



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

JOÃO VICTOR TONI COSTA

**Produção de biodiesel a partir do óleo da semente de abóbora utilizando catalisador à
base de óxido de cálcio**

Rosana - SP
2024

João Victor Toni Costa

Produção de biodiesel a partir do óleo da semente de abóbora utilizando catalisador à base de óxido de cálcio

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
2024

C837p

Costa, João Victor Toni

Produção de biodiesel a partir do óleo da semente de abóbora
utilizando catalisador à base de óxido de cálcio / João Victor Toni
Costa. -- Rosana, 2024

46 p. : tabs., fotos

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. Óleo de abóbora. 3. Catalisador de baixo custo. 4.
Ossos de galinha. 5. Reator batelada. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade
Estadual Paulista (UNESP), 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 VICTOR TONI COSTA

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. Leonardo Lataro Paim
UNESP-Rosana

Profa. Dr. Kleber Rocha de Oliveira
UNESP-Rosana

Julho, 2024

Dedico este trabalho de modo especial
para todos aqueles que estiveram comigo
e fizeram parte dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Quando entrei na faculdade, tive que aprender tudo de novo, pois é um novo ciclo se iniciando, onde tudo é novidade, o que parece fácil vai ficar difícil. É no momento de dificuldade que sabemos quem está conosco nessa nova caminhada, e por isso que queria agradecer quem esteve junto e não abriu mão até esse momento, na qual foram proporcionados vários sentimentos, do mais fundo buraco da tristeza até a mais alta montanha da felicidade.

Primeiramente agradecer a Deus, por estar comigo em todos os momentos, me protegendo e me dando forças.

Agradeço aos meus pais, João Aparecido e Célia Renata, por todos os conselhos, risadas, amor, carinho, puxões de orelha e conforto, deixando minha vida mais leve e fácil, fazendo me tornar quem sou hoje.

A minha irmã, Milena, por sempre estar presente, pelas risadas, dicas, fofocas e por cuidar das nossas cachorras, Lua, Cacau e Maya.

A minha namorada, Mirella, desde que apareceu em Primavera e me conquistou sempre esteve comigo para tudo, me passando amor, confiança, segurança, alegria, carinho e covid. Me acolhendo nos péssimos momentos que passei e me incentivando nos momentos de fraqueza, ela foi o ombro em que não pensava duas vezes para apoiar minha cabeça e desabafar. Foi e está sendo muito bom ter sua presença, pelas risadas e por ser meu porto seguro, que começou na faculdade e que fique para a vida toda.

A família foi e está sendo muito importante e abro mão de tudo para tê-los para vida toda.

Aos meus amigos incríveis que fiz nessa caminhada que levarei para a vida toda, como João Lucas Berti, Ryan Gonçalves, Pablo André, Maycon Tcharly, André Teodoro, Kevin Azevedo, Isaque Adriano, Arthur Batista e Julio Henrique por terem proporcionados momentos de felicidade e risadas, deixando a faculdade bem menos cansativa.

À minha orientadora Profa. Dra. Andréia Fátima Zanette por ter me guiado nesse processo de formação de um Engenheiro, com os ensinamentos e broncas, e por conta disso que este TCC foi escrito. Agradeço também a Nanci Keiko e Prof. Leonardo Paim por toda orientação nos laboratórios.

“A vida corresponde, quem corre faz por onde.
Não têm pessoas fortes com caminhos fáceis.
Se persistência é meu nome, resiliência é o sobrenome.
Se não der, firmão, eu vou tentar outra vez”.

MC Hariel

RESUMO

A dependência global do petróleo é perceptível, especialmente nos diversos meios de transporte, desde a aviação até os transportes fluviais, ferroviários e rodoviários, todos operando predominantemente com óleo diesel. No entanto, o petróleo, além de ser um recurso não renovável, apresenta sérios riscos ambientais em todas as fases de sua utilização, desde a extração até o consumo final, gerando emissões nocivas que poluem a atmosfera e comprometem a qualidade do ar, notadamente através da produção de dióxido de carbono. Consciente desses desafios, este estudo propõe a produção de biodiesel a partir do óleo extraído de sementes de abóbora, utilizando um catalisador de baixo custo como alternativa ao diesel de origem fóssil. A semente de abóbora, proveniente da planta *Cucurbita máxima* L, nativa das Américas e amplamente cultivada no Brasil, oferece um rendimento considerável de óleo, em torno de 31,80% por hectare, tornando-se uma matéria-prima viável para a produção de biodiesel. Além disso, sua cultura é adaptável a outras regiões tropicais. Para atingir o objetivo principal deste trabalho foi realizada a extração do óleo das sementes de abóbora, seguida pela caracterização físico-química deste óleo e, finalmente, a produção de biodiesel utilizando um catalisador de baixo custo obtido através da calcinação de ossos de galinha. Este processo visa não apenas reduzir a dependência do petróleo, mas também minimizar os impactos ambientais associados ao seu uso, promovendo assim uma alternativa mais sustentável. O óleo de abóbora foi extraído por meio de soxhlet com uso de álcool etílico como solvente e caracterizado quanto à acidez, densidade e viscosidade. A extração obteve um rendimento de 39,751%, densidade média de 0,918 kg/m³, viscosidade média de 168,084 cSt, teor de acidez médio de 4,821 KOH/g e índice de refração de 1,472 com 72,8% de refração. O biodiesel foi produzido por meio de um reator batelada. Este estudo resultou em uma nova abordagem tecnológica para a produção de biodiesel, tornando-o mais competitivo em termos financeiros e utilizando recursos renováveis, com o objetivo de tornar o processo cada vez mais ambientalmente sustentável e economicamente viável.

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

ABSTRACT

A global dependency on petroleum is evident, particularly in various transportation sectors, from aviation to river, rail, and road transport, all predominantly powered by diesel fuel. However, petroleum, as a non-renewable resource, poses serious environmental risks throughout its lifecycle, from extraction to final consumption, generating harmful emissions that pollute the atmosphere and compromise air quality, notably through the production of carbon dioxide. Acknowledging these challenges, this study proposes the production of biodiesel from oil extracted from pumpkin seeds, using a low-cost catalyst as an alternative to fossil-origin diesel. Pumpkin seeds, sourced from the *Cucurbita máxima* L plant, native to the Americas and extensively cultivated in Brazil, offer a considerable oil yield, approximately 31.80% per hectare, making it a viable feedstock for biodiesel production. Furthermore, its cultivation is adaptable to other tropical regions. To achieve the main objective of this work, the extraction of oil from pumpkin seeds was carried out, followed by the physicochemical characterization of this oil and, finally, biodiesel production using a low-cost catalyst obtained through the calcination of chicken bones. This process aims not only to reduce petroleum dependency but also to minimize the environmental impacts associated with its use, thereby promoting a more sustainable alternative. Pumpkin oil was extracted using a soxhlet apparatus with ethyl alcohol as a solvent and characterized for acidity, density, and viscosity. The extraction yielded 39.751%, with an average density of 0.918 kg/m³, average viscosity of 168.084 cSt, average acidity content of 4.821 KOH/g, and a refractive index of 1.472 with 72.8% reflectance. Biodiesel was produced through a batch reactor. This study resulted in a novel technological approach to biodiesel production, making it more competitive financially and utilizing renewable resources, with the aim of making the process increasingly environmentally sustainable and economically viable.

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

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Reação total de transesterificação	18
Figura 2 - Etapas do processo de transesterificação.	18
Figura 3 - Moinho analítico empregado na trituração das sementes de abóbora	26
Figura 4 - Agitador de peneiras para análise granulométrica	27
Figura 5 - Cartucho e as sementes de abóbora trituradas	27
Figura 6 - Processo de extração utilizando o método soxhlet	28
Figura 7 - Viscosímetro de Oswald Cannon-Fenske: método de determinação da viscosidade	30
Figura 8 - Aparelhagem empregada na determinação do índice de acidez	31
Figura 9 - Instrumento de medição de índice de refração: Refratômetro ABBE AR 1000 S...	32
Figura 10 - Almofariz e pistilo utilizado na trituração dos ossos	33
Figura 11 - Reator batelada para produção de biodiesel.....	34
Figura 12 - Separação do catalisador por filtração a vácuo.....	35
Figura 13 - Separação de glicerina e biodiesel por centrifugação	35
Figura 14 - Preparação dos cadinhos com ossos de galinha triturados	40
Figura 15 - Calcinação completa dos ossos de galinha nos cadinhos dentro da mufla	41
Figura 16 - Resultado da reação por 6 horas separado na centrífuga	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cronograma de evolução da adição obrigatória de biodiesel ao diesel no Brasil	20
Tabela 2- Descrição dos reagentes empregados	25
Tabela 3 - Descrição dos equipamentos utilizados neste trabalho.....	25
Tabela 4 - Modelo com as variáveis do planejamento experimental.....	34
Tabela 5 - Quantidade de semente utilizada em cada amostra	36
Tabela 6 - Massas residuais após a evaporação completa do solvente.....	36
Tabela 7 - Taxa de rendimento na extração de semente de abóbora.....	37
Tabela 8 - Pesagem do óleo de abóbora e da água destilada em picnômetro	37
Tabela 9 - Valores experimentais da densidade do óleo de abóbora.....	38
Tabela 10 - Valores experimentais da viscosidade do óleo de abóbora.....	38
Tabela 11 - Dados experimentais para determinação da acidez do óleo de abóbora.....	39
Tabela 12 - Modelo com as variáveis codificadas do planejamento experimental	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. BIODIESEL	17
3.2. BIODIESEL NO BRASIL	19
3.3. SEMENTES DE ABÓBORA	20
3.4. CATALISADORES	22
3.5. CATALISADOR HETEROGÊNEO UTILIZANDO RESÍDUOS DE OSSOS DE GALINHA	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. MATERIAL UTILIZADO	25
4.2. MÉTODOS	26
4.2.1. Processo de extração do óleo de semente de abóbora.....	26
4.2.2. Análise do óleo extraído de abóbora	29
4.2.3. Preparação do catalisador	33
4.2.4. Produção do biodiesel.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1. RENDIMENTO OBTIDO DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE ABÓBORA	36
5.2. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE ABÓBORA EXTRAÍDO	37
5.2.1. Dados de densidade do óleo de abóbora	37
5.2.2. Determinação da viscosidade: resultados.....	38
5.2.3. Análise do teor de acidez do óleo de semente de abóbora.....	39
5.2.4. Índice de refração: Resultados	40
5.3. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL	40
5.3.1. Análise experimental da calcinação de ossos de galinha.....	40
5.3.2. Síntese de biodiesel	41
6. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia está em constante ascensão, impulsionado pelo crescimento populacional e industrial. Uma crise energética global se manifesta devido à alta demanda por combustíveis fósseis, os quais estão em quantidade limitada. Essa dependência também gera preocupações ambientais devido às emissões de gases de efeito estufa. Para contornar esses desafios, a produção de biocombustíveis a partir de biomassa surge como uma alternativa promissora. Matérias-primas como milho, soja, linhaça, cana-de-açúcar, óleo de palma, beterraba sacarina, esgoto bruto, restos de alimentos, gorduras animais e sementes são utilizadas nesse processo. O biodiesel, derivado dessas fontes, é obtido através da transesterificação de ésteres de uma matéria-prima, como óleo vegetal, gorduras animais, algas e resíduos de óleos alimentares usados. Essa diversidade de fontes contribui para uma maior sustentabilidade e redução das emissões poluentes (MOHD JOHARI et al., 2024).

O biodiesel é derivado de triglicerídeos presentes em gorduras animais, assim como óleos vegetais, sejam eles comestíveis ou não. Ele é composto por ácidos graxos de cadeia longa, formando monoésteres alquílicos. Este combustível representa uma alternativa ao diesel convencional, pois é biodegradável, não tóxico e emite menos CO₂, contribuindo para a preservação ambiental (MENGISTU; RESHAD, 2022).

Embora o biodiesel possa ser derivado de diversos óleos vegetais, nem todos são adequados como matéria-prima devido a suas características não ideais. Apesar dos óleos vegetais apresentarem potencial como substitutos do diesel, eles também possuem algumas limitações, como alta viscosidade e baixa capacidade de volatilização, tornando-o não viável para uso em motores a diesel (KUPPUSAMY et al., 2023).

O biodiesel é produzido através de uma reação química conhecida como transesterificação, ou por outros métodos como craqueamento ou esterificação. A transesterificação é uma classe importante de reações orgânicas, onde um éster é convertido em outro por meio da troca do grupo alcoxila. Quando um éster reage com um álcool, essa transformação é chamada de alcoólise. A transesterificação é uma reação reversível, exigindo a presença de um catalisador para acelerá-la, além de álcool ser adicionado em excesso. Estes dois fatores combinados melhoram o rendimento da reação e possibilitam a separação do biodiesel do glicerol formado (ALSHARIFI; ZNAD, 2020).

Os reatores mais comuns para conduzir as reações de transesterificação são os de fluxo e os de batelada, diferenciando-se pelos parâmetros de entrada e saída no processo. Diversos tipos de catalisadores são empregados, como os homogêneos básicos, homogêneos ácidos,

heterogêneos químicos, heterogêneos enzimáticos e um processo alternativo não catalítico. A principal função desses catalisadores é acelerar a reação de transesterificação, resultando na produção de biodiesel e glicerina. Embora a glicerina, um subproduto da reação, seja amplamente utilizada na fabricação de xaropes, sabonetes e ração animal, sua contaminação durante o processo a torna imprópria para uso direto após a conclusão da reação (KUMAR et al., 2020; DUARTE et al., 2022; MIGUEL; MILAD, 2022).

Os catalisadores desempenham um papel crucial na produção de biodiesel. A utilização de catalisadores heterogêneos em comparação com o método de catalisador homogêneo é mais vantajosa devido a diversos fatores, como a ausência de efeitos tóxicos, neutralidade, facilidade de reprocessamento e capacidade de suportar altas temperaturas. A catálise heterogênea simplifica o processo de fabricação de biodiesel, reduzindo os custos de produção, embora possa resultar em um tempo de reação mais longo. Como resultado, existe uma busca contínua pelo desenvolvimento de catalisadores heterogêneos de baixo custo e alta eficiência para garantir a sustentabilidade da produção de biodiesel a longo prazo. Diversos tipos de catalisadores heterogêneos têm sido desenvolvidos e testados para essa finalidade. Apesar de muitos apresentarem resultados promissores, a viabilidade comercial desses catalisadores ainda não é totalmente atrativa. Por isso, tem-se considerado a utilização de materiais baratos na produção de catalisadores heterogêneos, como por exemplo, os ossos de galinha (KADER; JUSOH; ZAKARIA, 2022)

De acordo com os dados de 2019, foram abatidos aproximadamente 1,47 bilhão de frangos no Brasil, totalizando 3,45 milhões de toneladas de carne. Isso equivale a cerca de 621 mil toneladas de ossos de galinha em um único trimestre. Se considerarmos o ano todo, esse número se elevaria para aproximadamente 2,484 milhões de toneladas de ossos de galinha (HUSSAIN et al., 2021; VEGAZETA, 2019).

2. OBJETIVO

Esse Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo a obtenção de biodiesel a partir do óleo de abóbora com uso de um catalisador heterogêneo de baixo custo à base de óxido de cálcio. Para o objetivo ser atingido, as seguintes etapas foram seguidas e desenvolvidas:

- i. Obtenção da semente de abóbora e extração do óleo com álcool etílico.
- ii. Produção e caracterização do catalisador à base de óxido de cálcio derivado de ossos de galinha.
- iii. Produção de biodiesel em um reator batelada, avaliando as variáveis: tempo, temperatura, quantidade do catalisador e razão molar.
- iv. Purificação do biodiesel.
- v. Análise dos resultados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir deste tópico será realizada uma revisão sobre o biodiesel sobre suas características, vantagens, suas matérias-primas e processos de acordo com dados obtidos na literatura.

3.1. BIODIESEL

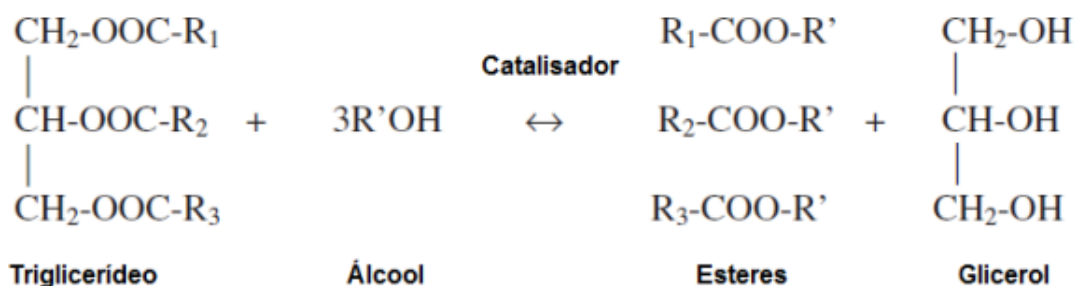
O biodiesel tem vantagens consideráveis por ser biodegradável, emitir menor quantidade de gases poluentes, como o óxido de enxofre, e reduzir as emissões de dióxido de carbono ao longo de seu ciclo de vida em comparação com o diesel. Além disso, possui um índice elevado de cetano, o que ajuda a diminuir o consumo de combustível e reduzir o ruído do motor, tem um ponto de fulgor mais alto e é não tóxico (KUPPUSAMY et al., 2023).

Quando se analisa o teor de óleo nas oleaginosas usadas na produção de biodiesel, pode-se considerar o girassol como exemplo, que contem entre 40 e 50% de óleo. Por outro lado, a macaúba, com suas fontes de óleo, apresenta diferentes características: ao extrair o óleo da amêndoa, mesmo que grande parte seja removido, ele mantém um alto valor devido ao seu teor elevado de ácidos graxos saturados de cadeia curta, tornando-o ideal para alimentos e cosméticos. A polpa da macaúba é composta por 80% de ácidos graxos insaturados e 20% de ácidos graxos saturados além de ter até 70% de óleo, tornando-o muito viável para produção de biodiesel. Vegetais com baixo teor de óleo existem, como o algodão, onde 40% é fibra e 60% é caroço. Ao extrair o óleo do caroço, obtém-se entre 16 e 26%, mas é um óleo mais impuro, necessitando etapas adicionais de purificação. Ainda assim, o algodão continua sendo uma matéria-prima importante para a produção de biodiesel (UBRABIO, 2023).

É possível empregar óleo de cozinha usado na produção de biodiesel, embora o processo de pré-tratamento necessário possa aumentar os custos de produção. Além disso, as gorduras animais, como o sebo bovino, são amplamente empregadas na fabricação de biodiesel (MIGUEL; MILAD, 2022; UBRABIO, 2023).

A técnica mais comum para a produção de biodiesel é a transesterificação, na qual um triglicerídeo reage com um álcool, geralmente metanol ou etanol devido às suas cadeias menores, para formar ésteres e glicerol. Para viabilizar esse processo, um catalisador é introduzido na reação. Diversos aspectos influenciam significativamente o rendimento final, que incluem temperatura, proporção molar álcool/óleo, tipo e concentração do catalisador, tempo de reação, entre outros. A Figura 1 ilustra a reação de transesterificação (ALSHARIFI; ZNAD, 2020).

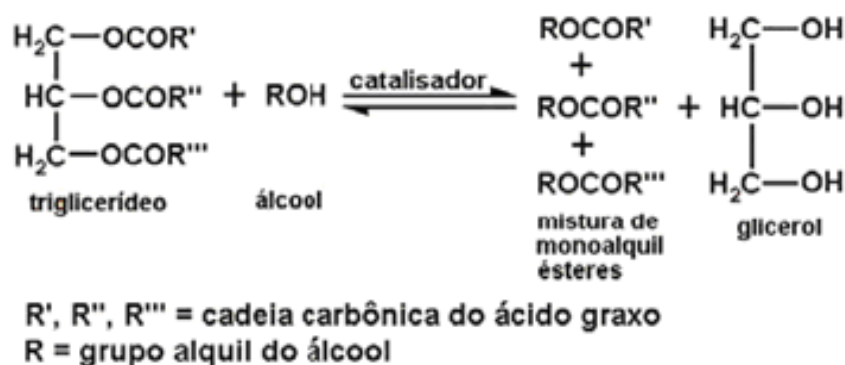
Figura 1 - Reação total de transesterificação



Fonte: (MARCHETTI; MIGUEL; ERRAZU, 2007) (ADAPTADO).

O processo consiste em três etapas sucessivas, todas elas reações reversíveis. Na primeira etapa, o triglicerídeo é convertido em diglicerídeo; em seguida, o diglicerídeo é transformado em monoglicerídeo; e na última etapa, o monoglicerídeo é convertido em glicerol. Em cada uma dessas etapas, ocorre a produção de ésteres, conforme ilustrado na Figura 2 (MARCHETTI; MIGUEL; ERRAZU, 2007).

Figura 2 - Etapas do processo de transesterificação.



Fonte: Portal Embrapa, 2021

A proporção estequiométrica da reação entre álcool e óleo é de 3:1. No entanto, a transesterificação é uma reação em equilíbrio, e geralmente é preferível usar um excesso de álcool para obter melhores resultados no produto final. Observou-se que as conversões mais altas de óleo para ésteres (93-99%) ocorrem quando uma razão molar de 6:1 é usada para catálises homogêneas básicas. Para catálises homogêneas ácidas, uma razão molar ainda maior pode ser necessária. De acordo com dados da literatura, as condições reacionais consideradas ideais incluem uma razão molar álcool:óleo de 30:1, concentração de catalisador variando entre 0,5% e 1,0%, e temperaturas entre 55°C e 80°C (MARCHETTI; MIGUEL; ERRAZU, 2007).

3.2. BIODIESEL NO BRASIL

Desde a criação do movimento ambientalista e depois da crise do petróleo na década de 1970, tem-se debatido alternativas energéticas para substituir as fontes de energia fóssil. Assim que surgiu o Programa Nacional do Álcool (PRÓALCOOL) com o intuito de aumentar a produção e o consumo de álcool como combustível no Brasil. Paralelamente, a produção e o consumo de biodiesel no país foram regulados pela Medida Provisória nº. 214/2004, posteriormente convertida na Lei nº. 11.097/05. Esta legislação, inserida no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), marca um ponto crucial na trajetória do biodiesel no Brasil, ao estabelecer sua base legal. O principal objetivo do programa é estabelecer um modelo de energia sustentável, promovendo a inclusão social através da produção e uso de biodiesel proveniente de diversas fontes oleaginosas, garantindo preços competitivos, qualidade do produto e disponibilidade. A adição de biodiesel ao diesel fóssil começou de forma facultativa em dezembro de 2004 e tornou-se obrigatória em janeiro de 2008, com uma mistura de 2% (B2) em todo o país, conforme estipulado pelo PNPB. Com o crescimento notável do mercado brasileiro, o percentual foi progressivamente aumentado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), chegando a 5% (B5) em janeiro de 2010, três anos antes do prazo estabelecido pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. O biodiesel, definido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), é um biocombustível derivado de biomassa renovável para utilização em motores de combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamentação, para outras formas de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente os combustíveis fósseis (DE et al., 2013).

No ano de 2014, por determinação do Poder Executivo, foram implementados dois aumentos percentuais na adição de biocombustível. O primeiro aumento elevou a obrigatoriedade para 6% (B6), enquanto o segundo aumentou para 7% (B7) os níveis de mistura de biodiesel-óleo diesel. No início de 2016 foram estabelecidos novos níveis de adição: 8% (B8) em 1 ano, 9% (B9) em 2 anos e 10% (B10) em 3 anos, com a condição de que os testes realizados em motores confirmassem a adequação desses percentuais de misturas para o funcionamento. Com a autorização do CNPE, a adição poderia chegar até 15% (CAVALCANTE FILHO; BUAINAIN; BENATTI, 2019).

Com a progressiva elevação desta mistura ao longo dos anos, alcançando 12% (B12) em 2023, estão previstos aumentos para 15% (B15) até 2026. Há inclusive a possibilidade de antecipação desse percentual, devido ao papel de liderança do país na corrida pela transição energética com foco em energias renováveis. Em 2024 o percentual foi aumentado para 14%

(B14) em março desse ano, e visando aumentar 1% a cada ano que passe (SILVA et al., 2023).

Tabela 1- Cronograma de evolução da adição obrigatória de biodiesel ao diesel no Brasil

Mês/ano	Percentual adição (%)
Janeiro 2008	2
Julho 2008	3
Julho 2009	4
Janeiro 2010	5
Agosto 2014	6
Novembro 2014	7
Março 2018	10
Abril 2023	12
Abril 2024*	13
Abril 2025*	14
Abril 2026*	15

Fonte: (SILVA et al., 2023)

3.3. SEMENTES DE ABÓBORA

A abóbora é uma cultura bastante difundida e cultivada em diversas regiões do país, oferecendo uma ampla gama de opções de consumo, que vão desde suas partes vegetativas até as sementes. No entanto, na indústria de processamento de seus frutos, ainda é comum o descarte de cerca de 30% das partes, como cascas e sementes, que poderiam ser aproveitadas de maneira mais eficiente (FREITAS DE ALMEIDA, 2021).

De acordo com dados do IBGE de 2017, a produção de abóbora no Brasil alcançou um valor de 366,010 milhões de reais, com uma quantidade total de 417.839 toneladas e uma área colhida de 78.671 hectares. Globalmente, a produção de abóboras e morangas atingiu cerca de 27,67 milhões de toneladas em 2018 em uma área aproximada de 2,04 milhões de hectares. É importante notar que aproximadamente 3,32% da massa da abóbora corresponde à massa das sementes (VALE et al., 2019).

O óleo de semente de abóbora é amplamente difundido em todo o mundo, sendo empregado tanto na culinária quanto para fins medicinais. Na cozinha, é utilizado para realçar o sabor e aroma de saladas e diversas preparações, graças às suas características distintivas. Em termos medicinais, seu potencial antioxidante, atribuído à presença de tocoferol, é explorado. Além disso, sua propriedade antimicrobiana é valorizada pela indústria alimentícia. O óleo de

semente de abóbora também é empregado na prevenção de problemas relacionados à vesícula e à próstata, além de ser utilizado na medicina chinesa para tratar disfunções intestinais (ŞAHIN; TORUN, 2024).

Quando se trata da utilização da semente para a extração de óleo visando à posterior produção de biodiesel, é crucial atentar para vários critérios. Idealmente, a semente deve conter aproximadamente 47% a 49% de óleo, com uma faixa de lipídeos entre 41,80% e 54,90%. Além disso, é importante que ela apresente de 65,40% a 79% de ácidos graxos insaturados, sendo o ácido linoleico particularmente relevante, variando de 35,60% a 60,80%. Estes valores dependem de uma série de fatores, tais como a variedade da semente, a região de cultivo, as condições climáticas e o estágio de maturação. Destaca-se que a presença de um alto teor de ácido oleico (cerca de 29%) é benéfica, juntamente com o ácido linoleico, para a produção de biodiesel. Isso se deve ao fato de que ambos são componentes desejáveis na composição do óleo destinado à conversão em biodiesel (AHTESHAM; HEBBAL, 2020).

Existem várias técnicas para extrair o óleo das sementes de abóbora. Uma dessas técnicas é o método de Blight Dyer, que envolve secar as sementes a 30°C por 48 horas e, em seguida, triturá-las. Posteriormente, para cada grama da amostra triturada, adiciona-se 20ml de uma mistura de clorofórmio e metanol (na proporção de 2:1) em um erlenmeyer (CORRÊA et al., 2014).

A amostra deve ser agitada continuamente por 30 minutos em um agitador, alternativamente, pode-se empregar o método de Extração por Prensagem a Frio (CPE). Este processo ocorre em uma prensa automática de parafuso (modelo AB-GK-200484), operando em temperaturas baixas. Inicialmente, a máquina é pressurizada a 10 MPa, enquanto a cabeça do parafuso é pré-aquecida entre 60 a 70°C antes do início da extração. Um anel de aquecimento, controlado automaticamente por temperatura, é conectado à cabeça da prensa. Assim que a temperatura desejada é alcançada, o aquecedor é desligado, e as sementes são prensadas a uma taxa de alimentação de 5 kg/h, com um subsequente aumento na pressão de alimentação para 65 MPa. Após a extração, as impurezas são separadas do óleo por meio de centrifugação a 1960 × g por 10 minutos, seguida de filtração. O óleo resultante é então armazenado em frascos de vidro verde escuro a -18 °C para uso futuro (ÖZTÜRK; HAZAR; ARI, 2019; SINGH; KUMAR, 2023).

Para extrair o óleo é possível empregar a filtração das amostras utilizando papel filtro qualitativo com as seguintes especificações: espessura de 80 g/m², gramatura de 205 µm e poros de 14 µm diâmetro. Este processo é conduzido utilizando um funil de separação, onde é adicionada uma quantidade igual de água ao filtrado em relação à quantidade inicial de metanol.

A fase inferior resultante é coletada e evaporada por um rota-evaporador a 45 °C (CORRÊA et al., 2014).

Segundo os autores Hazar, Ari, Öztürk, Singh e Kumar, no método de extração Soxhlet, as sementes de abóbora são reduzidas a um pó com partículas de 1 mm e são extraídas utilizando cinco solventes diferentes: acetona, etanol, éter isopropílico, n-hexano e éter de petróleo (faixa de ebulição de 40-60 °C). A extração é realizada por um período de 6 horas em uma unidade de extração Soxhlet. Após a extração, o solvente é removido usando um evaporador rotativo a vácuo e o rendimento de óleo é calculado. A literatura mostra resultados em que o n-hexano tem o melhor rendimento de óleo (ÖZTÜRK; HAZAR; ARI, 2019; SINGH; KUMAR, 2023).

3.4.CATALISADORES

Um catalisador é uma substância que aumenta a velocidade de uma reação química sem ser consumido na reação. Ele funciona fornecendo um caminho de reação alternativo com uma energia de ativação mais baixa, o que permite que as moléculas reagentes se transformem em produtos mais rapidamente (ISMAEEL et al., 2024).

Atualmente, a catálise homogênea é a abordagem predominante no processo de produção de biodiesel, dividindo-se em catalisadores alcalinos e ácidos. Os catalisadores homogêneos alcalinos demonstram uma velocidade de reação cerca de 4000 vezes superior à dos catalisadores homogêneos ácidos. Devido aos altos rendimentos obtidos em um curto período de tempo, os catalisadores homogêneos alcalinos têm se destacado na reação de transesterificação, tornando-se a escolha principal das indústrias para a produção de biodiesel em relação a outras opções catalíticas (RUPOLO, 2022).

Um outro método é a catálise homogênea ácida, onde o catalisador principal empregado é o ácido sulfúrico. Uma vantagem significativa em relação ao processo que utiliza catalisadores alcalinos é a capacidade de tolerar ácidos graxos livres, reduzindo as reações de saponificação. Isso possibilita a utilização de óleos vegetais residuais com elevado teor de acidez (RUPOLO, 2022).

Recentemente, a atenção tem sido direcionada aos catalisadores heterogêneos básicos para a produção de biodiesel por meio da transesterificação heterogênea, visando tanto sua viabilidade técnica quanto econômica. É relevante observar que os catalisadores heterogêneos podem ser projetados para oferecer maior atividade e seletividade em diversas reações e, no contexto da produção de biodiesel, podem facilitar a esterificação e transesterificação simultaneamente. Esses catalisadores podem ser integrados em um reator de fluxo contínuo,

contribuindo para otimizar o processo de produção de biodiesel. Essa vantagem ajuda na minimização dos custos associados à separação e purificação do biocombustível (CABELLO; RINCÓN; ZEPEDA, [s.d.]).

Também há os catalisadores heterogêneos ácidos, que, embora promissores, apresentam taxas de reação comparativamente mais lentas em condições moderadas, quando contrastadas com os catalisadores heterogêneos básicos. Além disso, em comparação com estes últimos, os catalisadores heterogêneos ácidos geralmente demandam temperaturas mais elevadas, uma carga de catalisador maior e uma proporção superior de metanol para óleo (ISMAEEL et al., 2024).

Por último, pode-se citar os catalisadores heterogêneos enzimáticos, que oferecem facilidade de separação e reutilização do catalisador, além de permitir a recuperação simples do glicerol e garantir uma maior pureza dos produtos. No entanto, esses catalisadores requerem um tempo de reação maiores em comparação com a catálise básica e envolvem custos associados às enzimas comerciais (ISMAEEL et al., 2024; RUPOLO, 2022)

3.5. CATALISADOR HETEROGÊNEO UTILIZANDO RESÍDUOS DE OSSOS DE GALINHA

Devido à crescente demanda por ovos e carnes, bem como ao aumento da população global, a indústria avícola emergiu como um dos setores agrícolas de maior crescimento, dada sua importância crucial para as economias nacionais. Os produtos avícolas, como carnes e ovos, estão recebendo maior destaque globalmente devido à sua produção consistente ao longo do ano, seu alto teor de proteínas e custo relativamente baixo em comparação com outras fontes de carne (DAABO et al., 2022).

Em 2016, a produção global de frango atingiu 106 milhões de toneladas e é projetada para chegar a 181 milhões de toneladas até 2050. No Iraque, conforme os dados da Organização Estatística Central, a produção média de frango vivo para corte foi de aproximadamente 156,5 milhões de toneladas em 2020. Essa expansão na produção de frango globalmente resultará inevitavelmente em grandes volumes de resíduos avícolas, incluindo esterco, ossos, carcaças, gordura e peles (DAABO et al., 2022).

Os ossos de galinha, por exemplo, têm sido aproveitados como matéria-prima na fabricação de diversos produtos de valor. Essa abordagem demonstra uma resposta criativa e sustentável para lidar com os resíduos gerados pela indústria avícola em larga escala (DAABO et al., 2022).

Os catalisadores heterogêneos apresentam uma variedade de características próprias que os tornam mais adequados para a transesterificação do que os catalisadores homogêneos. Estas incluem alta solubilidade, atividade catalítica e especificidade aprimoradas, alta estabilidade térmica e facilitada separação do produto, resultando em uma relativa pureza do produto (TRACEY et al., 2024).

Conforme relatado por Satraidi e colaboradores, para produzir o catalisador de ossos de galinha, é preciso primeiro lavar os resíduos dos ossos, seguido por um processo de superaquecimento e cozimento a vapor com duração de aproximadamente 30 minutos. Os ossos são então transformados em pó e passam por um processo de secagem em uma estufa a 100°C, durante uma hora. Após isso, o pó é calcinado a 800°C por três horas seguidas (SATRAIDI et al., 2019).

Satraidi e sua equipe prepararam o catalisador à base de osso de galinha da seguinte maneira: inicialmente, 4 gramas de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ foram dissolvidos em 100 ml de água destilada e agitados por 30 minutos. Em seguida, 80 gramas de CaO foram adicionados à solução de FeCl_3 . Essa mistura, denominada $\text{Ca-Fe}_2\text{O}_3$, foi impregnada a uma temperatura de 80°C por 8 horas. Posteriormente, a mistura foi filtrada através de papel filtro. O catalisador filtrado passou por uma etapa de secagem em um forno a 100°C por cerca de 1,5 horas. Os catalisadores secos foram então calcinados a 600°C por três horas seguidas (SATRAIDI et al., 2019).

Depois de obter o catalisador, Satraidi utilizou 1 mol de óleo de cozinha no reator. Para essa mistura, foram adicionados 6 mols de metanol. No processo de transesterificação, 3% do catalisador foi utilizado e adicionado à mistura de óleo de cozinha usado e metanol. As três misturas foram aquecidas a 65°C por 3 horas, resultando em um rendimento de 22% de biodiesel para 3% do catalisador. A relação molar entre metanol e óleo teve um impacto significativo no rendimento do biodiesel. Conforme 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 mais mols de metanol foi feita para favorecer a reação em direção ao produto, visto que a reação é um equilíbrio químico. No entanto, os resultados indicam que o rendimento diminuiu após atingir a proporção de óleo e metanol de 1:8, devido à capacidade do metanol de agir como um emulsificante na mistura de reação. Um excesso de metanol pode levar ao revestimento do glicerol com metanol, formando emulsões que impedem a reação simultânea entre o catalisador e o metanol, prejudicando o processo (SATRAIDI et al., 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo descreve os materiais, procedimentos e metodologias para a extração e caracterização do óleo de abóbora, assim como a produção de biodiesel que foi produzido em um reator a batelada.

4.1. MATERIAL UTILIZADO

Para a produção de biodiesel, empregou-se o óleo extraído das sementes de abóbora (*Cucurbita máxima*, L.) que foram obtidas comercialmente em uma loja especializada em produtos naturais. O metanol foi o álcool utilizado na reação de transesterificação. Os demais materiais e reagentes foram adquiridos em grau analítico (P.A.) e empregados sem pré-tratamento. A relação dos reagentes utilizados nos experimentos está detalhada na Tabela 2.

Tabela 2- Descrição dos reagentes empregados

Reagentes	Álcool Metílico	Éter Etílico	Hidróxido de Sódio	Fenoltaleína	Biftalato de Potássio
Marca/Pureza	Êxodo científica, 99,8%	Synth, PA	Synth, PA	Synth, PA	Synth, PA

Fonte: Próprio autor.

Para a extração e caracterização do óleo de abóbora, bem como para a produção do biodiesel, foram empregados equipamentos especializados adaptados a cada etapa do processo. Os detalhes técnicos e especificações desses equipamentos estão registrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição dos equipamentos utilizados neste trabalho

Equipamentos	Especificação
Balança semi analítica	Marte AD500. Balança Semi Analítica 510g, divisão 0,001g
Balança analítica	Marte AUW220D, 220/82g Divisão 0,1/0,01mg
Estufa de secagem e esterilização	Lucadema
Moinho analítico	IKA. Moinho analítico básico A 11
Aagitador de peneiras	Lucadema, modelo luca-04/01
Banho maria SL 150	SOLAB. Banho Maria com Aquecimento Digital (SL-150).

Refratômetro ABBE	Megabrix. Refratômetro de bancada Abbe AR1000
Forno mufla	SPLABOR. Forno Mufla Modelo SP-1200DRP7
Bomba a vácuo	Bomba de Vácuo SL-61
Centrífuga	FANEM. Centrífuga Excelsa II 206 BL

Fonte: Próprio autor.

4.2. MÉTODOS

Os procedimentos empregados na extração do óleo da semente de abóbora, bem como as análises realizadas para sua caracterização, são delineados a seguir, juntamente com o método adotado para a produção de biodiesel.

4.2.1. Processo de extração do óleo de semente de abóbora

As sementes cruas de abóbora foram adquiridas de um fornecedor especializado em produtos naturais. Previamente à extração, as sementes foram submetidas a um processo de secagem em estufa a uma temperatura de 50°C por um período de 24 horas para a remoção da umidade. Após essa etapa, as sementes foram trituradas utilizando um moinho analítico (modelo básico A 11, marca IKA), conforme ilustrado na Figura 3, com a finalidade de reduzir a granulometria e aumentar a superfície de contato das sementes com o solvente.

Figura 3 - Moinho analítico empregado na trituração das sementes de abóbora



Fonte: Próprio autor.

Para uniformizar o tamanho das partículas, as sementes trituradas foram classificadas utilizando um agitador de peneiras (modelo luca-04/01, marca Lucadema) durante um período de 10 minutos. As amostras destinadas à extração foram selecionadas com tamanho de partícula de 10 TY, correspondente a uma abertura de malha de 1,70 mm, conforme ilustrado na Figura 4, como critério para a extração.

Figura 4 - Agitador de peneiras para análise granulométrica



Fonte: Próprio autor.

As sementes trituradas e classificadas de acordo com sua granulometria foram colocadas em um cartucho de papel e pesadas para a subsequente extração do óleo, conforme demonstrado na Figura 5.

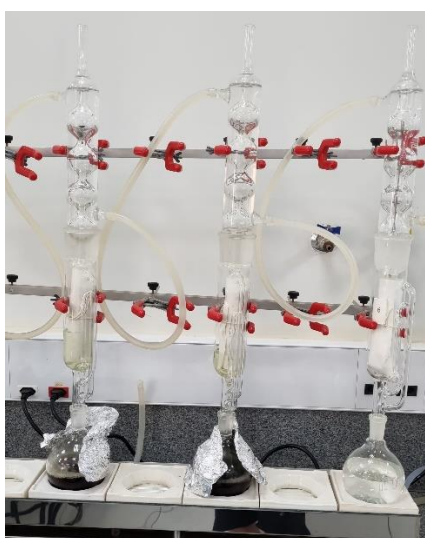
Figura 5 - Cartucho e as sementes de abóbora trituradas



Fonte: Próprio autor.

A extração do óleo ocorreu através de solvente orgânico. No balão do sistema, foram adicionados 350 ml de álcool etílico absoluto, junto com pérolas de vidro, e o equipamento foi acoplado a um condensador para realizar a extração por meio do método Soxhlet. Três intervalos de tempo de extração foram empregados para investigar seu efeito no rendimento de óleo, sendo eles 3, 5 e 6 horas. O sistema Soxhlet foi montado de acordo com a configuração apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Processo de extração utilizando o método soxhlet



Fonte: Próprio autor.

Após a extração, o óleo contendo uma mistura de óleo e solvente foi submetido à evaporação na estufa até a completa remoção do solvente, determinada pela estabilização da massa do óleo. O rendimento do óleo extraído na transesterificação, é crucial para a eficiência na utilização de recursos e a viabilidade econômica da produção de biodiesel. Um rendimento elevado é essencial para minimizar o desperdício de óleo e reduzir os custos por unidade de biodiesel produzido, tornando o processo mais eficiente e competitivo em relação aos combustíveis fósseis.

Na Equação 1, utilizamos a fórmula descrita para calcular o rendimento.

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

4.2.2. Análise do óleo extraído de abóbora

Após a extração, o óleo de abóbora foi submetido à caracterização físico-química, incluindo análises de densidade, viscosidade, índice de acidez e índice de refração. As metodologias empregadas para essas análises são detalhadas nas seções seguintes.

4.2.2.1. Densidade: Aplicação pratica

A equação 2 descreve o cálculo utilizado para determinar a densidade do óleo de abóbora:

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

Foi adotada a técnica de picnometria para a determinação da densidade do óleo, empregando água deionizada como fluido de referência. Inicialmente, o picnômetro foi completamente preenchido com água deionizada, alcançando o nível do capilar, e então pesado utilizando uma balança analítica. Posteriormente, o óleo foi introduzido no picnômetro, à temperatura ambiente (20°C), até preencher completamente o capilar, seguido de um novo registro de peso.

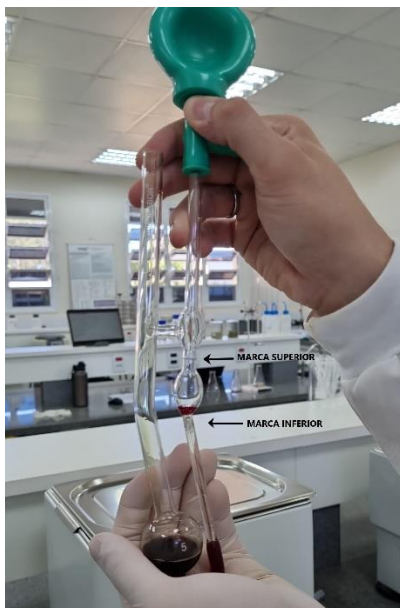
4.2.2.2. Viscosidade: Metodos e equipamentos

A determinação da viscosidade foi conduzida utilizando o viscosímetro de Oswald Cannon Fenske (Figura 7). Para esta análise, o óleo foi mantido a uma temperatura controlada de 40°C. Inicialmente, o viscosímetro foi imerso em um béquer contendo água a 40°C, este por sua vez posicionado em um banho-maria para garantir a estabilidade térmica.

Em seguida, o viscosímetro foi preenchido com a amostra de óleo até que atingisse o início do capilar, utilizando-se uma pêra para succionar o fluido até ultrapassar o menisco do capilar, também conhecido como marca superior. Posteriormente, o líquido foi permitido escoar pelo tubo capilar por ação da gravidade até atingir a marca inferior, conforme demarcado na Figura 7.

Este mesmo procedimento foi repetido para a água destilada, que é comumente utilizada como líquido padrão de referência, visando estabelecer valores para a equação de cálculo da viscosidade.

Figura 7 - Viscosímetro de Oswald Cannon-Fenske: método de determinação da viscosidade



Fonte: Próprio autor.

A Equação 3 foi utilizada para determinar a viscosidade do óleo:

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

Utilizou-se a Equação 3 para calcular a viscosidade do óleo de abóbora, considerando a viscosidade da água a 40°C como sendo 0,653 mm²/s, juntamente com os tempos medidos e os valores de densidade a 40°C.

Logo:

- 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

Conforme o método AOCS Cd 3d-63, a determinação do valor ácido da amostra é feita por titulação, onde o índice de acidez é a quantidade de KOH necessária para neutralizar ácidos graxos livres. Esse valor indica a acidez dos ácidos graxos livres na amostra, sendo crucial na indústria de óleos e gorduras para detectar deterioração, o que pode afetar a qualidade do produto final.

Na determinação do índice de acidez, foram preparadas três soluções:

A. Solução de KOH (hidróxido de potássio) 0,1N, usada como titulante da reação e padronizada com biftalato de potássio.

B. Solução de fenolftaleína 1%, sendo o indicador ácido-base na reação.

C. Solução 1:1 de éter etílico e álcool etílico, utilizada como solvente da reação.

Em um erlenmeyer, foi feita a pesagem de aproximadamente 2 a 3 g do óleo de abóbora, seguido pela adição de 50 mL da solução de éter etílico e álcool etílico 1:1, além de 2 a 3 gotas de fenolftaleína. A titulação da amostra foi iniciada utilizando a solução de KOH presente na bureta, conforme ilustrado na Figura 8, e foi encerrada quando ocorreu a mudança de cor para um tom rosa claro. Esse procedimento foi repetido três vezes para garantir precisão nos resultados.

Figura 8 - Aparelhagem empregada na determinação do índice de acidez



Fonte: Próprio autor.

Foi empregada a Equação 4 para calcular o teor de acidez:

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

Onde:

- *V. A.*: Valor da acidez;
- *N do KOH*: É adquirido por meio da padronização da solução de KOH;
- *G*: Gasto de KOH;
- *m*: Massa do óleo utilizada;

4.2.2.4.Índice de refração

A determinação do índice de refração foi conduzida empregando um refratômetro ABBE, conforme ilustrado na Figura 9. Primeiramente, uma gota do óleo de abóbora foi depositada na superfície do prisma refrativo do equipamento, que posteriormente foi fechado e travado. Em seguida, ele foi aberto, o espelho de reflexão foi fechado e a visibilidade da lente ocular foi ajustada para otimizar a visualização. Por fim, o botão de ajuste manual da graduação do índice refrativo foi girado para posicionar a linha de separação no centro da grade, permitindo a leitura precisa do índice refrativo do óleo.

Figura 9 - Instrumento de medição de índice de refração: Refratômetro ABBE AR 1000 S



Fonte: Próprio autor.

4.2.3. Preparação do catalisador

O catalisador empregado neste estudo foi obtido através da calcinação dos ossos de galinha. Inicialmente, as cartilagens foram removidas dos ossos utilizando uma faca e, em seguida, os ossos foram lavados com água corrente para eliminar quaisquer impurezas ou resíduos de sangue remanescentes e, posteriormente, foram enxaguados com água deionizada para assegurar a limpeza.

Após a etapa de lavagem, os ossos foram submetidos a uma secagem em estufa a uma temperatura de 100°C por um período de 24 horas para eliminar a umidade. Após a remoção da estufa, os ossos foram transferidos para um dessecador para prevenir a absorção de umidade até o próximo estágio do processo.

Em seguida, os ossos secos foram triturados em pequenas partículas utilizando um almofariz e pistilo, visto na Figura 10, a fim de preparar o catalisador para uso subsequente.

Os ossos triturados foram calcinados a 800°C por 6 horas em cadinhos previamente pesados, seguindo recomendações de SATRAIDI et al., 2019. Após resfriamento, foram pesados para determinar o rendimento.

Figura 10 - Almofariz e pistilo utilizado na trituração dos ossos



Fonte: Próprio autor.

4.2.4. Produção do biodiesel

Óleo de abóbora e catalisador de óxido de cálcio de ossos de galinha foram usados para sintetizar biodiesel em um reator batelada. Os experimentos foram organizados por meio de um planejamento fatorial 2^3 com três variáveis independentes (temperatura, concentração de catalisador e razão molar) com triplicata no ponto central, o que totalizou 11 reações. Os

experimentos foram realizados em duplicata. A faixa de estudo analisada neste trabalho foi baseada com dados da literatura. Desta forma, os seguintes limites foram aplicados: temperatura de 55 a 75°C, concentração de catalisador entre 2 e 8% e razão molar óleo:álcool entre 1:9 e 1:21. As variáveis e níveis avaliados no planejamento experimental estão descritos na Tabela 4. O tempo de reação foi fixado em 6 horas.

Tabela 4 - Modelo com as variáveis do planejamento experimental

Variáveis/Níveis	-1	0	+1
Temperatura (°C)	55	65	75
Concentração de catalisador (% m/m)	2	5	8
Razão Molar (óleo:metanol)	1:9	1:15	1:21

O reator utilizado para produção do biodiesel é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Reator batelada para produção de biodiesel



Fonte: Próprio autor.

Após o período de 6 horas de reação, o sistema foi submetido à filtração para separação do catalisador utilizando um filtro sob vácuo, conforme representado na Figura 12.

Figura 12 - Separação do catalisador por filtração a vácuo



Fonte: Próprio autor.

Após a remoção do catalisador, o biodiesel foi separado da glicerina por centrifugação. A fase superior, rica em ésteres etílicos e álcool em excesso, foi transferida para um béquero e submetida a evaporação do etanol em estufa por 24 horas, conforme na Figura 13.

Figura 13 - Separação de glicerina e biodiesel por centrifugação



Fonte: Próprio autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. RENDIMENTO OBTIDO DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE ABÓBORA

Para a obtenção do óleo da abóbora, as sementes foram submetidas a uma etapa inicial de desidratação em uma estufa a 62°C por 24 horas. Posteriormente, as sementes foram trituradas para redução das partículas. Para manter a uniformidade no tamanho das partículas resultantes da trituração, as sementes secas e trituradas foram separadas por sua granulometria por meio de um agitador de peneiras. O material utilizado no processo de extração foi selecionado com o material retido na peneira de 10 TY, que possui uma abertura de 1,70mm.

Após essa separação, o processo de extração do óleo foi iniciado. As sementes foram colocadas em um cartucho de papel filtro e inseridas no extrator. Foram realizadas 6 extrações em diferentes períodos de tempo: 3 horas, 5 horas e 6 horas, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5 - Quantidade de semente utilizada em cada amostra

Amostra	1	2	3	4	5	6
Massa dos charutos vazios (g)	4,987	4,795	4,731	4,880	4,789	4,590
Massa dos charutos cheios (g)	89,827	80,844	84,692	85,430	86,784	86,198

Fonte: Próprio autor.

O rendimento da extração foi avaliado variando-se o tempo de extração, enquanto 350 ml de álcool etílico foram utilizados como solvente a uma temperatura constante de 80°C. Após o tempo de extração, as amostras contendo óleo e solvente foram evaporadas em estufa a 90°C até a completa remoção do solvente. Os resultados de massa de óleo para cada amostra estão na Tabela 6. Posteriormente são apresentados os dados do rendimento da extração na Tabela 7.

Tabela 6 - Massas residuais após a evaporação completa do solvente

Amostra	Tempo de extração, h	Massa final, g
1	3	31,200
2	5	33,408
3	5	34,828
4	5	34,443
5	6	35,693
6	6	36,411

Fonte: Próprio autor.

Tabela 7 - Taxa de rendimento na extração de semente de abóbora

Amostra	1	2	3	4	5	6	Média (%)
Rendimento (%)	34,733	41,324	41,123	40,317	42,831	43,354	40,614

Fonte: Próprio autor.

O rendimento médio da extração de óleo de abóbora foi de 40,614%. Com base nos resultados obtidos, é possível observar que maiores tempos de extração resultam em maior rendimento em óleo. Comparativamente, o óleo de girassol geralmente apresenta teores de óleo entre 40% e 50%, enquanto o óleo de algodão, com cerca de 60% proveniente do caroço, resulta em uma faixa de rendimento entre 16% e 26%. Isso destaca o rendimento competitivo do processo de extração de óleo de abóbora (UBRABIO, 2023).

5.2. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE ABÓBORA EXTRAÍDO

5.2.1. Dados de densidade do óleo de abóbora

Para a determinação da densidade, utilizou-se um picnômetro de 25 ml. Inicialmente, o picnômetro vazio foi pesado em uma balança analítica. Em seguida, foi preenchido com água destilada e novamente pesado. Após a secagem do picnômetro, procedeu-se à adição do óleo de abóbora, seguido de uma nova pesagem, conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Pesagem do óleo de abóbora e da água destilada em picnômetro

Pesagem	Óleo (g)	Água destilada (g)
1	24,153	26,251
2	24,063	26,283

Fonte: Próprio autor.

A densidade, obtida conforme a Equação 2 e apresentada na Tabela 9, teve um valor médio de 917,5 kg/m³.

Tabela 9 - Valores experimentais da densidade do óleo de abóbora

Densidade	1	2	Média (kg/m³)
Valores (kg/m ³)	920	915	917,502

Fonte: Próprio autor.

A densidade obtida, 917,502 kg/m³, é próxima à densidade do óleo de soja residual, 894 kg/m³ (VERONEZI et al., 2020). A densidade também afeta a viscosidade do biodiesel, influenciando sua qualidade e fluidez.

5.2.2. Determinação da viscosidade: resultados

Utilizou-se o viscosímetro Cannon Fenske N°50 para determinar a viscosidade. O processo efetuado foi realizado por meio da inserção de 15 ml do líquido a ser analisado, no caso o óleo de abóbora, e um líquido referência, a água destilada. No tubo de diâmetro maior aplicou-se pressão com um pipetador de borracha de 3 vias no orifício do tubo menor, permitindo que o líquido ultrapassasse a marca superior. Após a remoção do pipetador, acionou-se o cronômetro quando o líquido atingiu essa marca, registrando o tempo de deslocamento até a marca inferior, por ação da gravidade.

Com os tempos registrados e conhecendo a viscosidade da água a 40°C (0,653 mm²/s) e as densidades a 40°C listadas na Tabela 9, calculou-se os valores da viscosidade utilizando a Equação 3, conforme indicado na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores experimentais da viscosidade do óleo de abóbora

Amostra	1	2	Média (mm²/s)
Viscosidade (mm ² /s)	26,258	31,952	29,105

Fonte: Próprio autor.

A viscosidade do óleo analisado é inferior à do óleo de pinhão manso, 55,7 mm²/s (SANDER, 2018), e do óleo de amêndoa de macaúba, 34,41 mm²/s (VILALVA, 2021), o que é benéfico para a reação de transesterificação. Óleos com alta viscosidade dificultam a mistura dos reagentes e a conversão dos ácidos graxos em biodiesel, influenciando negativamente a taxa de reação e a eficiência da conversão.

5.2.3. Análise do teor de acidez do óleo de semente de abóbora

Para determinar a quantidade de KOH em uma amostra de óleo, foram realizados os seguintes procedimentos: pesou-se aproximadamente 3g de óleo em um erlenmeyer, conforme indicado na Tabela 11. Em seguida, adicionaram-se 3 gotas da solução de fenolftaleína e 50ml da solução de éter

ao erlenmeyer, que foi então transferido para uma proveta para uma medição precisa. Uma bureta foi preenchida com a solução de KOH. O erlenmeyer foi posicionado abaixo da bureta e iniciou-se a adição da solução de KOH em uma frequência constante. A adição da solução de KOH continuou até ocorrer a transição para uma coloração rosa claro, indicando o ponto final da titulação. Finalmente, registrou-se a quantidade de KOH necessária para atingir a transição de cor, que representa a quantidade de KOH na amostra. Os valores de acidez para o óleo de abóbora foram determinados utilizando a Equação 4, apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Dados experimentais para determinação da acidez do óleo de abóbora

Amostras	1	2	3	Média (mg de KOH/g)
Massa de óleo (g)	2,862	2,811	2,603	
Volume de KOH utilizado (mL)	3,1	3,4	3,2	
Acidez (mg de KOH/g)	3,488	4,088	6,886	4,821

Fonte: Próprio autor.

Comparando os índices de acidez entre o óleo da semente de abóbora, o óleo da amêndoa da macaúba e o óleo de pinhão manso, observa-se que o primeiro apresenta uma média de 4,821 mg de KOH/g, sendo mais baixo que o do pinhão manso, que é de 6,548 mg de KOH/g (SANDER, 2018), e mais alto que o da amêndoa da macaúba, que é de 3,49 mg de KOH/g (VILALVA, 2021). A determinação do índice de acidez é crucial na produção de biodiesel, pois reflete a qualidade do produto final. Este índice é uma medida da quantidade de ácidos graxos livres no óleo, os quais podem prejudicar a qualidade do biodiesel. Durante o processo de transesterificação, os ácidos graxos livres podem reagir e formar subprodutos indesejados, como sabões, que afetam negativamente a qualidade do biodiesel.

5.2.4. Índice de refração: Resultados

Para determinar o índice de refração, utilizou-se um refratômetro que emprega a escala de refração em porcentagem e seu valor correspondente. O resultado obtido foi de 1,4725, indicando uma refração de 72,8%. Comparativamente, o índice de refração do pinhão manso é de 1,4695 (SANDER, 2018), uma proximidade notável com o óleo da semente de abóbora.

O índice de refração desempenha um papel crucial na produção de biodiesel, especialmente no que tange ao controle de qualidade e ao monitoramento do processo produtivo. Esta medida é altamente sensível a quaisquer variações na composição do óleo. Alterações no índice de refração podem sugerir a presença de impurezas, adulterantes ou degradação do óleo, destacando a importância do monitoramento periódico do índice de refração como parte integrante do controle de qualidade.

5.3. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL

5.3.1. Análise experimental da calcinação de ossos de galinha

Foram utilizados ossos de galinha calcinados para produzir óxido de cálcio, um catalisador eficaz na transesterificação. Os ossos triturados foram adicionados em cadinhos previamente pesados em uma balança analítica, conforme ilustrado na Figura 14. Os experimentos foram realizados em triplicata.

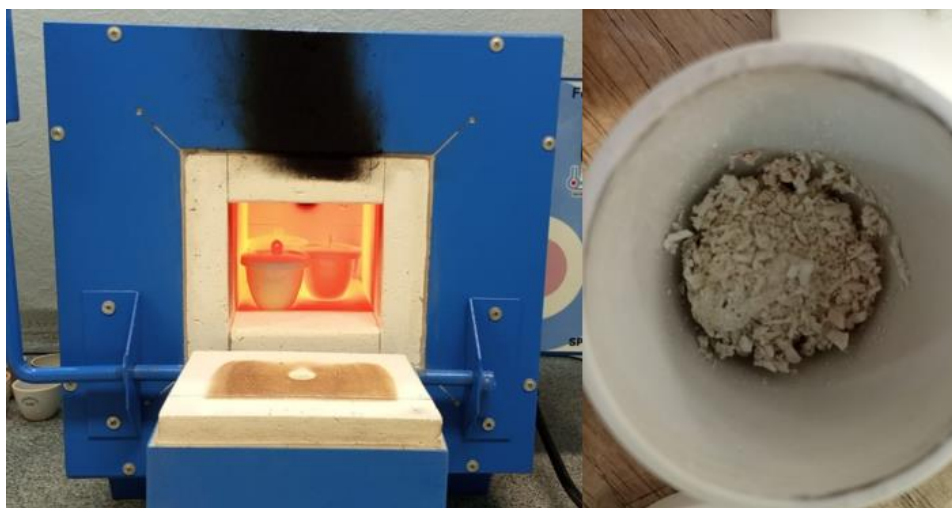
Figura 14 - Preparação dos cadinhos com ossos de galinha triturados



Fonte: Próprio autor.

Os três cadinhos foram submetidos a um tratamento térmico em uma mufla a uma temperatura de 800°C por um período de 6 horas, conforme mostrado na Figura 15. Após a remoção da mufla, os cadinhos apresentaram uma redução média de massa de 5,8149g.

Figura 15 - Calcinação completa dos ossos de galinha nos cadinhos dentro da mufla



Fonte: Próprio autor.

5.3.2. Síntese de biodiesel

O biodiesel derivado do óleo de abóbora foi sintetizado empregando três diferentes concentrações de catalisador, com o intuito de investigar sua influência na reação de transesterificação. Foram testadas concentrações de 2%, 5% e 8% em massa de catalisador.

Os parâmetros de reação adotados, selecionados com base em dados encontrados na literatura, foram os seguintes: razão molar óleo:metanol de 1:9, 1:15 e 1:21, respectivamente, temperatura de reação de 55°C, 65°C e 75°C, e tempo de reação de 6 horas, conforme apresentado na Tabela 12.

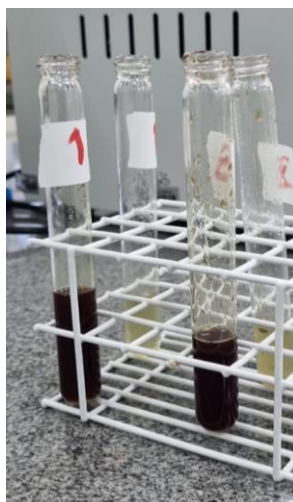
O óleo, metanol e catalisador foram combinados em um frasco para iniciar o processo em batelada conforme o planejamento experimental. Após 6 horas, a mistura resultante, como mostrada na Figura 16, foi transferida para um filtro a vácuo para separação do catalisador do produto.

Tabela 12 - Modelo com as variáveis codificadas do planejamento experimental

	Temperatura (°C)	Catalisador%	Razão Molar
1	55	2	1:9
2	75	2	1:9
3	55	8	1:9
4	75	8	1:9
5	55	2	1:21
6	75	2	1:21
7	55	8	1:21
8	75	8	1:21
9	65	5	1:15
10	65	5	1:15
11	65	5	1:15

Após a remoção do catalisador, procedeu-se à separação do biodiesel do álcool utilizando uma centrífuga, com a mistura contida em tubos tipo falcon de 15 ml. A centrífuga foi configurada para operar a 3000 rpm, com uma aceleração de 1529 rpm/s², durante 5 minutos. Em seguida, a glicerina foi separada do biodiesel utilizando uma pipeta de Pasteur de vidro. O biodiesel resultante foi transferido para um béquer e submetido a um processo de secagem em estufa a 80°C por 24 horas, visando à completa evaporação do metanol, resultando no biodiesel purificado.

Figura 16 - Resultado da reação por 6 horas separado na centrífuga



Fonte: Próprio autor.

Em termos técnicos, a catálise heterogênea requer temperaturas mais elevadas durante o processo de transesterificação. Portanto, é imperativo realizar novas pesquisas, com especial atenção à análise detalhada da influência da temperatura na reação.

Adicionalmente, é essencial considerar outros fatores que podem impactar no rendimento da reação, como tempo de reação, diferentes concentrações de catalisador ou até mesmo a ineficiência intrínseca do catalisador. Uma abordagem aprofundada desses elementos é necessária para uma compreensão abrangente e eficaz do processo em questão.

Independentemente do resultado do rendimento obtido na reação de transesterificação, o óleo da semente de abóbora é uma matéria-prima valiosa devido à sua alta disponibilidade. Além disso, catalisadores alternativos e de baixo custo representam importantes alternativas ao processo convencional, especialmente considerando sua reutilização e fácil manejo.

6. CONCLUSÃO

Com base nas observações e resultados obtidos, conclui-se que a extração do óleo da semente de abóbora é um processo passível de otimização. A média de rendimento de 40,614% reflete um resultado positivo, evidenciando que a duração da extração via Soxhlet é um fator crítico, sendo necessários períodos de extração superiores a 6 horas para alcançar maiores rendimentos em óleo.

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

A viscosidade média de 29,105 mm²/s revela que o óleo da semente de abóbora possui uma viscosidade mais baixa em comparação com outros óleos, o que é vantajoso para uma conversão eficaz dos ácidos graxos em biodiesel, uma vez que uma alta viscosidade pode dificultar a reação.

O índice de acidez é um parâmetro importante que afeta a qualidade do biodiesel, pois altos níveis de ácidos graxos livres podem comprometer o produto final. O índice de acidez do óleo da semente de abóbora está em conformidade com os padrões, sendo promissor para a qualidade do biodiesel. O índice de acidez de 4,821 mg de KOH/g é significativamente menor em comparação com o pinhão manso, ressaltando a importância de manter um baixo índice de acidez para reduzir os gastos de produção com o tratamento inicial do óleo.

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

A influência da temperatura na catálise heterogênea durante a transesterificação destaca a necessidade de estudos mais aprofundados nessa área. A realização de pesquisas adicionais, com uma análise detalhada da temperatura e de outros fatores, como tempo de reação e concentração de catalisador, torna-se crucial para compreender e otimizar o comportamento do catalisador na reação. Portanto, uma abordagem metódica desses elementos é fundamental para uma compreensão abrangente e eficaz do processo de produção de biodiesel.

Em suma, este trabalho traz resultados promissores para uso de matérias-primas alternativas para a produção de biodiesel, assim como o uso de um promissor catalisador de baixo custo e grande potencial, que pode ser aplicado na reação e transesterificação.

REFERÊNCIAS

- AHTESHAM, SHAIKH ABDUL; HEBBAL, OMPRAKASH. Pumpkin seed oil biodiesel an alternate fuel to diesel: a review. **Pumpkin seed oil methyl ester, transesterification**, Kalaburagi, v. 7, ed. 10, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://www.irjet.net/archives/V7/i10/IRJET-V7I10118.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- ALSHARIF, Mariam; ZNAD, Hussein. Transesterification of waste canola oil by lithium/zinc composite supported on waste chicken bone as an effective catalyst. **Renewable energy**, Curtin University, v. 151, p. 740-749, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119317641>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- CABELLO, C.; RINCÓN, S.; ZEPEDA, A. Catalizadores heterogêneos utilizados para la obtención de biodiesel. **Biodiesel; transesterification; catalysts; heterogeneous**, Universidad Autónoma de Yucatán, v. 74, ed. 577, p. 50-59, 2017. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320756/411247>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- CAVALCANTE FILHO, P. G.; BUAINAIN, A. M.; BENATTI, G. A cadeia produtiva agroindustrial do biodiesel no Brasil: um estudo sobre sua estrutura e caracterização. **Drd - desenvolvimento regional em debate**, Campinas, v. 9, p. 772-799, 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.unc.br/index.php/drd/article/view/2252>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- CORRÊA, A.P.A.; SILVA, S.D.S.; D'AVILA, R.; KROLOW, A.C.R.; ZAMBIAZI, R.C. Perfil de ácidos graxos do óleo de semente de abóboras crioulas (*Cucurbita maxima* L.). **Iii congresso brasileiro de processamento de frutas hortícolas**, ILHEUS, v. 26, p. 2053–2057, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/997029/1/AnaKrolowTrabalhoCientificoPaV1.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- DAABO, A.M. The production of bio-based fuels and carbon catalysts from chicken waste. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 201, ed. 1, p. 21-34, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148122015816>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- TAPANES, N.D.L.C.O.; ARANDA, D.A.G.; PEREZ, R.S.; CRUZ, Y.R. Biodiesel no Brasil: matérias primas e tecnologias de produção. **Acta scientiae e technicae**, Universidade Federal de Rio de Janeiro, v. 1, ed. 1, p. 119-125, 2013. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/96121336/10-libre.pdf?1671577564=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBiodiesel_No_Brasil_Materias_Primas_e_Te.pdf&Expires=1720818878&Signature=O1xWwmRqUu1D1TUVH04Oj6GTY-lxO-BJ~3MUSo1bL0Tdtlt~RUak7slCgHRoRqh0t8Y4B~2vtv4NnTCwfqzsp5CN1ozYJL1pGYyZeW~wdq5Z54eTrjsG6djDV42~5ojfQrwuBvM3PI2pu8JeN~eQp7tZrXKJyjkC3~uzlMyuuaAs4GhkVrLpLuKETuc4S7a qHXN12B~NR6uCaSrV-trly7LVTvZry-bAhfnDv7PvfCx4qn45MBriJVyFn8SnlsAMoZT1LBDAnk6AzjPuzYWJWamHRbW-HOkijGn5aTGOI3~OJnXNd6AVyxCE34yIW05DMTSxy~fICyidyvnj4Jusg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 11 jul. 2024.
- DUARTE, V.H.; VALENTINI, M.H.K.; SANTOS, G.B.; NADALETTI, W.C.; VIEIRA, Bruno. Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel. **Open journal systems**, [s. l.], v. 4, ed. 2, p. 50-68, 2022. Disponível em: <https://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/185/131>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- ALMEIDA, C.F.D. Herança de caracteres relacionados à produtividade e perfil de ácidos graxos do óleo de sementes de abóbora e seleção de plantas compactas e com maior produtividade de óleo funcional. **Locus ufv**, Viçosa - MG, p. 1-67, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/7918cafc-b353-42af-8d36-986ba77852b3>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- HUSSAIN, F. Waste animal bones as catalysts for biodiesel production; a mini review. **Catalysts**, [s. l.], v. 11, ed. 630, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4344/11/5/630>. Acesso em: 11 jul. 2024.

ISMAEEL, H.K.; ALBAYATI, T.M. The role of catalysts in biodiesel production as green energy applications: A review of developments and prospects. **Chemical Engineering Research and Design**, [s. l.], v. 204, p. 636-653, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876224001400>. Acesso em: 11 jul. 2024.

KADER, S. S.; JUSOH, M.; ZAKARIA, Z. Y. Palm fatty acid distillate-based biodiesel with sulfonated chicken and cow bone catalyst. **Materials Today: Proceedings**, v. 57, p. 1053–1060, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321060594>. Acesso em: 11 jul. 2024.

KUMAR, M.; SUN, Y.; RATHOUR, R.; PANDEY, A.; THAKUR, I. S.; TSANG, D.C.W. Algae as potential feedstock for the production of biofuels and value-added products: Opportunities and challenges. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 716, ed. 137116, p. 1-17, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720306264>. Acesso em: 11 jul. 2024.

KUPPUSAMY, S. et al. Analysis of the emissions and performance of a diesel engine using pumpkin seed oil methyl ester with different injection pressures. **Fluid Dynamics and Materials Processing**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 1003–1014, 2023. Disponível em: https://cdn.techscience.cn/ueditor/files/fdmp/TSP_FDMP-19-4/TSP_FDMP_22262/TSP_FDMP_22262.pdf. Acesso em: 11 jul. 2024.

MARCHETTI, J.M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A.F. Possible methods for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 11, ed. 6, p. 1300-1311, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032105001073>. Acesso em: 11 jul. 2024.

MENGISTU, T. G.; RESHAD, A. S. Synthesis and characterization of a heterogeneous catalyst from a mixture of waste animal teeth and bone for castor seed oil biodiesel production. **Heliyon**, [s. l.], v. 8, n. 6, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240584402201012X>. Acesso em: 11 jul. 2024.

MIGUEL, A.; MILAD, S. Produção de biodiesel a partir de óleos vegetais, óleos residuais e gordura animal: Uma Revisão Sistemática. **Revistafit**, [s. l.], v. 27, ed. 124, 2022. Disponível em: <https://revistafit.com.br/producao-de-biodiesel-a-partir-de-oleos-vegetais-oleos-residuais-e-gordura-animal-uma-revisao-sistemica/>. Acesso em: 11 jul. 2024.

MOHD JOHARI, S. A. et al. Syntheses and characterization of lithium modified cao from eggshell and cow bone and its performance in biodiesel production from dairy waste scum oil (DWSO). **Journal of Material Cycles and Waste Management**, [s. l.], v. 26, p. 1394–1402, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-024-01903-z>. Acesso em: 11 jul. 2024.

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**, [s. l.], v. 186, 1 nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219315439>. Acesso em: 11 jul. 2024.

RUPOLO, W. Catalisadores heterogêneos no processo de transesterificação para produção de biodiesel: uma revisão sistemática. **Unila**, Foz do Iguaçu, p. 1-46, 2022. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/items/a8c48d47-18f9-4ff5-9b88-69d0d8a5e0f4>. Acesso em: 11 jul. 2024.

ŞAHİN, S.; TORUN, A. Comparison of engine performance and emission values of biodiesel obtained from waste pumpkin seeds with machine learning. **Agriculture (Switzerland)**, v. 14, n. 2, 1 fev. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/2/227>. Acesso em: 11 jul. 2024.

SANDER, R. F. Síntese enzimática heterogênea do biodiesel a partir do óleo de pinhão manso. p. 87, 2018.

SATRAIDI, H. Development of heterogeneous catalyst from chicken bone and catalytic testing for biodiesel with simultaneous processing. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 509, ed. 012125, p. 1-5, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/509/1/012125>. Acesso em: 11 jul. 2024.

SILVA, F. R. DA et al. O biodiesel no Brasil: uma análise da produção, consumo e perspectivas na transição energética. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 11, p. e43121143670, 24 out. 2023. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/375369248_O_biodiesel_no_Brasil_Uma_analise_da_producao_consumo_e_perspectivas_na_transicao_energetica. Acesso em: 11 jul. 2024.

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. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X2300031X>. Acesso em: 11 jul. 2024.

TRACEY, C.T.; SHAVRONSKAYA, D.O. Heterogeneous carbon dot catalysts for biodiesel production: A mini review. **Fuel**, [s. l.], v. 362, ed. 130882, p. 1-11, 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236124000280>. Acesso em: 11 jul. 2024.

UBRABIO. **O que é biodiesel**. 2019. Disponível em: <https://ubrabio.com.br/o-que-e-biodiesel/>. Acesso em: 6 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. Disponível em: <https://fjh.fag.edu.br/index.php/fjh/article/view/95>. Acesso em: 11 jul. 2024.

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.M. Síntese de biodiesel a partir de óleo de soja residual. **Revista científica Unilago**, [s. l.], v. 1, ed. 1, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/369>. Acesso em: 11 jul. 2024.

VILALVA, J.B. **Bioquerosene macaúba**. In: VILALVA, J.B. Produção de ésteres leves derivados de óleo de amêndoa de macaúba para potencial aplicação como biocombustível de aviação. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Rosana, 2021. p. 58. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/47a5f311-d724-4748-83a6-aedab9b78fd4/content>. Acesso em: 11 jul. 2024.