



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências
Campus de Rosana

JOÃO LUCAS BERTI GOMES

**Extração e caracterização do óleo da semente de abóbora para produção de biodiesel
utilizando catalisador de baixo custo derivado de ossos de frango**

Rosana - SP
2023

João Lucas Berti Gomes

**Extração e caracterização do óleo da semente de abóbora para produção de biodiesel
utilizando catalisador de baixo custo derivado de ossos de frango**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria de Curso de Engenharia de
Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências
- Câmpus de Rosana, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Andréia Fátima
Zanette

Rosana - SP
2023

G633e Gomes, João Lucas Berti

Extração e caracterização do óleo da semente de abóbora para produção de biodiesel utilizando catalisador de baixo custo derivado de ossos de frango / João Lucas Berti Gomes. -- Rosana, 2023

53 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana

Orientadora: Andréia Fátima Zanette

1. Biodiesel. 2. Semente de abóbora. 3. Óleo de abóbora. 4. Catalisador de baixo custo. 5. Ossos de galinha. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências
Campus de Rosana

JOÃO LUCAS BERTI GOMES

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Andréia Fátima Zanette
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
UNESP-Rosana

Profa. Dra. Maria Claudia Costa de Oliveira Botan
UNESP-Rosana

Novembro, 2023

Dedico este trabalho de modo especial para todos aqueles que me apoiaram e me fizeram ser quem sou hoje, principalmente minha família, que sempre esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Falando primeiramente de quando entrei na faculdade, iniciei um novo ciclo e, de tal forma, deixei um pedaço de mim para trás junto com meus entes queridos, os quais passaram a me apoiar à distância, mas sempre com o mesmo entusiasmo em me ver amadurecer. Ocasionalmente, sentia medo do novo e em estar longe do que foi minha realidade por 18 anos, contudo, a experiência proporcionada pelo curso trouxe-me inúmeros conhecimentos que devo aplicar para a vida. Imaginei tanto, vivi muito, conheci pessoas inesquecíveis, vi a Engenharia ser diferente do idealizado, porém, me apaixonei ainda mais pela realidade.

Quero agradecer a Deus, por me dar forças, estar sempre ao meu lado, cuidando de mim e me protegendo em todas as ocasiões. Sem Ele eu não seria nada.

Agradeço aos meus amados pais, Marco Aurelio e Aurea Aparecida, por todas as palavras de sabedoria, conforto, encorajamento, e por estarem presentes em todos os momentos da minha vida, fazendo-me ser este homem integro, amoroso e respeitoso que sou hoje. A minha amada irmã, Maria Clara, por todas as noites que passamos debatendo sobre incontáveis assuntos, os quais complementaram na educação de nossos pais, melhorando o homem que sou. Ao meu amado irmão, Pedro Otávio, por todas as noites que passamos jogando, assistindo vídeos que faziam a gente não parar de rir um único segundo, como séries e inúmeros animes. A minha amada namorada, Maria Clara, por me ensinar inúmeras coisas sobre os mais diversificados assuntos, por toda amizade, amor, paciência e por ser aquela que ouve meu primeiro bom-dia e a última que ouve meu boa-noite. Sei que todos vocês sempre serão aqueles que vou poder me apoiar, confiar e chorar em seus ombros se preciso for. Vocês são meus melhores amigos e minhas almas gêmeas. Sem vocês, nenhuma palavra deste trabalho poderia ter sido escrita.

À minha orientadora Profa. Dra. Andréia Fátima Zanette por aceitar a missão de me orientar, os ensinamentos, risadas e puxões de orelha, graças a ela estou aqui apresentando este trabalho hoje. E agradeço também a Nanci Keiko e ao Carlos Toshiyuki por toda orientação.

Aos docentes do curso de Engenharia de Energia, por todos os ensinamentos que contribuíram para que eu me tornasse quem sou e para que eu me tornasse um bom engenheiro de energia.

As amizades que cultivei em Primavera e que levarei para a vida toda, como João Victor Toni, Leandro Galvani, André Rodrigues, Pablo André, Maycon Tcharly, Isaque Adriano, Nícolas Ramos, Ryan Gonçalves, Vinny Rafael, Kevin Azevedo, Pedro Da Mota, Arthur Zinza, Arthur Batista e Julio Henrique por terem ficado ao meu lado em todos os momentos, dos melhores aos piores momentos na faculdade e na vida.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

O mundo possui uma dependência muito grande do petróleo, onde todos os seus modais de transporte, como a parte aérea, fluvial, ferroviária e rodoviária funcionam com base no óleo diesel. Além do petróleo ser um combustível fóssil não renovável, um de seus maiores problemas são os altos riscos para o meio ambiente desde seu processo de extração, transporte, refino, até seu consumo, gerando gases que poluem a atmosfera, prejudicando a qualidade do ar devido ao dióxido de carbono gerado. Sabendo disso, esse trabalho propõe a produção de biodiesel a partir do óleo da semente de abóbora utilizando catalisador de baixo custo como um possível substituto ao diesel fóssil. O biodiesel a ser produzido neste estudo foi obtido a partir do óleo da semente de abóbora (*cucurbita máxima L*), uma planta nativa das américas e atualmente é cultivada em grande escala no Brasil, onde em um hectare chegue por volta de 20 toneladas, e pode-se plantar em outras regiões tropicais também. Além disso, possui um teor de óleo em torno de 31,80%, considerado alto para uso como matéria-prima para produção de biodiesel. O objetivo deste trabalho foi a extração do óleo de abóbora, caracterização físico-química deste óleo e produção de biodiesel com catalisador de baixo custo produzido a partir da calcinação de ossos de galinha. O óleo de abóbora foi extraído por meio de soxhlet com uso de hexano como solvente e caracterizado quanto à acidez, densidade e viscosidade. A extração obteve um rendimento de 47,191% e densidade média de 0,91625 kg/m³, viscosidade média de 173,564 cSt, teor de acidez médio de 3,159 KOH/g e índice de refração de 1,4715 com 72,5% de refração. O biodiesel foi produzido por meio da reação de transesterificação em um reator de ultrassom. Através deste trabalho, foi obtido uma nova rota tecnológica para produção de biodiesel, tornando-o financeiramente mais competitivo e com uso de recursos renováveis, afim de tornar o processo cada vez viável ambientalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel. Óleo de abóbora. Catalisador de baixo custo. Ossos de galinha. Reator de ultrassom.

ABSTRACT

The world heavily depends on petroleum, where all its modes of transportation, such as aviation, water, rail, and road, operate based on diesel oil. Besides being a non-renewable fossil fuel, one of its major problems is the significant environmental risks associated with its extraction, transportation, refining, and consumption, leading to the generation of gases that pollute the atmosphere and adversely affect air quality due to the carbon dioxide emissions. Recognizing this, this study proposes the production of biodiesel from pumpkin seed oil using a low-cost catalyst as a potential substitute for fossil diesel. The biodiesel to be produced in this study was obtained from pumpkin seed oil (*Cucurbita maxima L*), a plant native to the Americas and currently cultivated on a large scale in Brazil, where approximately 20 tons can be harvested from one hectare, and it can also be grown in other tropical regions. Additionally, it has an oil content of around 31.80%, considered high for use as a raw material for biodiesel production. The pumpkin oil was extracted using a Soxhlet apparatus with hexane as a solvent and characterized in terms of acidity, density, and viscosity. The study was conducted using a low-cost heterogeneous catalyst obtained through the calcination of chicken bones, resulting in an average density of 47.191%. Characterizations of this oil yielded an average density of 0.91625 kg/m³, an average viscosity of 173.564 cSt, an average acidity level of 3.159 KOH/g, and a refractive index of 1.4715 with 72.5% reflectance. Biodiesel was produced through the transesterification reaction in an ultrasonic reactor. This work has established a new technological pathway for biodiesel production, making it more financially competitive and utilizing renewable resources to enhance its environmental viability.

KEYWORDS: Biodiesel. Pumpkin oil. Low-cost catalyst. Chicken bones. Ultrasonic reactor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Reação total de transesterificação.....	18
Figura 2 - Reações que ocorrem no craqueamento de triglicerídeos.....	18
Figura 3 - Moinho analítico utilizado para triturar as sementes de abóbora	29
Figura 4 - Agitador de peneiras para determinação da granulometria.....	29
Figura 5 - Corneta com cartucho e as sementes de abóbora.....	30
Figura 6 - Extração via Soxhlet	30
Figura 7 - Viscosímetro de Oswald Cannon Fenske.....	32
Figura 8 - Demonstração das marcas superior e inferior em um viscosímetro de Cannon Fenske	33
Figura 9 – Aparato utilizado para determinação do índice de acidez.	34
Figura 10 – Refratômetro ABBE AR 1000 S	35
Figura 11 – Ultrassom utilizado para produção do biodiesel	36
Figura 12 – Utilização de um filtro a vácuo para separação do catalisador	37
Figura 13 – Centrífuga para separação da glicerina com o biodiesel.....	37
Figura 14 – Ossos de galinha triturado dentro dos cadinhos.....	43
Figura 15 – Cadinhos com os ossos de galinha dentro da mufla e calcinação completa dos ossos	44
Figura 16 - Mistura de biodiesel, glicerina e catalisador (5% e 10%) obtida após 6h de reação	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção continental e mundial de abóboras em 2018.....	21
Tabela 2 – Maiores produtores mundiais de abóbora em 2018	21
Tabela 3 - Especificação dos reagentes utilizados	27
Tabela 4 – Especificação dos equipamentos utilizados	28
Tabela 5 – Massa de semente inserida em cada amostra	38
Tabela 6 - Massas obtidas após toda evaporação do solvente	38
Tabela 7 - Rendimento obtido da extração da semente de abóbora.....	39
Tabela 8 – Valores da pesagem do óleo de abóbora e da água destilada em picnômetro	39
Tabela 9 – Valores experimentais obtidas da densidade do óleo de abóbora	40
Tabela 10 – Valores experimentais obtidos da viscosidade do óleo de abóbora	40
Tabela 11 – Dados experimentais para obtenção da acidez do óleo de abóbora	41
Tabela 12 – Valores do índice de acidez através do óleo obtido	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. BIODIESEL.....	17
3.2. BIODIESEL NO BRASIL	19
3.3. ÓLEO DA SEMENTE DE ABÓBORA	20
3.4. TIPOS DE CATALISADORES	23
3.5. CATALISADOR HETEROGÊNEO A PARTIR DOS OSSOS DE GALINHAS	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1. ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL.....	27
4.2. MÉTODOS	28
4.2.1. Extração do óleo da semente de abóbora	28
4.2.2. Caracterização do óleo de abóbora.....	31
4.2.3. Obtenção do catalisador.....	35
4.2.4. Produção do biodiesel.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1. RESULTADOS OBTIDOS NA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE ABÓBORA	38
5.2. RESULTADOS OBTIDOS DA CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE ABÓBORA	39
5.2.1. Resultados da densidade do óleo de abóbora.....	39
5.2.2. Resultado da determinação da viscosidade	40
5.2.3. Resultado do teor de acidez do óleo da semente de abóbora	41
5.2.4. Índice de refração	42
5.3. PRODUÇÃO DO BIODIESEL	42
5.3.1. Resultado experimental da calcinação dos ossos de galinha	42

5.3.2. Obtenção do biodiesel.....	44
6. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os biocombustíveis possuem uma grande importância pois podem ser utilizados para a complementação dos combustíveis fósseis ou até substituí-los. Eles auxiliam na redução de uma forma significativa da emissão de gases poluentes aos quais agravam o efeito estufa e, mesmo que a queima de biocombustíveis libere dióxido de carbono (CO_2), ele é considerado neutro em carbono, pois ao serem emitidos na combustão, são consumidos pelas plantas (DUARTE et al., 2022).

O biodiesel, ou também conhecido como mono-álquil ésteres, é formado por ésteres de ácidos graxos, e é um substituto natural para o diesel, combustível utilizado nos caminhões ou carros que possuem motores diesel. O biodiesel pode ser obtido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais (BIODIESEL, 2023; EBRAPA, 2009; RAMOS et al., 2003).

O biodiesel é composto por ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos a partir da reação de transesterificação de triglicerídeos, sendo que esta reação consiste na reação dos triglicerídeos presentes tanto nos óleos vegetais quanto nas gorduras animais que reage com álcool na presença de um catalisador (DUARTE et al., 2022). Alguns exemplos muito utilizados de matéria-prima para produção do biodiesel são o milho, soja, algodão entre outras matérias-primas oleaginosas. É necessário que, para ser considerado uma fonte real de energia renovável, esse produto seja fabricado em escala comercial (JESUS, 2018).

O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer tipo de óleo vegetal, todavia nem todo óleo vegetal deve ser utilizado como matéria-prima para a produção de biodiesel. Isso ocorre, pois, alguns óleos vegetais exibem propriedades não ideais, como por exemplo alta viscosidade ou um alto número de iodo, aos quais são transferidos para o biocombustível, tornando-o inadequado para um uso direto em motores do ciclo diesel (EBRAPA, 2009; RAMOS et al., 2003).

Existem várias maneiras de se obter o biodiesel, sendo como principais a hidroesterificação, craqueamento e, a mais utilizada, as reações de transesterificação. Cada processo possui especificidades como o uso ou não de catalisadores, variações na temperatura e tempo de reação, entre outras (KUMAR et al., 2020; DUARTE et al., 2022; MIGUEL; MILAD, 2022).

Existem diversos tipos de catalisadores, como os catalisadores homogêneos básicos, homogêneos ácidos, heterogêneos químicos, heterogêneos enzimáticos e um processo alternativo – não catalítico. A função de um catalisador é acelerar a reação denominada transesterificação, gerando o biodiesel e a glicerina. A glicerina, subproduto da reação, é muito

utilizada na produção de xaropes, sabonetes e ração animal, porém após o fim desse processo, ela fica contaminada com o processo, inviabilizando seu uso direto (KUMAR et al., 2020; DUARTE et al., 2022; MIGUEL; MILAD, 2022).

Os dois reatores mais utilizados para conduzir as reações de transesterificação são o de fluxo e o de batelada, sendo sua diferença nos parâmetros de entrada e saída no processo (KUMAR et al., 2020; DUARTE et al., 2022; MIGUEL; MILAD, 2022).

A partir dos tipos de catalisadores utilizados na reação de transesterificação, este trabalho utiliza catalisadores heterogêneos de baixo custo derivados de ossos de galinha. O motivo para a seleção deste tipo de catalisador é devido às vantagens que eles apresentam, como por exemplo, podem ser utilizados várias vezes sem grandes perdas em sua atividade catalítica, fazendo de seu processo muito mais econômico. Outro motivo que se torna viável a utilização de ossos de galinha é a grande disponibilidade deste tipo de material. Ao abater um animal são gerados 18% de peso de resíduos de ossos em seu peso vivo total. Conforme dados do terceiro semestre de 2019 foram abatidos 1,47 bilhão de frangos no Brasil, o que vale a 3,45 milhões de toneladas, e isso equivale a aproximadamente 621 mil toneladas de ossos de galinhas e um único trimestre. Se formos colocar no ano, daria por volta de 2,484 milhões de toneladas de ossos de galinhas (HUSSAIN et al., 2021; RAMLI; NAEEM, 2015; VEGAZETA, 2019).

2. OBJETIVO

Esse Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo a extração e caracterização do óleo de abóbora para obtenção de biodiesel com uso de um catalisador heterogêneo de baixo custo derivado de ossos de galinha. Para este devido fim, as seguintes etapas foram desenvolvidas:

- i. Obtenção da semente de abóbora e extração do óleo por meio do solvente orgânico hexano.
- ii. Caracterização do óleo de abóbora quanto à densidade, viscosidade, índice de refração e índice de acidez.
- iii. Produção e caracterização do catalisador derivado de ossos de galinha.
- iv. Produção de biodiesel em um reator ultrassônico.
- v. Purificação do biodiesel.
- vi. Análise dos resultados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos tópicos a seguir será apresentada uma breve revisão com dados obtidos na literatura a respeito do biodiesel, suas vantagens e características gerais, bem como dos processos e matérias-primas envolvidos para sua produção.

3.1. BIODIESEL

Ao analisar as matérias-primas mais utilizadas para geração do biodiesel, é necessário olhar a porcentagem de óleo que pode ser extraído, entretanto este não é o único ponto. A qualidade e as características físico-químicas dos óleos utilizados são fundamentais para produzir um biodiesel de qualidade, que possa ser utilizado como mistura no diesel comercial. Em relação ao teor de óleo presente nas oleaginosas utilizadas para produzir biodiesel, podemos citar o girassol como exemplo, que possui de 40 a 50% de óleo. Já a macaúba, que contém uma amêndoa e uma poupa, em ambas pode-se extrair o óleo, porém quando se retira o óleo de sua amêndoa, mesmo retirando 50% de óleo, ele é de grande valor na produção de alimentos e cosméticos por causa de seu alto teor de ácidos graxos saturados de cadeia carbônica curta, enquanto na polpa da macaúba que se pode chegar em 70% de óleo, sendo composto por 80% de ácidos graxos insaturados e 20% de ácidos graxos saturados, sendo assim ótimo para uso como biodiesel (REVISTA CULTIVAR, 2015; SYGENTA DIGITAL, 2021; UBRABIO, 2019).

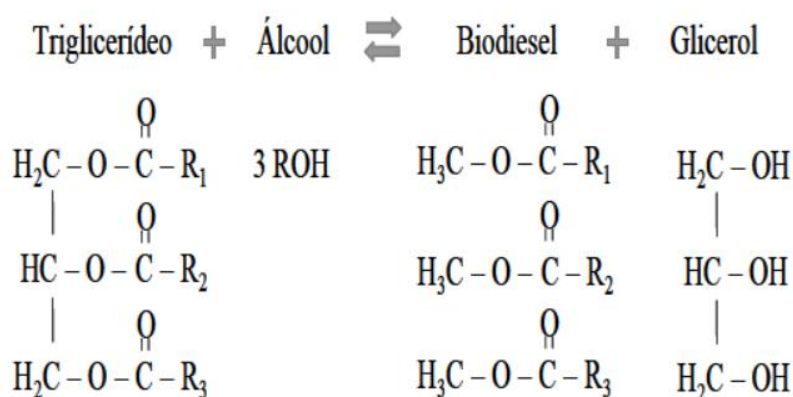
Porém existe também vegetais com baixo teor de óleo como o algodão que 40% da planta é fibra e 60% são formados pelo caroço, onde ao se tirar o óleo do caroço, se consegue entre 16 e 26%, além de ser um óleo mais impuro, necessitando de um pré-tratamento específico. Entretanto, mesmo com esses problemas não sendo solucionado por completo, o algodão é uma matéria-prima importante para produção de biodiesel, principalmente na entressafra da soja (BIODIESELBR, 2014; GOV, 2004; UBRABIO, 2019).

Também pode ser utilizado óleo alimentar já utilizado em frituras para produção de biodiesel, porém o pré-tratamento necessário pode elevar o seu custo de produção. Gorduras animais como sebo bovino também são largamente utilizadas para produção de biodiesel (MIGUEL; MILAD, 2022; UBRABIO, 2023).

O biodiesel pode ser obtido por meio de diversos processos como a hidroesterificação, craqueamento, reações de transesterificação, entre outras formas (KUMAR et al., 2020). A reação de transesterificação é o processo mais utilizado nas indústrias, pois ocorre em temperaturas menores, de modo simples e barato. A transesterificação em meio alcalino

homogêneo é a técnica mais aplicada na indústria para produção do biodiesel e consiste na reação de três moléculas de um álcool de cadeia curta, geralmente o metanol ou etanol, com uma molécula de triacilglicerol, diante de um catalisador, gerando assim três moléculas de ésteres e uma molécula de glicerol. A Figura 1 demonstra a representação geral da reação de transesterificação (KUMAR et al., 2020; DUARTE et al., 2022; MIGUEL; MILAD, 2022).

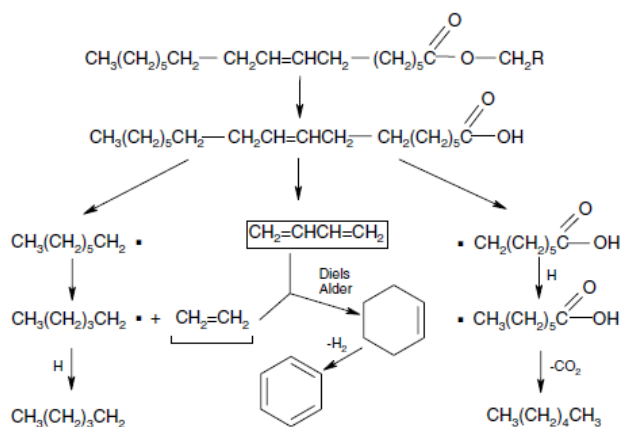
Figura 1 - Reação total de transesterificação



Fonte: (TAPANES et al., 2013).

O craqueamento consiste na ruptura das moléculas do óleo vegetal ou gordura, gerando assim os ésteres. Este processo ocorre em temperaturas acima de 350°C, podendo utilizar ou não catalisador, sendo assim um processo térmico ou catalítico. Devido ao fato de ocorrer a formação de diversos subprodutos, o craqueamento não tem sido utilizado como forma de se obter biodiesel comercialmente. A Figura 2 demonstra como ocorre o craqueamento de triglicerídeos (KUMAR et al., 2020; DUARTE et al., 2022).

Figura 2 - Reações que ocorrem no craqueamento de triglicerídeos



Fonte: (TAPANES et al., 2013).

A hidroesterificação é um processo que envolve uma etapa de hidrólise seguida de esterificação, sendo que a hidrólise consiste numa reação química entre a gordura ou óleo com a água, obtendo assim a glicerina e ácidos graxos. Em seguida, os ácidos graxos que foram gerados são então esterificados com metanol ou etanol, gerando assim o metil éster com elevada pureza, e isso ocorre porque o próprio álcool acaba neutralizando a acidez presente (KUMAR et al., 2020; DUARTE et al., 2022).

A hidroesterificação permite a utilização de qualquer matéria-prima graxa, como óleo vegetal, gordura animal, borras ácidas de refino de óleos vegetais, óleo de fritura usado, entre outros. Essas matérias-primas são transformadas totalmente em biodiesel, não importando a acidez e a umidade que possuem. (KUMAR et al., 2020; DUARTE et al., 2022).

3.2. BIODIESEL NO BRASIL

O biocombustível começou a ter uma grande importância no Brasil a partir do ano de 1975, quando começou o Programa Nacional de Álcool, o Proálcool, o qual consistiu em desenvolver a utilização do etanol como combustível. O Proálcool foi criado pelo decreto nº76.593, com uma iniciativa conjunta do governo, fabricantes de automóveis e acadêmicos, obtendo como resultado no que mais tarde viria a se tornar o maior programa dedicado ao incentivo de biocombustíveis renováveis do mundo. Porém, a partir do ano de 1986, ocorreu a “fase de estagnação” do Proálcool, ocorrendo um retrocesso, voltando a utilizar a gasolina como o principal combustível (STOLF; OLIVEIRA, 2020).

Em 1998, o projeto de Lei nº4.586 impulsionou os biocombustíveis tornando obrigatória a adição de álcool etílico anidro carburante à gasolina, em percentual volumétrico mínimo de 22% e máximo de 26% (BRASIL, 1998), a qual se tornou a Lei Ordinária nº 4.586, de 28 de maio de 2008, estabelece normas sobre a adição de álcool etílico anidro carburante à gasolina (BRASIL, 2008).

Em 2004 teve a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). O PNPB implementou o biodiesel na matriz energética brasileira com foco nos aspectos sociais, mercadológicos e ambientais (UBRABIO, 2019).

No começo do ano de 2005 foi transformada a Medida Provisória 214/2004, na lei nº 11.097, de 2005, gerando o 1º marco regulamentário do biodiesel no Brasil. Em 2005 ainda houve o decreto nº 5.448, que estabeleceu a obrigatoriedade do uso de 2% de biodiesel misturado ao diesel (mistura B2) (UBRABIO, 2019).

A partir de 2008, esta mistura B2 começou a ser obrigatória em todo o Brasil. Em 2010

houve um aumento de 2% para 5%, tornando o B5 a ser obrigatório como determinado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) que elevou o seu percentual (BRASIL, 2005; UBRABIO, 2019).

Em 2014 a mistura B5 passou para 6%, virando o B6 e logo após alcançou os 7% (B7) (UBRABIO, 2019). Em novembro de 2015, a Comissão Especial do Desenvolvimento Nacional do Senado aprovou o PLS 613/2015. Esse projeto propunha um aumento gradual na mistura obrigatória de combustível renovável no óleo diesel, chegando a 10% em até três anos. Após a aprovação unânime pelos senadores, o projeto seguiu para a Câmara dos Deputados, onde tramitou em regime de urgência e também obteve apoio unânime dos deputados, resultando em sua sanção em março de 2016, tornando-se a Lei nº 13.263/2016 (UBRABIO, 2019).

A partir desse momento, foram estabelecidos prazos máximos para as misturas obrigatórias de B8, B9 e B10. Além disso, o novo marco regulatório permitiu que o país pudesse chegar a B15, com a simples decisão do CNPE (UBRABIO, 2019).

Em março de 2017, o B8 passou a ser usado em todo o território nacional, e em março de 2018, o B10 tornou-se obrigatório (UBRABIO, 2019). Ainda em 2018, o CNPE estabeleceu um cronograma que previa o aumento da mistura obrigatória de biodiesel em 1 ponto percentual a cada ano conforme estabelecido na Resolução nº 16/2018. Com base nesse novo cronograma, o Brasil começou a usar a mistura B11 em 2019 e alcançou o B12 em 1 de abril de 2023 (UBRABIO, 2019; GOV, 2023).

3.3. ÓLEO DA SEMENTE DE ABÓBORA

As abóboras são cultivadas em todo o mundo e conseguem crescer em inúmeros climas diferentes, como tropicais, subtropicais, áridos e temperados. No âmbito nacional, segundo o IBGE de 2017, no Brasil houve um valor de produção de 366,010 milhões de reais, com uma quantidade produzida de 417.839 toneladas, uma área colhida de 78.671 hectares e tendo como maior produtor, Minas gerais (VALE et al., 2019; IBGE, 2017).

No âmbito mundial, a produção de abóboras e morangas foi estimada em torno de 27,67 milhões de toneladas em uma área de aproximadamente 2,04 milhões de hectares em 2018, onde cerca de 3,32% da massa da abóbora correspondem a massa das sementes (AMARO et al., 2021; VALE et al., 2019).

Conforme observado na Tabela 1 é possível analisar que no âmbito continental, os continentes que estão no topo de produção de abóbora são a Ásia, Europa, as Américas como um

todo, África e Oceania (AMARO et al., 2021).

Tabela 1 – Produção continental e mundial de abóboras em 2018

Continente	Produção (toneladas)
Ásia	12.744.576
Europa	3.279.888
Américas	2.425.549
África	2.000.350
Oceania	270.188
Mundial	27.655.330

Fonte: (FAOSTAT, 2020)

Na Tabela 2 pode-se ver os países que estão no topo na produção de abóbora (AMARO et al., 2021).

Tabela 2 – Maiores produtores mundiais de abóbora em 2018

Países	Produção (toneladas)
China	5.492.389
Índia	4.179.570
Rússia	959.276
Ucrânia	867.428
Estados Unidos da América	776.671
Egito	589.791
México	534.382
Malawi	527.418
Itália	490.565
Espanha	405.473

Fonte: (FAOSTAT, 2020)

A abóbora é utilizada para inúmeros fins, como nutricionais, medicinais, ração animal, suplementação de sopas e doces especialmente produzidos para recém-nascidos e entre outras inúmeras finalidades. Na área nutricional, ela vem sendo utilizada na alimentação de forma direta e indireta por conta de serem ricas em vitaminas A, vitaminas do complexo B, potássio, fósforo, cálcio, silício, sódio e magnésio, e ainda conterem poucas calorias. Na área medicinal é utilizada

por possuírem inúmeros benefícios à saúde, sendo estes efeitos anticarcinogênico, baixo teor de lipídeos e baixo índice glicêmico (CERQUEIRA et al., 2008; VALE et al., 2019).

A semente, quando utilizada para extração do óleo para posterior geração de biodiesel, deve-se observar alguns parâmetros: possuir um teor de óleo ao redor de 47 à 49%, contendo de 41,80 a 54,90% de lipídeos, compõe-se também de 65,40 a 79% de ácidos graxos insaturados, onde deve-se saber que depende de vários fatores, como variedade, área em que as plantas são cultivadas, clima, estado de maturação, com destaque do ácido linoleico, abrangendo de 35,60 a 60,80% e compondo-se também com alto teor de ácido oleico (29%), onde deve-se salientar que ter um alto teor de ácido oleico e linoleico é benéfico para a produção de biodiesel. Isso ocorre porque o ácido oleico (também conhecido como ácido graxo monoinsaturado ômega-9) e o ácido linoleico (um ácido graxo poli-insaturado ômega-6) são componentes desejáveis na composição do óleo a ser convertido em biodiesel (AHTESHAM; HEBBAL, 2020; CORRÊA et al., 2014; DOS SANTOS et al., 2016).

São diversas as formas de se obter o óleo da semente da abóbora. Um dos métodos pode ser através do método de Blight Dyer que consiste em secar as sementes a 30°C por 48h e após isto foram trituradas. Para cada grama da amostra que foi triturada, foi adicionado 20ml de uma mistura de clorofórmico:metanol (2:1) em um erlenmeyer (CORRÊA et al., 2014). A amostra foi submetida a uma agitação contínua por 30 minutos em um agitador. Como pode-se utilizar também uma extração por Prensagem a Frio (CPE). A extração por prensagem a frio é conduzida em uma prensa automática de parafuso (modelo AB-GK-200484) em temperaturas baixas. Inicialmente, a máquina operou sob uma pressão de 10 MPa, e a cabeça do parafuso foi pré-aquecida na faixa de temperatura de 60 a 70 °C antes de iniciar o processo de extração. Um anel de aquecimento é conectado a um controlador automático de temperatura, o qual estava ligado à cabeça da prensa de parafuso ou prensa a frio. Após o anel de aquecimento atingir a temperatura desejada, o aquecedor é desligado, e as sementes são submetidas à prensagem a uma taxa de alimentação de 5 kg/h, com um subsequente aumento na pressão de alimentação para 65 MPa. Após o processo de extração, as impurezas são removidas do óleo extraído por meio de centrifugação a $1960 \times g$ por 10 minutos, seguida de filtração, e o óleo resultante foi armazenado em frascos de vidro verde escuro a -18 °C para uso posterior (ÖZTÜRK; HAZAR; ARI, 2019; SINGH; KUMAR, 2023).

Para a extração do óleo, pode-se utilizar à filtração das amostras utilizando papel filtro qualitativo com uma espessura de 80 g/m², uma gramatura de 205 µm e poros com um diâmetro de 14 µm, empregando um funil de separação, ao qual foi adicionada uma quantidade igual de água ao filtrado em relação à quantidade de metanol inicialmente utilizada. A fase inferior

resultante foi coletada e posteriormente evaporada utilizando um rota-evaporador a uma temperatura de 45 °C (CORRÊA et al., 2014). Outro método muito utilizado é o método de extração Soxhlet (SE). Aqui as sementes de abóbora são reduzidas a pó, com partículas de 1 mm, e a extração Soxhlet foi conduzida utilizando cinco solventes distintos: acetona, etanol, éter isopropílico, n-hexano e éter de petróleo (com faixa de ebulição de 40-60 °C) por um período de 6 horas, em uma unidade de extração Soxhlet. Posteriormente, o solvente foi removido por meio de um evaporador rotativo a vácuo e o rendimento de óleo foi calculado. Resultados preliminares indicaram que o n-hexano proporcionou o melhor rendimento de óleo e, portanto, foi selecionado como o solvente preferencial para a extração de óleo nos métodos SE e MSE para análises posteriores (ÖZTÜRK; HAZAR; ARI, 2019; SINGH; KUMAR, 2023).

3.4.TIPOS DE CATALISADORES

Um catalisador é necessário para acelerar a reação e diminuir sua energia de ativação. Normalmente eles atuam no mecanismo de reação, e no final do processo ele é restituído, permanecendo inalterado (NUNES, 2018). Existe diversos tipos de catalisadores, e cada um é utilizado dependendo da reação em que deseja otimizar o processo. Entre todos, os mais utilizados são citados a seguir.

Os homogêneos básicos apresentam uma maior conversão em um menor tempo de reação, porém contém dificuldade de purificação e separação dos produtos da reação (ésteres e glicerina). Este tipo de catalisador se mostram os mais eficientes com relação à catálise ácida (NUNES, 2018; KHAN ACADEMY, 2016).

Os homogêneos ácidos promovem uma reação mais lenta e necessita uma temperatura maior, e é necessário a remoção contínua da água (NUNES, 2018; KHAN ACADEMY, 2016).

Nos catalisadores homogêneos, os catalisadores estão presentes na mesma fase dos reagentes. Aqui, o catalisador é combinado com um dos reagentes para formar um intermediário. Este composto sendo intermediário, ele é instável consegue combinar com o outro reagente, formando assim o produto (NUNES, 2018).

Nos heterogêneos químicos a grande vantagem é a possibilidade de reutilização dos catalisadores e não tem problema de ocorrer reação de saponificação. Alguns de seus exemplos são as argilas, aluminas, nióbios e resinas (NUNES, 2018).

Nos catalisadores heterogêneos o catalisador e os reagentes se encontram em fases diferentes em relação a reação, ela ocorre em sua maioria na superfície do catalisador. Nele o processo de sua catálise é simples, financeiramente viável, a maioria dos sólidos é robusto em

temperaturas elevadas, possibilitando assim uma gama de operações mais viável, ele também não se mostra necessário o uso de etapas a mais para separar ele das fases, sendo facilmente separado do produto, podendo assim reutiliza-lo, tanto que por isso eles são bem empregados pelas indústrias (CARDOSO et al., 2020).

Existe também os catalisadores heterogêneos enzimáticos, onde existe uma facilidade de separação do catalisador e possibilidade de reutilização, tem uma fácil recuperação do glicerol, contém uma maior pureza dos produtos, porém necessitam de um tempo de reação menor se for comparado com a catálise básica e contém um custo das enzimas comerciais (KHAN ACADEMY, 2016).

Os processos alternativos – não catalíticos tem uma maior solubilidade entre possíveis fases heterogêneas, proporcionando maiores taxas de reação, e ele também simplifica a purificação e separação dos produtos da reação (NUNES, 2018; KHAN ACADEMY, 2016).

3.5. CATALISADOR HETEROGÊNEO A PARTIR DOS OSSOS DE GALINHAS

Os catalisadores heterogêneos como já foram vistos são muito viáveis por conta da sua facilidade na separação do produto e podendo reutilizá-lo ainda, contendo como função reduzir a energia de ativação, aumentando com isso a velocidade da reação. Ele apresenta enormes vantagens nas reações químicas, tendo uma alta eficiência nas conversões diante dos ésteres metílicos etílicos, tendo também uma estabilidade química, estrutural e térmica. A utilização dos catalisadores heterogêneos obtidos materiais que seriam descartados como casca de ovos, as espinhas dos peixes, ossos de animais, como gado, galinha, conchas marinhas, cinzas de plantas/árvores tem sido apresentado como uma vantagem (JAYAKUMAR et al., 2021; SHAN et al., 2018; SILVA; SANTINI; BRASIL, 2018).

Hoje em dia por conta do crescimento da população mundial, houve uma demanda crescente por produtos cárneos e ovos, com isso a indústria avícola transformou-se em um dos setores da área agrícola contendo taxas de crescimento bem mais rápidas por conta da sua importância para a economia nacional. Dessa forma, gerou uma preocupação no mundo inteiro em virtude de sua produção contínua com o decorrer do ano, gerando uma quantidade enorme de resíduos de aves, produzindo um potencial ameaça para o ecossistema (DAABO et al., 2022; RAMLI; NAEEM, 2015).

Ao abater um animal é gerado 18% de peso de resíduos de ossos em seu peso vivo total. Utilizando somente os dados do terceiro semestre de 2019, foram mortos 1,47 bilhão de frangos, o que vale a 3,45 milhões de toneladas, e isso equivale a aproximadamente 621 mil toneladas

de ossos de galinhas e um único trimestre, pensando anualmente, daria em torno de 2,484 milhões de toneladas de ossos de galinhas (HUSSAIN et al., 2021; RAMLI; NAEEM, 2015; VEGAZETA, 2019).

Para produzir o catalisador a partir de ossos de galinha, é necessário primeiro submeter os resíduos de ossos de galinha a um processo de lavagem, seguido por um tratamento de superaquecimento e cozimento a vapor com duração de cerca de 30 minutos. Os ossos de galinha são então processados até que se transformem em um pó de ossos de galinha. Esse pó é subsequente submetido a um processo de secagem em uma estufa a 100°C, com uma duração de uma hora. Em seguida, o pó é calcinado a 800°C por um período contínuo de três horas (SATRAIDI et al., 2019).

Foram preparados catalisadores a base de osso de galinha da seguinte forma: 4 gramas de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ são solubilizados em 100 ml de água destilada e agitados por 30 minutos. Posteriormente, 80 gramas de CaO são adicionados à solução de FeCl_3 . A mistura resultante, conhecida como $\text{Ca-Fe}_2\text{O}_3$, é impregnada a uma temperatura de 80°C por um período de 8 horas. Em seguida, essa mistura é filtrada através de papel de filtro. O catalisador filtrado é, então, submetido a uma etapa de secagem em um forno, que dura aproximadamente 1,5 horas a uma temperatura de 100°C. Os catalisadores secos são subsequentemente calcinados a uma temperatura de 600°C por três horas consecutivas (SATRAIDI et al., 2019).

Após a obtenção do catalisador, utilizou 1 mol de óleo de cozinha, onde foi colocado no reator. Para a mistura com o óleo de cozinha, fora misturado 6 mols de metanol. No processo de transesterificação utilizou 3% do catalisador e foi adicionado à mistura de óleo de cozinha usado e o metanol. Foram aquecidas a 65°C durante 3 horas as três misturas, obtendo assim que para 3% do catalisador, resultando em 22% de biodiesel. A relação molar entre metanol e óleo tem um impacto significativo no rendimento do biodiesel. De acordo com a estequiometria da reação, um mol de óleo requer três mols de álcool para produzir três mols de éster metílico e um mol de glicerol. A adição de um maior número de mols de metanol é feita para direcionar a reação em direção ao produto, uma vez que a reação é um equilíbrio químico. No entanto, os resultados mostram que o rendimento diminui após atingir a proporção de óleo e metanol de 1:8. Isso ocorre devido à capacidade do metanol de atuar como um emulsificante na mistura de reação. Um excesso de metanol pode resultar no revestimento do glicerol com metanol, formando emulsões que inibem a reação simultânea entre o catalisador e o metanol, prejudicando o processo (SATRAIDI et al., 2019).

Outro modo de obter, é através dos ossos de frango coletados, que foram inicialmente submetidos a um processo de fervura em água por aproximadamente 20 minutos e,

posteriormente, deixados secar à luz solar ao longo de vários dias. Após a secagem, os ossos previamente limpos foram submetidos a um período de secagem adicional em uma estufa a 110°C por 6 horas e, em seguida, foram cuidadosamente triturados até alcançar a consistência de um pó fino, utilizando um almofariz de ágata. O material em pó resultante foi submetido a um processo de calcinação em um forno mufla a temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C por um período de 4 horas. Os resultados evidenciam que a temperatura de calcinação exerce uma influência significativa na reação de transesterificação. Dentre os diversos catalisadores avaliados, a utilização da temperatura em 900°C demonstra uma notável atividade catalítica na produção de biodiesel, sob as condições de reação otimizadas, incluindo um tempo de reação de 4 horas. (RAMLI; NAEEM, 2015).

A etapa de calcinação do material compreende diversos procedimentos, como a remoção de água ou dióxido de carbono que estão quimicamente ligados, a modificação da textura por meio da sinterização, a geração de fases ativas, a alteração da estrutura e a estabilização das propriedades mecânicas. A calcinação é conduzida em uma ampla faixa de temperaturas, por exemplo, variando de 300 a 1000 °C, dependendo da natureza e do tipo da matéria-prima. A temperaturas mais elevadas, os carbonatos presentes no composto orgânico se decompõem em seus óxidos, liberando dióxido de carbono. E sabendo disso, para a calcinação dos ossos de galinha foram colocados à 900°C por 4h em uma mufla (HUSSAIN et al., 2021).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as especificações dos materiais e equipamentos, a descrição dos procedimentos experimentais e as metodologias utilizadas para obtenção dos dados experimentais. Os processos realizados foram: extração e caracterização do óleo de abóbora e a produção do biodiesel assistido por ultrassom.

4.1. ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL

Para a produção de biodiesel foi utilizado o óleo da semente da *abóbora cucurbita máxima*, *L.* As sementes foram adquiridas comercialmente em uma loja especializada em produtos naturais. O álcool utilizado na reação de transesterificação foi o metanol. Os demais materiais e reagentes foram adquiridos em grau analítico (P.A.) e usados sem tratamento prévio. A relação dos reagentes utilizados nos experimentos está listada na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificação dos reagentes utilizados

Reagentes	Marca/pureza
Álcool etílico absoluto	Êxodo científica, 99,8%
Hexano	Synth, 98,5%
Éter etílico	Synth, PA
Hidróxido de sódio	Synth, PA
Fenolftaleína	Synth, PA
Biftalato de potássio	Synth, PA

Fonte: Próprio autor.

Para a extração e caracterização do óleo de abóbora e produção do biodiesel foram utilizados equipamentos específicos para cada etapa desenvolvida. A relação destes equipamentos, marca e modelo estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificação dos equipamentos utilizados

Equipamentos	Marca/Modelo
Balança semi analítica	Marte AD500. Divisão 0,001g.
Balança analítica	Marte AUW220D, 220/82g Divisão 0,1/0,01mg.
Estufa de esterilização	Lucadema.
Moinho analítico	IKA. A 11.
Aagitador de peneiras	Lucadema, modelo luca-04/01.
Banho maria SL 150	SOLAB. SL-150.
Refratômetro ABBE	Megabrix. Abbe AR1000.
Forno mufla	SPLABOR. SP-1200DRP7.
Lavadora Ultrassônica	Eco-Sonics. Q3.0/40.
Bomba a vácuo	SL-61.
Centrífuga	FANEM. II 206 BL.

Fonte: Próprio autor.

4.2. MÉTODOS

Os métodos utilizados para obtenção do óleo da semente da abóbora e as caracterizações realizadas são descritos a seguir, assim como também o procedimento utilizado para produção do biodiesel.

4.2.1. Extração do óleo da semente de abóbora

As sementes cruas de abóbora foram adquiridas comercialmente em uma loja especializado em produtos naturais. Antes de iniciar as extrações, as sementes foram postas em uma estufa por 24h a uma temperatura de 50°C para remoção da umidade (CORRÊA et al., 2014). Após este período, elas foram trituradas em um moinho analítico (IKA. A 11), como demonstrado na Figura 3, para redução da granulometria e aumentar a superfície de contato das sementes com o solvente.

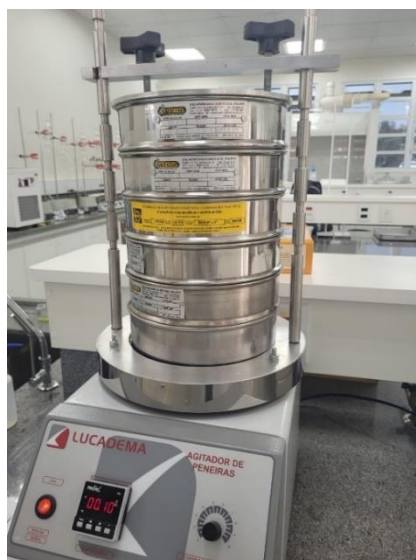
Figura 3 - Moinho analítico utilizado para triturar as sementes de abóbora



Fonte: Próprio autor.

Para padronizar o tamanho das partículas, as sementes trituradas foram separadas por meio de um agitador de peneiras (Lucadema, modelo luca-04/01) por 10 minutos. As amostras submetidas à extração possuem um tamanho de partícula de 10 TY, que equivale a 1,70mm a abertura da malha, como base para a extração (Figura 4) (SINGH; KUMAR, 2023).

Figura 4 - Agitador de peneiras para determinação da granulometria



Fonte: Próprio autor.

As sementes trituradas e separadas por sua granulometria foram acondicionadas em um cartucho de papel e pesadas para posterior extração do teor de óleo obtido (Figura 5) (SINGH; KUMAR, 2023).

Figura 5 - Corneta com cartucho e as sementes de abóbora



Fonte: Próprio autor.

O sistema soxhlet foi montado conforme observado na Figura 6. Foram adicionados no balão 350 ml de hexano, colocadas pérolas de vidro e acoplado no equipamento para realizar a extração via Soxhlet. Diferentes tempos de extração foram utilizados afim de analisar a influência no tempo no rendimento em óleo. Os tempos utilizados foram de 3h, 5h e 6h20 (SINGH; KUMAR, 2023).

Figura 6 - Extração via Soxhlet



Fonte: Próprio autor.

Após o tempo estipulado de extração, o óleo extraído que possui uma mistura de óleo e solvente, foi colocado em uma estufa até total evaporação do solvente. O óleo foi considerado livre do solvente quando não ocorreu mais variação de massa.

Para o cálculo do rendimento, a fórmula utilizada foi a representada pela Equação 1.

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Massa final}}{\text{Massa dos charutos cheios}} \quad (1)$$

A quantidade de óleo presente na matéria-prima oleaginosa é um fator importante na produção de biodiesel a partir de óleo vegetal ou animal. Neste sentido, o rendimento se refere à quantidade de biodiesel produzida em relação à quantidade de óleo utilizada na reação de transesterificação. A importância do rendimento para o óleo é tão alta pois ela tem respeito a eficiência de recursos, onde um rendimento elevado é essencial para garantir a eficiência no uso de matérias-primas, como óleo vegetal ou animal. Se o rendimento for baixo, isso significa que uma quantidade significativa de óleo é desperdiçada na produção de biodiesel. Portanto, um rendimento mais alto é desejável para aproveitar ao máximo o óleo disponível. Outro motivo é a viabilidade econômica, pois o rendimento afeta diretamente a viabilidade econômica da produção de biodiesel. Quanto maior o rendimento, menor será o custo por unidade de biodiesel produzido, tornando o processo mais rentável. Rendimentos baixos podem tornar a produção de biodiesel cara e pouco competitiva em relação a combustíveis fósseis.

4.2.2. Caracterização do óleo de abóbora

O óleo de abóbora, após a extração, foi caracterizado em relação a suas propriedades físico-químicas. As análises realizadas foram de densidade, viscosidade, índice de acidez e índice de refração. As metodologias utilizadas estão descritas nos itens a seguir.

4.2.2.1. Densidade

Para determinar a densidade do óleo foi utilizada a técnica da picnometria. Como líquido de referência foi utilizado água deionizada. Assim, inicialmente foi colocada a água deionizada no picnômetro até completar totalmente o capilar e pesado em balança analítica logo em seguida. Na sequência, foi colocado o óleo a temperatura ambiente (20°C) até completar totalmente o capilar e pesado (ÖZTÜRK; HAZAR; ARI, 2019; VERONEZI et al., 2020).

O cálculo utilizado para a determinação da densidade está apresentado na Equação 2:

$$\text{Densidade} = \frac{\text{Massa do óleo}}{\text{Massa da água destilada}} * 1000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (2)$$

4.2.2.2. Viscosidade

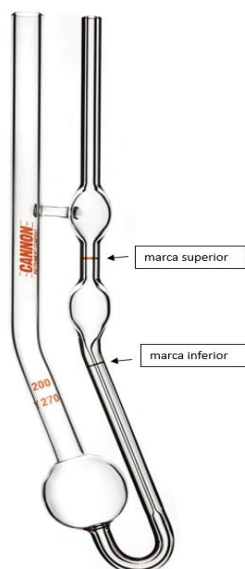
A determinação na viscosidade foi realizada através do viscosímetro de Oswald Cannon Fenske, conforme mostrado na Figura 7. Neste equipamento foi utilizado o óleo a uma temperatura de 40°C, onde no início o viscosímetro é colocado dentro de um béquer contendo água a 40°C, e este becker está dentro de um banho-maria. Na sequência, o viscosímetro foi preenchido com amostra de óleo até que ele atinja o começo do capilar através de uma pêra, a qual foi utilizada para succionar o fluido até ele atingir o nível acima do menisco do capilar, ou como fora denominado, marca superior (Figura 8). Em subsequência, aguardou-se o líquido escoar através do tubo capilar pela ação da gravidade até atingir a marca inferior. Este mesmo procedimento foi realizado para água destilada, sendo o líquido padrão mais comum, para assim utilizar os valores como referência na equação (CORTEZ, 2021; ÖZTÜRK; HAZAR; ARI, 2019).

Figura 7 - Viscosímetro de Oswald Cannon Fenske



Fonte: Próprio autor.

Figura 8 - Demonstração das marcas superior e inferior em um viscosímetro de Cannon Fenske



Fonte: “adaptado” (CORTEZ, 2021).

Sabendo que a viscosidade da água a 40°C é de 0,653 mm²/s e com os tempos obtidos e os valores das densidades a 40°C foi utilizado a Equação 3 para determinar a viscosidade do óleo de abóbora.

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_1 * t_1}{\rho_2 * t_2} \quad (3)$$

Sendo:

- μ_1 : A viscosidade do fluido em teste (mm²/s);
- μ_2 : A viscosidade do fluido em referência (mm²/s);
- ρ_1 : A densidade do fluido em teste (kg/m³);
- ρ_2 : A densidade do fluido em referência (kg/m³);
- t_1 : O tempo de escoamento do fluido em teste (min);
- t_2 : O tempo de escoamento do fluido em referência (min).

4.2.2.3. Índice de acidez

De acordo com o procedimento estabelecido pelo método AOCS Cd 3d-63, a avaliação do valor ácido da amostra é realizada por meio de uma titulação, em que o índice de acidez é definido como a quantidade de hidróxido de potássio (KOH) requerida para neutralizar os

ácidos graxos livres presentes na amostra (AHTESHAM; HEBBAL, 2020; ÖZTÜRK; HAZAR; ARI, 2019).

O valor ácido é uma medida da acidez causada pelos ácidos graxos livres na amostra. Isso é importante na indústria de óleos e gorduras, pois altos níveis de ácidos graxos livres podem indicar deterioração do óleo, o que pode afetar negativamente a qualidade do produto final (ÖZTÜRK; HAZAR; ARI, 2019).

Para a determinação do índice de acidez, foram preparadas primeiramente três soluções, sendo elas:

1ª: solução de hidróxido de potássio (KOH) 0,1N, utilizado como titulante da reação. A solução foi padronizada com biftalato de potássio.

2ª: solução de fenolftaleína 1%; é o indicador ácido-base da reação.

3ª: solução 1:1 (v/v) de éter etílico e álcool etílico. É o solvente da reação.

Em um erlenmeyer foram pesadas aproximadamente 2 g do óleo de abóbora, adicionado 50 mL de solução éter etílico e etanol e 2 a 3 gotas de fenolftaleína. Com a solução de KOH na bureta, iniciou-se a titulação da amostra (Figura 9). A titulação foi finalizada até a transição da cor para uma cor rosa clara. O procedimento foi realizado em triplicata (VILALVA, 2021).

Figura 9 – Aparato utilizado para determinação do índice de acidez.



Fonte: Próprio autor.

Para a determinação do teor de acidez foi utilizada a Equação 4.

$$V.A. = \frac{56,1 * N \text{ do KOH} * G(ml)}{m(g)} \quad (4)$$

Sendo:

- $V.A.$: Valor da acidez;
- G : Gasto de KOH;
- m : Massa do óleo utilizada;
- N : É obtido através da padronização da solução de KOH.

4.2.2.4. Índice de refração

A determinação do índice de refração foi realizada por meio de um refratômetro ABBE (Figura 10). Nele foi colocado na superfície do prisma refrativo uma gota do óleo de abóbora extraído, fechou-se o prisma e o travou (SANDER, 2018).

Logo após foi aberto o capô, fechou-se o espelho de reflexão, ajustou a visibilidade da lente ocular para uma melhor visão e por fim foi girado o botão de ajuste manual da graduação do índice refrativo, com o intuito de colocar a linha de separação no centro da grade, conseguindo assim o índice refrativo do óleo (SANDER, 2018).

Figura 10 – Refratômetro ABBE AR 1000 S



Fonte: Próprio autor.

4.2.3. Obtenção do catalisador

O catalisador utilizado neste trabalho foi preparado a partir da calcinação dos ossos de galinha. Para isso, primeiramente todas as cartilagens dos ossos foram retiradas com o auxílio de uma faca e em seguida foi lavado em água corrente para retirar qualquer impureza ou sangue

que sobrou. Por fim, foi lavado com água deionizada (RAMLI; NAEEM, 2015; SHAN et al., 2018).

Logo após os ossos foram colocados em uma estufa a 100°C por 24h para remoção da umidade. Ao retirar da estufa, foram acondicionados em um dessecador para evitar absorção de umidade e até realizar a próxima etapa. Os ossos secos foram triturados em pequenas partículas com o auxílio de um almofariz e pistilo (JAYAKUMAR et al., 2021; RAMLI; NAEEM, 2015).

Os ossos triturados foram colocados em cadinhos os quais foram pesados com suas tampas e colocados em mufla a uma temperatura de 800°C por 6h. Este tempo foi estabelecido com base na análise de alguns trabalhos, como de SATRAIDI et al., 2019; RAMLI; NAEEM, 2015; HUSSAIN et al., 2021.

Após este tempo, foram retirados da mufla e, após atingirem a temperatura ambiente, pesados para determinação do rendimento.

4.2.4. Produção do biodiesel

O biodiesel foi produzido a partir do óleo extraído das sementes de abóbora e com o catalisador de óxido de cálcio preparado a partir de ossos de galinhas. As reações foram conduzidas em um reator de ultrassom por um período de 6h a uma temperatura de 50°C. A mistura reacional contendo o óleo, o álcool e o catalisador foram acondicionados em um frasco reagente e acondicionado no interior do ultrassom, conforme Figura 11 (GONÇALVES, 2022).

Figura 11 – Ultrassom utilizado para produção do biodiesel



Fonte: Próprio autor.

Após as 6h de reação, o sistema foi filtrado para remoção do catalisador por meio de um filtro a vácuo (Figura 12) (GONÇALVES, 2022).

Figura 12 – Utilização de um filtro a vácuo para separação do catalisador



Fonte: Próprio autor.

Após a remoção do catalisador, foi utilizado uma centrífuga para a separação do biodiesel com a glicerina, como apresentado na Figura 13. A parte superior, contendo os ésteres etílicos e o álcool em excesso foram colocados dentro de um becker e levados a uma estufa para a evaporação do etanol por um período de 24 horas (GONÇALVES, 2022).

Figura 13 – Centrífuga para separação da glicerina com o biodiesel



Fonte: Próprio autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. RESULTADOS OBTIDOS NA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE ABÓBORA

Para a obtenção do óleo da abóbora, inicialmente as sementes foram colocadas em uma estufa durante 24 horas a uma temperatura de 62°C para assim poder desidratá-las. Após isto, elas foram trituradas para redução das partículas. Mesmo sendo trituradas, não havia uniformidade no tamanho das partículas das sementes, por isso foi utilizado um agitador de peneiras. Esse triturador foi utilizado a peneira de 10 TY, que vale 1,70mm sua abertura, e utilizadas na extração.

Após este processo, iniciou-se o processo de extração do óleo. Assim, as sementes foram acondicionadas em cartucho de papel filtro, que foi inserido no extrator. Foram realizadas 6 extrações nos seguintes tempos: 3h, 5h e 6h, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Massa de semente inserida em cada amostra

Amostra	1	2	3	4	5	6
Massa dos cartuchos vazios (g)	4,820	4,884	4,395	4,654	4,443	4,989
Massa dos cartuchos cheios (g)	94,455	88,594	86,182	86,449	85,733	85,516

Fonte: Próprio autor.

Em todas as extrações foram utilizadas 350ml de hexano e mantidos a uma temperatura de 70°C. O tempo de extração variou para determinar a influência deste parâmetro no rendimento de extração.

Após o tempo de extração estipulado, as amostras contendo o óleo e o solvente foram colocadas em uma estufa a 90°C até a evaporação total do solvente. A massa obtida de óleo para cada amostra está descrita na Tabela 6.

Tabela 6 - Massas obtidas após toda evaporação do solvente

Amostra	Tempo de extração, h	Massa final, g
1	3	41,953
2	5	42,215
3	5	40,643
4	5	40,701
5	6	41,100
6	6	41,944

Fonte: Próprio autor.

A partir dos dados obtidos e demonstrados nas Tabelas 5 e 6, foi determinado o rendimento da extração como observado na Tabela 7.

Tabela 7 - Rendimento obtido da extração da semente de abóbora

Amostra	1	2	3	4	5	6	Média (%)
Rendimento (%)	44,416	47,649	47,014	47,081	47,940	49,048	47,191

Fonte: Próprio autor.

Foi obtido uma média no rendimento de 47,191% e sendo observado que para conseguir um melhor rendimento em óleo deve-se deixar acima de 5h a duração na extração via Soxhlet.

Ao comparar com outros óleos, como o girassol como exemplo, que possui de 40 a 50% de óleo ou o algodão onde nele 60% são formados pelo caroço e ao tirar-se o óleo do caroço, consegue-se entre 16 e 26%, além de ser um óleo mais impuro, necessitando de um pré-tratamento específico (REVISTA CULTIVAR, 2015; BIODIESELBR, 2014), sendo esses dois um dos óleos mais utilizados para a produção do biodiesel, é quase o dobro do algodão e emparelhado ao girassol, mostrando assim obter um ótimo rendimento.

5.2. RESULTADOS OBTIDOS DA CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE ABÓBORA

5.2.1. Resultados da densidade do óleo de abóbora

Para a caracterização da densidade foi utilizado um picnômetro de 25ml, onde ele foi primeiramente pesado, adicionado água destilada e pesado novamente em balança analítica. Logo após foi secado, adicionado o óleo de abóbora e pesado, obtendo assim os valores da Tabela 8.

Tabela 8 – Valores da pesagem do óleo de abóbora e da água destilada em picnômetro

Pesagem	1	2
Óleo (g)	24,043	24,014
Água destilada (g)	26,181	26,260

Fonte: Próprio autor.

O valor da densidade está demonstrado na Tabela 9 e foi determinado por meio da Equação 2. A média da densidade foi de 916 kg/m³.

Tabela 9 – Valores experimentais obtidas da densidade do óleo de abóbora

Densidade	1	2	Média (kg/m³)
Valores (kg/m ³)	918	914,5	916,3

Fonte: Próprio autor.

Ao analisar esta densidade obtida com a densidade do pinhão manso que é 912,2 kg/m³ (SANDER, 2018) ou óleo de soja residual que é de 894 kg/m³ (VERONEZI et al., 2020) pode-se ver que contém uma densidade próxima, e a densidade contém uma relação com a conversão do óleo em biodiesel, sendo a densidade do óleo é uma indicação da concentração de ésteres metílicos (biodiesel) que podem ser produzidos a partir do óleo. Também possui relação com a qualidade do biodiesel, pois influencia na viscosidade que é a resistência do líquido ao escoamento.

5.2.2. Resultado da determinação da viscosidade

Para determinação da viscosidade foi utilizado o viscosímetro de Cannon Fenske N°50. O processo realizado tanto para o óleo quanto para a água, a qual servirá como referência, foi realizado através da inserção de 15ml do líquido no tubo de diâmetro maior, em subsequência foi colocado um pipetador de borracha de 3 vias que realiza pressão no orifício do tubo de menor diâmetro. Esta pressão é aplicada para assim puxar o líquido até uma parte maior que a marca superior determinada. Logo após a pulsão do líquido, fora retirado o pipetador e assim que o líquido tocou na marca superior determinada, fora iniciado um cronômetro para assim analisar o deslocamento do líquido através da gravidade até a marca inferior determinada (CORTEZ, 2021).

Com os tempos obtidos e sabendo também a viscosidade da água a 40°C (0,653 mm²/s) e das densidades a 40°C (do óleo foi obtido no item 5.2.1. e da água é aproximadamente 992 kg/m³) foi possível obter assim os valores da viscosidade por meio da Equação 3, apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores experimentais obtidos da viscosidade do óleo de abóbora

Amostra	1	2	Média (mm²/s)
Viscosidade (mm ² /s)	29,8443	25,7866	27,86545

Fonte: Próprio autor.

Ao se comparar com a viscosidade de outros óleos, como do pinhão manso que é 55,7 mm²/s (SANDER, 2018) e da amêndoa da macaúba, que é 34,41 mm²/s (VILALVA, 21021), foi possível observar que está abaixo de ambos, e o motivo disso ser bom é que ela influencia na reação de transesterificação. Óleos com alta viscosidade têm maior resistência ao escoamento, o que pode dificultar a mistura adequada dos reagentes e a conversão eficaz dos ácidos graxos em ésteres metílicos (biodiesel). Portanto, a viscosidade influencia diretamente a taxa de reação e a conversão dos ácidos graxos em biodiesel.

5.2.3. Resultado do teor de acidez do óleo da semente de abóbora

Foram pesadas aproximadamente 3g de óleo em um erlenmeyer, como observado na Tabela 11. Após isto, foi colocado 3 gotas da solução de fenolftaleína e 50ml da solução de éter:etanol, a qual foi posta em uma proveta para uma medição exata. Após isto, foi colocado em uma bureta a solução de KOH. Logo após foi colocado o erlenmeyer embaixo da bureta e começado a gotejar a solução de KOH em uma frequência constante, até ocorrer a transição para um rosa claro, obtendo assim a quantidade de KOH.

Tabela 11 – Dados experimentais para obtenção da acidez do óleo de abóbora

Amostras	1	2	3
Massa de óleo (g)	2,813	2,849	2,675
Volume de KOH utilizado (mL)	2,2	2,4	2,3

Fonte: Próprio autor.

Para a determinação do teor de acidez foi utilizada a Equação 4, obtendo assim os valores da acidez para o óleo de abóbora conforme observado na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores do índice de acidez através do óleo obtido

Amostra	1	2	3	Média (mg de KOH/g)
Acidez (mg de KOH/g)	2,983	3,214	3,28	3,159

Fonte: Produção do próprio autor.

Ao comparar com o índice de acidez do óleo da amêndoa da macaúba, pode-se ver que enquanto ele contém um índice de 3,49 mg de KOH/g (VILALVA, 2021), o óleo da semente de abóbora contém uma média de 3,159 mg de KOH/g, sendo mais baixo que do óleo da amêndoa da macaúba, ou ao se comparar com o do pinhão manso, que é de 6,548 mg de KOH/g (SANDER, 2018), mostrando que está bem abaixo dele também. E a importância de determinar o índice de acidez é porque ele desempenha um papel crucial na produção do biodiesel, contendo como importância a qualidade do biodiesel. O índice de acidez é uma medida da quantidade de ácidos graxos livres no óleo. Ácidos graxos livres em excesso podem prejudicar a qualidade do biodiesel. Durante o processo de transesterificação, que converte os ácidos graxos em ésteres metílicos (biodiesel), esses ácidos graxos livres podem reagir e formar subprodutos indesejados, como sabões, que podem afetar adversamente a qualidade do biodiesel.

5.2.4. Índice de refração

Para realização do índice de refração foi utilizado um refratômetro, que utiliza a escala da refração em porcentagem e o seu valor. Ao utiliza-lo, foi obtido um valor de 1,4715 com 72,5% de refração.

Ao comparar o índice obtido com outros, como o do pinhão manso por exemplo, pode-se ver que enquanto o do pinhão manso é de 1,4695 (SANDER, 2018), o do óleo da semente de abóbora contém um índice muito próximo, sendo 1,4715.

O índice de refração desempenha um papel importante na geração do biodiesel, especialmente em relação ao controle de qualidade e ao monitoramento do processo de produção. O índice de refração é uma medida sensível de qualquer alteração na composição do óleo. Mudanças no índice de refração podem indicar a presença de impurezas, adulterantes ou degradação do óleo. Portanto, o monitoramento regular do índice de refração pode ser usado como parte do controle de qualidade.

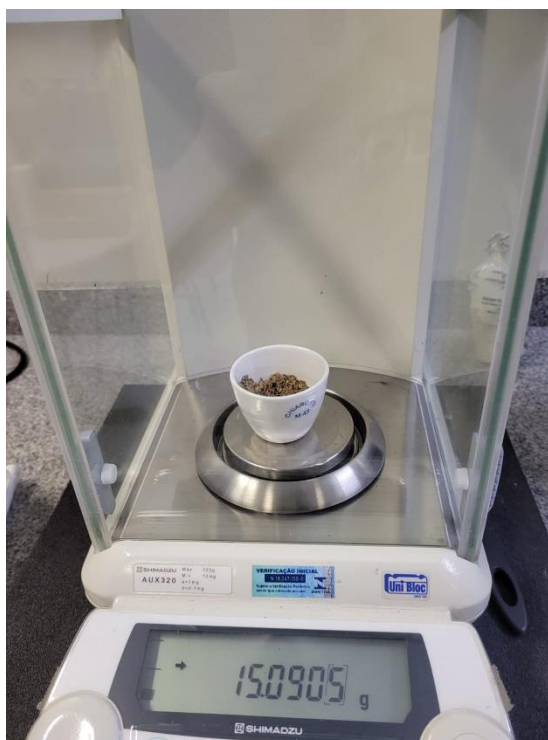
5.3. PRODUÇÃO DO BIODIESEL

5.3.1. Resultado experimental da calcinação dos ossos de galinha

Para obtenção do catalisador da reação de transesterificação foi utilizado ossos de galinha calcinados para assim obter óxido de cálcio que possui excelentes propriedades catalíticas.

Antes da calcinação, os cadinhos foram pesados em balança analítica, e logo após foram adicionados os ossos triturados em seu interior, como visto na Figura 14. Os experimentos foram realizados em triplicata.

Figura 14 – Ossos de galinha triturados dentro dos cadinhos



Fonte: Próprio autor.

Antes da calcinação, os cadinhos foram pesados com sua tampa e logo após foram adicionados os ossos triturados, obtendo assim uma média de 24,2713g de ossos triturados por cadinho, contendo um valor total de 72,8138g.

Os três cadinhos foram colocados em uma mufla a uma temperatura de 800°C por 6h, como demonstrado na Figura 15, obtendo assim uma massa média de 12,3887g por cadinho, e quando somado os três, obteve-se um valor total de 37,166g, a qual em porcentagem vale 51,043%.

Figura 15 – Cadinhos com os ossos de galinha dentro da mufla e calcinação completa dos ossos



Fonte: Próprio autor.

5.3.2. Obtenção do biodiesel

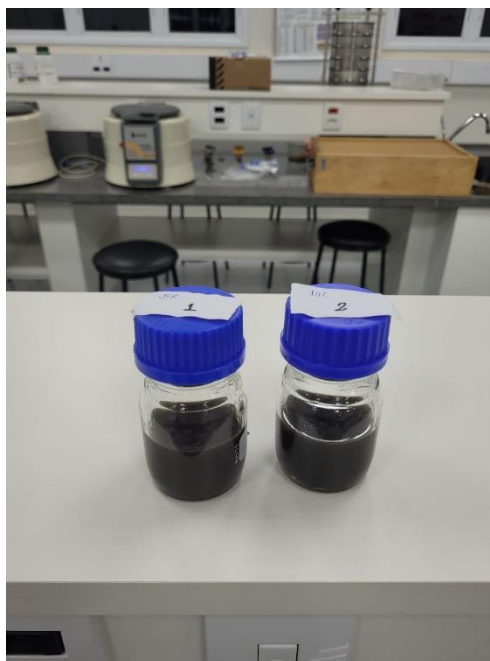
O biodiesel derivado do óleo de abóbora foi produzido com duas concentrações diferentes de catalisador para observar uma possível influência da concentração na reação de transesterificação. Assim, foram testadas concentrações de 5 e 10% m/m de catalisador.

Os parâmetros reacionais utilizados para conduzir as reações de transesterificação, selecionados com base nos dados disponíveis na literatura, foram os seguintes: razão molar óleo:etanol de 1:6, temperatura de reação de 50°C e tempo de reação de 6h.

Os substratos da reação, o óleo e o etanol, foram colocados dentro de um frasco reagente graduado e colocados no ultrassom. Quando os frascos atingiram a temperatura de 50°C foi colocado o catalisador nas concentrações determinadas de 5% e 10% m/m.

Logo após as 6h, a mistura de biodiesel, glicerina e catalisador, Figura 16, foi colocada dentro de um filtro a vácuo para assim realizar a separação do catalisador da mistura.

Figura 16 - Mistura de biodiesel, glicerina e catalisador (5% e 10%) obtida após 6h de reação



Fonte: Próprio autor.

Após a separação do catalisador foi utilizado uma centrífuga para a separação do biodiesel da glicerina, sendo a mistura posta dentro de tubos tipo falcon de 15ml. A centrífuga foi estabilizada em 3000rpm, com uma aceleração de 1529rpm/s^2 , por 5 minutos.

Logo em seguida foi separado a glicerina do biodiesel com o auxílio de uma pipeta de Pasteur de vidro. O biodiesel foi acondicionado em um béquer e deixado em uma estufa a 80°C por 24h para a evaporação total do etanol, obtendo assim o biodiesel purificado.

O biodiesel que conteve 5% de catalisador produziu 0,147g e o biodiesel que conteve 10% de catalisador produziu 1,094g, mostrando que entre ambos os experimentos, houve um aumento de 7,44 vezes.

Em termos gerais, a catálise heterogênea demanda temperaturas mais elevadas durante o processo de transesterificação. Assim, torna-se crucial a realização de novas pesquisas, com ênfase especial na análise detalhada da influência da temperatura na reação.

Além disso, é fundamental considerar outros fatores que podem ter impactado negativamente no rendimento, como um tempo de reação inadequado, concentração de catalisador abaixo do ideal ou até mesmo ineficiência intrínseca do catalisador.

A abordagem aprofundada desses elementos se faz necessária para uma compreensão abrangente e eficaz do processo em questão.

Não obstante a produção restrita de biodiesel, é imperativo ressaltar que o óleo derivado das sementes de abóbora se configura como uma fonte de matéria-prima crucial, primariamente

em virtude de sua elevada disponibilidade. Além desse atributo saliente, torna-se imperioso abordar a relevância dos catalisadores alternativos e economicamente acessíveis como opções viáveis diante do processo convencional. Esta consideração ganha ainda mais destaque ao se levar em conta não apenas a eficácia inicial desses catalisadores, mas também sua capacidade de reutilização, que não apenas promove eficiência econômica, mas também contribui para práticas mais sustentáveis. A facilidade de implementação desses catalisadores emergentes é também um fator de considerável importância, ampliando ainda mais a atratividade dessas alternativas na produção de biodiesel.

6. CONCLUSÃO

Com base nas observações e resultados obtidos, conclui-se que a extração do óleo da semente de abóbora é um processo que pode ser otimizado. A média de rendimento de 47,191% indica que a duração da extração via Soxhlet é um fator crítico, e períodos de extração superiores a 5 horas parecem ser necessários para atingir rendimentos ideais.

Além disso, a densidade do biodiesel mostrou-se próxima à do óleo de soja residual e do pinhão manso, sugerindo uma relação entre a densidade e a conversão do óleo em biodiesel, o que impacta na qualidade do produto.

A viscosidade média de 27,865 mm²/s revela que o óleo da semente de abóbora tem uma viscosidade mais baixa em comparação com outros óleos, o que é vantajoso para uma conversão eficaz dos ácidos graxos em biodiesel, pois uma alta viscosidade pode dificultar a reação.

O índice de acidez é um parâmetro crítico que afeta a qualidade do biodiesel, uma vez que altos níveis de ácidos graxos livres podem prejudicar o produto final. No entanto, o índice de acidez do óleo da semente de abóbora está em conformidade com os padrões, o que é promissor para a qualidade do biodiesel. Além disso, o índice de acidez de 3,159 mg de KOH/g é significativamente menor do que em comparação com o pinhão manso, destacando a importância de manter um baixo índice de acidez para garantir a qualidade do biodiesel.

O índice de refração é uma ferramenta sensível para monitorar a qualidade do óleo e do processo de produção de biodiesel. Qualquer mudança no índice de refração pode indicar impurezas, adulterantes ou degradação do óleo, e, portanto, é um aspecto crítico do controle de qualidade.

Diante dos resultados obtidos, fica evidente que a variação na concentração do catalisador exerceu um impacto significativo no rendimento da produção de biodiesel. O aumento de 5% para 10% no teor de catalisador resultou em um aumento impressionante de 7,44 vezes na quantidade de biodiesel gerado.

A constatação da influência marcante da temperatura na catálise heterogênea durante a transesterificação destaca a necessidade premente de estudos mais aprofundados nessa área. A realização de pesquisas adicionais, com uma análise detalhada da temperatura e outros fatores, como tempo de reação e concentração de catalisador, torna-se crucial para compreender e otimizar o comportamento do catalisador na reação.

Em suma, a abordagem metódica desses elementos é fundamental para uma compreensão abrangente e eficaz do processo de produção de biodiesel. O desafio reside em superar os obstáculos identificados, visando aprimorar a eficiência do catalisador e,

consequentemente, elevar o rendimento da conversão dos triglicerídeos, promovendo avanços substanciais na produção sustentável de biodiesel.

REFERÊNCIAS

AHTESHAM, S. A.; HEBBAL, O. PUMPKIN SEED OIL BIODIESEL AN ALTERNATE FUEL TO DIESEL: A REVIEW. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 7, n. 10, p. 700–707, 2020.

AMARO, G. ET AL. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DE ABÓBORAS E MORANGAS. **Embrapa**, 2021.

BIODIESEL INOVAÇÃO PARA SUSTENTABILIDADE. **Embrapa Agroenergia transferência de tecnologia**, 2009.

BIODIESELBR. ALGODÃO. 9 OUT. 2014. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/plantas/algodao/algodao>. Acesso em: 27 set. 2023.

BIODIESELBR. O QUE É BIODIESEL?. 2023. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel>. Acesso em: 27 set. 2023.

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. PROJETO DE LEI Nº 4.586, DE 1998 TORNA OBRIGATÓRIA A ADIÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO CARBURANTE À GASOLINA E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. BRASÍLIA, DF: CÂMARA DOS DEPUTADOS, 1998.

BRASIL. LEI Nº 11.097, DE 13 DE JANEIRO DE 2005. DISPÕE SOBRE AS NORMAS GERAIS PARA A ORGANIZAÇÃO E O FUNCIONAMENTO DOS SERVIÇOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO INTERESTADUAL E INTERNACIONAL DE PASSAGEIROS. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 14 DE JANEIRO DE 2005, Seção 1, p. 1.

BRASIL. LEI Nº 4.586, DE 28 DE MAIO DE 2008. DISPÕE SOBRE A ADIÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO CARBURANTE À GASOLINA E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, BRASÍLIA, DF, 28 MAIO 2008. Seção 1, p. 1.

CARDOSO, T. S. ET AL. UMA REVISÃO DA UTILIZAÇÃO DE CATALISADORES HETEROGÊNEOS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 240–276, 2020.

CERQUEIRA, P. ET AL. EFEITO DA FARINHA DE SEMENTE DE ABÓBORA (CUCURBITA MAXIMA, L.) SOBRE O METABOLISMO GLICÍDICO E LIPÍDICO EM RATOS. **Revista de Nutrição**, p. 129–136, 2008.

CORRÊA, A. P. A. et al. PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DO ÓLEO DE SEMENTE DE ABÓBORAS CRIOULAS (Cucurbita maxima L.). v. 26, p. 2053–2057, 2014.

CORTEZ, G. G. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VISCOSIDADE EM LÍQUIDOS-MÉTODO DE STOKES. 2021.

DAABO, A. ET AL. THE PRODUCTION OF BIO-BASED FUELS AND CARBON CATALYSTS FROM CHICKEN WASTE. **ScienceDirect**, v. 201, n. 1, p. 21–34, 2022.

DOS SANTOS, D. T. et al. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL OLEAGINOSO DA SEMENTE DE ABÓBORA (CUCURBITA MÁXIMA L.) PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL. 2016.

DUARTE, V. ET AL. BIOCOMBUSTÍVEIS: UMA REVISÃO SOBRE O PANORAMA HISTÓRICO, PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DO BIODIESEL. **Open journal systems**, v. 4, n. 2, p. 50–68, 2022.

FAOSTAT. CANTIDADES DE PRODUCCIÓN POR PAÍS. 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 11 out. 2023.

GONÇALVES, D. OTIMIZAÇÃO DA TRANSESTERIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DO ÓLEO DE MACAÚBA ASSISTIDA POR ULTRASSOM. 2022.

GOV. BIODIESEL. 2004. Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/biodiesel>. Acesso em: 7 set. 2023.

GOV. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA DESTACA MUDANÇAS POSITIVAS COM O B12. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ministerio-de-minas-e-energia-destaca-mudancas-positivas-com-o-b12>. Acesso em: 7 out. 2023.

HUSSAIN, F. ET AL. WASTE ANIMAL BONES AS CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION; A MINI REVIEW. **Catalysts**, v. 11, n. 5, p. 1–15, 1 maio 2021.

IBGE, PRODUÇÃO DE ABÓBORA, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/abobora-moranga-jerimum/br>. Acesso em: 11 out. 2023.

JAYAKUMAR, M. ET AL. HETEROGENEOUS BASE CATALYSTS: SYNTHESIS AND APPLICATION FOR BIODIESEL PRODUCTION – A REVIEW. **ScienceDirect**, v. 331, 2021.

JESUS, D. A IMPORTÂNCIA DOS BIOCOMBUSTÍVEIS ETANOL E BIODIESEL PARA O BRASIL. p. 1–31, 2018.

KHAN ACADEMY. TIPOS DE CATALISADORES. 2016. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/chemistry/chem-kinetics/arrhenius-equation/a/types-of-catalysts>. Acesso em: 29 set. 2023.

KUMAR, M., SUN, Y., RATHOUR, R., PANDEY, A., THAKUR, I. S., TSANG, D. C. W. (2020). ALGAE AS POTENTIAL FEEDSTOCK FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS AND VALUE-ADDED PRODUCTS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES. **Science of the Total Environment**, 716, 137116.

MIGUEL, A.; MILAD, S. PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEOS VEGETAIS, ÓLEOS RESIDUAIS E GORDURA ANIMAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **Centro universitário FUNVIC**, 2022.

NUNES, M. CATÁLISE HOMOGÊNEA E HETEROGÊNEA. **Instituto Federal Santa Catarina**, 2018.

ÖZTÜRK, U.; HAZAR, H.; ARI, Y. S. INVESTIGATION OF USING PUMPKIN SEED OIL

METHYL ESTER AS A FUEL IN A BORON COATED DIESEL ENGINE. **Elsevier**, v. 186, 1 nov. 2019.

RAMLI, A.; NAEEM, A. BIODIESEL PRODUCTION FROM LOW FFA WASTE COOKING OIL USING HETEROGENEOUS CATALYST DERIVED FROM CHICKEN BONES. **sciencedirect**, p. 362–368, 2015.

RAMOS, L. ET AL. BIODIESEL. **Pesquisa**, p. 28–37, 2003.

REVISTA CULTIVAR. A FORÇA DO GIRASSOL. 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/a-forca-do-girassol>. Acesso em: 26 set. 2023.

SANDER, R. SÍNTESE ENZIMÁTICA HETEROGÊNEA DO BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE PINHÃO MANSO. 2018.

SATRAIDI, H. ET AL. DEVELOPMENT OF HETEROGENEOUS CATALYST FROM CHICKEN BONE AND CATALYTIC TESTING FOR BIODIESEL WITH SIMULTANEOUS PROCESSING. IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING. **Anais...Institute of Physics Publishing**, 3 maio 2019.

SHAN, R. ET AL. CATALYSTS FROM RENEWABLE RESOURCES FOR BIODIESEL PRODUCTION. **ScienceDirect**, v. 178, p. 277–289, 2018.

SILVA, A.; SANTINI, I.; BRASIL, M. CATÁLISE HETEROGÊNEA: USO DE CATALISADORES NAS REAÇÕES QUÍMICAS. **Anuário pesquisa e extensão UNOESC VIDEIRA**, 2018.

SINGH, A.; KUMAR, V. PHYTO-CHEMICAL AND BIOACTIVE COMPOUNDS OF PUMPKIN SEED OIL AS AFFECTED BY DIFFERENT EXTRACTION METHODS. **Elsevier**, v. 2, 1 out. 2023.

STOLF, R.; OLIVEIRA, A. P. R. DE. THE SUCCESS OF THE BRAZILIAN ALCOHOL PROGRAM (PROALCOOL)-A DECADEBY-DECADE BRIEF HISTORY OF ETHANOL IN BRAZIL. **EAgri**, v. 40, n. 2, p. 243–248, 1 mar. 2020.

SYNGENTA DIGITAL. DESCUBRA TODAS AS UTILIDADES COMERCIAIS DA MACAÚBA. 2021. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/produtos-da-macauba/#:~:text=O%20%C3%B3leo%20extra%C3%ADdo%20da%20polpa%20da%20maca%C3%B3a%20%C3%A9%20composto%20aproximadamente,20%25%20de%20%C3%A1cidos%20graxos%20saturados>. Acesso em: 24 set. 2023.

TAPANES, N. et al. BIODIESEL NO BRASIL: MATÉRIAS PRIMAS E TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO. v. 1, n. 1, 2013.

UBRABIO. O QUE É BIODIESEL. 2019. Disponível em: <https://ubrabio.com.br/o-que-e-biodiesel/>. Acesso em: 6 out. 2023.

UBRABIO. PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL – PNPB. 2019. Disponível em: <https://ubrabio.com.br/pnpb/>. Acesso em: 5 out. 2023.

VALE, C. et al. COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES DA SEMENTE DE ABÓBORA. **Fag journal of health**, v. 1, n. 4, p. 79–90, 2019.

VEGAZETA. BRASIL: 167 BI DE ANIMAIS MORTOS PARA CONSUMO EM 90 DIAS. 2019. Disponível em: <https://vegazeta.com.br/brasil-167-bi-de-animais-mortos-para-consumo-em-90-dias/>. Acesso em: 4 out. 2023.

VERONEZI, C. et al. SÍNTESE DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA RESIDUAL. 2020.

VILALVA, J. PRODUÇÃO DE ÉSTERES LEVES DERIVADOS DE ÓLEO DE AMÊNDOA DE MACAÚBA PARA POTENCIAL APLICAÇÃO COMO BIOCOMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO. 2021.