



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia e Ciências
Câmpus de Rosana



CAROLINA NAMIE YOSHIDA

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO
DA SEMENTE DE MELÃO**

Rosana / SP

2025

CAROLINA NAMIE YOSHIDA

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO
DA SEMENTE DE MELÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Andréia Fátima Zanette

Rosana / SP

2025

Y65p

Yoshida, Carolina Namie

Produção de biodiesel através da transesterificação do óleo da semente de melão / Carolina Namie Yoshida. -- Rosana, 2025

50 p. : tabs., fotos

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

Orientador: Andreia Fátima Zanette

1. Biocombustíveis. 2. Biodiesel. 3. Melão. I. Título.

PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DA SEMENTE DE MELÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Rosana, 03/12/2025.

Componentes da Banca Examinadora:

Presidente e Orientadora: Profa. Dra. Andréia Fátima Zanette, UNESP, Câmpus de Rosana.

Membro Titular: Profa. Dra. Leticia Sabo Boschi, UNESP, Câmpus de Rosana.

Membro Titular: Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto, UNESP, Câmpus de Rosana.

Dedico este trabalho a minha família,
Amigos e todos que fizeram parte da
minha jornada da graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, sou grata por todo amor e carinho, incentivo e paciência ao longo desta caminhada. Agradeço por sempre me incentivarem a estudar e crescer de todos os modos, tenho certeza que cada conquista minha é reflexo de todo o esforço, carinho e apoio incondicional que sempre recebi de vocês.

Agradeço imensamente a minha vó que mesmo não estando mais presente, sempre me apoiou e queria viver este sonho comigo e tenho certeza que ela está orgulhosa das minhas conquistas.

A minha família, meus irmãos, tios, primos e amigos por sempre estarem comigo me incentivando a não desistir nunca, a seguir meu sonho, sou grata por todo apoio.

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus amigos e companheiros de graduação, que foram fundamentais em todos os momentos dessa jornada. Aos meus amigos, Julia Camargo, Mariana Jordão, Ryan Gonçalves, Aroldo Mucare, Leonardo Fine, Vitor Ghiraldelo, entre tantos outros. Agradeço do fundo do meu coração por tornarem essa jornada mais leve, pelas risadas, pelo companheirismo e por estarem ao meu lado em cada momento, nos dias difíceis.

Agradeço também à minha orientadora Prof.^a Andréia Fátima Zanette, pelo conhecimento transmitido, paciência, atenção e dedicação em cada etapa deste trabalho. Sua orientação foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Agradeço A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Rosana, por ter sido o espaço que acolheu minha trajetória acadêmica. Foram anos de muito aprendizado, descobertas e amadurecimento, que me proporcionaram não apenas conhecimento, mas também crescimento pessoal.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se concretizasse colegas, professores e familiares, deixo aqui o meu muito obrigada. Cada gesto de apoio, palavra de incentivo e demonstração de carinho teve um papel importante nesta conquista.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

A dependência global de combustíveis fósseis e os impactos ambientais decorrentes de sua utilização intensificam a busca por alternativas energéticas renováveis e ambientalmente mais adequadas. O biodiesel, produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras, destaca-se por ser biodegradável, emitir menos poluentes e apresentar desempenho comparável ao do diesel mineral. Entretanto, os custos de produção ainda representam uma barreira significativa, especialmente devido ao preço das matérias-primas convencionais. Nesse cenário, torna-se essencial explorar fontes alternativas e de baixo custo, como resíduos agroindustriais. Neste estudo, sementes de melão foram empregadas como fonte lipídica, e o óleo foi extraído pelo método Soxhlet utilizando álcool etílico e heptano como solventes. O rendimento médio da extração com álcool etílico foi de 30,91%, enquanto o heptano apresentou 27,86%, indicando maior eficiência do etanol na remoção lipídica. A caracterização físico-química do óleo extraído revelou densidades entre 920,83 e 923,63 kg/m³ para o óleo obtido com álcool etílico e entre 935,90 e 937,21 kg/m³ para o óleo extraído com heptano. A viscosidade cinemática foi de 210,57 cSt, valor superior ao de óleos vegetais convencionais, porém compatível com matérias-primas alternativas para biodiesel. Os índices de acidez variaram de 2,67 a 3,10 mgKOH/g, indicando presença moderada de ácidos graxos livres, dentro da faixa reportada para outras oleaginosas não convencionais. O índice de refração apresentou valores de 1,474 (álcool etílico) e 1,475 (heptano), compatíveis com óleos vegetais utilizados na produção de biocombustíveis. A investigação permitiu compreender a influência de fatores como tipo de solvente, granulometria e tempo de extração no comportamento do processo. Os resultados obtidos evidenciam que o óleo das sementes de melão apresenta rendimento satisfatório e propriedades compatíveis com requisitos básicos para conversão em biodiesel. Assim, o estudo reforça o potencial da biomassa como recurso complementar e sustentável, promovendo o aproveitamento de resíduos e contribuindo para o desenvolvimento de biocombustíveis alinhados às demandas ambientais e energéticas atuais.

Palavras-chave: Biodiesel, melão, extração, biocombustíveis, sustentável.

ABSTRACT

The global dependence on fossil fuels and the environmental impacts resulting from their use have intensified the search for renewable and environmentally appropriate energy alternatives. Biodiesel, produced from vegetable oils or animal fats, stands out for being biodegradable, emitting fewer pollutants, and presenting performance comparable to mineral diesel. However, production costs still represent a significant barrier, especially due to the price of conventional raw materials. In this context, it becomes essential to explore alternative and low-cost sources, such as agro-industrial residues. In this study, melon seeds were employed as a lipid source, and the oil was extracted using the Soxhlet method with ethyl alcohol and heptane as solvents. The average extraction yield using ethyl alcohol was 30.91%, while heptane resulted in 27.86%, indicating greater efficiency of ethanol in lipid removal. The physicochemical characterization of the extracted oil revealed densities ranging from 920.83 to 923.63 kg/m³ for the oil obtained with ethyl alcohol and from 935.90 to 937.21 kg/m³ for the oil extracted with heptane. The kinematic viscosity was 210.57 cSt, a value higher than that of conventional vegetable oils but compatible with alternative biodiesel feedstocks. The acid values ranged from 2.67 to 3.10 mgKOH/g, indicating a moderate presence of free fatty acids, within the range reported for other non-conventional oilseeds. The refractive index values were 1.474 (ethyl alcohol) and 1.475 (heptane), consistent with vegetable oils used in biofuel production. The investigation made it possible to understand the influence of factors such as solvent type, particle size, and extraction time on process behavior. The results show that melon seed oil presents satisfactory yield and physicochemical properties compatible with the basic requirements for biodiesel conversion. Thus, the study reinforces the potential of this biomass as a complementary and sustainable resource, promoting residue valorization and contributing to the development of biofuels aligned with current environmental and energy demands.

Keywords: Biodiesel, melon, extraction, biofuels, sustainable.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema da reação de transesterificação de um triglicerídeo genérico com metanol.	25
Figura 2 - Semente de melão limpas.	29
Figura 3 - Cartuchos com sementes de melão trituradas.	30
Figura 4 - Método de Soxhlet utilizado para extração do óleo da semente de melão	31
Figura 5 - Picnômetro utilizado para determinação da densidade do óleo.	32
Figura 6 - Resultado da titulação.	32
Figura 7 - Refratômetro ABBE utilizado para medir o índice de refração.....	33
Figura 8 - Amostra dentro do reator de batelada utilizado na reação de transesterificação.	34
Figura 9 - Decantação da mistura resultante do processo de transesterificação.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Maiores produtores de melão no Brasil em 2024.....	26
Tabela 2 - Crescimento da produção de melão de 1974 até 2024.	26
Tabela 3 - Valor médio em (g) de semente por melão (g).....	35
Tabela 4 - Massa de sementes antes da extração utilizando álcool etílico como solvente.....	35
Tabela 5 - Massa de sementes antes da extração utilizando Heptano como solvente	36
Tabela 6 - Resultado da extração do óleo utilizado álcool etílico como solvente.....	36
Tabela 7 - Resultado da extração do óleo utilizado heptano como solvente.	36
Tabela 8 - Índice de rendimento do óleo utilizado Álcool Etílico como solvente.	37
Tabela 9 - Índice de rendimento do óleo utilizado Heptano como solvente.	37
Tabela 10 - Densidade em duplicata do óleo extraído com Álcool Etílico	37
Tabela 11 - Densidade em duplicata do óleo extraído com Heptano.	38
Tabela 12 - Resultado do índice de acidez em duplicata do óleo extraído com Álcool Etílico.	39
Tabela 13 - Resultado do índice de acidez em duplicata do óleo extraído com Heptano.	39
Tabela 14 - Índice de refração do óleo extraído com Álcool etílico.	40
Tabela 15 - Índice de refração do óleo extraído com Heptano.....	40
Tabela 16 - Variáveis das reações de transesterificação.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos reagentes utilizados nos experimentos.....	28
Quadro 2 - Descrição dos equipamentos utilizados.....	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Índice de evolução do percentual obrigatório de Biodiesel.	22
Gráfico 2 - Produção de biodiesel no Brasil.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
GEE	Gases Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
SAF	<i>Sustainable Aviation Fuel</i> - Combustível Sustentável de Aviação.
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1. Combustíveis fosseis	19
3.2. Biocombustíveis	19
3.3. Biodiesel no brasil.....	21
3.4. Processo de produção do biodiesel.....	24
3.5. Melão no Brasil	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1. Material utilizado	27
4.2. Métodos	28
4.2.1. Preparação e pesagem melão	29
4.2.2. Extração óleo da semente de melão.....	29
4.2.3. Análise e caracterização do óleo extraído.....	32
4.2.3.1. Densidade	32
4.2.3.2. Viscosidade.....	33
4.2.3.3. Índice de acidez	33
4.2.3.4. Índice de refração.....	32
4.3. Produção do biodiesel.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1. Rendimento do óleo obtido através da extração	35
5.2. Resultados da caracterização do óleo da semente de melão	37
5.2.1. Dados de densidade do óleo da semente do melão	37
5.2.2. Resultado da viscosidade do óleo da semente de melão	38
5.2.3. Análise do índice de acidez do óleo da semente de melão	39
5.2.4. Resultados do índice de refração	39
5.3. Processo de produção do biodiesel.....	40
5.3.1. Síntese do biodiesel a partir do óleo da semente de melão	40
6. CONCLUSÃO.....	42
7. REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve um aumento significativo na demanda por combustíveis fósseis, uma tendência que preocupa a sociedade devido à crescente emissão de gases poluentes associados a esses combustíveis. Atualmente, os combustíveis fósseis representam aproximadamente 80% do consumo global de energia, uma proporção alarmante quando consideramos seu impacto ambiental, especialmente no que diz respeito ao agravamento do efeito estufa (Castro et al., 2022; Iea, 2023).

Os gases de efeito estufa (GEE) são responsáveis pela retenção de radiação infravermelha na atmosfera, fenômeno essencial para a manutenção da temperatura da Terra, ou seja, tem o poder de capturar o calor na atmosfera que, quando intensificado, provoca o aquecimento global (Client earth, 2022).

Entre os principais GEE estão o dióxido de carbono (CO_2), oriundo principalmente da queima de combustíveis fósseis; o metano (CH_4), emitido por atividades agrícolas, aterros e exploração de gás natural; o óxido nitroso (N_2O), associado ao uso de fertilizantes e manejo de solos; e os gases fluorados, liberados em processos industriais e refrigeração (KE et al., 2023).

A elevação contínua das concentrações desses gases intensifica as mudanças climáticas, incluindo aumento do nível do mar, eventos extremos e alterações nos ecossistemas. Estratégias de mitigação incluem a redução das emissões antrópicas, transição energética e preservação de sumidouros de carbono, como florestas e oceanos (Client earth, 2022; ONU, 2022).

Devido a esses grandes impactos, a procura por combustíveis e fontes de energia que podem substituir ou diminuir a demanda dos combustíveis fósseis aumentou, e com isso surgiu os biocombustíveis um tipo de combustível sustentável. Sua produção se dá ao uso de matérias orgânicas e são considerados uma fonte de energia renovável (Tomazini; Andrade, 2023).

Tendo em vista que os recursos para produção dos combustíveis fósseis são limitados, adquirir ferramentas para substituir uma demanda energética que cresce de forma exponencial, é essencial para sustentabilidade mundial (Priya et al., 2022).

Seguindo essa linha de biocombustíveis, o biodiesel é produzido a partir de óleo derivado de vegetais ou de gorduras animais através de um processo de transesterificação catalítica. O biodiesel tem algumas vantagens importantes, como maior lubricidade, um baixo nível de toxicidade, derivado de matéria-prima renovável, possui biodegradabilidade, baixo teor de enxofre e registra níveis mais baixos de emissões de escape do que o combustível diesel de petróleo (Topare et al., 2022).

O biodiesel pode ser produzido através da transesterificação, um processo químico que converte triglicerídeos presentes em óleos vegetais ou gorduras animais, em ésteres monoalquílicos (biodiesel) e glicerol.

Na transesterificação, o óleo reage com um álcool na presença de um catalisador, que pode ser alcalino, ácido ou enzimático. O catalisador alcalino é o mais utilizado devido ao baixo custo e alta eficiência, especialmente quando o óleo possui baixo teor de ácidos graxos livres (Ezema et al., 2023). O processo de transesterificação é muito utilizado devido aos seus rendimentos satisfatórios e baixo custo.

Em relação às matérias-primas para produção de biodiesel, tem havido um foco considerável na utilização de óleos vegetais brutos, como óleo de palma, ou em óleos e gorduras de baixo custo, os quais frequentemente possuem altos teores de ácido graxo livre e água. No contexto brasileiro, a soja continua sendo a matéria-prima dominante na produção de biodiesel.

Segundo a (Empresa de Pesquisa Energética) EPE, em 2024, mais de 72% do biodiesel produzido utilizou óleo de soja como insumo principal, enquanto “materiais graxos” (gorduras animais e resíduos) vêm aumentando sua participação (Gov.br, 2025c)

A diversidade de matérias-primas permite flexibilidade tecnológica e econômica para o setor de biodiesel, reduzindo a dependência de culturas alimentares e favorecendo modelos mais sustentáveis e circulares. Neste contexto, o melão surge como uma possibilidade de matéria-prima, pois é amplamente consumido globalmente.

No Brasil, apesar da maior parte da produção ser destinada ao consumo interno, apenas o fruto é aproveitado, enquanto as sementes são descartadas (Lopes; França, 2021). O Brasil se encontra como 5º maior exportador de melão, produzindo cerca de 800 mil toneladas por ano, sendo o Nordeste o maior produtor de nacional (Ibge, 2025).

A semente de melão é uma oleaginosa promissora para produção de biodiesel, pois possui um teor de óleo que varia de 27% A 50% (Aktaş; Sekmen; Sekmen, 2010; Rodrigues, 2018). A composição lipídica é adequada, com predominância de ácidos graxos como oleico e linoleico, perfis semelhantes aos de óleos vegetais já consagrados na produção de biocombustíveis (Fadhil, 2013; Silva; Santos; Lucena, 2023).

Estudos mostram ainda que o óleo de semente de melão apresenta baixo teor de ácidos graxos livres (FFA), o que facilita a transesterificação alcalina e permite elevados rendimentos de conversão, próximos a 96% em condições otimizadas (Panneerselvam et al., 2016).

Neste estudo, a semente de melão foi utilizada como uma matéria-prima renovável e de baixo custo para a produção de biodiesel. Todas análises físico-químicas do óleo extraído foram realizadas afim de proporcionar mais informações sobre a caracterização do óleo de melão e uso

na produção do biodiesel e, assim, contribuindo para o desenvolvimento de soluções energéticas sustentáveis.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como propósito analisar a viabilidade da extração do óleo sementes de melão e produzir biodiesel empregando o processo de transesterificação com catálise homogênea básica. A pesquisa visa aproveitar resíduos gerados pela indústria do melão e promover o desenvolvimento de uma alternativa energética sustentável, econômica e ambientalmente adequada.

Objetivos específicos:

- i. Obtenção da semente de melão e extração do óleo via Soxhlet com álcool etílico e heptano como solventes.
- ii. Caracterização do óleo extraído do melão.
- iii. Produção de biodiesel em um reator batelada, avaliando as seguintes variáveis: quantidade do catalisador e razão molar.
- iv. Análise dos resultados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Combustíveis fósseis

Os combustíveis fósseis são recursos naturais não renováveis formados a partir da decomposição de matéria orgânica que, sob condições específicas de pressão e temperatura, se transformaram em substâncias altamente energéticas, como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural (Priya et al., 2022).

Os combustíveis fósseis constituem a base energética predominante desde a Primeira Revolução Industrial devido à sua alta densidade energética, facilidade de armazenamento e transporte. Historicamente, a abundância relativa e o elevado poder energético desses combustíveis impulsionaram a industrialização, a urbanização e o crescimento econômico global.

O petróleo tornou-se essencial para o transporte e, na petroquímica, o carvão sustentou siderúrgicas e usinas termoeletricas. Já o gás natural expandiu-se rapidamente como uma alternativa menos poluente dentro do próprio conjunto fóssil (Bertolo et al., 2022).

No entanto, seu uso tem sido associado a vários impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa, poluição do ar, acidificação e degradação ambiental associada à sua extração (Almeida, 2023). A dependência global de combustíveis fósseis continua sendo um dos principais motores das emissões de gases de efeito estufa. Estudos mostram que a queima de carvão, petróleo e gás natural responde pela maior parte do CO₂ liberado pelas atividades humanas (Friedlingstein et al., 2022). Além disso, impactos como degradação ambiental, poluição atmosférica e riscos associados à extração de petróleo em regiões sensíveis têm sido amplamente documentados (Zhang; Sun; Guo, 2024).

Nas últimas décadas, o debate sobre a transição energética tem intensificado a busca por alternativas de baixo carbono, como energias renováveis, como eólica, solar, biomassa, hidrelétrica, hidrogênio verde e soluções de armazenamento energético. Apesar desses avanços, a economia global ainda depende fortemente dos combustíveis fósseis, que representam a maior parcela da matriz energética mundial.

3.2. Biocombustíveis

Os biocombustíveis são uma fonte de energia renovável que deriva de resíduos de biomassa, atualmente existem quatro gerações de biocombustíveis. O uso de biocombustíveis

é considerado uma alternativa mais sustentável aos combustíveis fósseis, pois podem ajudar a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e diminuir a dependência de recursos não renováveis (Wang et al., 2022).

Os biocombustíveis têm ganhado importância estratégica no cenário energético global devido ao seu potencial de reduzir emissões de gases de efeito estufa e contribuir para a diversificação das fontes de energia renovável. A produção mundial cresceu significativamente na última década, acompanhada por avanços tecnológicos e políticas voltadas para a transição energética (Priya et al., 2022). Segundo o Atlas de Biocombustíveis do IICA, a produção global de biocombustíveis líquidos aumentou cerca de 50% nos últimos dez anos, impulsionada principalmente pelos Estados Unidos e pelo Brasil, que se mantêm líderes no setor (Chiara; Torroba, 2024). Em 2023, o Brasil atingiu recorde histórico com quase 43 bilhões de litros de etanol e biodiesel produzidos, mostrando a relevância crescente desses combustíveis na matriz energética nacional.

Os avanços tecnológicos recentes colocam em evidência as chamadas segundas e terceiras gerações de biocombustíveis, que visam superar limitações da primeira geração, como competição por terras agrícolas e impactos ambientais da monocultura. Entre esses avanços, destaca-se o bioetanol lignocelulósico, produzido a partir de resíduos vegetais e materiais ricos em celulose. Estudos recentes apontam melhorias no pré-tratamento e na hidrólise enzimática da biomassa, tornando o processo mais eficiente e economicamente viável (Akbari et al., 2024). Esse tipo de matéria-prima, como palha, bagaço e resíduos da agroindústria, reduz a competição com alimentos e amplia a sustentabilidade do etanol.

No contexto das políticas públicas e da inovação, estudos técnicos publicados pelo INPI e pela EPE, em 2024, mostram que o Brasil tem fortalecido sua capacidade de pesquisa e desenvolvimento em biocombustíveis, incluindo combustíveis avançados como o *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) e o diesel verde (Chiara; Torroba, 2024).

Dessa forma, os biocombustíveis ocupam um papel central na transição energética contemporânea. A combinação de avanços científicos, uso de resíduos agroindustriais, novas abordagens biotecnológicas e políticas de incentivo aponta para um futuro em que combustíveis renováveis terão participação ainda maior na matriz energética global (Gov.br, 2025d). O contínuo desenvolvimento tecnológico e a ampliação das práticas sustentáveis serão fundamentais para consolidar sua viabilidade econômica e ambiental.

3.3. Biodiesel no Brasil

O biodiesel no Brasil tem suas raízes no início dos anos 2000, quando o Governo Federal deu os primeiros passos para estruturar uma política nacional para esse biocombustível. Em 2003, foram realizados estudos iniciais para criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que foi oficialmente instituído pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (Ipea, 2025)

Desde sua criação, o PNPB teve entre seus objetivos centrais a inclusão social, estimulando a participação da agricultura familiar por meio do Selo Biocombustível Social, e a diversificação dos insumos para o biodiesel. Nos primeiros anos, a adição privada de biodiesel (B2) tornou-se obrigatória em 2008, e a meta inicial era alcançar B5 até 2013. (Gov, 2025).

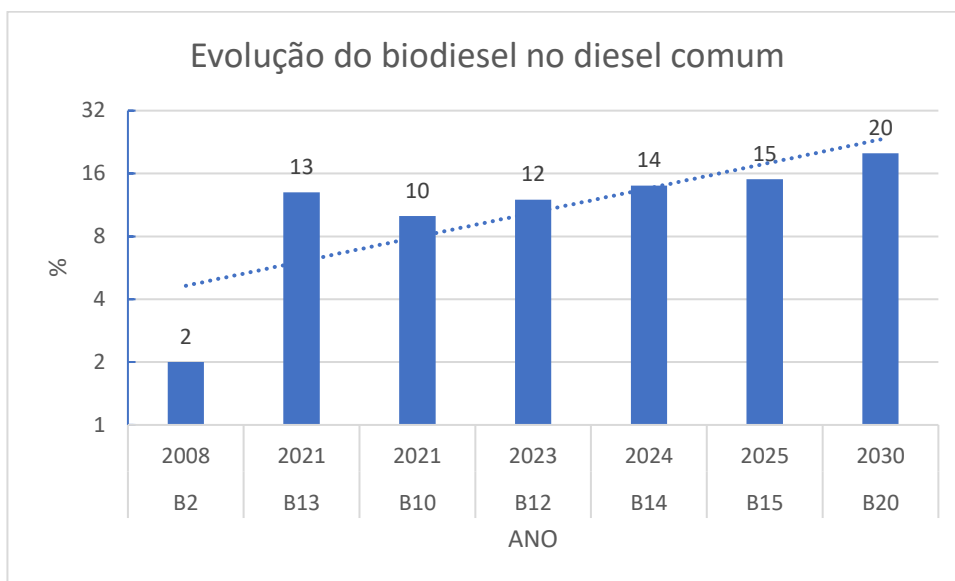
A Embrapa Agroenergia, criada em 2006, desempenhou um papel importante na pesquisa e no desenvolvimento tecnológico para o setor, alinhando seus projetos à produção sustentável de biomassa e à expansão do biodiesel.

Nas duas décadas seguintes, o programa mostrou-se bem-sucedido tanto em termos energéticos como sociais: em 2025, o PNPB completou 20 anos, tendo contribuído para a produção de dezenas de bilhões de litros de biodiesel, geração de emprego no campo e redução de emissões de CO₂ (Meneses, 2011).

A regulação também evoluiu: o percentual obrigatório de biodiesel no diesel foi aumentado gradualmente, chegando a 15% (B15), segundo as diretrizes mais recentes (Gov.br, 2025b), com previsão de alcançar 20% (B20) em 2030 segundo a lei do combustível do futuro.

Nesse contexto, a evolução do teor de biodiesel no diesel comum desenvolveu consideravelmente ao longo desses anos, como pode ser observado no Gráfico 1, que demonstra a porcentagem de biodiesel desde 2008 com previsões futuras até 2030.

Gráfico 1 - Índice de evolução do percentual obrigatório de Biodiesel.



Fonte: GOV, 2025

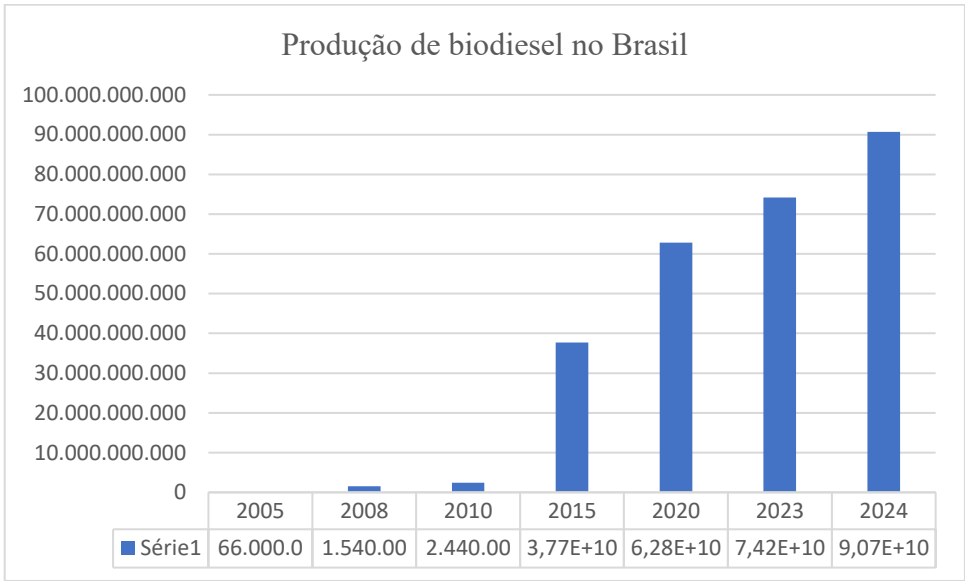
Esse histórico mostra como o biodiesel se consolidou no Brasil não apenas como uma alternativa energética, mas também como instrumento de desenvolvimento rural e inclusão social, ao mesmo tempo em que fortalece a transição para uma matriz energética mais limpa.

Estudos recentes demonstram que misturas biodiesel/diesel apresentam comportamento eficiente em motores agrícolas e de transporte. Uma meta-análise realizada em 2024 mostrou redução consistente de gases poluentes e desempenho energético comparável ao diesel convencional (Akbari et al., 2024). Pesquisas experimentais também apontam que biodiesel proveniente de óleo residual, como óleo de fritura, pode apresentar desempenho semelhante ao diesel fóssil, tornando-se uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente vantajosa (Mengistu et al., 2024).

No contexto brasileiro, o biodiesel desempenha papel estratégico na transição energética. A Lei 14.993/2024 ("Combustível do Futuro") estabelece diretrizes para a ampliação da produção e uso de biodiesel, biodiesel verde e biocombustíveis avançados, reforçando metas de descarbonização. Além disso, análises da EPE demonstram que o uso de biodiesel puro (B100) pode reduzir substancialmente as emissões logísticas e industriais no país, fortalecendo sua relevância socioeconômica e ambiental (Epe, 2025).

O Gráfico 2 apresenta o crescimento exponencial de produção de biodiesel no Brasil ao longo dos anos. Em 2005 foram produzidos 66 milhões/m³ já em 2024 a produção do biodiesel chegou a 9,07 bilhões/m³, tendo um aumento significativo de 20,3% em comparação a 2023 que foi de 7,42 bilhões/m³.(Epe, 2025)

Gráfico 2 - Produção de biodiesel no Brasil



Fonte: EPE, 2024.

O Brasil se mantém entre os maiores produtores mundiais, com capacidade superior a 10 bilhões de litros anuais, impulsionado pela disponibilidade de matérias-primas e pela infraestrutura tecnológica desenvolvida para suprir o mercado interno (Gov.br, 2025d) Estudos recentes indicam que o biodiesel brasileiro apresenta desempenho ambiental favorável, com redução potencial de até 70% das emissões de CO₂ quando comparado ao diesel fóssil, dependendo da rota produtiva e da matéria-prima utilizada.

Além dos benefícios ambientais, o setor contribui significativamente para geração de renda no campo, inclusão produtiva de pequenos agricultores e diversificação da matriz energética. No entanto, desafios persistem, como a volatilidade no preço das matérias-primas, a necessidade de aprimorar a logística de coleta de resíduos oleosos e o fortalecimento de biorrefinarias que integrem a produção simultânea de biodiesel, bioquerosene e coprodutos de alto valor agregado (Milanez; Maia; Ferreira, 2022).

O cenário atual aponta para expansão contínua, especialmente com o desenvolvimento de novas rotas produtivas a partir de resíduos urbanos, microalgas e biomassa lignocelulósica, que poderão reduzir custos, ampliar a sustentabilidade e diminuir a dependência de óleo de soja. Pesquisas recentes destacam o potencial de gorduras residuais e óleos de fritura como alternativas economicamente acessíveis, capazes de diminuir o impacto ambiental e aumentar a circularidade da economia (Filho et al., 2023). Dessa forma, o biodiesel brasileiro apresenta-se como componente crucial da transição energética, combinando segurança energética, desenvolvimento rural e mitigação das emissões atmosféricas.

3.4. Processo de produção do biodiesel

A produção de biodiesel ocorre principalmente por meio da reação de transesterificação, que consiste na conversão de triglicerídeos presentes em óleos vegetais ou gorduras animais em ésteres metílicos ou etílicos (biodiesel) e glicerol como subproduto.

Nessa reação química, o glicerol é substituído por um álcool de cadeia curta, geralmente metanol ou etanol, na presença de um catalisador, que pode ser alcalino, ácido ou enzimático. O catalisador alcalino é o mais utilizado devido ao baixo custo e alta eficiência, especialmente quando o óleo possui baixo teor de ácidos graxos livres (Ezema et al., 2023). Na Figura 1 é apresentado o processo de transesterificação para formação do biodiesel

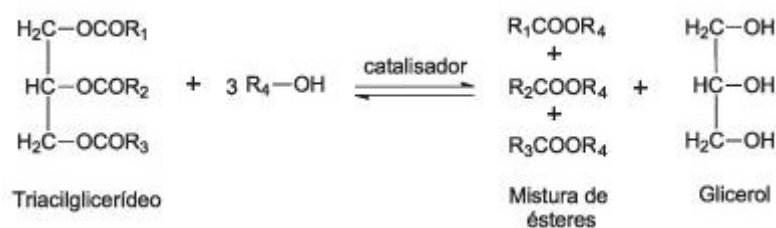
A reação de transesterificação é reversível, o que exige o uso de um excesso de álcool geralmente na proporção molar de 1:6 para elevar o rendimento de ésteres alquilados e favorecer a separação da fase de glicerol.

O metanol é o álcool mais empregado na produção de biodiesel, pois proporciona maiores rendimentos. Entretanto, como o Brasil está entre os maiores produtores mundiais de etanol, há forte interesse na substituição do metanol por etanol, possibilitando a produção de um biocombustível de origem totalmente agrícola e independente do petróleo (Barros; Jardine, 2024).

Além disso a utilização do álcool anidro é recomendada para reduzir a formação de sabões, já que a água presente no meio reacional favorece reações paralelas de saponificação, que consomem o catalisador e diminuem a eficiência da transesterificação.

Os catalisadores básicos mais comuns são NaOH e KOH, geralmente aplicados em cerca de 0,5% do peso do óleo. Embora acelerem fortemente a reação e sejam economicamente viáveis, aumentam a formação de sabão ao reagirem com ácidos graxos livres — cada 1% de NaOH pode gerar aproximadamente 7% de sabão. (Barros; Jardine, 2024; Milanez; Maia; Ferreira, 2022).

Figura 1 - Esquema da reação de transesterificação de um triglicerídeo genérico com metanol.



Fonte: Rinaldi et al., 2007.

Estudos recentes destacam inovações tecnológicas, como catalisadores heterogêneos, uso de resíduos agroindustriais e rotas alternativas para purificação, que aumentam a eficiência e reduzem impactos ambientais.

Desafios ainda existem, como custos de produção, logística de matérias-primas e manejo dos coprodutos, especialmente a glicerina, que pode ser convertida em biogás ou combustíveis renováveis. Porém, já se tem um grande aumento nas pesquisas referente a esses desafios.

De acordo com um artigo público no MDPI na sessão de Energies, a glicerina bruta pode ser pré-tratada para produção de biogás/biometano, vários estudos mostram bom potencial energético quando misturada a outros resíduos. Essa rota transforma um resíduo em insumo energético, reduzindo custos de disposição e gerando receita (Kazimierowicz et al., 2024).

3.5. Melão no Brasil

Atualmente o Brasil é o quinto maior exportador de melão (*Cucumis melo*) do mundo, sendo o Nordeste o maior produtor nacional. Segundo dados de políticas agrícolas e projeções, a produção de melão deverá crescer cerca de 28,7% até 2032/2033, impulsionada pela expansão da área cultivada e pela demanda exportadora (Gov.br, 2023),

As principais unidades produtoras de melão são os estados de Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia. Em 2023/24, o Rio Grande do Norte destacou-se com mais de 800 mil toneladas produzidas, representando grande parte da produção nacional (Ibge, 2025). Além disso, o estado é caracterizado como um dos maiores exportadores de melão do Brasil o que gerou um aumento na receita (Gov.br, 2023). A Tabela 1 apresenta os estados com maior produção de melão em 2024, seguindo a Tabela 2, que apresenta o ano e a quantidade em toneladas de melão produzido no Brasil.

Tabela 1 - Maiores produtores de melão no Brasil em 2024.

Estado	Produção de melão (toneladas)
Rio Grande do Norte (RN)	505.212
Bahia (BA)	89.849
Ceará (CE)	70.945
Pernambuco (PE)	98.060
Piauí (PI)	34.360
Brasil	862.387

Fonte: Ibge, 2025.

Tabela 2 - Crescimento da produção de melão de 1974 até 2024.

ANO	Produção do melão (toneladas)
1974	10.877
2018	581.478
2020	614.000
2023	826.387
2024	862.387

Fonte: Ibge, 2025.

Uma parcela considerável das sementes de melão é subproduto do processamento para consumo in natura ou industrial o restante é descartado, gerando resíduo agroindustrial com potencial energético subexplorado. Com base nisso, pesquisas recentes têm investigado a viabilidade dessas sementes como fonte de óleo para biodiesel e até de catalisadores para reações químicas.

As sementes de melão (*Cucumis melo*) têm se destacado como uma matéria-prima promissora para a produção de biodiesel, principalmente devido ao seu elevado teor de óleo e ao fato de constituírem um subproduto frequentemente descartado pela cadeia produtiva da fruta.

Diversos estudos demonstram que as sementes apresentam rendimento significativo durante a extração lipídica, alcançando valores em torno de 52,2% de óleo, o que as coloca em posição competitiva frente a outras oleaginosas utilizadas na produção de biocombustíveis.

Além da quantidade expressiva, o óleo obtido apresenta características físico-químicas adequadas para o processo de transesterificação, como densidade a $0,91 \text{ g/cm}^3$, baixa umidade e composição favorável de ácidos graxos, fatores que contribuem para uma conversão eficiente em biodiesel (Popoola; Haruna, 2024).

Segundo Ezema et al., 2023, as sementes de melão têm um grande potencial na produção do biodiesel, teor de óleo nas sementes de *C. mannii* foi de $40,8 \pm 0,56\%$. A análise por GC-MS do óleo revelou a presença de 47,0% de ácidos graxos saturados. As propriedades físico-químicas encontradas foram densidade relativa ($0,93 \pm 0,02$), índice de refração a 28°C ($1,46 \pm 0,04$) e viscosidade a 30°C ($3,00 \pm 0,10 \text{ mm}^2/\text{s}$).

Em outros estudos foram encontrados valores semelhantes de teor de extração do óleo, 30 a 39% de óleo extraído, as análises físico-químicas tem valores um pouco diferentes, viscosidade de 15 Cp o índice de refração 1,4695 e índice de acidez 0,45 (Rezaie; Shahidi; Baygan, 2024). Os resultados podem variar de acordo com o método de extração, tipo de solvente utilizado, influenciando nas análises físico-químicas.

Dessa forma, o aproveitamento das sementes de melão para produzir óleo e catalisadores apresenta-se como uma estratégia de economia circular e bioeconomia no Brasil, contribuindo para a diversificação da matriz energética renovável.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material utilizado

Para produção do biodiesel, os melões foram adquiridos em comércio local de Primavera - SP. Para realizar o a extração do óleo foi utilizado o método de Soxhlet, todas análises físico-químicas foram realizadas com o óleo e para realização do processo de transesterificação de foi utilizado KOH (hidróxido de potássio) como catalizador. Os outros materiais e reagentes foram adquiridos em grau analítico (PA) e utilizados sem a necessidade de tratamento prévio. O Quadro 1 apresenta a relação dos reagentes utilizados para a execução dos experimentos.

Quadro 1 - Descrição dos reagentes utilizados nos experimentos.

Reagentes	Marca	Pureza, %
Álcool Etílico	Êxodo científica	99,8
Éter etílico	Synth, PA	99,8
Heptano	Synth, PA	99,5
Hidróxido de potássio	Synth, PA	99,9
Fenolftaleína	Synth, PA	99,4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os equipamentos necessários para realizar a extração, caracterização do óleo e a produção do biodiesel, foram listados no Quadro 2 juntamente com suas especificações técnicas.

Quadro 2 - Descrição dos equipamentos utilizados.

Equipamentos	Especificações técnicas
Balança semi analítica	Marte AD500, 510g, divisão 0,001g
Balança analítica	Marte AUW220D, 220/82g, divisão 0,1/0,01 mg
Estufa de secagem e esterilização	Vulcan
Moinho analítico	IKA moinhos, A11
Banho Maria SL 150	SOLAB, aquecimento digital (SL-150)
Refratômetro ABBE	Megabrix, Refratômetro de bancada abbe AR1000
Incubadora Shaker orbital refrigerada	Alfer Scientific

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.2. Métodos

A seguir serão apresentados os materiais e métodos necessários para realizar a extração do óleo da semente do melão e para análise das suas características físico-químicas. Será descrito também o método para produção do biodiesel.

4.2.1. Preparação das sementes de melão

Para quantificar a quantidade de sementes que cada melão possui, foi realizada uma pesagem inicial. Para isso, os melões (*Cucumis Melon*) foram fracionados e pesados em seguida, as sementes foram retiradas e lavadas e pesadas em seguida esse processo foi repetido 4 vezes para ter uma média de peso melão e quantidade de sementes.

4.2.2. Extração óleo da semente de melão

Os melões utilizados neste trabalho foram adquiridos em comércio local de Primavera - SP. Após isso foi realizada a separação da semente e do fruto. As sementes foram lavadas em água corrente para retirada de maiores impurezas, em seguida foi lavada novamente em água destilada e disposta em uma forma de metal forrada com papel alumínio para evitar contato direto com a forma como observado na Figura 2. Em seguida, as sementes foram submetidas à secagem em estufa, por 24 horas a uma temperatura de 80°C até toda umidade ser retirada. Após a secagem, as sementes foram trituradas em um moinho analítico, para diminuir o tamanho das partículas e aumentar a área de contato com solvente na hora da extração.

Figura 2 - Semente de melão limpas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Após as sementes serem trituradas foram colocadas em cartuchos que foram confeccionados com papel filtro e pesados para realização das extrações como apresentado na Figura 3. A trituração das sementes é um passo importante principalmente para romper as paredes celulares e, assim, aumentar a eficiência do processo de extração. Seguindo os

cartuchos com as amostras trituradas foram pesadas e anotadas para realizar as análises posteriormente.

Figura 3 - Cartuchos com sementes de melão trituradas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A extração do óleo ocorreu pelo método de Soxhlet, onde foi utilizado dois tipos de solventes, o Álcool Etílico 98% e o Heptano. Em um balão volumétrico de 500ml foi adicionado 400ml de Álcool Etílico e Heptano, acompanhado de pérolas de vidro, utilizadas para prevenção de fervura abrupta, distribuição do calor de forma equitativa por todo o líquido. Em seguida, foi montado um sistema de condensador que faz parte do método de extração. Os cartuchos foram inseridos no sistema de Soxhlet e conectados no condensador e no balão volumétrico com o solvente como mostra a Figura 4. O processo de extração foi conduzido por um período de 6 horas a uma temperatura 90°C. O método de extração de Soxhlet é amplamente conhecido pela sua eficiência na extração de compostos lipofílicos, pelo fato de o processo ocorrer repetidamente garantindo maior taxa de extração do óleo.

Figura 4 - Método de Soxhlet utilizado para extração do óleo da semente de melão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Após a extração, a mistura resultante de álcool e óleo foi submetida a secagem por 24 horas a 80°C para remoção completa do solvente assim restando somente o óleo. A remoção total foi confirmada pela estabilização da massa do óleo, procedimento essencial para identificar se todo o solvente foi evaporado.

Calcular o rendimento do óleo obtido é essencial para produção do biodiesel, uma vez que um alto rendimento, diminui o desperdício de óleo e garante uma quantidade maior de biodiesel a ser produzido. O rendimento do óleo foi calculado por meio da Equação 1:

Equação 1:
$$RENDIMENTO = \frac{MF}{MCC} * 100$$

Onde os dados utilizados são:

- MF: Massa final do óleo após secagem
- MCC: Massa cartucho cheio.

4.2.3. Análise e caracterização do óleo extraído

4.2.3.1. Densidade

Para determinar a densidade relativa do óleo foi utilizado o método do picnômetro que consiste em pesar o picnômetro vazio (m_1), após isso pesá-lo com a amostra até completar todo o volume da tampa do capilar (m_2), em seguida pesar com água destilada (m_3). A água destilada é amplamente utilizada como padrão de referência na determinação da densidade de líquidos. A Figura 5 apresenta como foi medida a densidade dos dois tipos de óleo.

Figura 5 - Picnômetro utilizado para determinação da densidade do óleo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A Equação 2 demonstra como a densidade relativa é obtida:

$$\text{Equação 2: Densidade Relativa} = \frac{m_2}{m_3} \times 1000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Onde:

m_1 = massa do picnômetro vazio

m_2 = massa do óleo

m_3 = massa da água destilada

4.3.1.1. Viscosidade

A viscosidade cinemática do óleo vegetal foi determinada utilizando o viscosímetro Cup Ford nº 4. O tempo de escoamento foi registrado com cronômetro digital com óleo em temperatura ambiente. A viscosidade cinemática (ν , em cSt) é calculada a partir do tempo de escoamento (T , em segundos) utilizando a equação $\nu = 2,144 * T - 1,732/T$. A constante 2,144 corresponde ao coeficiente de calibração do Copo Ford nº 4, enquanto o termo $1,732/T$ representa a correção hidrodinâmica necessária para ajustar o comportamento do fluxo próximo ao orifício. Dessa forma, a viscosidade é diretamente proporcional ao tempo de escoamento medido. Dessa forma a viscosidade foi calculada pela Equação 3 específica do Copo Ford nº 4:

$$\text{Equação 3 : } \nu = a.T \frac{1,732}{T}$$

- ν : Viscosidade do fluido em teste (mm^2/s);
- a : Constante de calibração 2,144;
- T : Tempo de escoamento em segundos;
- $\frac{1,732}{T}$: Termo de correção

4.3.1.2. Índice de acidez

A determinação do índice de acidez em óleos acontece por meio da titulação ácido-base onde o óleo é neutralizado por uma solução de KOH. O índice de acidez determina os ácidos graxos livres existentes. Um elevado índice de acidez compromete a produção de biodiesel, pois consome o catalisador e intensifica a formação de sabões indesejados durante a transesterificação alcalina, resultando em menor rendimento. Esse índice é um parâmetro essencial para as indústrias de óleos e gorduras pois influencia diretamente no produto

Em um Erlenmeyer foi adicionado aproximadamente 2g de óleo de semente de melão, seguindo da adição de uma mistura de 50ml de éter etílico e álcool etílico na proporção de 1:1 (25ml de cada), junto com 3 gotas de fenolftaleína. Em uma bureta foi inserido a solução padrão de KOH em seguida o Erlenmeyer foi agitado até se formar uma coloração rosada como mostra na figura 6, essa coloração deve-se manter de 15 a 20 segundos.

Figura 6 - Resultado da titulação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para realizar o cálculo do índice de acidez foi utilizada a Equação 4, na qual $F = 0,1$ é definida como a concentração padrão da solução de KOH.

$$\text{Equação 4: } \text{Índice de acidez} = \frac{MLG \times 56,1 \times F}{MA}$$

Os dados para Equação 5 são:

MLG = ml gastos de KOH

MA = Massa da amostra (óleo da semente de melão)

$F = 0,1$ Concentração padrão de KOH

4.3.1.3. Índice de refração

Para medição do índice de refração foi utilizado um refratômetro ABBE AR 10005., como ilustrado na Figura 7. Foi adicionada uma gota de óleo de melão no prisma refrativo e então fechado, em seguida o espelho de reflexão e a visibilidade ocular foram ajustadas para então manualmente alinhar a linha de separação no centro da escala. Somente quando a linha está exatamente alinhada e não há sinais de distorção de cor que temos o valor do índice de refração.

Figura 7 - Refratômetro ABBE utilizado para medir o índice de refração.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.4. Produção do biodiesel

Para produção do biodiesel, primeiramente o óleo extraído foi colocado junto com uma mistura de KOH alcoólico, que atuou como catalisador químico, e etanol. Seguindo foi colocado em um reator de batelada onde o processo durou 90 minutos a uma temperatura de 65°C, como mostra na Figura 8. Esse processo é importante para formação do biodiesel pois é nele que ocorre a transesterificação, controlar a temperatura é essencial para garantir que todos os reagentes sejam convertidos em biodiesel.

Figura 8 - Amostra dentro do reator de batelada utilizado na reação de transesterificação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Concluído o processo no reator de batelada, a mistura resultante foi inserida em um decantador como mostra na Figura 9, a fim de separar a glicerina do biodiesel. Após isso a mistura foi lavada com água destilada morna o processo de lavagem foi realizado 2 vezes para garantir que todas as impurezas tenham saído. O restante da mistura foi reservado e colocado na estufa a 80°C para secagem completa da água sobrando somente o biodiesel.

Figura 9 - Decantação da mistura resultante do processo de transesterificação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Rendimento do óleo obtido através da extração

Antes da realização da extração do óleo foi realizada uma pesagem dos melões, como indicado na Tabela 3, para analisar o peso de cada melão e a quantidade de sementes que cada um poderia ter.

Tabela 3 - Valor médio em (g) de semente por melão (g).

Amostra	Massa melão (g)	Massa semente lavada (g)
1	1418,091	63,547
2	1175,160	77,214
3	1313,646	64,022
4	1308,074	69,171
Média:	1310,86	66,596

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Após a pesagem foi concluído que cada em média cada melão pesava aproximadamente 1300g onde somente 66g eram a sementes, por ser um fruto geneticamente modificado, para ter um aproveitamento maior da fruta a quantidade de sementes é reduzida.

Para realizar a extração foi necessário utilizar cartuchos de feitos com papel filtro e inserir uma quantidade considerável de semente moídas. Na Tabela 4 temos as quantidades utilizadas para realizar a extração com álcool etílico e na Tabela 5 os valores utilizados para heptano. Foram expressos os valores de cada cartucho vazio e com as sementes moídas, esses valores serão importantes para determinar o índice de rendimento do óleo de melão de acordo com cada solvente.

Tabela 4 - Massa de sementes antes da extração utilizando álcool etílico como solvente.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Massa cartuchos vazios (g)	3,592	3,478	3,408	3,431	3,888	3,339	3,321
Massa cartuchos cheios (g)	41,128	41,947	43,116	43,649	43,125	46,283	43,985
Massa semente real (g)	37,536	38,469	39,708	40,218	40,421	42,944	40,664

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Tabela 5 - Massa de sementes antes da extração utilizando Heptano como solvente

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Massa cartuchos vazios (g)	3,433	3,417	3,436	3,463	3,476	3,3	3,374
Massa cartuchos cheios (g)	41,889	41,460	43,125	43,915	43,349	45,644	47,924
Massa semente real (g)	38,456	38,043	39,689	40,452	39,873	42,344	44,55

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Para realizar o processo de extração foram utilizados dois tipos de solvente, sendo eles o Álcool etílico e o Heptano, 400 ml de cada solvente foi utilizado para realizar a extração a uma temperatura média de 90°C, por 6 horas, após isso foi submetido a estufa a 80°C por 24 horas. Os resultados da extração utilizando o solvente álcool etílico foram expressos na Tabela 6 e os resultados da extração utilizando o Heptano como solvente podem ser encontrados na Tabela 7 e seguindo na Tabela temos os dados de rendimento de cada solvente.

Tabela 6 - Resultado da extração do óleo utilizado álcool etílico como solvente.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Massa óleo (g)	11,365	12,737	14,775	12,111	11,268	15,414	12,828

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Tabela 7 - Resultado da extração do óleo utilizado heptano como solvente.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Massa óleo (g)	12,481	10,59	11,296	9,918	13,74	12,387	11,921

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Para determinar o índice de rendimento do óleo de melão utilizamos os valores da Tabela 6 juntamente com a Tabela 8 para álcool etílico e a Tabela 7 e Tabela 9 para heptano. O cálculo para o rendimento é simples, utilizamos o valor da massa do óleo multiplicamos por 100 e o resultado dividimos pela massa semente real (g) obtida antes de iniciar o processo de extração.

O resultado do índice de rendimento de cada solvente está expresso na Tabela 8 para álcool etílico e na Tabela 9 para solvente heptano.

Tabela 8 - Índice de rendimento do óleo utilizado Álcool Etílico como solvente.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	Média
Rendimento %	30,277	33,109	37,209	30,113	27,876	35,893	31,546	30,911

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Tabela 9 - Índice de rendimento do óleo utilizado Heptano como solvente.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	Média
Rendimento %	32,807	26,682	27,924	24,873	32,448	27,804	29,055	27,864

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Com base nos resultados temos que o rendimento do óleo obtido através da extração utilizando álcool etílico como solvente foi de 30,91% e para o heptano 27,86%. Dessa forma temos que o Álcool Etílico como solvente gera um rendimento um pouco maior que o Heptano, os dois valores estão dentro do esperado.

5.2. Resultados da caracterização do óleo da semente de melão

5.2.1. Dados de densidade do óleo da semente do melão

Os resultados obtidos foram apresentados na Tabela 10 e na Tabela 11.

Tabela 10 - Densidade em duplicata do óleo extraído com Álcool Etílico

	Massa (g) AE 1	Massa (g) AE 2
Picnômetro vazio	25,7484	25,7484
Picnômetro com óleo	49,223	49,2943
Picnômetro com água destilada	51,2412	51,2412
Densidade	923,630 Kg/cm ³	920,832 Kg/cm ³

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Tabela 11 - Densidade em duplicata do óleo extraído com Heptano.

	Massa (g) HEP 1	Massa (g) HEP 2
Picnômetro vazio	30,1948	30,1948
Picnômetro com óleo	54,3282	54,362
Picnômetro com água destilada	55,9811	55,9811
Densidade	935,900 Kg/cm ³	937,2108 Kg/cm ³

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

A densidade foi medida em duplicata para cada tipo de óleo, onde os valores variam de 920 Kg/cm³ a 937 Kg/cm³. Tendo em vista que a densidade média para óleos vegetais utilizados na produção de biodiesel pode variar de 880 Kg/cm³ a 930 Kg/cm³ e comparando com a densidade do óleo de soja 917 Kg/cm³ a 923 Kg/cm³ comumente utilizado na produção do biodiesel os valores do óleo extraído com álcool etílico estão dentro dos padrões, porém a densidade do óleo extraído com heptano está um pouco acima e isso pode impactar diretamente na reação de transesterificação e rendimento do biodiesel.

5.2.2. Resultado da viscosidade do óleo da semente de melão

A viscosidade foi encontrada para o óleo de melão foi de 210,57 cSt para óleo extraído com álcool etílico e heptano a uma temperatura ambiente 25°C. Ao comparar o seu resultado com valores reportados para outros óleos vegetais, observa-se que o óleo de soja refinado apresenta viscosidade aproximada de 36 cSt a ~40 °C, enquanto óleos de pinhão-manso apresentam viscosidade na faixa de 32–350 cSt, dependendo do grau de purificação e da temperatura de análise. Portanto, embora o valor obtido para o óleo de melão esteja dentro da faixa máxima já observada para óleos vegetais, ele ainda se encontra substancialmente mais alto que a maioria das matérias-primas convencionais usadas para biodiesel. Um valor elevado de viscosidade pode afetar na reação de mistura dos reagentes e a conversão dos ácidos graxos e assim prejudicando a produção do biodiesel.

5.2.3. *Análise do índice de acidez do óleo da semente de melão*

Através da titulação conseguimos encontrar o valor do índice de acidez de cada óleo utilizado, na Tabela 12 e Tabela 13 foram apresentados os resultados em duplicata do óleo extraído com seu respectivo solvente.

Tabela 12 - Resultado do índice de acidez em duplicata do óleo extraído com Álcool Etílico.

	AE 1	AE 2
Óleo (g)	1,224	1,274
Volume KOH (ml)	0,6	0,7
Índice de acidez	2,75	3,082

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Tabela 13 - Resultado do índice de acidez em duplicata do óleo extraído com Heptano.

	HEP 1	HEP 2
Óleo (g)	1,258	1,264
Volume KOH (ml)	0,6	0,7
Índice de acidez	2,676	3,107

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Ao comparar com óleo de babaçu, pinhão manso e macaúba, temos que o índice de acidez do óleo de melão é relativamente próximo. O valor encontrado para o óleo de babaçu é de 3,75 mg de KOH/g (Moura et al., 2019), enquanto o de pinhão manso é maior, com 3,99 mg de KOH/g (Kedma et al., [S.d.]) e o óleo da macaúba com 3,49 mg de KOH/g (Costa, 2024).

O índice de acidez mede a quantidade de ácidos graxos livres presentes no óleo, e quantos mg de KOH são necessários para neutralizar esses graxos. Quanto maior for o índice de acidez pior é a qualidade do biodiesel.

5.2.4. *Resultados do índice de refração*

Para a medição do índice de refração, foi utilizado um refratômetro que opera com base na escala de refração em porcentagem e seus valores correspondentes. Os resultados podem ser analisados na Tabela 14 para óleo extraído com álcool etílico e na Tabela 15 para óleo extraído com heptano. Após análise o resultado foi de 1,474 o que representa uma refração de 73,3% para óleo extraído com álcool etílico e de 1,475 o que representa uma refração de 74,1% para

óleo extraído com heptano. Ao comparar com óleo de soja e girassol que tem um valor que vai de 1,467 a 1,474, os dois apresentaram um valor aproximado ao óleo de melão.

O índice de refração é uma propriedade fundamental para produção de biodiesel, pois ele fornece informações de forma rápida e simples sobre a qualidade química do processo e no controle de qualidade do biodiesel. O índice de refração pode variar se ocorrer alguma mudança na composição química ou em alguma propriedade físico química, como impurezas, degradação do óleo, grau de insaturação ou oxidação. É importante se atentar a esses valores pois está diretamente ligado a qualidade do processo de produção do óleo e biodiesel.

Tabela 14 - Índice de refração do óleo extraído com Álcool etílico.

AE 1	AE 2
73,3%	1474,1
73,3%	1474,1

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

Tabela 15 - Índice de refração do óleo extraído com Heptano.

HEP 1	HEP 2
74,1%	1475,5
74,2%	1475,2

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

5.3. Processo de produção do biodiesel

5.3.1. Síntese do biodiesel a partir do óleo da semente de melão

Para o processo de transesterificação do óleo extraído do melão, foram atribuídos dois tipos diferentes de razão molar entre óleo/álcool e concentração de catalisador. As concentrações utilizadas foram de 3% e 6% de catalisador em relação a massa do óleo. As razões molares foram de 1:6 e 1:9, a temperatura e o tempo foram fixados em 65°C e 90 minutos como mostrado na Tabela 16.

Tabela 16 - Variáveis das reações de transesterificação.

Amostras	1	2	3	4
Solvente	Álcool Etílico	Heptano	Álcool Etílico	Heptano
Volume do óleo	5	5	5	5
Volume etanol (mg)	30	30	45	45
Temperatura (°C)	65	65	65	65
Tempo (min)	90	90	90	90
Catalisador (%)	3	3	6	6
Óleo:Etanol	1:6	1:6	1:9	1:9

Fonte: Elaborado pelo autor 2025

A mistura do óleo de melão, etanol e catalisador foram inseridas em frascos de reagente graduados de 100ml para iniciar o processo de reação por batelada, a uma temperatura fixa em 65°C. Após 90 minutos a mistura resultante passou por um processo de decantação e lavagem com água destilada aquecida, para ocorrer a separação do biodiesel da glicerina.

Feita a lavagem e a decantação, o biodiesel foi submetido a secagem na estufa para remoção completa do álcool utilizado na transesterificação e da água utilizada na lavagem, a uma temperatura de 90°C por 12 horas.

Contudo, não foi possível determinar com precisão o rendimento e a qualidade do biodiesel produzido devida à limitação dos equipamentos do laboratório como a cromatografia gasosa ou espectroscopia que são essenciais para determinação de impurezas e o rendimento do biodiesel. Essa análises são importantes pois identificam e medem os ésteres etílicos garantindo a conversão correta do óleo em biodiesel. Além disso ela determina o rendimento da transesterificação, detecta impurezas como glicerol e álcool residual e avalia a pureza e a qualidade, assegurando que o biodiesel atende as normas ANP.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ao longo deste trabalho demonstraram potencial em relação a extração do óleo e a produção de biodiesel e compatível com os princípios de sustentabilidade e reaproveitamento de resíduos agroindustriais. As sementes, que representam em média 66,59 g por fruto, mostraram capacidade para recuperação de óleo em quantidade significativa.

A extração utilizando o método Soxhlet apresentou rendimentos satisfatórios. O álcool etílico, proporcionou o melhor desempenho, alcançando rendimento médio de 30,91%, enquanto o heptano obteve 27,86%. Esses valores estão dentro da faixa reportada na literatura para oleaginosas não convencionais e confirmam a presença de teor lipídico adequado à produção de biocombustíveis.

As análises físico-químicas reforçaram a viabilidade do óleo de melão como matéria-prima. A densidade variou de 920,83 a 923,63 kg/m³ para o óleo extraído com álcool etílico e de 935,90 a 937,21 kg/m³ para o extraído com heptano, valores comparáveis aos de óleos vegetais utilizados na produção de biodiesel, como o óleo de soja. A viscosidade medida apresentou valor de 210,57 cSt, compatível com faixas encontradas em óleos como o pinhão-manso e demais óleos vegetais brutos.

O índice de acidez variou entre 2,67 e 3,10 mg KOH/g, valores semelhantes aos relatados para óleos como babaçu e macaúba, indicando que o óleo possui quantidade moderada de ácidos graxos livres e pode ser processado por transesterificação alcalina. O índice de refração apresentou valores de 1,474 (73,3%) para o solvente álcool etílico e 1,475 (74,1%) para o heptano, resultados coerentes com óleos de girassol e soja.

A reação de transesterificação foi conduzida sob temperatura fixa de 65 °C, tempo reacional de 90 minutos, concentração de catalisador de 3% e 6% e razões molares óleo:etanol de 1:6 e 1:9. Em todas as condições, observou-se a separação entre biodiesel e glicerina, indicando que o óleo de melão responde adequadamente ao processo químico. Entretanto, devido à ausência de técnicas analíticas avançadas, como cromatografia gasosa, não foi possível determinar com precisão o rendimento final da conversão e a pureza do biodiesel produzido.

Diante dos dados obtidos, conclui-se que o óleo das sementes de melão é uma matéria-prima promissora para a produção de biodiesel, apresentando rendimento de extração expressivo, propriedades físico-químicas adequadas e boa resposta ao processo de transesterificação.

7. REFERÊNCIAS

AKBARI, Mohsen *et al.* The Effects of Biodiesel on the Performance and Gas Emissions of Farm Tractors' Engines: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Meta-Regression. **Energies**, v. 17, n. 17, p. 4226, 24 ago. 2024.

AKTAŞ, A.; SEKMEN, Yakup; SEKMEN, Perihan. Biodiesel production from waste melon seeds and using it as alternative fuel in direct injection diesel engine. **Journal of the Energy Institute**, v. 83, n. 2, p. 69–74, 1 fev. 2010.

ALMEIDA, Priscylla. O consumo de combustíveis fósseis e o alarmante efeito nos biomas brasileiros: Avanços da matriz energética brasileira e os desafios no cenário atual das mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 75, n. 4, p. 01–04, 2023.

BARROS, Talita Delgrossi; JARDINE, José Gilberto. **Transesterificação**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/tecnologia/transesterificacao>>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BERTOLO, Ademar José *et al.* Combustíveis fósseis: Panorama de produção e consumo no Brasil. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 9, n. 1, p. 102–123, 18 ago. 2022.

CASTRO, Karoline *et al.* K₂O suportado em zeólita natural: Síntese, caracterização e aplicação produção de biodiesel a partir do óleo de girassol. **Química Nova**, v. 45, n. 7, p. 807–815, 2022.

CHIARA, Anabel; TORROBA, Agustín. **Liquid Biofuels Atlas**. [S.l.: S.n.].

CLIENT EARTH. **Fossil fuels and climate change: the facts**. Disponível em: <<https://www.clientearth.org/latest/news/fossil-fuels-and-climate-change-the-facts/>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

EPE. BEN Síntese 2025 -Ministério de Minas e Energia. **Epe**, 2025.

EZEMA, Benjamin O. *et al.* Biodiesel potential of Cucumeropsis mannii (white melon) seed oil: A neglected and underutilized resource in Nigeria. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 1 jun. 2023.

FADHIL, Abdelrahman B. Optimization of Transesterification Parameters of Melon Seed Oil. **International Journal of Green Energy**, v. 10, n. 7, p. 763–774, 9 ago. 2013.

FILHO, Pedro Gilberto Cavalcante *et al.* Socioeconomic impacts of the biodiesel production chain on family agriculture in the Brazilian states of Rio Grande do Sul (RS) and Mato Grosso (MT). **Nova Economia**, v. 33, n. 3, p. 631–658, 2023.

FRIEDLINGSTEIN, Pierre *et al.* Global Carbon Budget 2022. **Earth System Science Data**, v. 14, n. 11, p. 4811–4900, 11 nov. 2022.

GOV.BR. **Manga e melão são destaques nas projeções das frutas para os próximos dez anos - Ministério da Agricultura e Pecuária**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt->

br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 14 set. 2025.

GOV.BR. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 19 nov. 2025a.

GOV.BR. **Programa Nacional de Biodiesel completa 20 anos promovendo transição energética aliada à Lei do Combustível do Futuro**. Disponível em: <<https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/janeiro/programa-nacional-de-biodiesel-completa-20-anos-promovendo-transicao-energetica-aliada-a-lei-do-combustivel-do-futuro?>>. Acesso em: 19 nov. 2025b.

GOV.BR. **Biodiesel materia prima - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/arquivos/arquivos-painel-de-produtores-de-derivados-producao-de-biocombustiveis/biodiesel-materia-prima.csv/view>>. Acesso em: 18 nov. 2025c.

IBGE. **Maiores Produtores de Melão do Brasil**. Disponível em: <<https://agrosustentar.com.br/agronegocio/maiores-produtores-melao>>. Acesso em: 18 nov. 2025.

IEA. **Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>>. Acesso em: 2 maio. 2024.

IPEA. **2005 - Plano Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB)**. Disponível em: <<https://catalogo.ipea.gov.br/politica/254/plano-nacional-de-producao-de-biodiesel-pnpb?>>. Acesso em: 19 nov. 2025.

KAZIMIEROWICZ, Joanna *et al.* Biotechnological Valorization of Waste Glycerol into Gaseous Biofuels. **Energies**, v. 17, n. 2, p. 338, 9 jan. 2024.

KE, Piyu *et al.* **Low latency carbon budget analysis reveals a large decline of the land carbon sink in 2023**. [*S.l.: S.n.*]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/382332072_Low_latency_carbon_budget_analysis_reveals_a_large_decline_of_the_land_carbon_sink_in_2023>. Acesso em: 6 dez. 2025.

KEDMA, Djavania A. Luz *et al.* **Estudo físico-químico do óleo de Babaçu bruto (Orbignya phalerata Mart.) e de um subproduto da etapa de degomagem do processo de refino**. [*S.l.: S.n.*]. Disponível em: <<https://periodicosletronicos.ufma.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/640>>. Acesso em: 6 dez. 2025.

LOPES, Adriana Carla de Oliveira; FRANÇA, Caio César Lima de. Análise da produção do biodiesel de óleo de sementes de Fruta do Conde (*Annona squamosa* L.) para a obtenção das condições operacionais ideais. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 26627–26633, 2021.

MENESES, Katia Ferreira Lima Falção. **Desenvolvimento do nordeste biodiesel e agricultura familiar no agreste Pernambucano**. Recife: [S.n.]. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/7588/1/arquivo5679_1.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2025.

MENGISTU, Nakachew Genet *et al.* Experimental investigation on diesel engine performance and emission characteristics using waste cooking oil blended with diesel as biodiesel fuel. **Discover Energy**, v. 4, n. 1, 1 nov. 2024.

MILANEZ, Yabe; MAIA, Guilherme Baptista da; FERREIRA, Cleiton Leandro Alves. **Biodiesel and renewable diesel in Brazil: Recent overview and perspectives**. Rio de Janeiro: [S.n.]. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22585/1/PRArt215696_Biodiesel%20e%20diesel%20verde%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2025.

MOURA, Carla V. R. de *et al.* Physicochemical characterization of oleaginous vegetable oils adaptable to the Brazilian northeast with potential for biodiesel production. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, p. 573–595, 2019.

OLIVEIRA DA COSTA, Angela *et al.* **NOTA TÉCNICA EPE/DPG/SDB/2024/06 Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis Heloisa Borges Bastos Esteves Thiago Guilherme Ferreira Prado Técnica em Secretariado**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<http://www.mme.gov.brhttp://www.epe.gov.br>>.

ONU. **Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta?** Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta?>>. Acesso em: 18 nov. 2025.

PANNEERSELVAM, N. *et al.* Optimization of biodiesel produced from watermelon (*Citrullus vulgaris*) using batch-type production unit. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 38, n. 16, p. 2343–2348, 17 ago. 2016.

POPOOLA, Caleb; HARUNA, Amani David. Comparative Analysis of Physicochemical Properties of Oils from Groundnut, Melon, Watermelon and Orange Seeds. **International Journal of Research and Innovation in Applied Science**, v. IX, n. VII, p. 117–129, 2024.

PRIYA *et al.* Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source. **Materials Today: Proceedings**, v. 48, p. 1178–1184, 2022.

REZAIE, Mitra; SHAHIDI, Fakhri; Farhoosh, Reza; BAYGAN, Ali. Chemical Composition and Oxidative Stability of Cucumis Melon and Cantaloupe Seed Oils. <https://www.researchgate.net/>, v. 43, n. 5, 2024.

RINALDI, Roberto *et al.* Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1374–1380, out. 2007.

RODRIGUES, Adilson. Análise físico-química dos óleos de semente de acerola, goiaba e melão extraído com solvente. 2018.

SILVA, Letícia Costa da; SANTOS, Zilvam Melo dos; LUCENA, Izabelly Larissa. **Síntese de catalisador ácido heterogêneo a partir de sementes de melão (*Cucumis Melo* L) para produção de biodiesel por esterificação.** *[S.l.: S.n.]*. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/d4a2ca86-03b7-42c9-8b14-13a1a05659f7/content>>. Acesso em: 1 maio. 2024.

TOMAZINI, Márcio Vinicius Assis; ANDRADE, Daniel Caixeta. O uso de biocombustíveis na transição para uma economia de baixo carbono. 2023.

TOPARE, Niraj S. *et al.* A short review on approach for biodiesel production: Feedstock's, properties, process parameters and environmental sustainability. **Materials Today: Proceedings**, v. 57, p. 1605–1612, 1 jan. 2022.

WANG, Chao *et al.* Comparative assessment of waste cooking, chicken waste and waste tire biodiesel blends on performance and emission characteristics. **Fuel**, v. 320, p. 123859, jul. 2022.

ZHANG, Zhigang; SUN, Hongdong; GUO, Yajie. The Impact of Marine Oil Spills on the Ecosystem. **International Journal of Engineering Sciences and Technologies**, v. 2, n. 1, 11 jan. 2024.