apenas o floculante baseados em estudos realizados com quiabo, como floculante natural em tratamento de águas residuais. As dosagens testadas foram 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; e 0,6 g/L dosagens inferiores e superiores ao encontrado na literatura (FREITAS et al., 2015, LIMA, 2007; ANASTASAKIS et al., 2009; LEE, *et al.,* 2015b).

A primeira etapa consistiu na utilização do sulfato de alumínio e o Genfloc em mistura rápida no reator estático, Jar test, com a velocidade de 142 s^{-1} por 5 minutos. Em seguida iniciou-se a fase de floculação em que a velocidade foi reduzida para 40 s^{-1} por 20 minutos. Após os primeiros 5 minutos desta etapa, adicionou-se o auxiliar de floculação natural e ao final da floculação foi aguardada a sedimentação dos flocos por mais 60 minutos. A sedimentação dos fluidos foi realizada em cones de Imhoff graduados, com capacidade para 1 L cada (Figura 10).

Figura 11 - Cone de Imhoff, utilizado para sedimentação dos sólidos após ensaios de coagulação e floculação



Fonte: A autora (2020)

Os testes foram realizados de acordo com adaptação da metodologia descrita em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. New York, American Water Works Association APHA (2005). Baseados na literatura e nas dosagens indicadas para tratamento de água foram definidas as três dosagens iniciais para o Genfloc e o Sulfato de Alumínio conforme é mostrado na Tabela 11. Todas as análises foram realizadas em triplicata para garantir a repetibilidade do método.

Tabela 11 – Concentrações iniciais dos coagulantes químicos utilizados nos ensaios de coagulação e floculação

Genfloc (ml/L)	**Sulfato de alumínio (g/L)**
1	0,1
3	0,3
6	0,6

Fonte: A autora (2020)

A partir dos resultados obtidos nessa etapa foram selecionadas as melhores doses para a segunda fase do experimento que utilizou proporções de FCM/coagulante químico conforme pode ser visualizado na Tabela 12. Além disso, experimentos com o floculante natural sem combinações também foram realizados.

Tabela 12 - Proporções entre coagulantes químicos e floculante natural, Farinha da Casca do Maracujá (FCM) utilizadas nos ensaios de coagulação e floculação

Genfloc/FCM	**Sulfato de alumínio/FCM**	**FCM**
30/70	30/70	2g
50/50	50/50	--
70/30	70/30	--

Fonte: A autora (2020)

Os resultados referentes às variáveis turbidez, condutividade elétrica, pH e sólidos totais obtidos para as três concentrações nos diferentes tratamentos da água de lavagem do biodiesel foram submetidos à análise de variância usando esquema fatorial 3 x 3, correspondendo aos três diferentes tratamentos (Genfloc, sulfato e maracujá) as três diferentes concentrações dos agentes coagulantes e

em seguida de teste para comparação de médias (*teste t-student*) a 5 % de probabilidade. O programa estatístico utilizado para as análises foi o software Assistat 2017, 7.7.

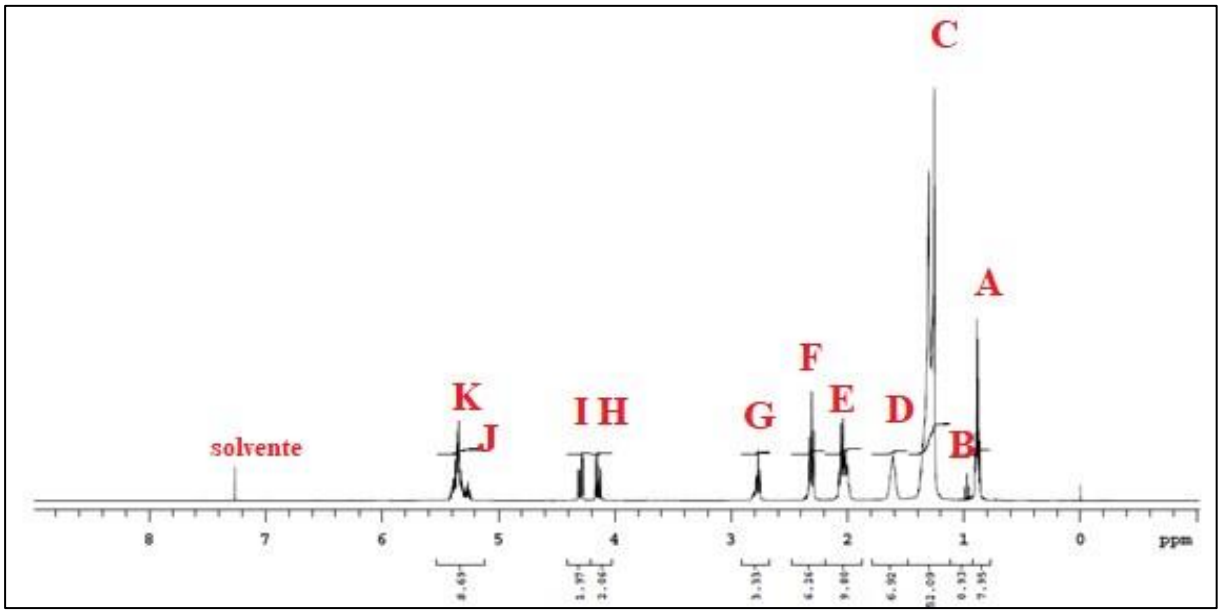
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da tese serão apresentados nesse tópico de forma que pelos aspectos analisados foi possível avaliar que o biodiesel produzido na BERSO/UFPE apresenta qualidade semelhante a outros biocombustíveis de mesma matéria prima e de matérias primas distintas, alcançando o rendimento de 93% e estando dentro das especificações para qualidade de biodiesel da legislação vigente, o que é um resultado muito satisfatório levando em consideração a matéria prima residual. Desta forma, esse e outros resultados estão descritos nos tópicos a seguir.

4.1 Óleo de fritura residual

O espectro de RMN ^{1}H integrado obtido para o óleo de fritura residual (OFR) está apresentado na Figura 12. O espectro apresenta picos referentes aos hidrogênios presentes na molécula do óleo com deslocamentos químicos típicos de óleos vegetais (CASTEJON *et al*., 2017).

Figura 12- Espectro RMN ^{1}H do Óleo de Fritura Residual (OFR)



Fonte: A autora (2020)

Tabela 13 - Atribuições dos picos em cada deslocamento químico (δ) encontrados no espectro do OFR da Figura 12

Pico	δ (ppm)	Proton	Grupo
A	0.90	-C**H**$_3$	Prótons metil terminal ligado a carbono saturado
B	0.98	-C**H**$_3$	Prótons metil terminal presente no ácido linolênico
C	1.2	-(C**H**$_2$)$_n$-	Prótons metilenos
D	1.6	-C**H**$_2$-CH$_2$-COOR	Prótons metilenos de posição β ao grupo éster
E	2.0	-C**H**$_2$-CH=CH-	Prótons alilicos (ácidos graxos insaturados)
F	2.2	-C**H**$_2$-COOR	Prótons metilenos de posição α ao grupo éster
G	2.8	-CH=CH-C**H**$_2$-CH=CH-	Bis-alilicos prótons (ácidos graxos insaturados)
H	4.10	-C**H**$_2$-O-COR	Glicerol (posição-α)
I	4.40	-C**H**-O-COR	Glicerol (posição β)
J	5.20	-C**H**=C**H**-	Prótons vinílicos
K	5.30	-C**H**=C**H**-	Prótons vinílicos

Fonte: Carneiro *et al*. (2005).

O óleo de fritura residual (OFR) foi a matéria prima selecionada para produção de biodiesel. Seu uso diminui custos com obtenção da matéria prima, além de reduzir possíveis contaminações com o descarte incorreto desse material. O resultado obtido por meio da análise de RMN1H estão relacionados na Tabela 14.

Tabela 14 - Caracterização do Óleo de Fritura Residual

Parâmetros	Valores
MM(g mol^{-1})	808,16
IS(mg KOH g^{-1})	207,85
IA %	0,7
II (mg I_2/g)	119,74
Roa	8,19
LN (%)	10
L (%)	34
O (%)	36

Fonte: A autora (2020)

A utilização de RMN 1H apresenta resultados iguais ou superiores aos resultados obtidos através de análises laboratoriais comumente usadas (CARNEIRO *et al.*, 2005). O uso da espectroscopia por RMN tem sido bastante utilizada na área. Cunha et al. (2019) utilizaram a técnica de RMN para determinar fraudes em diesel adulterados com óleo de fritura residual ou óleo de soja. Os resultados mostram que o uso da RMN é bastante útil, pois além da amostra não necessita de pré tratamento, apresenta resultado rápido e confiáveis.

A massa molecular (MM) foi obtida a partir do espectro 1H RMN, através deste é possível estimar a média do peso molecular, levando em consideração que o valor da massa encontrado (808,16 g mol^{-1}) representa de forma hipotética a média ponderada de todo o triacilglicerol presente na amostra. Dutra *et al.* (2018) encontraram valores similares para óleo de manga (860,0 g mol^{-1}). O Índice de Saponificação (IS) é utilizado para prever o tipo de triacilglicerol na amostra, e é possível identificar óleos que contém maiores valores de saponificação, pois possuem ácidos graxos de cadeia curta, por outro lado ácidos graxos de cadeia mais longa apresentam menor IS. Jelassi *et al.* (2014) em estudos com óleo de semente de acácia e óleo de soja obtiveram os valores de 210,37 e 179,45, respectivamente. Os valores do óleo de fritura residual em estudo e o óleo de acácia apresentam resultados semelhantes, ambos apontam maior IS em relação ao óleo de soja. Isso indicam que os ácidos graxos presentes no óleo possuem elevado número de átomos de carbono. O Índice de Acidez (IA) é responsável por determinar a utilidade do óleo. Amostras que apresentem valores altos de IA consequentemente também apontarão maiores valores de IS indicando que o melhor aproveitamento deste óleo é na produção de sabão devido ao alto índice de ácidos graxos livres. O baixo índice de acidez (0,7) encontrado no óleo neste óleo, demostra que é um óleo pouco degradado, logo com qualidade para a reação de transesterificação. Um baixo valor de IA permite a utilização do óleo na produção de biodiesel sem que haja necessidade de neutralização. Estudos com óleo de fritura residual avaliaram o índice de acidez de 562 amostras e obtiveram resultados semelhantes entre 0,6 e 1,1 (CALERO *et al.,* 2018).

Os resultados encontrados neste estudo (109,74 mg I_2/g) corroboram com resultados encontrados por Shimamoto e colaboradores (2015) que obtiveram valores entre 97 e 187,1 em estudos com diferentes óleos vegetais. Neste estudo foram analisados ao todo onze óleos diferentes sendo eles: canola, gergelim, milho, girassol, soja, castanha do Brasil, algodão, arroz, linhaça dourada, linhaça marrom e óleo misto de gergelim e gergelim torrado. Por outro lado, o Índice de Iodo (II) pode ser influenciado por diversos fatores como condições de tempo e armazenagem, contudo é preciso considerar se houve ou não processos de oxidação, o que faz com que esse parâmetro tenha ligação direta com a estabilidade oxidativa, mas principalmente o II está interligado a quantidade de

ligações duplas entre carbonos presentes no meio. Desta forma podemos afirmar que quanto maior o índice de iodo, mas vulnerável a degradação o óleo será.

A proporção de hidrogênios olefínicos para alifáticos (Roa) são valores que estão diretamente ligados a oxidação do óleo. Este valor está extremamente coerente com os baixos valores encontrados para índice de acidez. O valor de (Roa) encontrado nessa pesquisa foi de 0,55 e, portanto, revelam um menor grau de insaturação da amostra de acordo com Carneiro e colaboradores (2005) valores de Roa maior ou igual a 0,66 indicam um grande grau de insaturação na amostra.

No que se refere ao perfil de ácidos graxos no OFR é possível identificar percentuais do ácido linolênico (LN) em 10%, linoleico (L) em 34% e oleico (O) em 36%. Os óleos vegetais possuem geralmente em sua estrutura uma grande porcentagem de ácidos insaturados como o oleico e linoleico, tais ácidos são extremamente instáveis e suscetíveis a reações de oxidação. Em menor quantidade são encontrados os ácidos saturados e é possível identificar que esse padrão se repete nas amostras do óleo de fritura residual que apresentaram 74% de ácidos graxos insaturados em sua estrutura. Estudos com óleo de soja, semente de algodão e milho obtiveram total de 78,3% de ácidos graxos insaturados resultados semelhantes ao obtido nessa pesquisa (JUNG *et at.,* 2016). É importante ressaltar que mesmo sendo um óleo residual apresenta resultados similares aos resultados apontados em estudos com outros óleos vegetais inclusive óleos não residuais e mesmo assim o OFR está dentro dos padrões de qualidade requeridos para a realização da reação de transesterificação.

No geral a técnica de RMN foi bastante eficaz para caracterizar o OFR uma vez que resultados obtidos são muito similares aos registrados em outros estudos que utilizaram a gravimetria como análise. A pesquisa utilizando óleo de fritura residual para produção de biodiesel, por exemplo, obteve resultado similar ao desse estudo para índice de acidez cerca de 0,7% (JARAN *et al.,* 2020). Singh e colaboradores (2012), encontraram resultados para Índice de Iodo (II) em óleos da castanha do caju próximo aos resultados obtidos para óleo de fritura residual 90,67 mg I 2/g, valores iguais ao (II) obtido nessa pesquisa, também foram obtidos em estudo com óleo de milho 119,7 mg I2/g (CARNEIRO, 2006). O valor do Índice de Saponificação (IS)é semelhante a valores encontrados para os óleos de soja e girassol que apresentam valor (IS) maiores que 181 mg KOH.g1(ANVISA, 1999),

resultado semelhante também foi obtido em estudo com óleo de milhos cerca de 210,03 mg KOH.g1 (CARNEIRO, 2006).Gomes e Cordeiro (2017) em pesquisa com óleo de palma determinaram a massa molecular em torno de 857,67g/mol valor também semelhante ao encontrando no óleo de fritura residual deste estudo.

4.2 Caracterização do biodiesel proveniente do OFR

O biodiesel produzido apresenta características dentro das especificações atuais. Foram analisados os seguintes parâmetros: massa específica, teor de água, corrosividade ao cobre, estabilidade oxidativa, índice de acidez e viscosidade (Tabela 15).

Tabela 15 - Caracterização do biodiesel proveniente de óleo de fritura residual.

Variáveis	**Métodos de Análise**	
	Físico Química	
	Valores obtidos	**Valores de referência**
Massa específica	884,7 kg/m^3	850 a 900 kg/m^3
Teor de água	2.210 mg/kg	Máx. 200 mg/kg
Corrosividade ao cobre	1	1
Estabilidade oxidativa	0,17h	Mín. 12h
Viscosidade	4,1 mm^2/s	3,0 a 6,0mm^2/s
Índice de acidez	0,37 KOH/g	0,5 KOH/g
Rendimento (%)	93%	-

Fonte: A autora (2020)

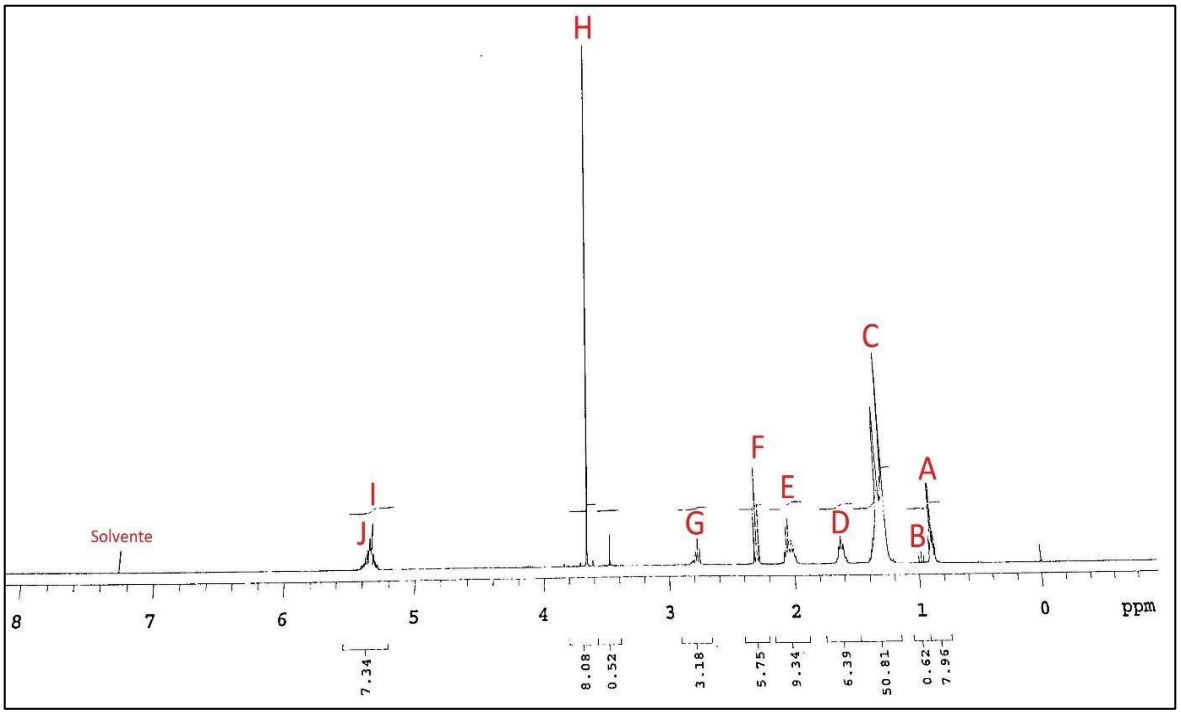
As análises foram comparadas aos parâmetros da ANP e estão de acordo com as normas vigentes com exceção da estabilidade oxidativa e teor de água. Inicialmente a estabilidade oxidativa encontra-se abaixo do que o recomendado. Esse valor já era esperado levando em consideração que o biodiesel produzido não está aditivado com anti-oxidativos, que são aditivos comumente utilizados pela indústria. A oxidação do biodiesel durante o armazenamento é facilmente causada pelo ar, reduzindo a qualidade do combustível ao afetar negativamente suas propriedades, essa reação se dá normalmente de maneira lenta, porém altas temperaturas podem acelerar a degradação oxidativa como a viscosidade

cinemática e o índice de acidez. Por isso uma alternativa à oxidação é adicionar ao biodiesel antioxidantes (MOSER, 2011).

Outro parâmetro que se encontra fora das especificações é o teor de água, isso ocorreu porque o biodiesel não passou pela etapa de secagem após purificação, resultando em um valor acima do recomendado. O índice de acidez é um parâmetro de suma importância na produção do biodiesel está interligado ao teor de água presente no meio, e deve ser acompanhado desde a matéria prima até o período de estocagem do biodiesel. Altos índices de acidez na matéria prima favorecem a formação da reação de saponificação, interferindo negativamente na produção do biodiesel. Já no período de armazenamento o índice de acidez alto pode indicar a presença de alto teor de água no meio (LUQUE *et al.,* 2010). Corroborando com os resultados desta referida pesquisa. Silva Filho et al. (2018) desenvolveram trabalhos com biodiesel de óleo de fritura residual e encontraram resultados de acidez semelhante a este estudo, obtendo valores entre 0,34 - 0,38.

Estudos mostram que o uso de aditivos como o Terc-butil hidroquinona-TBHQ que além de aumentar a estabilidade oxidativa do biodiesel, inibem a corrosão que poderia afetar as peças metálicas (FERNANDES, *et al.* 2019). A corrosividade ao cobre é parâmetro que analisa a capacidade de corrosão que o biodiesel pode causar em peças metálicas que constam nos motores e ou tanques de armazenamento de combustível (FARSAL *et at.,* 2018). De acordo com as normas da ANP e ASTM o biodiesel deve apresentar valores em torno de 1, para o referido parâmetro, valor este que também foi encontrado em outros estudos realizados em biodiesel de óleo de fritura residual, de soja e de palma (D`AGOSTO *et al.,* 2017). O espectro ^{1}H RMN (Figura 11) confirma a conversão do óleo residual em biodiesel através da reação de transesterificação através do aparecimento do pico referente aos prótons metílicos ligado ao grupo éster (pico H). É possível observar no espectro do OFR na Figura 9 que os triglicerídeos são os principais componentes do óleo vegetal (picos de A-G), estes são convertidos em ésteres monoalquilicos durante a reação química e que continuam no espectro do biodiesel.

Figura 13 - RMN Biodiesel



Fonte: A autora (2020)

O rendimento da reação de transesterificação, calculado pela equação 9, é um dos parâmetros mais importantes, pois através dele é possível identificar se a matéria prima utilizada é viável ou não para produção de biodiesel. O rendimento obtido neste estudo (Tabela 15) corrobora com outros estudos da área, que também alcançaram mais de 90% de rendimento com a mesma matéria prima chegando a 96% (OUANJI, *et al.,* 2016) e a 90,2% (REAHB *et al.* 2020) de conversão.

A determinação do índice de acidez (IA) é um dado importante a ser analisado, pois se refere ao estado de conservação do biodiesel. Aspecto relevante na qualidade do produto, principalmente porque valores fora do padrão podem comprometer a vida útil do motor. O índice de acidez obtido de 0,74% está acima do que a legislação requer 0,5%, porém valores um pouco acima ainda são aceitáveis, desde que não seja para fins de comercio. Dutra et al. (2018) em pesquisa com produção de biodiesel proveniente de óleo residual da manga encontraram resultados semelhantes de 0,72%.

O índice de iodo (II) está diretamente ligado ao grau de insaturação de um óleo e a porcentagem de ligações duplas na amostra. O II obtido 32,42 encontra-se relativamente baixo o padrão EN 14214 é de 120 máx, essa diferença se dá

principalmente pela maior quantidade de ésteres saturados no biodiesel. Valores aproximados de 36 e 36,8 foram encontrados em trabalhos que analisaram biodiesel de óleo ou gordura residuais (Dutra *et al.,* 2018; JARAN *et al*., 2020).

4.3 Água de lavagem do biodiesel (ALB)

A etapa de purificação do biodiesel é considerada um dos procedimentos mais importante no processo de transesterificação. Para purificar o biodiesel é necessário utilizar lavagens com água a fim de retirar resíduos do biocombustível. A água de lavagem do biodiesel (ALB) gerada no processo de purificação do biodiesel não está dentro dos padrões aceitáveis pela legislação vigente, por tanto não deve ser descartado sem que haja um pré-tratamento (GRANGEIRO, 2014). Na Tabela 16 é possível encontrar os valores de caracterização do efluente gerado para o biodiesel produzido para este estudo.

Tabela 16 - Caracterização da água de residual do biodiesel

Parâmetros	Valores	VMP*
pH	2,5	5 a 9*
Turbidez (NTU)	1500	40
Condutividade Elétrica (mS/cm)	11,9	**
DQO (mg O_2 L^{-1})	121.048	**
DBO (mg O_2 L^{-1})	13.366	120
OG (mg L^{-1})	11.661	50
Sólidos Totais (mg L^{-1})	***	**
Sólidos Suspensos Totais (mg L^{-1})	80	**
Sólidos Suspensos Voláteis (mg L^{-1})	0	**
Sólidos Suspensos Fixos (mg L^{-1})	80	**
Sólidos Sedimentáveis (mg L^{-1})	<0,1	1,0
Ferro (mg L^{-1})	4,8	15,0
Cobre (mg L^{-1})	0,3	1,0
Cádmio (mg L^{-1})	<0,1	0,2
Chumbo (mg L^{-1})	0,4	0,5
Zinco (mg L^{-1})	0,3	5,0

Fonte: A autora (2020)

Nota: *VMP =Valor máximo permitido pela resolução CONAMA n° 430/2011; DQO = demanda química de oxigênio; DBO = demanda biológica de oxigênio; OG=óleos e graxas.

Após caracterização do efluente realizada no Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ/UFPE) foi possível constatar que em todas as análises os valores para metais pesados estão abaixo do indicado pela legislação vigente. O que comprova que nesse tipo de efluente os metais pesados não são os principais contaminantes. Os valores de pH encontram-se muito abaixo dos valores máximos permitido, sendo necessário correção por procedimento de neutralização. A correção do pH consiste na adição de uma base como o hidróxido de sódio.

A turbidez também está fora dos parâmetros estabelecidos pela resolução do CONAMA que são 40 NTU e assim como os Óleos e Graxas (OG), também necessitam de tratamento específico. Os OG são um dos parâmetros mais importantes, pois segundo a legislação vigente, o valor máximo permitido para

descarte de OG é 50 mg/L. A água residual encontrada nesse estudo possui 11.661 mg/L de OG, isso se dá principalmente pelo tipo de matéria prima utilizada o OFR, esse tipo de material é altamente contaminante para águas, agem capturando o oxigênio presente no meio o que compromete a qualidade da água e consequentemente atinge de forma negativa a sobrevivência de organismos aquáticos (SANAGUANO *et al.,* 2018).

Estudos realizados por Duad *et al.* (2018) encontraram valores de turbidez próximos a 9850 NTU e 588 mg/L de DQO em ALB proveniente de óleo de fritura residual. Gonçalves e colaboradores (2017) também encontraram altos valores de DQO, DBO e OG em pesquisa na área os valores iniciais são DQO 3,943; DBO 26,376; OG 2,166 e turbidez 1,752, isso para ALB. Contudo, o óleo utilizado como matéria prima para a produção do biodiesel nesse estudo não foi especificado pelos autores.

4.3.1 Tratamento 1: Caixa de Gordura e Decantação

Para sistemas de tratamento de efluentes com contaminação por OG é utilizado o método da caixa de gordura para remoção dos óleos e graxas não emulsionados. Essa técnica consiste em deixar o efluente em repouso por aproximadamente 10 min, pois a parte mais densa (nesse caso a água) vai se depositar no fundo do recipiente e os OGs ficam na parte superior, assim é possível remover os OGs com uma pá, retirando a parte de cima do efluente. Vale a pena ressaltar que esse método não retira a fase mais refinada dos OGs que estão emulsificados, tornando necessário o uso de outra técnica para retirada de OGs que estejam emulsificados ou não no efluente. Como já era o esperado o uso apenas da caixa de gordura não foi o suficiente para remoção significativa de OGs. Fazendo necessário também um sistema de decantação visando melhorar o desempenho do tratamento. Durante a decantação é possível retirar com mais eficiência os óleos emulsificados no efluente, como podemos acompanhar na Tabela 17.

Tabela 17 - Caracterização da água residual de biodiesel Após Tratamento 1 (caixa de gordura e decantação)

Parâmetros	Valores Iniciais	Valores Após Tratamento 1	VMP*
DQO (mg O_2 L^{-1})	121.048	59.779	**
DBO (mg O_2 L^{-1})	13.366	25.880	120
OG (mg L^{-1})	11.661	682,4	50

Fonte: A autora (2020)
Nota: *VMP = Valor máximo permitido pela resolução CONAMA n° 430/2011

É possível avaliar a diminuição considerável no teor de óleos e graxas da ALB. Antes do tratamento o valor de OG foi 11.661 mg L^{-1} após a etapa da caixa de gordura houve uma diminuição considerável de 90,3%. Em seguida, após o processo de decantação, o valor reduziu para 94,15%. Apesar de ser uma redução significativa, ainda está distante dos valores requeridos pela legislação vigente que é de 50 mg L^{-1} CONAMA 430/2011. Mostrando que apenas a caixa de gordura e o sistema de decantação apesar de reduzir notavelmente o teor de OG não são suficientes para o tratamento completo que a ALB necessita. Lima *et al*. (2011) em trabalho com efluente oleoso da indústria pesqueira conseguiram remoção de 52% de OG com o auxílio de bactérias. Estudos com águas oleosas da indústria de reciclagem e subprodutos de matadouros constataram uma diminuição de 76,42% usando um biorreator específico para tratamentos de água (JUNIOR TONHATO *et al.,* 2019). Por outro lado, Gonçalves et al. (2017) conseguiram reduzir 82% o valor de óleos e graxas nas amostras de ALB, após tratamento de coagulação utilizando sulfato de alumínio.

4.3.2 Tratamento 2: coagulação, floculação e sedimentação

O tratamento 2 consistiu na etapa de coagulação, floculação e sedimentação. Os coagulantes químicos (CQ) utilizados foram o sulfato de alumínio e Genfloc que já são comercialmente utilizados. A primeira etapa conteve testes para verificar as concentrações ideais para o Genfloc e o sulfato de alumínio tendo em vista que a água residual proveniente do biodiesel possui características complexas e distintas das demais águas residuais. Para isso iniciamos os testes a partir da concentração de 1, 3 e 6 mL/L^{-1} baseado nos dados do fabricante

(Genfloc) seguido das concentrações de 0,1/ 0,3 e 0,6 $g.L^{-1}$ de sulfato baseados na literatura (BINA *et al.,* 2009; ANASTASAKIS *et al.,* 2009; MARIN, *et al.,* 2019). De acordo com a Tabela 18, as concentrações médias para os dois coagulantes apresentaram melhores resultados. Sendo assim as concentrações 3 e 0,3 foram adotadas como as melhores concentrações para ambos coagulantes.

Tabela 18 - Variáveis físico-químicas comparando as concentrações dos coagulantes químicos utilizados Genfloc e Sulfato de alumínio

Variáveis	**Tratamentos**			***p***	**S**
	Genfloc				
	1 (mL/L)	**3 (mL/L)**	**6 (mL/L)**		
Turbidez	8,5 a	3,2 c	3,9 b	<0,0001	0,4
Condutividade	6,8 a	6,9 a	6,8 a	0,1573	0,03
pH	5,0 a	4,4 c	4,5 b	<0,0001	0,01
Sólidos totais	25,3 b	27,6 a	23,0 c	<0,0001	0,6
	Sulfato				
	0,1 (g/L)	**0,3 (g/L)**	**0,6 (g/L)**		
Turbidez	8,9 a	5,3 b	2,2 c	<0,0001	0,4
Condutividade	7,1 a	7,1 a	7,2 a	0,1573	0,02
pH	6,5 a	4,9 b	4,6 c	<0,0001	0,01
Sólidos totais	0 c	20,6 a	19,0 b	<0,0001	0,5

Fonte**:** A autora (2020)

Nota: As letras a, b e c apresentam diferenças significativas entre os tratamentos, segundo análises estatísticas utilizando o teste t-student.

O Genfloc apresentou melhores resultados de turbidez e sólidos totais na concentração de 3ml/L diferindo apenas nos dados de pH que ainda assim não apresenta resultados muito discrepantes, já os resultados de condutividade elétrica não apresentaram diferenças significativas. O sulfato de alumínio, por outro lado, apresentou comportamento semelhante ao apresentado pelo Genfloc evidenciando os melhores resultados para sólidos totais. A condutividade elétrica também não diferiu significativamente das demais, tornando a concentração 0,3g/L a melhor. O cloridróxido de alumínio presente no Genfloc é responsável pela criação de hidrolisados positivos que envolvem a superfície das partículas coloidais e as unem formando os flocos que arrastam as impurezas no meio e sedimentam no fundo do funil (WANG *et al.,* 2013).

Após detectar as melhores concentrações entre os coagulantes químicos foram realizados testes para determinar as melhores concentrações para o floculante natural. A farinha do maracujá (FCM) utilizada nesse estudo como floculante natural foi testada em 3 concentrações distintas 1, 2 e 4g/L de acordo com dados previstos na literatura (ANASTASAKIS *et al*., 2009; LEE, *et al*., 2015a).

Os testes demostram que para todas as concentrações testadas o floculante natural apresentou bom desempenho deixando o efluente dentro dos padrões físico-químicos requeridos pela legislação.

Apesar das proporções divergirem significativamente entre si os valores são bastante próximos. O valor de turbidez é relativamente menor na concentração 4g/L, porém o número de sólidos totais cresce consideravelmente devido ao acumulo de resíduos sólidos proveniente da farinha do maracujá, que em encontra partida apresenta menor de turbidez. Apesar disso a concentração escolhida como melhor foi 2g/L, pois apresenta o segundo menor valor de turbidez sem o agravante dos sólidos totais e ainda apresenta menor valor de condutividade elétrica e pH padrão. É importante ressaltar que o valor de turbidez indicado pelo CONAMA é de 40 NTU sendo assim a concentração escolhida mesmo apresentando valor de turbidez maior que os valores encontrados em 4g/L, está dentro das especificações. Além disso mostra que com uma quantidade menor de floculante conseguimos resultados satisfatórios (Tabela 19).

Tabela 19 - Variáveis físico-químicas para determinar as concentrações do floculante natural

Variáveis	**Tratamentos/maracujá**			***p***	**CV(%)**	**S**
	1 (mL/L)	**2 (mL/L)**	**4 (mL/L)**			
Turbidez	30,9 b	30,0 a	23,6 c	<0,0001	1,87	0,2
Condutividade	7,6 a	6,6 b	7,8 a	<0,0001	2,82	0,5
pH	6,8 a	6,7 b	5,2 c	<0,0001	0,53	0,1
Sólidos totais	3,6 c	7,6 b	25,6 a	<0,0001	4,68	0,5

Fonte: A autora (2020)

Nota: As letras a, b e c apresentam diferenças significativas entre os tratamentos, segundo analises estatísticas utilizando o teste t-student.

Após determinar as concentrações iniciais de cada material foi determinada as proporções entre coagulantes químicos e floculante natural (tanto Genfloc/FMC como sulfato/FMC) e as proporções escolhidas para estudo foram 30:70, 50:50, 70:30, respectivamente. Tais proporções foram comparadas com FCM na concentração de 2g/L. Este estudo visou melhorar as condições de tratamento da água através da análise do sinergismo entre CQ e FMC, além de identificar uma proporção que diminuísse a quantidade de CQ no sistema.

Os resultados das análises são mostrados na Tabela 20 e é possível observar que para as proporções estudadas todos os parâmetros estão de acordo com os valores requeridos pelo CONAMA 430/2011. É importante ressaltar a relevância do tratamento da ALB, pois como podemos observar na referida Tabela

que o efluente em estudo não deve ser descartado sem tratamento prévio. Levando em consideração os parâmetros e o nosso controle, a água proveniente da rede de abastecimento local, é possível identificar o quão fora das especificações a ALB se encontra.

Apesar da possibilidade de flexibilizar as proporções, devido aos valores similares encontrados, é preciso considerar a utilização do mínimo de coagulantes possíveis, levando em conta a possibilidade de problemas ambientais e de saúde pública gerados por seu uso (LEONES *et al*., 2018). Nesse contexto a proporção determinada para continuação dos testes foi em 30:70 tanto para Genfloc/FMC como sulfato/FMCe a concentração de 2g/L de FCM (Tabela 20). A escolha se deu principalmente por essas proporções demandarem de menos coagulantes químicos no sistema.

Tabela 20 - Aferição das variáveis físico-químicas para determinar as melhores proporções entre coagulantes químicos e floculante natural

Tratamento	**Proporção**	**Variáveis**		
		Turbidez	**Condutividade**	**Sólidos**
Genfloc/FMC	**30:70**	**0,31 c**	**7,2 b**	**16,3 b**
	50:50	0,02 c	7,2 b	13,6 c
	70:30	0,02 c	6,5 d	16,6 b
sulfato/FMC	**30:70**	**0,54 c**	**6,9 c**	**19,3 a**
	50:50	0,39 c	6,9 c	7,6 d
	70:30	0,17 c	6,7 cd	18,3 a
FCM	**2g/L**	**30,9 b**	**6,6 cd**	**7,6 d**
Água de abastecimento local	**Controle**	**0,02c**	**0,250 e**	**-**
Água sem tratamento	**-**	**250 a**	**28 a**	**-**
p	--	<0,0001	0,0004	<0,0001
CV (%)	--	7,04	2,18	6,13
S	--	0,5	0,3	0,6

Fonte: A autora (2020)

Nota: As letras a, b, c, d, e apresentam diferenças significativas entre os tratamentos, quando as letras se repetem indicam que não há diferença significativa entre os tratamentos, segundo análise estatística utilizando o *teste* t-student.

Após testes cujos resultados foram mostrados na Tabela 20 análises de pH, DQO, DBO e OG foram realizadas nas proporções escolhidas para finalmente determinar a melhor proporção entre elas e a Tabela 21 mostra os resultados obtidos. É possível observar que não há grande diferença de valores entre os parâmetros estudados. O pH no meio não se altera estando compatível com o pH

encontrado na água da companhia de abastecimento local, com exceção da água sem tratamento que apresenta pH extremamente ácido 2,5.

Os valores de DQO e DBO apresentam comportamento semelhantes evidenciando o aumento dos valores para o FCM, onde não há adição de coagulantes químicos. Valores esses já esperados, pois quanto maior for a adição de FCM no meio a tendência é aumentar a DBO e consequentemente a DQO, pois se trata de adicionar um material orgânico no meio. A água tratada e reusada duas vezes (FCM/2) foi o único tratamento que apresentou comportamento diferenciado diminuindo a DBO e DQO e aumentando o pH, provavelmente isso se dá pela quantidade de tratamento aplicado a esse efluente que passou por todas as etapas de tratamento duas vezes.

É importante ressaltar a diferença significativa da turbidez inicial para a turbidez pós tratamento. Como já esperado, por se tratar de água oriunda de uma unidade de tratamento convencional, os dados mostram a menor turbidez, entretanto a ALB, sem tratamento prévio, indica o maior índice de turbidez. Este resultado confirma a necessidade de tratamento da água pós lavagem do biodiesel, pois seu descarte pode acarretar diversos problemas ambientais. Todas águas que foram submetidas ao tratamento apresentam bons resultados, vale salientar que as águas tratadas apenas com o floculante natural (maracujá) apresentam uma turbidez mais elevada, porém dentro das especificações vigente.

Tabela 21 - Variáveis físico-químicas para determinar as melhores proporções entre coagulantes químicos e floculante natural

Variáveis	Proporção 30:70				
	pH	**DQO**	**DBO**	**OG**	**Turbidez**
		mg O_2/L		**mg/L**	**NUT**
ACA	5,0	3,92	<5	*	0,02
AST	2,5	121,04	13,366	11,661	1500
Sulfato/FCM	5,0	97,54	31,95	23,4	0,54
Genfloc/FCM	5,0	83,94	36,55	23,5	0,31
FCM	5,0	103,61	46,32	29,2	30,9
FCM/2	7,0	21,46	8,20	6,3	32,0
VPM	5 a 9	--	120	50	40

Fonte: A autora (2020)

Nota: * resultado ausentes. ACA - água de companhia de abastecimento, AST - água sem tratamento.

4.4 Qualidade do biodiesel após lavagem com água tratada

O biodiesel produzido foi submetido a etapa de purificação para remoção de impurezas no meio, e após purificação foram analisados para identificar se estavam dentro dos padrões especificados pela ANP. As lavagens foram realizadas com água nas seguintes condições: 1) com água proveniente da rede de abastecimento local, 2) com água reusada sem nenhum tratamento prévio, 3) água tratada com a proporção 30:70 Genfloc/FMC, 4) água tratada com a proporção 30:70 sulfato de alumínio/FMC 5) água tratada com FMC e reusada uma vez 6) água tratada com FMC e reusada duas vezes. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 22 para melhor visualização estão em destaque os maiores e menores valores obtidos.

Tabela 22 - Qualidade do biodiesel gerado após diferentes lavagens

Parâmetros	Amostras						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**VPM**
Massa específica (kg/m³)	**882, 3**	881,8	881,8	882,1	881,8	**880,6**	850,0 a 900,0 kg/m3
Teor de água (mg/kg)	1713	**2449**	1695	2348	1779	1162	Máx.200 mg/kg
Ponto de fulgor (°C)	**139, 0**	53,0	82,0	130,0	104	**40**	Mín. 100,0 °C
Estabilidade Oxidativa (h)	**14,4 h**	10,6	10,9	12,3	12,7	**0,2**	Mín. 12h
Viscosidade (mm²/s)	**4,42**	4,36	4,33	4,35	4,32	**4,12**	3,000 a 6,000 mm²/s

Fonte: A autora (2020)

Nota: Os maiores e mais significativos valores estão em destaque em negrito na tabela.

A massa específica do biodiesel está relacionada a sua estrutura molecular, de forma proporcional quanto maior o comprimento da cadeia carbônica, consequentemente maior será o valor da massa específica ou densidade do biodiesel. É importante ressaltar que a relação é inversamente proporcional quando nos detemos aos números de insaturações, pois ao aumentar o número de insaturações do material o valor da massa específica tende a diminuir (CRUZ *et al.,* 2009). Foi constatado que a massa específica para todas as amostras apresentou comportamento semelhantes, todos dentro dos padrões estabelecidos pela ANP para biodiesel. O maior valor obtido foi no biodiesel (1) 882,3 kg/m3 provavelmente por ser uma água tratada e não possuir nenhum tipo de resíduo contaminante. O menor valor identificado foi no biodiesel (6) 880,6 kg/m3. Resultado das duas reutilizações, porém ainda assim o valor está dentro dos parâmetros estabelecidos. Estudos com biodiesel proveniente de óleo de fritura residual, também encontraram resultados semelhantes ao nosso, valores aproximados a 880 a 885 kg/m3 (PAULO *et al.,* 2016; Singh *et al*., 2016).

Ainda de acordo com a ANP a massa específica e a viscosidade do biodiesel interferem diretamente no sistema de injeção dos veículos e no

bombeamento de combustíveis. No entanto, a viscosidade cinemática é um parâmetro que analisa o desempenho crítico dos combustíveis em geral. Essa viscosidade está diretamente ligada a capacidade de bombeamento do combustível a uma dada temperatura de operação (GOMES *et al.,* 2017).

Altas viscosidades podem causar falta de homogeneidade durante a combustão e isso interfere negativamente na eficiência do processo, além de ocasionar o surgimento de resíduos que possivelmente se depositarão no interior do motor. Para todas as amostras de biodiesel estudadas os valores apresentados para viscosidade cinemática estão dentro dos padrões requeridos pela ANP que são de 3,0 a 6,0mm^2/s.

O maior valor encontrado foi no (1) 4,42 mm^2/s e o menor valor em 4,13 mm^2/s (6). Esses resultados mostram que embora a água de lavagem utilizada seja de diferentes origens o biodiesel obtido não sofreu alterações e apresenta ótimas características relacionadas ao sistema de injeção dos veículos e bombeamento de combustível. Resultados semelhantes podem ser encontrados em pesquisa desenvolvidos por Silva Filho e colaboradores (2018) que constataram a viscosidade cinemática de biodiesel de OFR em 4,10 mm^2/s.

A última alteração no valor máximo de água aceitável no biodiesel pela legislação 6304 ASTM, fixou o valor em 200 ppm o que trouxe bastante polêmica, pois encarece os custos de produção. O teor de água é um fator que precisa ser melhorado e é importante testar outras formas de secagem do biodiesel para diminuir os altos teores de água encontrados nas amostras. Vale ressaltar que por utilizar uma matéria prima residual é esperado que alguns parâmetros necessitem de maior atenção. Outro fator determinante é que esses valores ótimos requeridos pela ANP são exigências para a comercialização do biodiesel e não para consumo próprio como é o caso dessa pesquisa. Como já esperado a maior concentração de água foi encontrada no biodiesel (2). Possivelmente por não ter sido submetida a nenhum tipo de tratamento e está contaminada com resíduos do processo o que dificulta a realização do seu papel na purificação do biodiesel.

O ponto de fulgor é um dos parâmetros mais importantes no que se refere a qualidade do biodiesel, ele é responsável por definir a temperatura mínima suficiente para gerar vapores que inflamam com o ar. Esse parâmetro é indispensável na análise de segurança do biodiesel (LOBO *et al.,* 2009). O maior

valor encontrado para ponto de fulgor (1) 139°C encontra- se no biodiesel lavado com água da companhia de abastecimento local além dele o biodiesel (4 e5) que correspondem aos valores de 130°C 104°C, respectivamente também estão dentro dos parâmetros estabelecidos. Segundo a legislação vigente o valor mínimo aceitável para ponto de fulgor é de 100°C.

Sendo assim o biodiesel (3, 2 e 6) que atingiram os valores de 82, 53 e 40°C, respectivamente estão fora dos parâmetros o que inviabilizam seu uso de forma segura nos motores de combustão interna. Resultados semelhantes foram encontrados por Paulo e colaboradores (2016) e Singh e colaboradores (2016) em pesquisas com biodiesel proveniente de óleo de fritura residual. Ambas pesquisas encontraram resultados para ponto de fulgor entre 100 a 144°C.

Através da oxidação, os ésteres são convertidos em componentes distintos, incluindo álcoois, cetonas, éteres, alcanos, ácidos orgânicos, aldeídos e oligômeros. Consequentemente, as propriedades do biodiesel, como a quantidade de ácido, de peróxido e a viscosidade aumentam, enquanto o valor do índice de iodo e o teor de metil ésteres diminuem (FASAL *et al.,* 2018). Estudos realizados por Ryu (2009) apontam o uso de Terc-butil hidroquinona (TBHQ), Hidroxianisol butilado (BHA) e Hihroxitolueno butilado (BHT) como melhores aditivos adicionados ao biodiesel para aumentar o tempo da estabilidade oxidativa.

O autor encontrou um aumento considerável da estabilidade oxidativa do biodiesel que passou de 1,36 para 40h. As características de combustão e as emissões de escape no motor diesel não foram influenciadas pela adição de antioxidantes ao biocombustível. Este estudo recomenda que TBHQ e Pirogallol (PrG) sejam usados para proteger o biodiesel dos efeitos da oxidação durante o armazenamento.

Segundo Fernandes *et al*. (2019), que realizaram pesquisas relacionada ao aumento da estabilidade oxidativa em biodiesel, apontam os benefícios do uso do aditivo TBHQ que aumentam o tempo da estabilidade oxidativa do biocombustível e diminuem a corrosividade ao cobre, pois o TBHQ protege os metais presentes na parte interna do motor e inibi o processo de corrosão. O biodiesel produzido apresentou o valor inicial de 0,17h e o valor mínimo recomendado pela ANP até o primeiro semestre de 2019 era de 8h, porém está vigor uma nova regulamentação

(ANP n. 798/19) onde a estabilidade oxidativa mínima aceitável passa a ser de 12h.

Após a utilização do TBHQ visando aumento da estabilidade oxidativa no (1) o valor passou a ser de 14,4h atingindo o melhor resultado. O biodiesel (4, 5) alcançaram valores de 12,3 e 12,7h também estando dentro dos padrões estabelecidos. Porém o biodiesel (2, 3 e 6) não alcançaram os valores mínimos requeridos pela legislação vigente. É importante ressaltar que o biodiesel (6) apresentou valor extremamente inferior aos demais com de cerca de 0,2h. Esse resultado relacionado ao ponto de fulgor faz com que o uso da ALB tratada e reusada por duas vezes seja inviabilizado, pois seu uso apresenta interferência negativa na qualidade final do biodiesel.

Os valores do biodiesel (1) apresentam no geral os melhores resultados, como já era esperado, pois já está bem estabelecida, é a água utilizada comumente para a lavagem do biodiesel. É possível observar que no biodiesel (3 e 4) onde foram utilizadas as proporções de coagulantes químicos e floculante natural, apenas o biodiesel (4) que contém sulfato de alumínio no tratamento da água apresenta resultados dentro das especificações atuais, descartando o uso do Genfloc para tratamento de água residual de biodiesel.

O biodiesel (2) proveniente de lavagem com água sem tratamento apresenta resultados insatisfatórios para a sua reutilização, devido ao índice de contaminantes presentes na água a qualidade do biodiesel é afetada o que inviabiliza seu uso para esses fins. Já o biodiesel (6) que passou por lavagem com água tratada e reusada duas vezes apesar de apresentar bons resultados para massa específica e viscosidade cinemática, não atingiu os limites mínimos das especificações atuais o que torna inviável a reutilização e tratamento da ALB por duas vezes.

Portanto, o biodiesel (4 e 5) responderam melhor as análises de qualidade, porém o biodiesel (4) lavado com coagulante químico e FCM na proporção de 30:70 respectivamente, utiliza como coagulante químico o sulfato de alumínio, que pode causar degradação ambiental, contaminando solo, plantas e lençóis freáticos, causando até a subsistências de organismos aquáticos. O uso de coagulantes químicos (CQ) no tratamento de águas residuais gera lodo inorgânico que contribui ainda mais para a degradação ambiental, além disso a utilização de coagulantes

químicos pode colocar em risco a saúde da população (JANCULA; MARSALEK, 2012; LI *et al*., 2020). Estudos apontam a presença de sulfato de alumínio em águas como causa de diversas doenças que podem afetar a saúde da população incluindo câncer e doenças neurológicas severas (LEONES *et al.,* 2018).

Diante do exposto podemos destacar o biodiesel (5) lavado com água residual tratada com apenas o FCM e reusada no processo, como opção mais viável para tratamento e reuso da ALB. Tendo em vista que mesmo sem a presença de CQ foi possível atingir os padrões pré estabelecidos pela legislação vigente. O uso do FCM sem adição de CQ apresenta inúmeras vantagens dentre elas podemos destacar a economia gerada pela não compra de coagulantes químicos, atualmente no mercado 500g de sulfato de alumínio custa em média R$ 50,00(equivalente a US$9,33) O FCM utilizado se trata de um resíduo, sendo assim não há custo de obtenção e seu uso além de não gerar lodo inorgânico que requer um outro tipo de tratamento demandando mais tempo, energia e dinheiro.

Além disso, a utilização do FCM diminui a quantidade de resíduo orgânico gerado nos grandes centros de abastecimentos e contribui para o não envio de resíduos ao aterro sanitário. Além da economia e da contribuição positiva na resolução de problemas socioambientais a utilização do FCM no tratamento e reuso da ALB pode trazer uma economia considerável de no mínimo 50% no consumo de água tratada utilizada, o que representa uma solução sustentável para o ciclo da produção de biodiesel.

5 CONCLUSÃO

Pelos aspectos analisados é possível concluir que o biodiesel produzido na BERSO/UFPE e que viabilizou este estudo apresenta qualidade semelhante a outros biocombustíveis de mesma matéria prima e de matérias primas distintas, alcançando o rendimento de 93% e estando dentro das especificações para qualidade de biodiesel da legislação vigente, o que é um resultado muito satisfatório levando em consideração a matéria prima residual.

Vale apenas ressaltar que o teor de água é um parâmetro que merece mais atenção, o método de secagem empregado nesta pesquisa foi o único que não apresentou resultados dentro dos parâmetros estabelecidos pela ANP e requer mais estudos e testes sobre o tema, lembrando que essas especificações são propostas para comercialização do biodiesel e não consumo próprio, como é o caso dessa pesquisa.

As análises com o uso do floculante natural proveniente da casca do maracujá mostraram que é viável tratar e reusar a água da lavagem de biodiesel com benefícios socioambientais como a diminuição da degradação ambiental, que envolve contaminação do solo e águas subterrâneas, não produção de um segundo efluente sólido e inorgânico como a formação de lodos. Além disso ao utilizar o resíduo do maracujá evitamos custo de obtenção de coagulante químico e diminuímos as chances de que mais resíduos sejam encaminhados ao aterro sanitário, contribuindo assim com aumento do tempo de vida útil nos aterros.

Um dos fatores mais preocupantes com relação ao uso de sulfato de alumínio são os riscos à saúde humana que o uso contínuo pode trazer, esses riscos abrangem várias doenças como ósseas, intestinais, câncer, declínio cognitivo e até mesmo Alzheimer. Diante destes dados a relevância de trabalhos que apontem possíveis substitutos aos coagulantes químicos vem ganhando espaço na pesquisa.

Ao tratar e reutilizar a água proveniente da lavagem do biodiesel, com a casca do maracujá no processo de purificação de uma nova batelada foi possível identificar que não houve alteração na qualidade do novo biodiesel purificado com a água tratada, continuando assim dentro dos parâmetros estabelecidos pela ANP.

Contudo, a reutilização da água tratada por mais de uma vez deixa o biodiesel fora dos parâmetros da ANP, inviabilizando o seu uso.

O tratamento e reuso da água da lavagem de biodiesel com a casca do maracujá pode gerar uma economia de 600L a 12.000L de água ao mês considerando os volumes gastos na etapa de purificação de biodiesel e diferentes cenários de utilização de água, levando em consideração os 1.200L de óleo de fritura residual gerados mensalmente na UFPE. Portanto o tratamento com o floculante natural sugerido neste estudo, além de todos os benefícios ambientais, econômicos e até de saúde pública contribui para que o ciclo de produção em uma planta de biodiesel seja economicamente viável e ainda mais sustentável.

O método utilizado no tratamento da água da lavagem de biodiesel com casca de maracujá só não foi eficiente para remoção de DBO. Então, sugerimos que após o tratamento e reuso na planta de biodiesel, a água seja encaminhada para o pátio de compostagem, tendo em vista que o resíduo que não foi removido é basicamente matéria orgânica o que não seria um problema para a esta técnica. Além disso, o pátio receberia uma carga extra de matéria orgânica durante a irrigação que em consequência ocasionaria uma redução significativa no consumo de água durante o processo.

Por fim destacamos a importância de pesquisas que visem métodos alternativos para o tratamento da água de lavagem de biodiesel, pois para essa temática dados ainda são bastante escassos na literatura. Vale apena ressaltar que se trata de um tema de suma importância que abrange a sustentabilidade dentro das atuais demandas de combustíveis renováveis, tratamento e reuso de água.

6 PERSPECTIVAS

- Analisar o lodo orgânico resultado do tratamento da ALB;

- Avaliar o impacto da irrigação de pilhas de compostagem com a ALB, poderia integrar os processos da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos da UFPE, aumentando a sustentabilidade e diminuindo custos de processo e manutenção;

- Acoplar um sistema de tratamento da ALB a uma planta de produção de biodiesel em larga escala.

REFERÊNCIAS

ABOKYI, E.; KONODU, A. P.; ABOKYI, F. Industrial Growth and emissions of CO2 in *Ghana: The role of financial development and fossil fuel consumption.* ***Energy Reports****,* v.5, p. 13391353, 2019.

ALMEIDA, T. A.; RODRIGUÊS, A. I.; ESTRELA, T. S.; NUNES, F. N. C.; MACHADO, L. L.; LEÃO, K. V.; BARROS, I. C. L.; AMORIM, C. A. F.; BRAGA, V. S.; Synthesis of ethyl biodiesel from soybean oil, frying oil and chicken fat, using catalysts based on vanadium pentoxide. **Energy**, v. 97, p. 528-533, 2016.

ALMEIDA, V. F.; MORENO, G. J. P.; GUADIX, A.; GUADIX, M. A. Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and frying oil: Optimization of fuel properties**. FuelProcessing Technology**, v.133 p.152-160, 2015.

ALI, M. R; ELKATORY, R, M; HAMAD, A. H. Highly active and stable magnetically recyclable CuFe2O4 as a heterogenous catalyst for efficient conversion of waste frying oil to biodiesel. **Fuel**. v. 268 p. 117297 2020.

ALVES, T. C. **Transesterificação de óleos e gorduras residuais via rota metílica e etílica utilizando o catalizador Aluminato de Zinco, em presença ou não de CO2 supercrítico**. Tese, Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, p. 30-140, 2012.

AMBROSIO, E; LUCCA, L. D; GARCIA, H. B. M; SOUZA, T. F. M; FRUTAS, S. K. F. T; SOUZA, P. R; VISENTAINER, V. J. Optimization of photocatalytic degradation of biodiesel using TiO2/H2O2 by experimental design. **Science of the Total Environment**. v.582, p. 1-9, 2017.

ANASTASAKIS, K; KALDERIS, D; DIAMADOPOULOS, E. Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wasterwater. **Desalination**.v.249, p. 786-791, 2009.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária **resolução 105/99**. Disponível em: <http://elegis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>. Acesso em: 29 Dez. 2020.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Site oficial da ANP. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/simpbiodisel>. Acessado em: 26 Jul. 2020.

ARANSIOLA, E. F; OJUMO, T. V; OYEKOLA, O. O; MADZIMBAMUTO, T. F; IKHU-OMOREGBE, D. I. O. A review of current Tecnology for biodiesel production: State of the art. **Biomass and Bioenergy**. v. 61, p. 276-297, 2014.

ARAUJO, K. The emerging field of energy transitions: progress, challenges, and oportunities. **Energy Research & Social Science**, v.1, p. 112-121, 2014.

ASTM D 4052-16 Standards Test Method for Density, relative density and API gravity of liquids by digital density meter. Available https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D4052-16.htm

ASTM D 6304-16 Standards Test Method for Determination of Water in Petroleum Products. Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration. Available https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D6304-16.htm

ASTM D664-18e2 Standards Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration Available https://www.astm.org/Standards/D664

ASTM D7042-19e1 Standards Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer and the Calculation of Kinematic Viscosity Available https://www.astm.org/Standards/D7042.htm

ASTM D 93-16a Standards Test Method for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester. Available https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D93-16A.htm

APHA- AWWA- WPCF. **Standard Methods for the examination of water and wastewater, American Public Association**, 21 th Edition, Washington, DC (Adaptação) p. 1- 540, 2005.

AYOUB, M.; ULLAH, S.; INAYAT, A.; BHAT, H. A.; HAILEGIORGIS, M. S. Process optimization for biodiesel production from waste frying oil over montmorillonite Clay - 30. **Procedia Engineering**, v. 148, p. 742-749, 2016.

BAJAJ, A.; LOHAN, P.; JHA. P. N.; MEHROTRA, R. Biodiesel production through lipase catalyzed transesterification: An overview. **Journal of Molecular Catalysis Benzymatic**, v. 62, p.9-14, 2010.

BANERJEE, A.; CHAKRABORTY, R. Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production- A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, p. 490-497, 2009.

BANKOVIC, I. B. I.; STOJKOVIC, J. I.; STAMENKOVIC, O.S.; VELIJKOVIC, B.V.; HUNG, Y.T. Waste animal fats as feedstocs for biodiesel prodution. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v.32, p. 238-254, 2014.

BARBOSA, L. R.; SILVA, M. F.; SALVADOR, N.; VOLPATO S. E. C. Desempenho comparativo de um motor ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel.**Ciências e Agrotecnologia** v. 32, n. 05, p. 1588-1593, 2008.

BASKAR, G.; SOUMIYA, S. Prodution of biodiesel from oil using iron (II) doped zinc oxide nanocatalyst**. Renewable Energy**, v.98, p. 101-107, 2016.

BIODIESELBR. **Produção de biodiesel dos EUA supera marca de 7 bilhões de litros em 2018.** Disponível em: <www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/biodiesel-historia.htm>. Acesso em: 22 Jun. 2019.

BINA, B. M. H.; MEHDINEJAD, M.; KIKAEEN, H.; ATTAR, H.M.; Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbd water. **Iranian Journal Environmental Health Science and Engineering**, v.6, p. 247-252, 2009.

BRASIL, Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos sólidos; altera a lei n° 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União,** Brasília, n.147.3, p.03, 2010.

CALERO, M. A.; MUNÕZ, E.; PÉREZ- MARIN, D.; RICCIOLI, C.; PÉREZ, L.; GARRIDO- VARO, A. Evolution of frying oil quality using fourier transform near-infrared (FT-NIR) spectroscopy. **Applied Spectroscopy**, v. 72, p. 1001-1003, 2018.

CANTERI, M.H.G.; SCHEER, A. de P.; GINIES, C.; RENARD, C.M.-G.C.; WOSIACHI, G. Importância do tratamento térmico na casca de maracujá para extração de pectina. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial,** v.4, p.109-121, 2010.

CARNEIRO, P.I.B; REDA, S. Y; CARNEIRO, F.B.B. 1H Characterization of seed oils from rangpur lime (Citrus limona) and “Sicilian” lemon (Citrus Limon). **Annals of Magnetic Resonance- Auremn**, v.4, p. 64-68, 2005.

CARVALHO, F. J. Combustíveis fósseis e insustentabilidade. **Energia, Ambiente e Sociedade** v.60, n.03, p.29-33, 2008.

CARTILHA DO BIODIESEL. **Biodiesel o Novo combustível do Brasil**. Governo Federal, v.1, p.1-12, 2004. Disponível em <file:///C:/Users/Adjane%20-%20PC/Dropbox/DOUTORADO/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20Tese/cartilha_biodiesel_por tugues.pdf> Acesso em: 11 Jul. 2019.

CASTEJÓN, D.; HERRERA, A.; HERAS, A.; CAMBEREO, I.; MATEOS-APARÍCIO, I. Oil quality control of culinary oils subjectec to deep-fat-frying based on NMR and EPR spectroscopy. **Food Analytical Methods**, v. 10, p. 2467-2480, 2017.

CHEN, S.; LIU, T.; OLANRELE, S. O.; LIAN, Z.; SI, C.; CHEN, Z.; LI, B. Boosting electrocatalytic activity for CO2 reduction on nitrogen-doped carbon catalyst by co-doping with phosphosrus. Journal of Energy Chemistry, v. 54, p. 143-150, 2020.

CHAROENCHAITRAKOOL, M.; THIENMETHANGOON, J. Statistical optimization for biodiesel production from aste frying oil through two-set catalyzed process. **Fuel Processing Tecnology,** v.92, p.112-118, 2011.

CHUAH, F. L; KLEMES, J. J; YUSUP, S; BOKHARI, A. AKBAR, M. M. A review of cleaner intensification technologies in biodiesel production. **Journal of Cleaner Production** V. 146, P. 181-193, 2017.

CUNHA, D. A; NETO, C. A; COLNAGO, A. L; CASTRO, R. V. E; BARBOSA, L. L. Application of time-domain NMR as methodology to quantify adulteration of diesel fuel with soybean oil and frying oil. **Fuel,** v. 252, p.567-573, 2019.

CHOY, Y. S.; PRASAD, N. K.; WU, Y. T.; RAGHUNANDAN, E. M.; RAMANAN, N, R. Performance of conventional starches as natural coagulants forturbidity removal. **Ecological Engineering**, v. 94, p. 352-364, 2016.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Normativa N° 357 de 18 de Março de 2005.** Dispões sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e das outras providências. p. 58-63.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Normativa N° 430 de 13 de Maio de 2011.** Dispões sobre condições e padrões de lançamento de efluentes complementa a resolução 357/05.

CORRO, G.; SANCHEZ, N.; PAL, U.; BANUELOS, F. Biodiesel prodution from waste frying oil using waste animal boné heat. **Waste Management**, v. 47, p. 105-113, 2016.

SIINGH, C. T.; BITENNCOURT, T. B.; JORGE, N. Caracterização e compostos bioativos da castanha-de-cutia (*Couepia edulis*). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, SP, v. 71, n. 1, p. 61-68, 2012. D' AGOSTO, A. M.; SILVA, V. A. M.; FRANCA, S. L.; OLIVEIRA, M. C.; ALEXANDRE, L. O. M.; MARQUES, C. G. L.; MURTA, S. L. A.; FREITAS, V. A. M. Comparative study of emissions from atationary engines using biodiesel made from soybean oil, palma oil and waster frying oil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.70, p.1376-1392, 2017.

DANG, H. T.; CHEN, H. B.; LEE, J. D. Application of kaolin-based catalysts in biodiesel production via transesterification of vegetable oils in excess methanol. **Bioresource Technology**, v. 145. p. 175-181, 2013.

DE BONI, L. A. B.; GOLDANI, E.; MILCHAREK, C. D.; SANTOS, F. A. Órgão de divulgação científica e informative. Dados internacionais. **Tchê Química**, v. 04, n. 07, p. 41, 2007.

DEVRIMCI, A. H.; YUKSEL, M. A.; SANIN, D. F. Algal alginate: Apotential coagulant for drinin water treatment. **Desalination,** v. 299, p.16-21, 2012.

DEMIRBAS. A. Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils. **Fuel**, v. 77, p. 1117-1120, 1998.

DINCER, A. R.; KARAAYA, N.; GUNES, E.; GUNES, Y. Removal of cod from oil recovery industry wastewater by the advanced oxidation processes (AOP) based on H2O2. **Global Nest Journal**, v. 10, p.31-38, 2008.

DUAD, M. N; ABDULLAH, S. R. S; HASAN, A. H. Response surfoce methodological analysis for the optmization of acidcatalyzed transesterification biodiesel wasterwater pre-treatment using coagulation- flocculation process. **Process Safety and Environmental protection**. v. 113, p.184-192, 2018.

DUTRA, D. E.; LIMA, A. T.; SOUZA, O. L. J.; SILVA, V. G. J.; AQUINO, S. A. K.; AQUINO, S. F.; RAMOS, S. C.; MENEZES, C. S. R. Characterization of fat and

biodiesel from mango seeds using 1H NMR spectroscopy. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v.8, p. 135141, 2018.

ECÓLEO Associação Brasileira para Sensibilização, Coleta e Reciclagem de Resíduos de Óleo Comestível. Disponível em http://ecoleo.org.br/projetos/6766-2/ Acesso em 11 de Novembro de 2020.

FADHI, B. A.; AHMED, M. K.; DHEYAB M. M.; Silybum marianum L. Seed oil: A novel feedstock for biodiesel prodution. **Arabian Journal of Chemistry**, v.10, p. 683-690, 2017.

FASAL, M. A.; SUHAILA, N. R.; HASEEB, A. S. M. A.; RUBAIEE, S.; AL-ZAHRANI, A. Influence od copper on the instability and corrosiveness of palm biodiesel and its blends: An assessment on biodiesel sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v.171, p.1407-1414, 2018.

FAYYAZI, E.; GHOBADIAN, G.; NAJAFI, G.; HOSSEINZADEH, B.; MAMAT. C.; HOSSEINZADEH, J. Na ultrasouns-assisted system for optimization of biodiesel prodution from chicken fat oil using a genetic algorithm and response. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.26, p. 312-320, 2015.

FERNANDES, D. M.; SQUISSATO, A. L.; LIMA, A. F.; RICHTER, E. M. MUNOZ, R. A. A. Corrosive character of moringa oleifera lam biodiesel exposed to carbon steel under simulated storage conditions. **Renewable Energy**, v.139, p.1263-1271, 2019.

FERRARI, A. R; COLUSSI, F; AYUB, A.R. Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá- aproveitamento das sementes**. Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 26 n. 01 p.102-102, 2004.

FERREIRA, R. P; PALMA, V. S; MARTINS, L. L. M; SILVA, M. C; RESENDE, D. E. Tratamento térmico e químico para controle da atividade da poligalacturonase no albedo do maracujá.**Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51 n.4 p.1678-3921 2016.

FERREIRO, O. G.; ROJAS, J. H.; ARGARANA, E.C; EIMER, A.G. Towards sustainable biofuel production: Design of a new biocatalyst tobiodiesel synthesis from waste oil and commercial ethanol. **Journal of Cleaner Production**, v.139, p. 495-503, 2016.

FONSECA, M. J; TELEKEN, J. G; ALMEIDA, C. V; SILVA. C. Biodiesel from waste frying oils: Methods of production and purification. **Energy Conversion and Management**. v. 184, p. 205-218, 2019.

FREITAS, S. F. K. T.; OLIVEIRA, V. M.; SOUZA, H, C. L.; ALMEIDA, V. C.; FÁVARO, S. L.; GARCIA, J.C. Optimization of coagulation-flocculation process for treatment ofindustrial textile áster using okra (A. esculentus) mucilage asnatural coagulant**. Industrial Crops and Productus**, v.76, p. 538-544, 2015.

GARCIA, C.M. **Transesterificação de Óleos Vegetais**.Dissertação, Universidade Federal de Campinas, Instituto de Química. Departamento de Química Inorgânica. p.5-50, 2006.

GOMES, J. H.; CORDEIRO, C. S. Estudos Preliminares da Glicerólise do Óleo de Palma Catalisada por Carboxilatos Lamelares. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 3-10, 2017.

GHAFARI, S. AZIZ, A. H.; ISA, H. M.; ZINATIZADIH, A. A.; Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-floculation treatment of leachate using polyaluminium chloride (PAC) and alum. **Journal of Hazardous Materiais**, v.163, p650-656 (2009).

GILBARD, G.; VERGAS, R. M.; VIELFAUR, E. F.; SCHUCHARDT, U. F. 1H nuclear magnetic resonance determination of the yield of the transesterification of repressed oil with methanol. **J Am Oil Chem Soc**, v 72, p. 1239-1241, 1995.

GONÇALVES, R. B; BORGES NETO, W; MACHADO, H. E. A; TROVÓ, G. A. Biodiesel wasterwater treatment by coagulation-flocculation: Evaluation and optimization of operational paramenters**. Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 28, p.800-807, 2017.

GRANGEIRO, T. V. R.; MELO, R. A. M.; SILVA, V. E.; SOUZA, G. A.; TOSCANO, S. A. I. Caracterização física, química e toxicológica as águas de lavagem gerada na produção de biodiesel. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.9, p. 78-83, 2014.

GUIMARÃES, S. P. **Tratamento de águas residuais oriundas da purificação do biodiesel por coagulação empregando sulfato de alumínio e quitosana: avaliação preliminar.** Dissertação/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, p. 1741, 2013.

GUO, J; SUN, S; LIU, J. Conversion of waste frying palm oil into biodiesel using free lipase A from Candida antarctica as a novel catalyst. **Fuel.** v.267, p.117323, 2020.

IBGE, Produção Agricola Municipal, **Relatório Embrapa**. Disponível em <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/maracuja/b1_marac uja.pdf> p. 1-4. 2018.

INAYAT, A; NASSEF, M. A; REZK, H; SAYED, T. E; ABDELKAREEM, A. M; OLABI, G. A. Fuzzy modeling and parameters optimization for the enhancement of biodiesel production from waste frying oil over montmorillonite clay K-30. **Science of The Total Environment** v. 666, p. 821-827, 2019.

JANCULA, D.; MARSALEK, B. Seven years from the first application of polyaluminium chloride in the Czech republic- Effects on phytoplankton communities is three water bodies. **Chemistry & Ecology**, v. 28, p. 535-544, 2012.

JARAN, P.; BENJAMIN, K. S.; KANOKPHORN, S.; SAPPASITH, K. Optimization of process variables for the production of biodiesel by transesterification of used

cooking oil using lipase from nile tilapia viscera. **Renewable Energy**, v. 153, p. 861-869, 2020.

JELASSI, A.; CHERAIEL, I.; HAMZA, M. A.; JANNET, H. B. Chemical composition and characteristic profiles of seed oil from three Tunisian acacia species. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 33, p. 49-54, 2014.

JUNIOR, T. A.; MOREJON, M. F. C.; HASAN, M. D. S. Study of the operation of a continuous modular bioreactor used for treatment of wastewater from a recycling industry of by- products from slaughterhouses. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, p. 1-22, 2019.

JUNG, Y. M.; PARK, S. J.; YOON, H. S. Quantitative determination of conjugated linoleic acids in hydrogenated vegetable oils using refractive index. **Food Science and Biotechnology**, v.25, p. 121-124, 2016.

JURUWAT, P.; KONGJAO, S.; HUNSOM, M. Management of biodiesel wastewater by the combined processes of chemical recovery and electrochemical treatment. **Energy Conversion and Management**, v.51, p. 531-537, 2010.

KARMAKA, A.; KARMAKA, S. MUKHERJEE, S. Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. **Bioresour Technol**, v. 101, p. 7201-7210, 2010.

KAKOI, B.; KALULI, W.; NDIBA, P.; THIONG, G. Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. **Ecological Engineering**, v.95, p. 699-705, 2016.

KUKI, V. D.; CIBAN, S. B. M.; PRODANOVI, M. J.; TEPI, N. A.; VASI, A. Extracts of fava bean (*Vicia Faba L*.) seeds as natural coagulants. **Ecological Engineering**, v. 84, p. 229232, 2015.

LEE, S.C.; CHONG, F. M.; ROBINSON, J.; BINNER, E. Optimisation of extraction and sludge dewatering efficiencies of bio-flocculantes extracted from *Abelmoschus esculentus* (okra). **Journal of Eviromental Management**, v.157, p. 320-325, 2015a.

LEE, E. K.; HANAFIAH, M. M.; HALIM, A. A.; MAHMUD, H. M.; Primary treatment of dye wasteater using aloe vera-aided aluminium and magnesium hybrid coagulants. **Procedia Environmental Sciences**, v.30, p. 56-61, 2015b.

LEISLAÇÃO**. Lei, 11.907, de 13 de Janeiro de 2005**. Câmara dos deputados, centro de documentação e informação. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2005/lei-11097-13-janeiro-2005-535383-normapl.html>. Acesso em: 10 abr. 2020.

LEONES, M. M.; DONADO, R. K.; MARTINEZ, M. I.; VERBEL, O. R., ERASO, J. M.; Evaluacion del poder coagulante del sulfato de aluminio las semillas de moringa elífera en el processo de clarificacion del água de la cienaga de malambo atlantico. **Revista UIS Ingenierias**, v.17, p.95-104, 2018.

LI, H.; WU, S.; DU, C.; ZHONG, Y.; YANG, C. Preparation, performances, and mechanisms of microbial flocculants for wastewater treatment. **Journal of Enviromental Resecarch & Public Health**, v. 17, p.1360, 2020.

LIU, Y., JIANG, M. W.; YANG, J.; LI, X. Y.; CHEN, C. M.; LI, N. J.; Experimental study on evaluation optimization of tilt angle of parallel-plate electrodes using electrocogulation device for oily water demulsification. **Chemosphere**, v.181, p. 142-149, 2017.

LIMA, F. K. L.; ROSANO, G. H. E.; PINTO, F. M. Cultivation of rubrivivax gelatinous in fish industry effluet for depollution and biomass production. **World Journal of Microbiology**, v. 27, p. 2553-2558, 2011.

LIMA, A. J. G. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. Dissertação/ Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade federal do Rio de Janeiro, P. 20-100, 2007.

LIEW, S.Q.; CHIN, N.L.; YUSOF, Y.A. Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v.2, p.231-236, 2014.

LÔBO, P. I; FERREIRA, C. L. S; CRUZ, S. R.Biodiesel, parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, p. 1596-1608, 2009.

LUQUE, R. LOVETT, C. J.; DATTA, B. JOY, C.; CAMPELO, M. J.; ROMERO, A. A. Biodiesel as feasible petrol fuel replacement; A multidisciplinary overview. **Energy e Environmental Science**, v.3, p.1706-1721, 2010.

MAAWA, N. W; MAMAT, R; NAJAFI, G; GOEY, D. L. Performance, combustion, and emission characteristics of a CI engine fueled with emulsified diesel-biodiesel blends at different water contents. **Fuel** v. 267, 117265, 2020.

MAHLIA, T. M. I; SYAZMI, Z. A. H. S; MOFIJUR, M; PGABAS, A. E; BILAD, M. R; CHYUANONG, H; SILITONGA, A. S. Patent landscape review on biodiesel production: Technology updates. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** v.118, 109526, p.1-9, 2020.

MARQUES, C. A; FUINHAS, A. J; PEREIRA, A. D. Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries. **Energy Policy.** V. 116, p. 257-265, 2018.

MARIN, R. A.; LOPES, C. Y. GARCIA, N. A; LORÍA, Z. C. J. LÓPES, D. A. L.; CELORIO, S. L. M.; ALVAREZ C. J.; VILLENA, G. E.; TOYOS, A. P. Harvisting Scenedesmus obliquus via flocculation of moringa olífera seed extract from urban wastewater: Proposal for the integrated use of oil and floculant. **Energies**, v. 12, p.1-14, 2019.

MATA, T. M.; CARDOSO, N.; ORNELAS, M.; NEVES, S.; CAETANO, S. N.. Evaluation of two purification methods of biodiesel from beef tallow, pork lard and chicen fat. **Chem Eng Trans.** v.9, p. 13-18, 2011.

MAZOFFARIKHAH, K; KARGARI, A; TABATABAIE, M; GHANAVATI, H; SHIRAZI, M. M. A. Membrane treatment of biodiesel wash-water: A sustainable solution for water recycling in biodiesel production process. **Journal of Water Process Engineering**. v. 19, p. 331-337, 2017.

MELETTI, L. M. M. Avanço na cultura do maracuja no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 83-89, 2011.

MENESES, M. J.; VASCONCELOS, E. R.; FERNANDES, F. T.; ARAÚJO, T. G. Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: Investigação dos parâmetros operacionais. **Química Nova**, v. 35, p. 235-240, 2012.

MOHAMED, M. R; KADRY, G. A; ABDEL-SAMAD, H; AWAD, M. E. High operative heterogeneous catalyst in biodiesel production from waste cooking oil. **Egyptian Journal of Petroleum.** 2019.

MOECKE, S. H. E.; WERNER, M. S.; GELSLEICHTER, A. Y.; AVILA, A. F. A.; SILVEIRA, C. T. Produção de biodiesel a partir do óleo de fritura usado e o empoderamento da comunidade. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.1, p. 33-40, 2012.

MOSER, B. R. Effect of soubean oil fatty acid composition and selebium application on biodiesel properties. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.88 p.1019-1028, 2011

MOTA, A.J.C.; SILVA, A. X. C.; GONÇALVES, C.L.V. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir de glicerina de produtos de biodiesel. **Revista Química Nova**, v. 32, p. 639-648, 2009.

MUSA, A. I. The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. **Egyptian Journal of Petroleum.** v.25, n.1, p.21-31, 2016.

NAYLOR, L. R.; HIGGINS, M, M. The political economy of biodiesel in era of low oil prices. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v.77, p.695-705, 2017.

NBR 14065-13 Brazilian Association of Technical Standards Determination of density and specific gravity by digital densimeter. Available https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=251994

NBR14448-13 Brazilian Association of Technical Standards Lubricant oil,petroleum products and biodiesel. Determination of acid number by potentiometric titration. Availablehttps://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=306418

NBR 14598-13 Brazilian Association of Technical Standards Determination of the Flash-point by Pensky-Martens Closed Cup. Available https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=193497

NILVA, R. U; POLLONI, A; PALIGA, M; VENERAL, G. J; QUADRI, B. M; OLIVEIRA, V. J. Acidity reduction of enzymatic biodiesel using alkaline washing. **Renewable Energy**. v. 113, p. 393-396, 2017.

NONGBE, C. M. EKOU, T.; YAO, B. K.; GROGNEC, L. E.; FELPIN, X. F. Biodiesel prodution from palm oil using sulfonated graphene catalyst. **Renewable Energy**, v.106, p.135-141, 2017.

NEYENS, E.; BAEYENS, J. A. Review of classic fenton´s peroxidation as an advanced oxidation technique. **Journal of Hazardous Materials**, v. B98, p. 33-50, 2013.

OKUMUS, Ç. Z; DOGAN, H. T; TEMUR, H. Removal of water by using cationic resin during biodiesel purification. **Renewable Energy.** v. 143, p. 47-51, 2019.

OLIVEIRA, F. C.; GIORDANI, D.; GURAK D. P.; OLIVERA, C. F.; MARCDZAK F. D.G. Extraction of pectin from passion fruit peel using moderate electric field and conventional heating extraction methods. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. v.29, p.201-208, 2015.

OLIVEIRA, E.M.S. de; RESENDE, E.D. de. Yield of albedo flour and pectin content in the rind of yellow passion fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.32, p.492-498, 2012.

OUANJI, F.; KLACHANI, M.; BOUALAG, M.; KACIMI, M.; ZEYAD, M. Large -scale biodiesel production from moroccan used frying oil. **Hidrogen Energy**, v 41, p.21022-21029, 2016.

PANCHAL, B; QIN, S; CHANG, T; SUN, Y; WANG, J; BIAN, K. Production of methyl esters from fried soybean oil using dimethyl carbonate with hydrobromic acid. **Energy Reports**. v. 5, p. 1463-1469, 2019.

PAULO, A. A; COSTA, S. R; RAHDE, B. S; VECCHIA, D. F; SEFERIN, M; SANTOS, A. C. Performance and emission evaluations in a power generator fuelled with Brazilian diesel and additions of waster frying oil biodiesel. **Applied Thermal Engineeeing**, v.98, p.288-297, 2016.

PINTOR, A. M. A.; VILAR, J. P. V.; BOTELHO, S. M. C.; BOAVENTURA, A. R. A. Oil and grease removal from wastewasters: Sorption treatment as na alternative to state-of-the-art Technologies. A critical review. **Chemical Engineering Journal,** v.297, p. 229-255, 2016.

PITAKPOOLSIL, W.; HUNSOM, M. Adsorption of pollutants from biodiesel astewater using chitosan flakes. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 44 p. 963-971, 2013.

QUAH, V. R; TAN, H. Y; MUBARAK, M. N; KHALID, M; ABDULLAH, E. C; NOLASCOHIPOLITO, C. An overview of biodiesel production using recyclable biomass and non- biomass derived magnetic catalysts. **Journal of Environmental Chemical Engineering** v. 7, 103209, 2019.

RAMOS, P. L; KOTHE, V; OLIVEIRA, C. F. A. M; WYPYCH, M. S. A; NAKAGAKI, S; KRIEGE, N; WYPYCH, F; CORDEIRO, S. C. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Revista Virtual de Química**. v.9, n.1, p.317-369, 2017.

RAMOS, P. L.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, S. C. Biodiesel: Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**. v.3, n.5, p.385-405, 2011.

REHAB, M. A.; MARWA, R. E.; HESHAM, A. H. Highly active and stable magnetically recyllable CuFe2O4 as a heterogenous catalyst for eficiente conversion of waste frying oil to biodiesel. **Fuel,** v. 268, 2020.

REDA, S. Y.; CARNEIRO, B. I. P. Physicochemical parameters of maize oil in natura and after heating calculated by means of the proteus RMN H1 program. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharia**, v.12, p. 31-36, 2006.

REOLON, C.A.; BRAGA, G.C.; SALIBE, A.B. Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo em diferentes estádios de maturação. Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, v.27, p.305-312, 2009.

RYU, K. Effect of antionxidants on the oxidative stability and combustion characteristics of biodiesel fuel in an indirect-injection (IDI) diesel engine. **Journal od Mechanical Science and Tecnology**, v.23, p. 3105-3113, 2019.

SABESP. Campanha de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**. Programa de reciclagem do óleo de fritura.** Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=82> Acesso em 04 de Abril de 2020.

SAKKARI, A. E. G.; ABDELDAYEM, O. M.; SHELTAWY, E. S. T.; ABADIR, M. F.; SOLIMAN, A.; RENE, E. R.; ISMAIL, I. Esterification of high FFA contente waste cooking oil through diferente techniques including the utilization of cement hiin dust as a heterogeneus catalyst: A comparative study. **Fuel**, v. 279, p. 118519, 2020.

SANAGUANO, S. H; CABRERA, C.; BAYAS, L.; LUCIO, A.; CORDOVA, M.; SANCHES, F. Obtaining biodiesel in subcritical conditions through the conversion of residualfryng oil. Session II: Biotechnology. **Italian Journal of Food Science**, v.1, p.190, 2018.

SANTOS, M. E.; BITTENCOURT A. L. Tratamento da água residual da produção do biodiesel utilizando eletrofloculação. **Revista da União Latino-Americana de Tecnologia**, v.3, p.26-46, 2015.

SHIMAMOTO, G. G.; FAVARO, A. M. M.; TUBUNI, M. Simple methods via mid-IRO H1 NMR spectroscopy for the determination of the iodine value of vegetable oils. **Journal the Brazilian Chemical Society**, v, 26, p. 1431- 1437, 2015.

SINGH, D; SHARMA, D; SONI, S. L; SHARMA, S; SHARMA, K. P; JHALANI, A. A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel **Fuel**. v. 262, 116553, 2020.

SINGH, V; BRUX, F; SHARMA, C. C. A low cost one pot synthesis of biodiesel from waste frying oil (WFO) Using a novel material, b-potassium dizerconate (b-K2ZR2O5) **Applied Energy**, v. 172, p. 23-33, 2016

SILVA FILHO, C. S; MIRANDA, C. A; SILVA, F. A. T; CALARGE, A. F; SOUZA, R. R; SANTANA, C. C. J; TAMBOURGI, B. E. Data on kinetic, energy and emission performance of biodiesel from waste frying oil. **Journal of Cleaner Production**. v. 181 p. 1034-1042, 2018.

SILVA, E. SILVA, A; RIBEIRO, A; CRUZ, S. Use of okra (Abelmoschus Esculentus) As a flocculant in destabilizing oil/water emulsions. **Holus.** v. 30, p. 256-263, 2014.
SRINARGSAN, A. CHAVALPARIT, O. Treatment of biodiesel wastewater by eletrocoagulation process. **EnvironmentAsia**, v. 2, p. 15-19 2009.

SPECIFICATION FOR BIODIESEL (B100) – ASTM D6751-07b. Disponível em: <https://www.glycerintraders.com/ASTM%206751%20spec.pdf> Acesso em 22 de Junho de 2019.

SUMIT, H. D.; BISHESWAR, K.; SHUBHAN, G.; GOPENATH, T. Parametric optimization of biodiesel synthesis from waste cooking oil via taguchi approach. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 6, p. 3971-3980, 2018

SUN, J.H.; S. P.; WANG, G. L. Degradation of azo dye amido black 10B in aqueous solution by fenton oxidation process. **Dyes and Pigments**, v. 74, p.647-652, 2007.

TEO, H. S.; ISLAM, A.; YAS, T. H. Y. Algae derived biodiesel using nanocatalytic transesterification process. **Chemical Engineering Research and design**, v. 3, p. 362-370, 2016.

ULF, S.; VARGAS, S. R.; SERCHELI, R. Transesterification of vegetable oils: A review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 9, n.3, p.199, 1998.

ULLAH, K.; AHMAD, M. S.; QIU, F. Assessing the experimental investigation of Milk thisthe oil for biodiesel production using base catalyzed transesterfication. **Energy,** v.89, p.887-895, 2015.

VICENTE, G.; MARTÍNEZ, M.; ARACIL, J. Interated biodiesel prodution: A comparison of different homogeneous catalyst systems. **Bioresour Technol**, v.92, p. 297-305.

VIOLA, E.; BLASI, A.; VALERIO, V.; GUIDI, I.; ZIMBARDI, F.; BRACCIO, G.; GIORDANO, G. Biodiesel from fried vegetable oils via transesterification by heterogeneous catalysis. **Catalysis Today**, v. 179, p.185-190, 2012.

YI, W.; SHA, F.; YIAOJUAN, B.; JINGCHAN, Z.; SIQUING, X. Scum sludge as a potential feedstock for biodiesel production from wastewater treatment plants.**Waste Management**, v. 47, p.91-97, 2016.

YUSUFF, S. A; OWOLABI, O. J. Synthesis and characterization of alumina supported coconut chaff catalyst for biodiesel production from waste frying oil. **South African Journal of Chemical Engineering**. v. 30 p.42-49, 2019.

WANG, C.; SHANG, C.; CHEN, G.; ZHU, X. Mechanisms of nc60 removal by the alum coagulation-floculation sedimentation process. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.411, p.213-219, 2013.

WASIF, F.; WILLIAM, I. S.; MIN, S. P.; JI-WON, Y. Water ude and its recycling in microalgae cultivation for biofuel application. Bioresource Technology, v. 184, p. 73-81, 2015.

WONG, Y. K; JO-RAN, N. G; CHONG T. C; LAM, S. S; CHONG, T, W. Biodiesel process intensification through catalytic enhancement and emerging reactor designs: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** V. 116, P. 2-32, 2019.

VELJKAVIC, B. V; STAMENKOVIC, S. O; TASIÉ, B. M. The wastewater treatment in the biodiesel production with alkali-catalyzed transesterification. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.32, p. 40-60, 2014.

APÊNDICE A – CONSTRUÇÃO DA PLANTA DE BIODIESEL DE BAIXO CUSTO

Para construção da planta de biodiesel foram necessárias várias pesquisas para determinar utensílios de baixo custo que substituíssem de maneira eficaz os materiais originalmente usados na construção de usinas de biodiesel. Sendo fundamental a elaboração de uma plataforma de metal resistente, para acondicionamento dos tanques de reação e armazenagem dos fluídos. Essa estrutura apresenta suporte para no mínimo 500 kg, dois metros de largura, quatro metros de comprimento e um metro e vinte de altura, com duas escadas em cada extremidade, como medida de segurança. Abaixo dessa estrutura estão os tanques de armazenamento fixados a pequenas estruturas de metal (Figura9).

O tanque de recebimento do óleo e o reator são de polietileno na cor branca e possuir formato cônico com saída na parte inferior para que se possa acompanhar a diferença de densidade e separação dos fluidos, os mesmos comportam cada um 75L. Dois tanques de 200 litros ficam posicionados sobre paletes na parte de trás da estrutura da planta, os mesmos devem conter abertura na parte superior para facilitar o manuseio dos fluidos, os dois tanques são usados para acondicionar a água de lavagem.

Os demais quatro tanques de armazenagem para óleos, glicerina e biodiesel são de material metálico com capacidade para 200 litros cada, todos com sistema de vedação, níveis, entrada de fluídos na parte superior e saída na zona inferior. Para melhor desempenho da planta foram adicionadas três bombas centrífugas da marca Bull, moto bomba periférica monofásica de 0,5 HP. A primeira bomba (BC 101) é utilizada para transporte do óleo, a segunda bomba (BC 102) é responsável pela recirculação dos fluídos no reator, que está fixado à estrutura metálica da planta e a terceira bomba (BC 103) é usada para transferência da água de lavagem, como podemos na figura 12 onde é possível visualizar a planta de biodiesel e seu funcionamento.

Funcionamento da planta: A planta tem como objetivo principal a conversão, por reação de transesterificação, de todo o óleo de fritura gerado no *campus* UFPE. São gerados 1200L de óleo. Com este volume de óleo gerado no campus é possível cerca de 1116 litros mensais de biodiesel, que serão utilizados nos veículos da instituição. A planta opera em sistema de batelada. A cada batelada

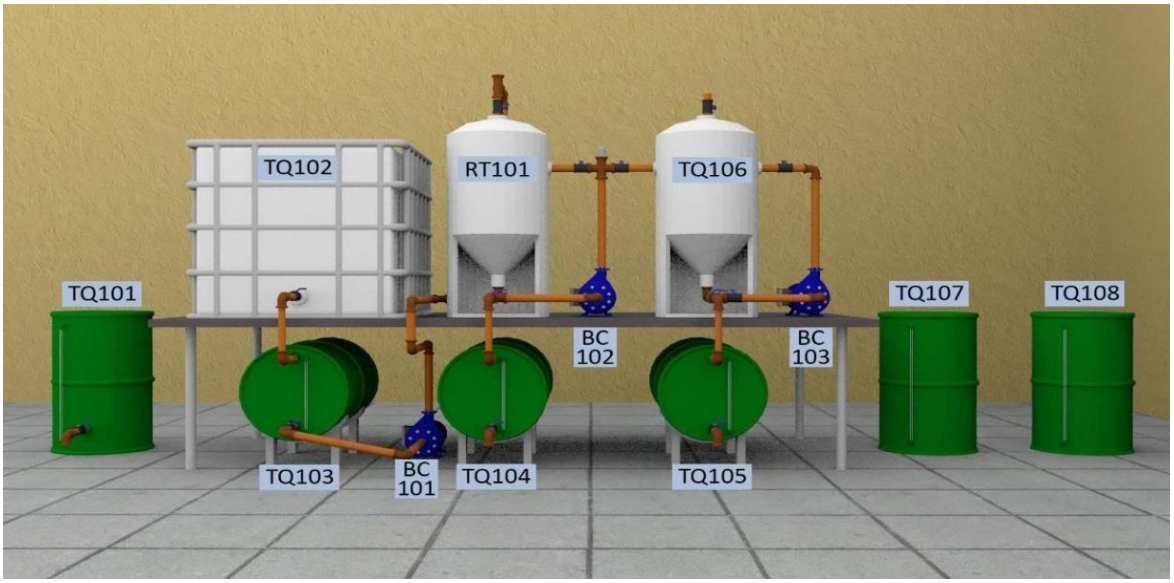
são convertidos 40 litros de óleo de fritura residual que dá origem a aproximadamente 37,2litros de biodiesel. O óleo de fritura coletado é pré-filtrado e acondicionado no tanque (TQ 101) de recebimento onde fica por 12 - 24 horas, tempo suficiente para decantação de resíduos presentes no óleo.

Esse resíduo é retirado e encaminhado para o pátio de compostagem. Em seguida o óleo é transferido manualmente para o tanque (TQ 102) onde é realizada a aferição do pH do óleo, nessa etapa a acidez será corrigida para cerca de 0,5% e encaminhado para o tanque (TQ 103) de armazenamento do óleo, como podemos observar na figura abaixo. O óleo pré-tratado é conduzido com o auxílio da bomba centrífuga (BC 101) até o tanque de reação. Separadamente são homogeneizados manualmente o álcool e o catalisador que também é encaminhado ao reator (RT 101). A reação de transesterificação ocorre a temperatura média de 45 °C com uma rotação de aproximadamente 300 rpm por 60 mim.

Após a reação de transesterificação o glicerol é decantado e em seguida é retirado por diferença de gravidade, tendo em vista que seu tanque de armazenagem (TQ 104) estará localizado bem abaixo do reator. O glicerol armazenado será disponibilizado para outros fins de pesquisa. Posteriormente será iniciado o processo de lavagem do biodiesel. A primeira lavagem consiste na lavagem ácida, pois será adicionado ácido para retirada de resíduos do catalisador e algumas impurezas ainda presentes no biodiesel.

A segunda lavagem consiste em apenas uma lavagem com água, a cada lavagem serão utilizados aproximadamente 10 litros de água. O resíduo de ambas as lavagens será acondicionado nos tanques (TQ 106 e TQ 107), posicionado na parte de trás da planta, onde aguardam por tratamento específico. O biodiesel depois de purificado seguirá para o seu tanque de armazenamento (TQ 105) que estará posicionado abaixo da estrutura metálica, seu transporte será realizado por diferença de gravidade.

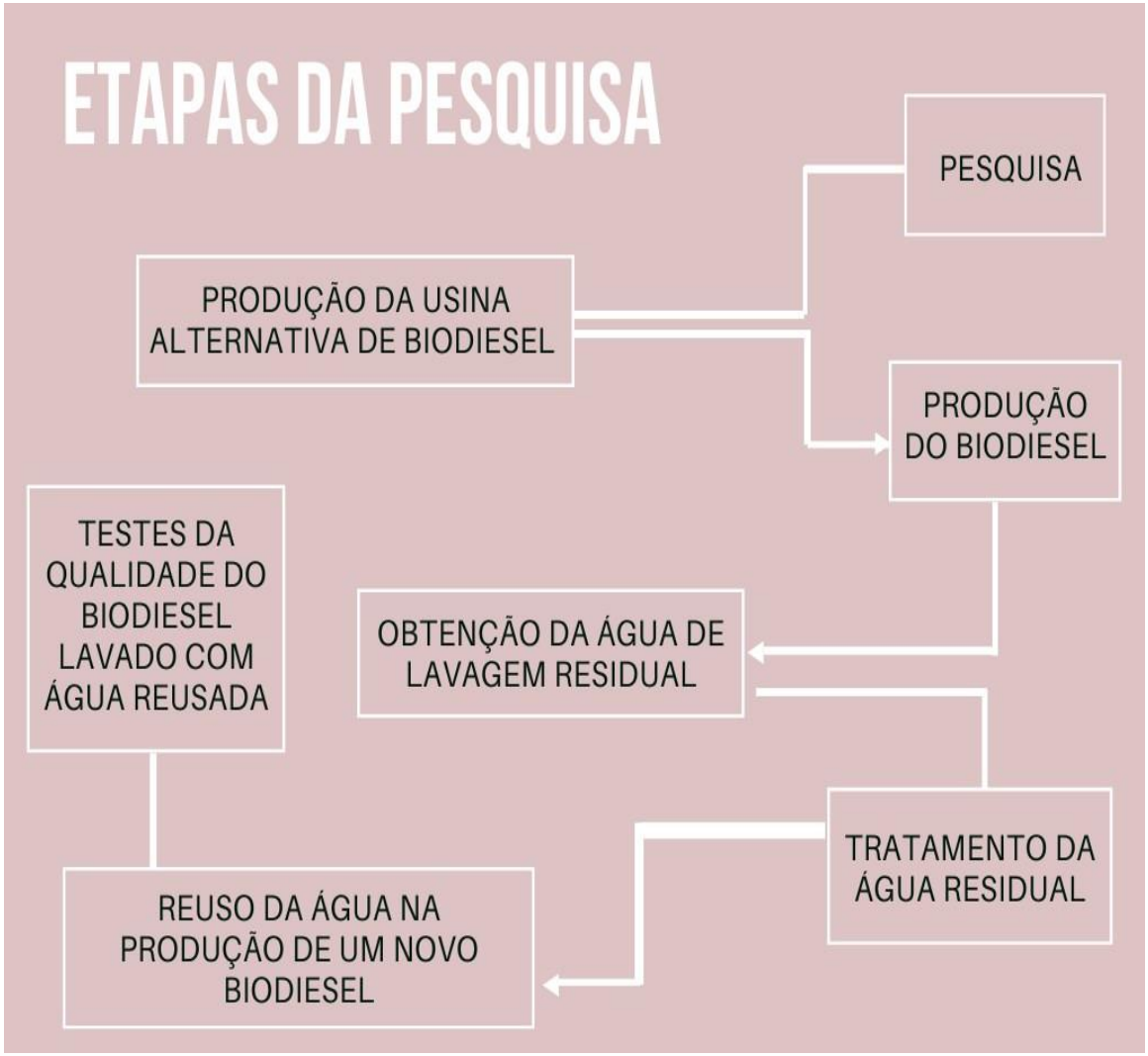
Figura 14 - Representação gráfica da planta de biodiesel



Fonte: A autora (2020)

APÊNDICE B – ETAPAS DA PESQUISA

Figura 15 - Fluxograma etapas da pesquisa

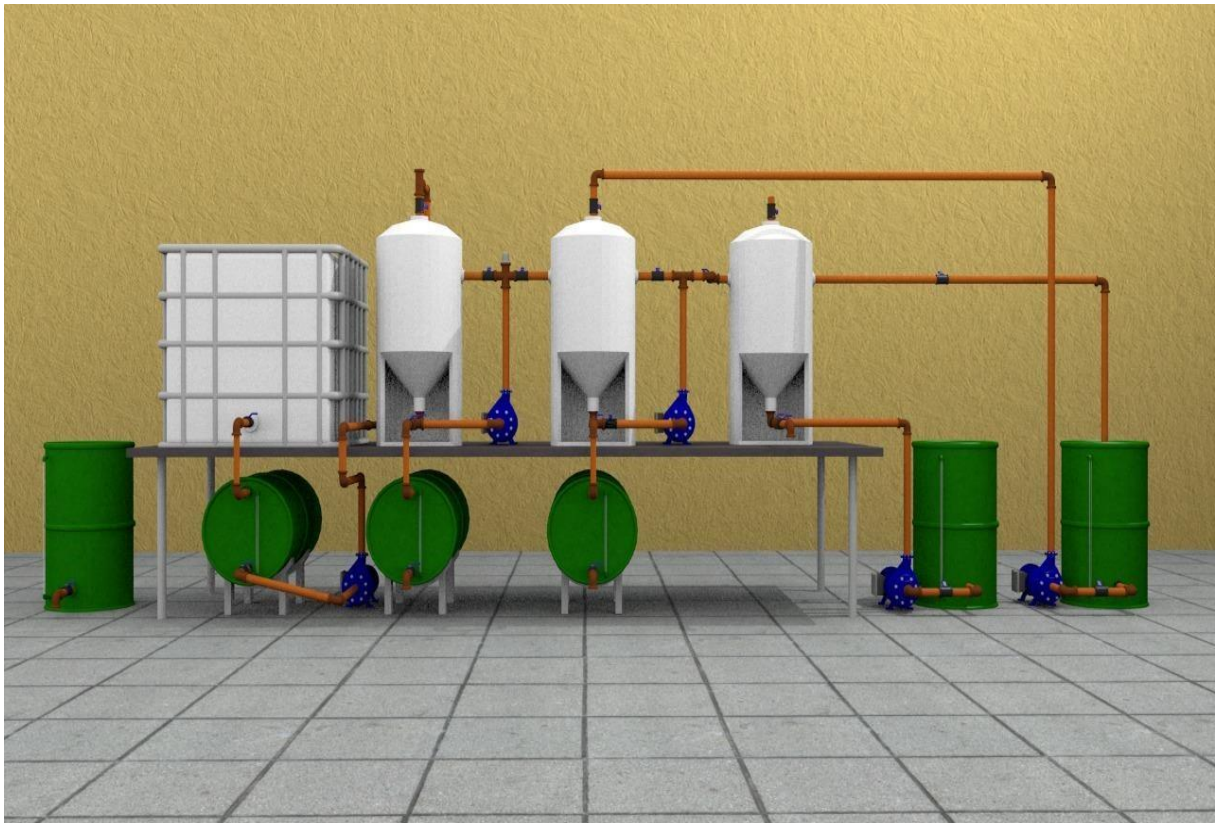


Fonte: A autora (2020)

ANEXO A – PLANTA ALTERNATIVA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Planta alternativa de produção de biodiesel com sistema de tratamento de água acoplado para tratamento e reuso da água no sistema, visando economia, sustentabilidade e viabilidade ao processo.

Figura 16 - Sugestão para adicionar um sistema de tratamento da água residual a usina de biodiesel, uma alternativa de baixo custo



Fonte: A autora (2020)

ANEXO B – ATIVIDADES DE EXTENSÃO REALIZADAS DURANTE A PESQUISA

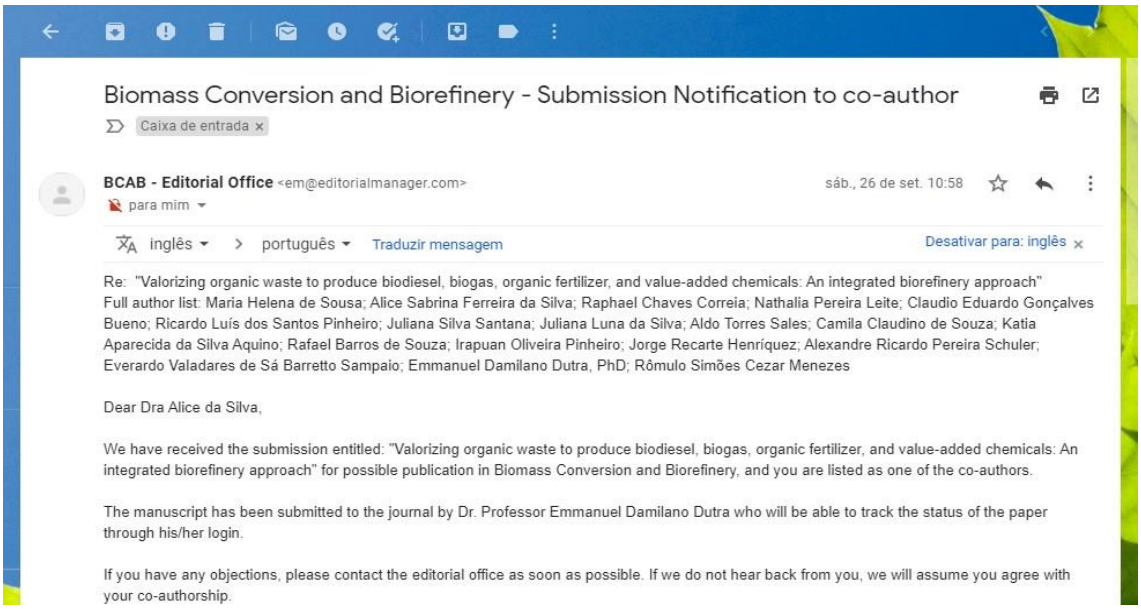
Atividades de extensão realizadas durante a pesquisa: Minicursos, palestras e visitas técnicas.

ANEXO C – REPORTAGENS E ENTREVISTAS

Nossa pesquisa foi destaque em vários canais de comunicação como: Diário de Pernambuco, TV Universitária, Rede Globo, Site portal saneamento básico, webresol, @cnpqoficial, Ascom UFPE, Believe.Earth e outros.

ANEXO D – PRODUTOS DA TESE & TITULOS

Patente depositada referente ao tratamento da água residual com floculante natural (INPI: BR 10 2020 021169 2);



Biomass Conversion and Biorefinery - Submission Notification to co-author

Caixa de entrada ×

BCAB - Editorial Office <em@editorialmanager.com> sáb., 26 de set. 10:58

para mim

inglês › português Traduzir mensagem Desativar para: inglês ×

Re: "Valorizing organic waste to produce biodiesel, biogas, organic fertilizer, and value-added chemicals: An integrated biorefinery approach"
Full author list: Maria Helena de Sousa; Alice Sabrina Ferreira da Silva; Raphael Chaves Correia; Nathalia Pereira Leite; Claudio Eduardo Gonçalves Bueno; Ricardo Luís dos Santos Pinheiro; Juliana Silva Santana; Juliana Luna da Silva; Aldo Torres Sales; Camila Claudino de Souza; Katia Aparecida da Silva Aquino; Rafael Barros de Souza; Irapuan Oliveira Pinheiro; Jorge Recarte Henríquez; Alexandre Ricardo Pereira Schuler; Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio; Emmanuel Damilano Dutra, PhD; Rômulo Simões Cezar Menezes

Dear Dra Alice da Silva,

We have received the submission entitled: "Valorizing organic waste to produce biodiesel, biogas, organic fertilizer, and value-added chemicals: An integrated biorefinery approach" for possible publication in Biomass Conversion and Biorefinery, and you are listed as one of the co-authors.

The manuscript has been submitted to the journal by Dr. Professor Emmanuel Damilano Dutra who will be able to track the status of the paper through his/her login.

If you have any objections, please contact the editorial office as soon as possible. If we do not hear back from you, we will assume you agree with your co-authorship.

-

Artigo referente a água residual proveniente do processo de purificação de biodiesel; - Artigo de educação referente a produção de metodologias alternativas para aulas experimentais de química na educação básica, com o foco em metodologias para produção de bioetanol, biodiesel e biogás;

- Dois capítulos de livros publicados

TÍTULOS:

Avaliação e implantação da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos (BERSO) no Campus RECIFE da UFPE. Livro: Resíduos sólidos: impactos ambientais e inovações tecnológicas;

Desenvolvimento de manual interativo da usina-piloto de biodiesel da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos- BERSO Livro: Gestão Ambiental Diálogos em Sustentabilidade;