



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE O BIODIESEL
OBTIDO A PARTIR DOS ÓLEOS DE SOJA E DE
PEQUI**

Autor: Matheus Pereira Moraes

**Orientadora: Prof. Dra. Roseany de Vasconcelos
Vieira Lopes**

**Coorientadora: Prof. Dra. Josiane do Socorro
Aguar de Souza de Oliveira Campos**

Brasília, DF, 2023



MATHEUS PEREIRA MORAIS

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE O BODIESEL OBTIDO A PARTIR DOS
ÓLEOS DE SOJA E DE PEQUI**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Josiane do Socorro Aguiar de Souza de Oliveira Campos

Brasília, DF

2023

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Morais Pereira, Matheus.

Avaliação comparativa entre o biodiesel obtido a partir dos óleos de soja e de pequi / Matheus Pereira Moraes. Brasília: UnB, 2023. xxx p. : il.; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2023. Orientação: Prof.^a Dr.^a
Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes. Coorientação: Prof.^a
Dr.^a Josiane do Socorro Aguiar de Souza de Oliveira Campos

1. Biodiesel. 2. Matriz Energética. 3. Óleo de Soja. 4. Óleo de Pequi. 5. Transesterificação. I. Vasconcelos Vieira Lopes, Roseany. II. do Socorro Aguiar de Souza, Josiane. III. Avaliação comparativa entre o biodiesel obtido a partir dos óleos de soja e de pequi.

CDU Classificação



AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE O BIODIESEL OBTIDO A PARTIR DOS ÓLEOS DE SOJA E DE PEQUI

Matheus Pereira Morais

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 15/02/2023 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof.^a Dr.^a Roseany de Vasconcelos Vieira Lopes, UnB/ FGA
Orientadora

Prof.^a Dr.^a Josiane do Socorro Aguiar de Souza, UnB/ FGA
Coorientadora

Prof.^a Dr.^a Maria Vitória Duarte Ferrari Tomé, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof.^a Dr.^a Vanessa Maria de Castro, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2023

Aos meus familiares em especial aos meus pais e irmã e amigos que sempre acreditaram em mim e a Deus que me concedeu a oportunidade e a permissão de realiza-lo com êxito.

RESUMO

O Brasil está entre os três maiores produtores mundiais de biocombustíveis e possui um papel importante na viabilização da descarbonização da matriz de transporte. O biodiesel obtido a partir de produtos agrícolas é responsável pela integração da cadeia produtiva no país, diminuindo a dependência do diesel importado. Introduzido na matriz energética a partir da Lei nº 11.097/2005, o biodiesel produzido a partir de oleaginosas, tais como a soja e o pequi, é uma alternativa sustentável para a diminuição da dependência do uso do diesel ou substituição parcial deste, já que um percentual de 12% de biodiesel é adicionado ao diesel. Com o objetivo de comparar os biodieseis dos óleos de soja (OS) e pequi (OP) foi realizado a investigação da presença de ésteres metílicos em ambos os óleos transesterificados. Após a análise do índice de acidez (IA) dos óleos, a rota catalítica utilizada foi a homogênea básica e as reações foram realizadas sob agitação magnética, mantidas a 50 °C, com tempos de reação de 30 minutos, 2, 4, 6 e 8 horas de duração. As amostras de biodieseis obtidas para o OS foram denominadas por BOS30, BOS2, BOS4, BOS6 e BOS8, considerando os tempos de reação. Da mesma maneira, as amostras de biodiesel do OP receberam a nomenclatura BOP30, BOP2, BOP4, BOP6 e BOP8. As amostras foram caracterizadas por espectroscopia na região do infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR), viscosidade cinemática e índice de viscosidade. Os resultados obtidos mostraram que o índice de acidez para os dois óleos foi abaixo do valor limite de 6 mg KOH.g⁻¹ para a realização da reação de transesterificação por catálise homogênea básica. Na análise por IV foram identificadas as principais bandas de absorção para biodieseis em 1740 cm⁻¹ (formação do grupo C=O dos ésteres metílicos), em 1034 cm⁻¹, relacionada aos ésteres metílicos dos óleos transesterificados e próximo a 1000-1090 cm⁻¹, relativa ao estiramento da ligação C-O não acoplada de ésteres. A análise de viscosidade cinemática mostrou que a viscosidade dos biodieseis diminuiu consideravelmente em relação à viscosidade dos óleos de origem. Os dados do índice de viscosidade (IV) mostraram que os biodieseis apresentaram viscosidade estável entre eles. E, como em todos os casos o IV dos biodieseis foi maior do que o IV do óleo de origem.

Palavras-chave: Matriz energética, óleo de soja, óleo de pequi, transesterificação, biodiesel.

ABSTRACT

Brazil is among one of the three largest producers of biofuels in the world and plays an important role in enabling the decarbonization of the transport matrix. The biodiesel obtained from agricultural products is responsible for integrating the production chain in the country, responsible for reducing dependence on imported diesel. Introduced in the energy matrix as of Law No. 11,097/2005, biodiesel produced from oilseeds, such as soy and pequi, is a sustainable alternative for reducing dependence on the use of diesel or partially replacing it, since it a percentage of 12% of biodiesel is added to the diesel. With the aim of comparing the biodiesel from soybean (OS) and pequi (OP) oils, an investigation was carried out for the presence of methyl esters in both transesterified oils. After analysis of the acid index (AI) of the oils, the catalytic route used was on the basic homogeneous sample and the reactions were carried out under magnetic stirring, maintained at 50 °C, with reaction times of 30 minutes, 2, 4, 6 and 8 hours long. The biodiesel samples obtained for the OS were named by BOS30, BOS2, BOS4, BOS6 and BOS8, considering the reaction times. Likewise, the OP's biodiesel samples were named BOP30, BOP2, BOP4, BOP6 and BOP8. The samples were characterized by Fourier Transform infrared spectroscopy (FT-IR), kinematic viscosity and viscosity index. The results obtained showed that the acid number for both oils was below the limit value of 6 mg KOH.g⁻¹ for carrying out the transesterification reaction by basic homogeneous catalysis. In the IR analysis, the main absorption bands for biodiesel were identified at 1740 cm⁻¹ (formation of the C=O group of methyl esters), at 1034 cm⁻¹, related to methyl esters of transesterified oils and close to 1000-1090 cm⁻¹, relative to the stretching of the uncoupled C-O bond of esters. The kinematic viscosity analysis showed that the viscosity of the biodiesel decreased considerably in relation to the viscosity of the original oils. The viscosity index (VI) data showed that the biodiesels had stable viscosity between them. And, as in all cases, the VI of the biodiesel was greater than the IV of the original oil.

Keywords: Energy matrix, soy oil, pequi oil, transesterification, biodiesel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma com as etapas realizadas na metodologia experimental.....	4
Figura 2. Instalações Produtoras de Biodiesel no Brasil.	11
Figura 3. Ocorrência de Pequi no Cerrado.....	17
Figura 4. Ocorrências de Piquizeiro no Brasil.	17
Figura 5. Região Norte de Minas Gerais.	18
Figura 6. Morfologia do pequi.	18
Figura 7. Distribuição municipal da produção do extrativismo.	21
Figura 8. Reação Geral de Transesterificação.....	28
Figura 9. Processo de Transesterificação.	29
Figura 10. Catalisadores.	30
Figura 11. Reação de transesterificação por catálise ácida.	31
Figura 12. Reação de hidrólise de éster.....	31
Figura 13. Reação de transesterificação por catálise básica.	32
Figura 14. Reação secundária.....	33
Figura 15. Reação por catálise heterogênea.	34
Figura 16. Comprimento de onda e frequência.....	35
Figura 17. Separação de fases para os biodieseis do: (a) pequi e (b) soja para o tempo de 8h de reação.....	37
Figura 18. Separação de fases para os biodieseis do: (c) pequi e (d) soja para o tempo de 6h de reação.....	37
Figura 19. Separação de fases para os biodieseis do: (e) pequi e (f) soja para o tempo de 4h de reação.....	38
Figura 20. Separação de fases para os biodieseis do: (g) pequi e (h) soja para o tempo de 2h de reação.....	38
Figura 21. Separação de fases para os biodieseis do: (i) pequi e (j) soja para o tempo de 30 min de reação.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índice de acidez e de saponificação da amêndoa, do caroço e da polpa do pequi.	23
Tabela 2. Características de qualidade do biodiesel de pequi.	24
Tabela 3. Índice de acidez e de saponificação da soja.....	27
Tabela 4. Titulação ácido-base dos óleos.	39
Tabela 5. Valores de viscosidade cinemática e de índice de viscosidade para o OS e OP e seus respectivos biodieseis.	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Produção total anual de Biodiesel.	13
Gráfico 2. Produção de Biodiesel por Região.	13
Gráfico 3. Quantidade produzida na extração vegetal.	19
Gráfico 4. Valor da produção na extração vegetal.	20
Gráfico 5. Valor e quantidade da produção por região.	20
Gráfico 6. Área plantada ou destinada à colheita.	26
Gráfico 7. Produção de biodiesel a partir do óleo de soja.	27
Gráfico 8. Espectros na região do infravermelho (IV) do OS e os respectivos biodieseis.	41
Gráfico 9. Espectro na região do infravermelho (IV) do OP e os respectivos biodieseis.	41

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
AGL	Ácidos Graxos Livres
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BEN	Balanço Energético Nacional
BEP	Biodiesel Etílico de Pequi
BMP	Biodiesel Metílico de Pequi
BOP	Biodiesel de Óleo de Pequi
BOS	Biodiesel de Óleo de Soja
C	Carbono
CAL A	Candida antarctica Lipase B
cm	Centímetro
CEIB	Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
DTG	Termogravimetria Derivada
FT-IR	Infravermelho com transformada de Fourier
g	Grama
GG	Grupo Gestor
GO	Goiás
h	Hora
ha	Hectare
HCl	Ácido Clorídrico
Hg	Mercúrio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IA	Índice de Acidez
IV	Índice de Viscosidade
K	Kelvin
kcal	Quilocaloria
Kg	Kilograma
KOH	Hidróxido de Potássio
L	Litro
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
m	Metro

mg	Miligrama
min	Minutos
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MT	Mato Grosso
N°	Número
NaCl	Cloreto de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
O	Oxigênio
OP	Óleo de Pequi
OS	Óleo de Soja
PC	Poder Calorífico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PPI	Preço de Paridade de Importação
PROÓLEO	Plano de Produção de óleo vegetal para fins energéticos
s	Segundos
SABIDO	Sistema de Gerenciamento das Ações do Biodiesel
SIMP	Sistema de Movimentação de Produtos
TG	Termogravimetria
°C	Graus Célsius
>	Maior que
<	Menor que

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	4
3.1.	METODOLOGIA.....	4
3.2.	MATERIAIS UTILIZADOS.....	5
3.3.	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	5
3.3.1.	Determinação do índice de acidez do óleo vegetal.....	5
3.3.2.	Reação de Transesterificação.....	6
3.3.3.	Análise de Espectroscopia na região do infravermelho (IV).....	6
3.3.4.	Análise de Viscosidade cinemática (v).....	7
3.3.5.	Análise do Índice de viscosidade (V).....	7
4.	REFERENCIAL TEÓRICO	7
4.1.	BIODIESEL NO BRASIL	7
4.2.	ÓLEOS VEGETAIS	14
4.2.1.	Óleo de pequi	16
4.2.2.	Óleo de soja.....	25
4.3.	REAÇÕES DE TRANSESTERIFICAÇÃO	28
4.3.1.	Catálise	29
4.3.1.1.	Catálise homogênea ácida.....	30
4.3.1.2.	Catálise homogênea básica	31
4.3.1.3.	Catálise heterogênea	33
4.4.	ESPECTROSCOPIA	34
5.	RESULTADOS	36
5.1.	REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO.....	36
5.2.	DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ (IA) DOS ÓLEOS VEGETAIS	39
5.3.	ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR).....	40
5.4.	ANÁLISE DE VISCOSIDADE CINEMÁTICA E ÍNDICE DE VISCOSIDADE (IV)	42
6.	CONCLUSÃO	44
7.	BIBLIOGRAFIA.....	45

1. INTRODUÇÃO

A busca mundial pela redução das emissões de gases de efeito estufa coloca a produção de biodiesel como uma das alternativas sustentáveis para substituição dos combustíveis fósseis, mesmo que parcialmente. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) 2021, o Brasil apresenta uma posição de destaque, pois possui um consumo energético de 48% proveniente de fontes renováveis, enquanto a média global é de 86% de origem não renovável, como petróleo e o carvão (BEN, 2021). Nesse sentido, o Brasil está entre os três maiores produtores mundiais de biocombustíveis e possui um papel importante na viabilização da descarbonização da matriz de transporte. O biodiesel obtido a partir de produtos agrícolas, é responsável pela integração da cadeia produtiva no país, diminuindo a dependência do diesel importado. Do ponto de vista econômico e social, proporciona desenvolvimento regional com geração de emprego e renda (APROBIO, 2022).

Com a criação da Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB) e do Grupo Gestor (GG), iniciou-se os primeiros estudos para a criação de uma política para o biodiesel no Brasil, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), objetivando a introdução do biodiesel na matriz energética do país a partir da Lei nº 11.097/2005. As diretrizes do programa são baseadas na implementação sustentável, incluindo a participação produtiva da agricultura familiar, produção de biodiesel a partir de fontes de matérias primas diversas de acordo com os potenciais regionais, além de garantir o custo-benefício aliado a qualidade de suprimento (ANP, 2022).

A adição obrigatória do biodiesel ao diesel, no teor de 2% (B2) foi iniciada em janeiro de 2008, passou a 3% (B3) em julho de 2008 e foi aumentando com o passar dos anos, até que em março de 2022 passou a ser 14% (B14) e será 15% (B15) em março de 2023, conforme a Resolução CNPE nº 16 de 29 de outubro de 2018, que dispõe sobre a evolução da adição obrigatória em qualquer parte do território Nacional (ANP, 2022); (GOV.BR, 2018). A mistura obrigatória de 10% de biodiesel ao diesel corresponde a 8,8% da composição do preço final do diesel repassado ao consumidor final, tomando como exemplo o preço médio de R\$ 6,81 coletado entre o período de 20 de novembro de 2022 a 26 de novembro de 2022 no Distrito Federal, o equivalente a R\$ 0,60, valor do biodiesel da semana de 18 a 24 de julho de 2022 (PETROBRAS, 2022).

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 25% do território nacional, uma área que varia entre 1,8 e 2 milhões de km², sendo a maior concentração no Planalto Central que abrange os Estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, o sul do Mato Grosso, o oeste de Minas Gerais, Distrito Federal, oeste da Bahia, sul do Maranhão, o oeste do Piauí e uma parte de São Paulo. Apresenta clima tropical, com ocorrência de duas estações climáticas anuais, a seca que varia dos meses de maio a outubro e a chuvosa de outubro a abril (ICMBIO, 2022). Tal bioma tornou-se uma nova fronteira agrícola, região produtora de grãos fundamental para a balança comercial do país, tornando o Brasil um dos principais produtores de commodities. A soja local corresponde por 51% do plantio no país, no entanto, há uma preocupação em trabalhar as cadeias produtivas a fim de garantir a continuidade da produção agropecuária, atentando-se a redução do desmatamento e na recuperação das áreas degradadas. Estima-se que cerca de 50% do território já foi desmatado e aproximadamente 80% já foi modificado pela ação humana. O código florestal exige que 25% da vegetação natural seja preservada em propriedades privadas e 8,7% do bioma está protegido legalmente pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (CAMPOS, 2020).

Extraídos de sementes e de outras partes das oleaginosas de frutos e sementes, os óleos vegetais como o óleo de soja e de pequi, são derivados de culturas das regiões Centro-Oeste e Sudeste, podendo ser utilizados para a produção de biocombustíveis (KETZER, 2018).

Dos frutos nativos do Cerrado, o pequi é o mais consumido, comercializado e estudado tanto com relação aos aspectos nutricionais, quanto ecológicos e econômicos. Possui nomenclatura de origem Tupi, que significa “pele espinhenta”, sendo um fruto de grande importância para as populações agroextrativistas e para a economia local. Moradores que realizam as atividades de colheitas e comercialização do fruto chegam a obter até 80% de sua renda anual (CERRATINGA, 2022).

Em se tratando da soja, graças aos avanços da tecnologia agrícola, esta passou a ter o cultivo viável no Cerrado, antes impossível devido as incompatibilidades com o bioma. Essa produção continua em expansão, porém utilizando áreas já abertas, evitando a degradação de novas áreas com vegetação nativa (FORBES, 2021).

Segundo dados do EMATER MG, no mercado agropecuário o preço recebido pelo produtor de pequi no Norte de Minas é em média de R\$ 0,88 por kg, enquanto

que o saco da soja de 60 kg é de R\$ 159,00 em média na região central (EMATER, 2023). Uma de cultura de lavouras temporárias, na qual se exige menor alocação de capital e mão de obra para sua implantação e de rápido retorno econômico, a principal commodity e outra da prática de extrativismo, de cadeia produtiva informal, produção subestimada, mas de importância significativa socioeconômica para a população. Como forma de fortalecimento, e estruturação formou-se cooperativas, buscando mais eficiência e comercialização do pequi, visto que os municípios não realizam os registros de comercializações e produções, gerando grandes prejuízos a valorização do fruto (TEIXEIRA, 2019).

O presente trabalho tem objetivo principal a realização da síntese do biodiesel por meio da reação de transesterificação por catálise homogênea básica a partir dos óleos de soja (OS) e de pequi (OP) para análise comparativa.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar comparativamente por meio dos parâmetros de viscosidade e espectroscopia na região do infravermelho os biodieseis obtidos a partir do óleo de soja (OS) e do óleo pequi (OP).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral foi necessário realizar os objetivos específicos, quais sejam:

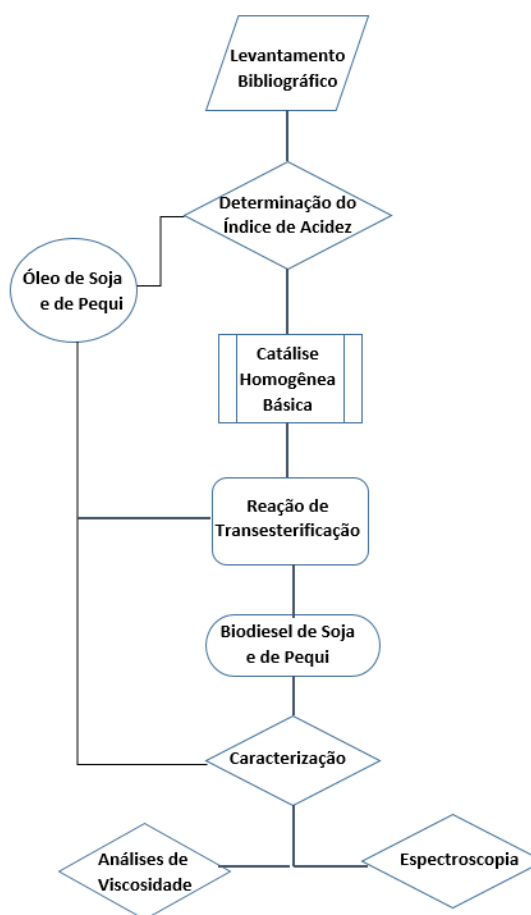
- Obtenção dos óleos de soja e de pequi;
- Caracterização dos óleos in natura por meio do índice de acidez, viscosidade e espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR);
- Realização das reações de transesterificação por catálise homogênea básica;
- Caracterização dos biodieseis obtidos por: viscosidade cinemática, índice de viscosidade e espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. METODOLOGIA

A metodologia para obtenção dos biodieseis a partir dos óleos de soja e de pequi foi realizada de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 1, porém com a definição de uma das catálises propostas.

Figura 1. Fluxograma com as etapas realizadas na metodologia experimental.



Fonte: Autor Próprio

A metodologia baseia-se em levantamento de referenciais bibliográficos teóricos e experimentais através de artigos, teses, dissertações e publicações em revistas que tratam dos temas a respeito do biodiesel obtido a partir dos óleos de soja e do pequi, por meio de reação de transesterificação.

Com a base de referências, foi possível a realização dos experimentos em laboratório para fins de comparação. Experimentos esses que se iniciaram a partir da determinação do índice de acidez dos óleos vegetais para definição do tipo de catálise

a ser utilizada na reação de transesterificação e obtenção dos biodieseis de soja e de pequi, seguido da realização das análises dos índices de viscosidade, viscosidade cinemática e a espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).

3.2. MATERIAIS UTILIZADOS

02 Funis de Separação com Bureta, 04 frascos Erlenmeyer de 250 ml, 02 Provetas de 100 ml, 02 Béqueres de 50 ml, 12 Pipetas, 02 Termômetros, 02 Agitadores com Aquecimento, Solução Metanoica de hidróxido de potássio 0,1 Mol/L, Solução de Cloreto de Sódio Saturada, Solução de Ácido Clorídrico 0,5% (v/v), Solução de Fenolftaleína 1% em Isopropanol, Óleo de Pequi comercial, Óleo de Soja comercial, Barra Magnética Peixinho, Fita Papel Indicador de pH 0-14, Papel alumínio e toalha, Solução de Água ultrapura e deionizada e Etanol.

3.3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.3.1. Determinação do índice de acidez do óleo vegetal

Inicialmente, os óleos de soja e de pequi foram adquiridos em comércio local e foi determinado o índice de acidez para cada óleo a partir da titulação ácido-base, conforme o método AOCS Cd3d63. Foi realizada a pesagem dos óleos vegetais, aproximadamente 1 g de amostra diluída com 10 g de solvente composto por uma mistura 1:1 de tolueno e isopropanol. Seguido do auxílio de 3 gotas de solução de indicador fenolftaleína 1% em isopropanol para a titulação sob agitação constante até que se fosse possível a observação do ponto de viragem, visível a olho nu a partir da mudança de coloração do meio reacional, aproximando-se da tonalidade rosa claro. Como agente titulante foi utilizada a solução metanóica de hidróxido de potássio (KOH).

Para a obtenção do índice de acidez dos óleos foi utilizada a equação (1):

$$I(A) = \frac{V(\text{mL}) \cdot C(\text{mol.L}^{-1}) \cdot 56,1(\text{g.mol}^{-1})}{m(\text{amostra})(\text{g})} \quad (1)$$

Portanto, foi obtido o volume gasto da solução metanoica V (mL) de KOH e a massa da amostra do óleo vegetal (g).

3.3.2. Reação de Transesterificação

Após a determinação do índice de acidez para cada óleo foi determinado o tipo de catálise a ser empregada nas reações de transesterificação e esta transcorreu quando foi adicionado 50 ml do óleo vegetal (soja ou pequi) em um Erlenmeyer de 250 ml e aquecido em banho maria a 50°C, sob a agitação constante com auxílio de barra magnética. Em seguida, adicionou-se 17,5 ml do catalisador, que foi a solução de metóxido de potássio. Na sequência foi mantida a agitação e temperatura constante até o tempo de reação pré-determinado. Os tempos de reação estabelecidos para cada óleo estudado foram: 30 min, 2h, 4h, 6h, e 8h. Os biodieseis obtidos receberam a seguinte nomenclatura, de acordo com o tempo reacional: biodiesel de pequi reação de 30 minutos (BOP30), biodiesel de pequi reação de 2h (BOP2), biodiesel de pequi reação de 4h (BOP4), biodiesel de pequi reação de 6h (BOP6) e biodiesel de pequi reação de 8h (BOP8). Para os biodieseis do óleo de soja a nomenclatura seguiu da mesma forma: BOS30, BOS2, BOS4, BOS6 e BOS8.

Finalizados os tempos de reação, foi realizada a separação dos produtos, transferindo-os para o funil de separação e deixando-os em repouso para que fosse feita a separação das fases por meio de decantação. A parte superior era composta pelo biodiesel, enquanto a parte inferior composta por glicerol, sabões, excesso de álcool e água que foram removidas.

A próxima etapa, foi a de lavagem do biodiesel para a remoção do catalisador, adicionou-se 25 ml de solução aquosa de ácido clorídrico 0,5% (v/v) ao biodiesel presente no funil de separação, seguido de agitação constante para a mistura das reações e em seguida, deixado em repouso para que houvesse a separação das fases e pudesse realizar a remoção da fase aquosa (fase inferior presente no balão). O processo foi repetido com a adição de 25 ml de solução saturada de NaCl, seguido pela verificação do pH após as duas lavagens, para garantir que o biodiesel estivesse neutro e livre da presença do catalisador.

3.3.3. Análise de Espectroscopia na Região do Infravermelho (IV)

Para as análises de espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier dos óleos in natura de soja e pequi, e dos biodieseis obtidos na reação de transesterificação, foi utilizado o Spectrometer FT - IR Spectrum Two. A análise foi realizada na faixa de 4000 - 650 cm^{-1} e para cada amostra, foi utilizada uma gota de óleo in natura e dos biodieseis. A higienização do equipamento foi realizada

com o uso do etanol e da solução de água ultrapura e deionizada antes e após as análises.

Em seguida, com o auxílio do software Espectro 10 foi gerado os espectros de infravermelho a partir das amostras e validados em relação aos espectros de referências. Os resultados foram exportados em formas de dados em tabelas do Excel e os gráficos gerados no processador de imagens Origin 9.

3.3.4. Análise de Viscosidade Cinemática (ν)

Para a obtenção dos dados de viscosidade cinemática dos óleos e biodieseis, foi utilizada a norma ABNT NBR 10441, que estabelece um procedimento específico para a determinação da viscosidade cinemática pela medição do tempo de escoamento de um volume de líquido que flui sob a ação da gravidade. O instrumento de medição utilizado foi o viscosímetro automático Herzog HVU 490. O tempo de escoamento foi calculado com as amostras submetidas a temperatura de 40 °C e 100° C, com variação de temperatura máxima de 0,02 °C. Foram utilizados 20 ml de amostra para cada medição.

3.3.5. Análise do Índice de Viscosidade (IV)

O IV dos biodieseis foi calculado de acordo com a norma NBR 43581. Foram utilizados como padrões os óleos crus da Pensilvânia e do Golfo do México, com valores de IV de 100 e 0, respectivamente.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. BIODIESEL NO BRASIL

O Biodiesel é um biocombustível renovável derivado do processo químico de transesterificação. É produzido a partir de fontes vegetais (óleos vegetais) ou animais (gorduras), considerado biodegradável e com baixo teor de poluentes. É uma alternativa de substituição aos combustíveis derivados do petróleo, como o diesel por exemplo, sendo de ampla utilização deste no setor de transporte, para automóveis como caminhões, tratores e ônibus (ANP, 2022).

De acordo com PORTELA, 2008 o biodiesel é definido como um alquil éster derivado de ácidos graxos contidos nos triglicerídeos, referindo-se ao combustível puro (COSTA, et al., 2013).

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo as especificações das propriedades físicas e químicas do biodiesel estão descritas nos próximos parágrafos.

Quanto a Viscosidade e Densidade, diz-se que as propriedades fluidodinâmicas importantes para o funcionamento do motor de injeção por compressão, influenciando na injeção e circulação do combustível sem a necessidade de adaptação ou regulação. A viscosidade do biodiesel é a resistência do fluido ao escoamento, portanto o controle dessa propriedade é de extrema importância para a garantia do funcionamento adequado dos sistemas mencionados acima. A viscosidade é influenciada pela temperatura de degradação do óleo em função do tempo de degradação. Maior a viscosidade menor a eficiência do sistema de injeção do combustível. A densidade é o indicativo representado pela quantidade de massa por unidade de volume do combustível injetado no motor. No entanto, densidades acima das faixas de regulação podem levar à mistura de ar/combustível, aumentando a emissão de poluentes, para densidades com valores abaixo, podem levar a formação de mistura pobre de ar/combustível, ocasionando uma perda de potência do motor, e em consequência, o aumento do consumo de combustível (ZUNIGA, et al., 2011).

Já no que diz respeito a Lubricidade pode-se dizer que ela é a medida do poder de lubrificação de uma substância.

Quanto o Ponto de Fulgor afirma-se que é a menor temperatura de aquecimento do biodiesel sob aplicação de chama em condições controladas, gerando quantidade de vapores inflamáveis. Parâmetro de indicação de procedimentos de segurança a respeito do transporte, manuseio e armazenamento. Isento de metanol ou etanol o ponto de fulgor é superior à temperatura ambiente. Segundo (ALPTEKIN e CANACKI, 2009) o ponto de fulgor não é alterado quando misturado até 20% de biodiesel no diesel. Por outro lado, o ponto de fulgor aumenta quando o teor de biodiesel é de 50% ou 75% (ZUNIGA, et al., 2011).

A água e Sedimentos tem papel de influência na acidez. Os sólidos reduzem a vida útil dos filtros do veículo e a determinação do teor objetiva o controle da presença de contaminantes. Água em excesso contribui para a elevação da acidez, tornando-o corrosivo (ZUNIGA, et al., 2011).

Viscosidade Cinemática a 40° C indica a resistência ao escoamento. O controle adequado garante o funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustíveis (ZUNIGA, et al., 2011).

A Corrosividade ao Cobre Indica o grau de corrosividade do combustível em relação as pelas metálicas de liga de cobre, presentes nos sistemas do veículo (ZUNIGA, et al., 2011). As Cinzas sulfatadas podem ser constituídas de sais inorgânicos (óxidos metálicos de sódio ou potássio) formadas após a combustão, tornando-se abrasivas. São indícios de resíduos do catalizador utilizado na reação de transesterificação e que não foram removidos totalmente durante o processo de purificação (ZUNIGA, et al., 2011).

O Número de Cetano é o indicativo do tempo de atraso na ignição de combustíveis, semelhante a octanagem, indicando a qualidade da ignição. Então, quanto maior o número de cetanos, mais curto será o tempo de ignição e melhor será a combustão. O número de cetanos aumentam com o comprimento da cadeia carbônica não ramificada. Os testes são realizados em um motor de bancada de quatro tempos, com um cilindro e ignição por compressão. Quando o número de cetano muito alto a combustão pode ocorrer de forma incompleta antes da mistura adequada do combustível com o ar, resultando na emissão de fumaça. Caso contrário, quando o número de cetano é muito baixo, podem ocorrer falhas no funcionamento do motor como o aumento excessivo da temperatura e aquecimento inicial lento. O número de cetano médio no Brasil para o biodiesel é 60 (ZUNIGA, et al., 2011)

O Teor de Enxofre é importante. Óleos vegetais e de gorduras animais não possuem enxofre, então o biodiesel é isento do elemento, danoso ao meio ambiente e ao motor (ZUNIGA, et al., 2011).

O Poder Calorífico influencia na combustão. É a quantidade de energia contida no combustível por unidade de massa quando é queimado. Então, quanto maior o poder calorífico, maior será a energia do combustível. E, quanto menor for o poder calorífico do combustível maior será o consumo para liberar a mesma energia. O poder calorífico (PC) é a dividido em poder calorífico inferior (PCI), onde a água formada se encontra no estado de vapor e poder calorífico superior (PCS) na qual a água encontra-se na fase líquida (ZUNIGA, et al., 2011).

O Ponto de Névoa é a temperatura em que o líquido por refrigeração fica turvo. Ponto de fluidez é a temperatura em que o líquido não mais escoar livremente. Variam de acordo com a matéria prima de origem. O ponto de névoa ocorre em temperatura mais elevada do que o ponto de fluidez. O ponto de fluidez do biodiesel é mais elevado por conta da maior quantidade ácidos graxos saturados (ZUNIGA, et al., 2011).

O Poder de Solvência é constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo grande de substâncias orgânicas, inclusive resinas que compõe as tintas (ZUNIGA, et al., 2011).

As propriedades físicas do biodiesel interferem na qualidade do mesmo. O Quadro 1 apresenta estas propriedades e as suas respectivas características e valores.

Quadro 1. Propriedades físicas do biodiesel.

Nomenclatura Popular	Biodiesel
Nomenclatura Química	Ésteres alquilados de ácidos graxos
Número de carbonos	C ₁₂ -C ₂₅
Viscosidade cinemática (mm ² .s ⁻¹ , 313 K)	3,3-5,2
Densidade (kg.m ⁻³ , 288 K)	860-894
Ponto de ebulição (K)	> 457
Ponto de inflamação (K)	420-450
Faixa de destilação (K)	470-600
Pressão de vapor (mmHg, 295 K)	< 5
Solubilidade na água	Insolúvel em água
Aparência física	Amarelo, límpido
Odor	Leve
Biodegradabilidade	Maior em relação ao diesel derivado do petróleo
Reatividade	Estável, mas deve evitar o contato com agentes oxidantes fortes

Fonte: (FERREIRA, 2016).

O biodiesel por ser produzido de várias fontes. Por natureza, os óleos vegetais são diferentes entre si. Existe uma variedade de espécies vegetais brasileiras que podem se constituir em fontes para o biodiesel. Na literatura encontrou-se os óleos de soja, girassol, canola, mamona, dendê (palma), babaçu, amendoim e outros.

Os experimentos realizados foram feitos exclusivamente com os óleos de pequi (*Caryocar brasiliense*) e soja (*Glycine max*).

Os resultados destes experimentos encontrados na literatura estão mostrados no Quadro 2. O comparativo entre as propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir da soja e do pequi, importantes para a qualidade do biodiesel.

Quadro 2. Propriedades físico-químicas para a qualidade do biodiesel a base da soja e do pequi.

	Pequi ¹	Soja ²	Referências
Viscosidade cinemática a 40° C (mm ² /s)	5,95	3,97	¹ Cavalcante et al., 2007 ² Alptekin e Canakci, 2008
Densidade a 15° C (g/cm ³)	-	0,88	² Alptekin e Canakci, 2008
Número de cetano	60	60,1	¹ Turchiello, 2005 ² Alptekin e Canakci, 2008
Ponto de fulgor (°C)	142	139	¹ Cavalcante et al., 2007 ² Alptekin e Canakci, 2008
Ponto de fluidez (°C)	5	0	¹ Ramos, 2004 ² Alptekin e Canakci, 2008
Ponto de névoa (°C)	8	-	¹ Ramos, 2004
Poder calorífico (kcal/Kg)	9590	9520	¹ Ramos, 2004 ² Braga, et al., 2016

Fonte: (ZUNIGA, et al., 2011).

De acordo com dados do Sistema de Movimentação de Produtos (SIMP) disponibilizados no Mapa Dinâmico dos Produtores de Biodiesel, no mês de maio de 2022 haviam 55 instalações Produtoras de Biodiesel no Território Nacional (ANP, 2022). A Figura 2 apresenta a localização das instalações produtoras de biodiesel por região (ANP, 2022).

Figura 2. Instalações Produtoras de Biodiesel no Brasil.



Fonte: (ANP, 2022).

O Quadro 3 indica a quantidade de instalações produtoras de biodiesel em seus respectivos estados no ano de 2022. Nota-se que a região Centro Oeste apresentou o maior número de instalações produtoras de biodiesel.

Quadro 3. Instalações Produtoras de Biodiesel no Brasil por regiões.

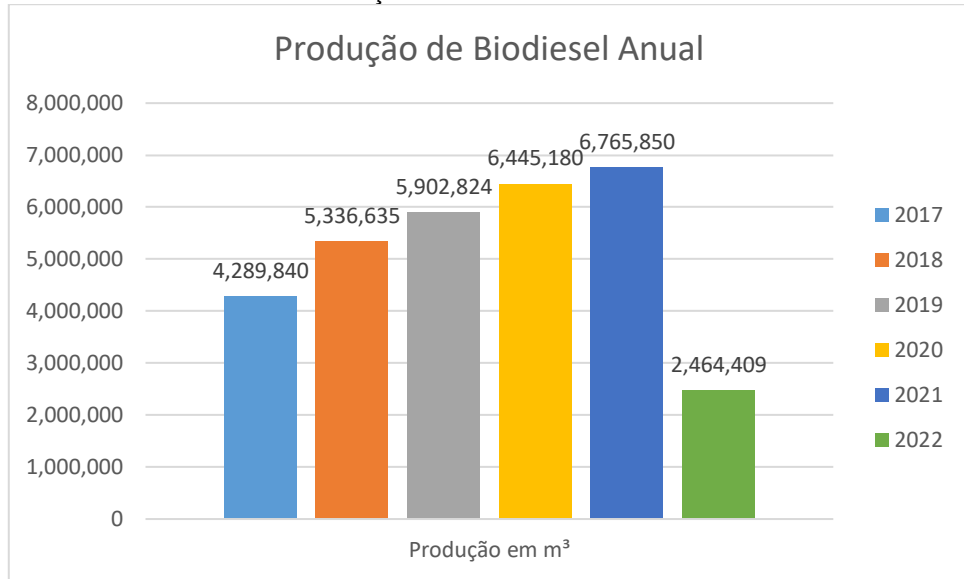
Região	Estado	Quantidade
Centro Oeste	Goiás	9
	Mato Grosso	17
	Mato Grosso do Sul	2
Nordeste	Bahia	3
	Ceará	1
	Piauí	1
Norte	Pará	1
	Rondônia	1
	Tocantins	1
Sudeste	Minas Gerais	1
	Rio de Janeiro	2
	São Paulo	3
Sul	Paraná	2
	Santa Catarina	2
	Rio Grande do Sul	9

Fonte: (ANP, 2022).

A unidade da Olfar na cidade de Porangatu é a maior do Brasil. Para gerar biodiesel nesta planta goiana, são utilizados como matéria-prima óleo de soja e gordura animal. Hoje ela produz 1.8 milhão de litros de biodiesel por dia.

O Gráfico 1 representa a produção total anual em m³ de biodiesel no Brasil, no período que vai do ano de 2017 até o mês de maio do ano de 2022. Destaque para o ano de 2021, ano de maior produção dentre os anos comparados. Tal ocorrido pode ser justificado por conta da expectativa criada com o aumento da demanda por biodiesel após o aumento do percentual mínimo obrigatório para 12% ao óleo diesel definido pela Resolução do Conselho aprovado pelo Conselho Nacional de Política Energética (MME, 2020).

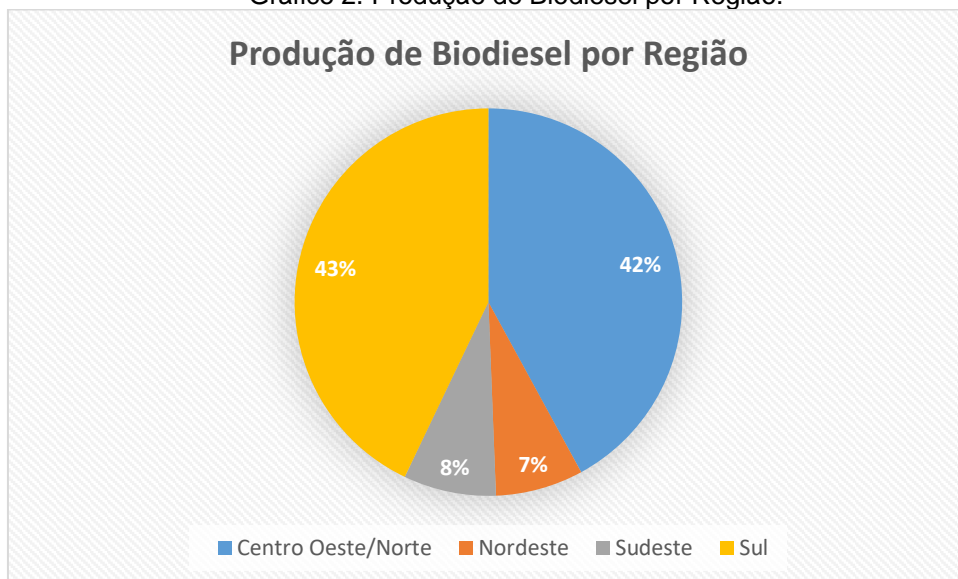
Gráfico 1. Produção total anual de Biodiesel.



Fonte: Adaptado (ANP, 2022).

Para a produção de Biodiesel referente ao ano de 2022 (apresentado no Gráfico 1) foram contabilizados apenas os cinco primeiros meses do ano, o correspondente até o mês de maio. Leva-se em consideração o período de 2017 a maio de 2022, a região Centro-Oeste, Norte e a região Sul são as regiões brasileiras de maiores percentuais de produção de biodiesel. Juntas produzem o equivalente a 85% do biodiesel, como apresentado no Gráfico 2, totalizando 26.507.212 m³.

Gráfico 2. Produção de Biodiesel por Região.



Fonte: Adaptado (ANP, 2022).

4.2. ÓLEOS VEGETAIS

Os óleos vegetais são gorduras extraídas de sementes e de frutos, podendo ser extraído também de outras partes da planta. Formados por ésteres de triagliceróis, sendo os óleos líquidos e as gorduras sólidas e ambos são substâncias hidrofóbicas. Um triagliceról é o resultado da esterificação entre o glicerol e ácidos graxos. Os óleos possuem componentes em menor proporção como mono e diglicerídeos, ácidos graxos livres, tocoferol, proteínas, esteróis e vitaminas (Al, 2017).

Em meados de 1900, o engenheiro Rudolf Diesel, realizou a primeira experiência em motores com o uso de óleos vegetais, testando o óleo de amendoim. A experiência mostrou a formação de fuligem, o que acabou contribuindo para a redução do desempenho do motor, além da substância acroleína no processo da queima da glicerina presente no óleo, desvantagens descobertas na época para o uso de óleo vegetal sem qualquer tratamento químico. No Brasil a tentativa se deu após a crise do petróleo em 1970, com a criação do Plano de produção óleo vegetal para fins energéticos, o Proóleo criado pelo Ministério da Agricultura, visando a redução da dependência do óleo diesel (SILVA, 2002).

O Brasil é um país de vasta extensão territorial, o que viabiliza uma ampla disponibilidade e variedade de recursos naturais, a exemplo dos óleos vegetais, há potencial para inúmeros tipos de matérias-primas, disponíveis para que sejam produzidos os óleos vegetais (COSTA, et al., 2013). Destaca-se dentre as matérias-primas mais utilizadas nas respectivas regiões brasileiras:

- **Região Norte:** o dendê e a soja;
- **Região Nordeste:** a mamona, o pinhão manso, o dendê, o babaçu e o algodão;
- **Região Centro-Oeste:** a soja, o algodão, a mamona, o girassol;
- **Região Sudeste:** a soja, o algodão, a mamona, o girassol;
- **Região Sul:** a soja, o algodão, a colza (canola), e o girassol;

No Quadro 4 é apresentado um comparativo entre as vantagens e desvantagens e o rendimento entre algumas matérias-primas utilizadas na produção de Biodiesel.

Quadro 4. Comparativo entre algumas matérias-primas utilizadas na produção de Biodiesel.

Matéria Prima	Rendimento	Vantagens	Desvantagens
Algas	50.000 l/ha	Maior proporção de produção de óleo por área dentre as opções.	Processo produtivo não é economicamente viável.
Algodão	400 l/ha	Baixo custo.	Viável somente se o óleo for produzido próximo das regiões produtoras.
Dendê	4.000 l/ha	Boa proporção de produção de óleo por área.	Produção é destinada à indústria de alimentação e cosméticos.
Gordura Animal	1,05 kg/1 litro	Subproduto da indústria de carnes. Baixo custo.	Baixo rendimento.
Macaúba	4.000 l/ha	Boa proporção de produção de óleo por área.	Em fase de domesticação agrícola.
Mamona	2.000 l/ha	Boa proporção de produção de óleo por área.	Viscosidade do óleo.
Óleo de Cozinha	1 litro/800 ml	Filtragem. Baixo custo.	Poucos postos de recolhimento.
Pinhão Manso	3.000 l/ha	Boa proporção de produção de óleo por área.	Não há plantio comercial.
Soja	500 l/ha	Ampla produção e indústria instalada.	Baixo rendimento de óleo. Variação de preço no mercado externo.

Fonte: (OLIVEIRA, 2016).

Para a matéria-prima há variações dos processos de extração do óleo, dois métodos normais são utilizados, a prensagem e a extração por solvente, ou a combinação de ambos. A prensagem seguida da extração por solvente apresenta ótimo resultado para sementes com alto teor de óleo, visando obter maior rendimento. Em termos percentuais é obtido cerca de 80% do óleo quando utilizado o método da prensagem, enquanto por extração por solvente o rendimento percentual pode ser de até 95% do óleo. O óleo bruto é obtido e outros subprodutos que variam de acordo com o grão, necessitando do processo de refino que variam o grau de complexidade de acordo com a qualidade que deseja (AI, 2017).

Descrito no Quadro 5 as características das técnicas utilizadas para extração de óleos.

Quadro 5. Características das técnicas utilizadas para extração de óleos.

Prensagem mecânica	Extração química por solvente	Extração química enzimática
Baixo Investimento	Alto Investimento	Alto investimento no custo das enzimas
Diminuição da quantidade de óleo extraído	-	Produto de melhor qualidade
Não gera resíduo	Geração de resíduos com o uso de solventes	-
Possui pegada ambiental	Não possui pegada ambiental	Possui elevada pegada ambiental
Indicado para pequenas produções	Usado para oleaginosas com baixo teor de óleo	-

Fonte: (SANTOS et al., 2022).

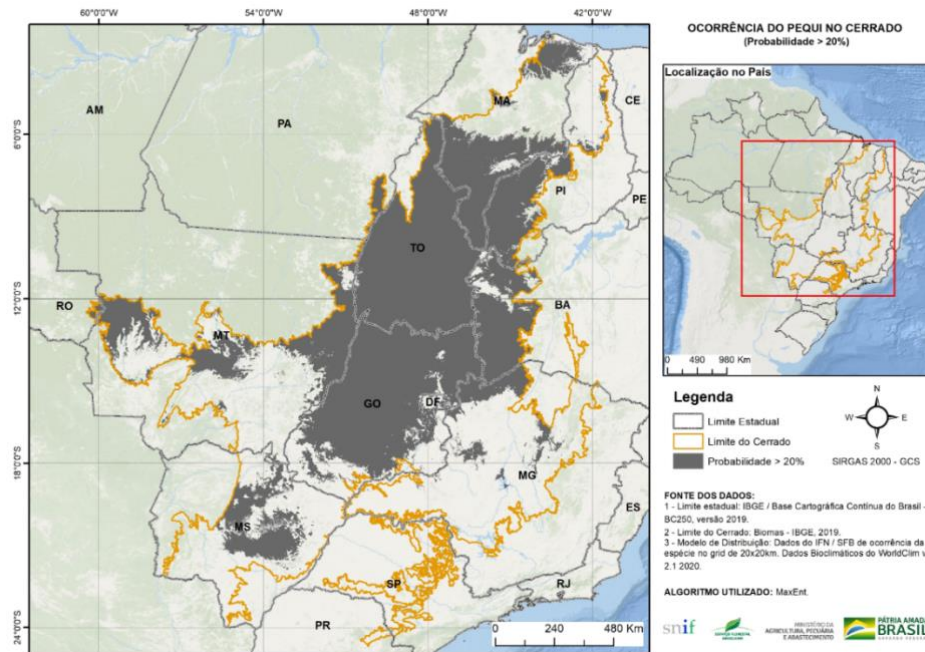
4.2.1. Óleo de pequi

O *Caryocar brasiliense* Cambess, conhecido popularmente como pequi, piqui, piquiá e piqui-do-cerrado é uma planta típica do Cerrado, mas presente também em biomas como a Mata Atlântica e o Pantanal, possuem alta tolerância a períodos de secas temporárias. O período de floração ocorre entre os meses de agosto a novembro e de agosto a maio o período da frutificação, levando cerca de 3 a 4 meses para o amadurecimento. Os frutos são disseminados pelos animais silvestres entre abril e maio. É utilizado na indústria alimentícia e de cosméticos, sendo a polpa e a semente as partes da fruta mais aproveitada (MAPA, 2014). O referido fruto tem ocorrência principalmente nos estados BA, CE, DF, GO, MA, MT, MS, MG, PA, PI, RJ, SP, TO (MAPA, 2014).

Segundo TURINI, 2013, o pequi ocorre em vegetações cujas áreas são de Cerradão e Cerrado sentido restrito, tornando o mapeamento e a identificação da vegetação fatores importantes e fundamentais no potencial de ocorrência da espécie.

De acordo com a Figura 3 disponibilizada abaixo é possível observar a probabilidade de ocorrência do pequi no delimitado Bioma Cerrado.

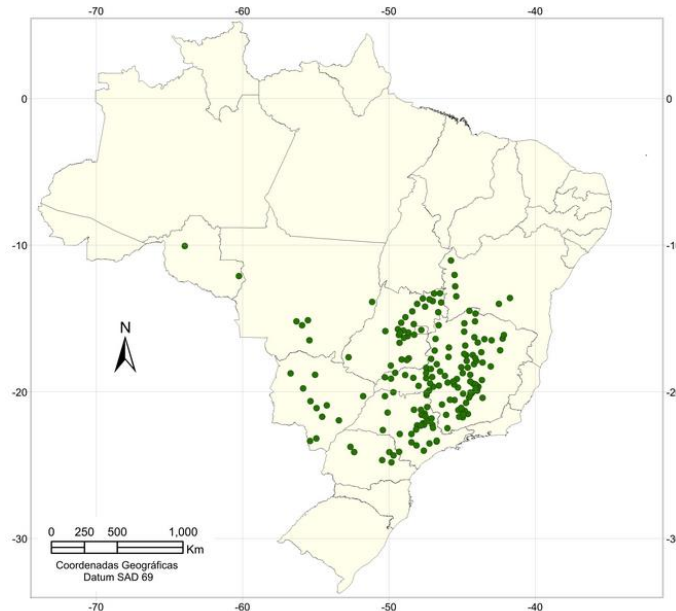
Figura 3. Ocorrência de Pequi no Cerrado.



Fonte: (SNIF, 2020).

Na Figura 4, mostra os locais de ocorrências de Piquizeiro no Brasil.

Figura 4. Ocorrências de Piquizeiro no Brasil.



Fonte: (CARVALHO, 2021).

O destaque é para a região sudeste, especificamente no Norte de Minas Gerais, conforme mostrado na Figura 5. Região de transição entre os biomas cerrado e caatinga. É o único estado do país que possui uma lei de incentivo à cadeia produtiva

do pequi (Lei nº 13.965/2001) que criou o programa mineiro de incentivo ao cultivo, à extração, ao consumo, à comercialização e a transformação do pequi. Destaca-se a importância socioeconômica da atividade extrativista para a economia da população local.

Figura 5. Região Norte de Minas Gerais.

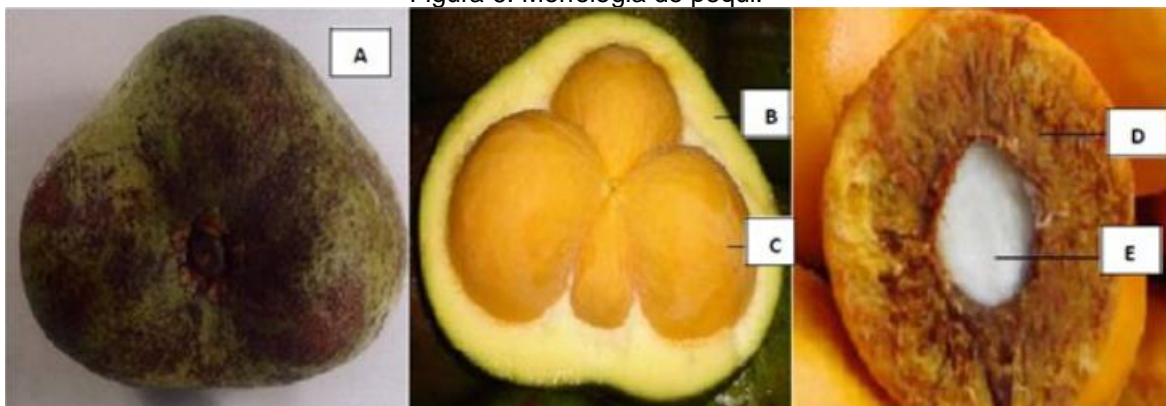


Fonte: (CANDIDO, MALAFAIA, REZENDE, 2012)

O pequi é um fruto simples, carnoso de casca grossa (epicarpo), de coloração esverdeada a tons de roxo e polpa (mesocarpo) de coloração amarela, coberta por uma casca (endocarpo) espinhosa que tem a função de proteger a amêndoa. Na polpa há uma grande concentração de lipídeos (ácidos graxos oleico e palmítico), fibras alimentares, e hemicelulose. O óleo da amêndoa do pequi possui elevado teor de ácidos graxos poli-insaturados e ácidos graxos essenciais (REIS e SCHMIELE, 2017).

A Figura 6, detalha a morfologia do pequi. (A) representa o fruto inteiro, (B) é o mesocarpo externo, (C) é o caroço ou pirênios, (D) é os espinhos ou endocarpo e (E) é a amêndoa ou semente.

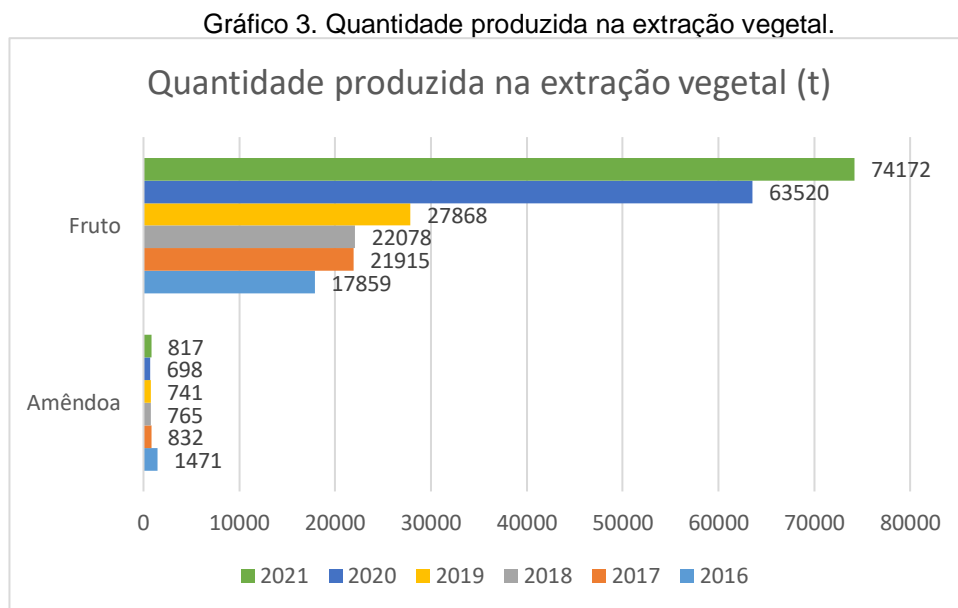
Figura 6. Morfologia do pequi.



Fonte: (SANTOS, OLIVEIRA e BARBOSA, 2017).

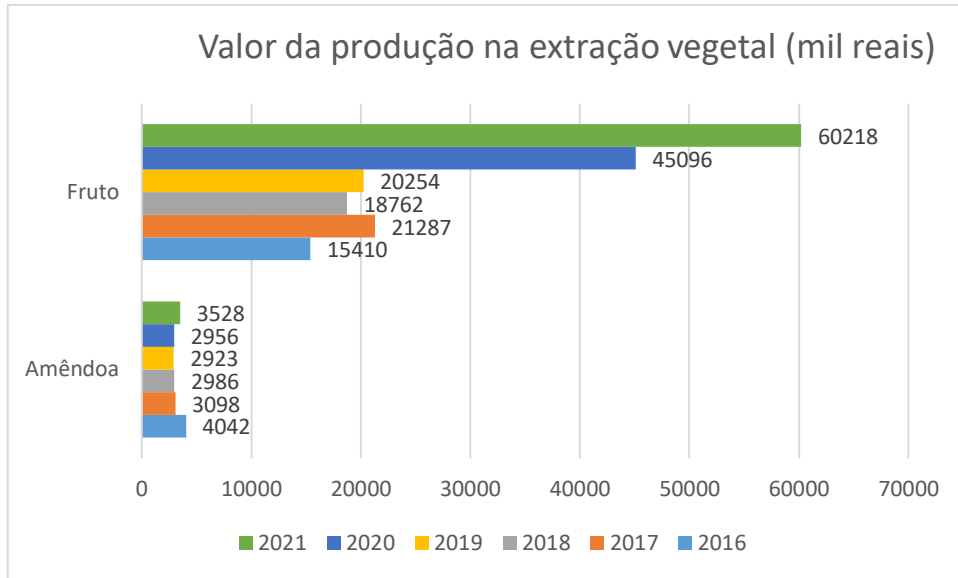
O fruto pode ser totalmente aproveitado, mas o principal produto do pequi é a polpa que fica junto ao caroço e contém o óleo, já a castanha é extraída da semente (SNIF, 2020). Estima-se que a produção anual varia entre 500 e 2.000 frutos/árvore, o equivalente em média de 90 kg de frutos descascados ou 32 kg de polpa de pequi por árvore quando na fase adulta. Levando em consideração que o tempo para a colheita dos frutos variam de 6 a 8 anos (FILHO e SARTORELLI, 2015).

De acordo com dados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura disponíveis no SIDRA, em termos de valores da produção em mil reais e da quantidade produzida em toneladas na extração do fruto e da amêndoa do pequi, destaca-se a maior quantidade de extração e do valor de produção do fruto em 2021 e da amêndoa em 2016, quando comparado entre o período que compreende os anos de 2016 a 2021, conforme mostrado nos Gráficos, 3, 4 e 5 abaixo.



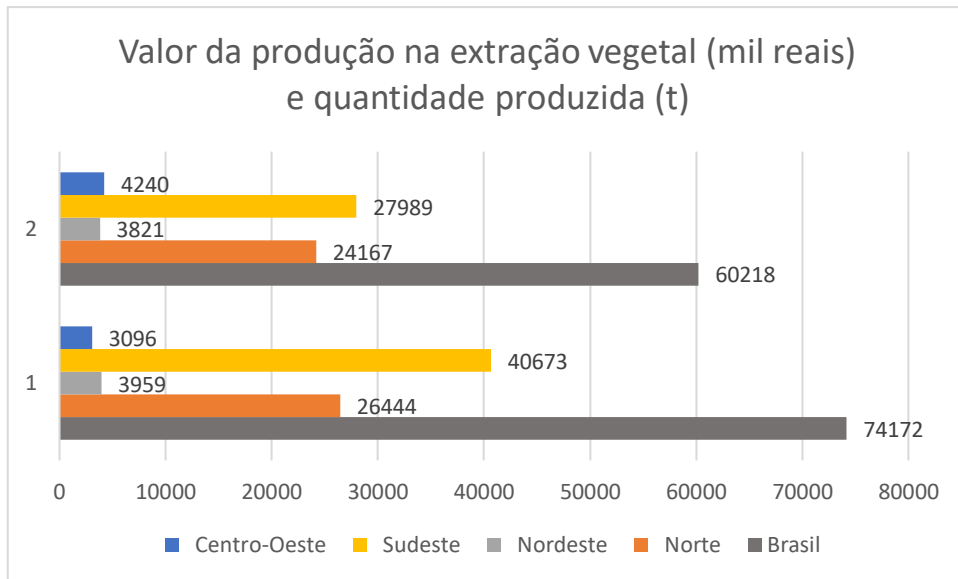
Fonte: (IBGE, 2021).

Gráfico 4. Valor da produção na extração vegetal.



Fonte: (IBGE, 2021).

Gráfico 5. Valor e quantidade da produção por região.



Fonte: (IBGE, 2022).

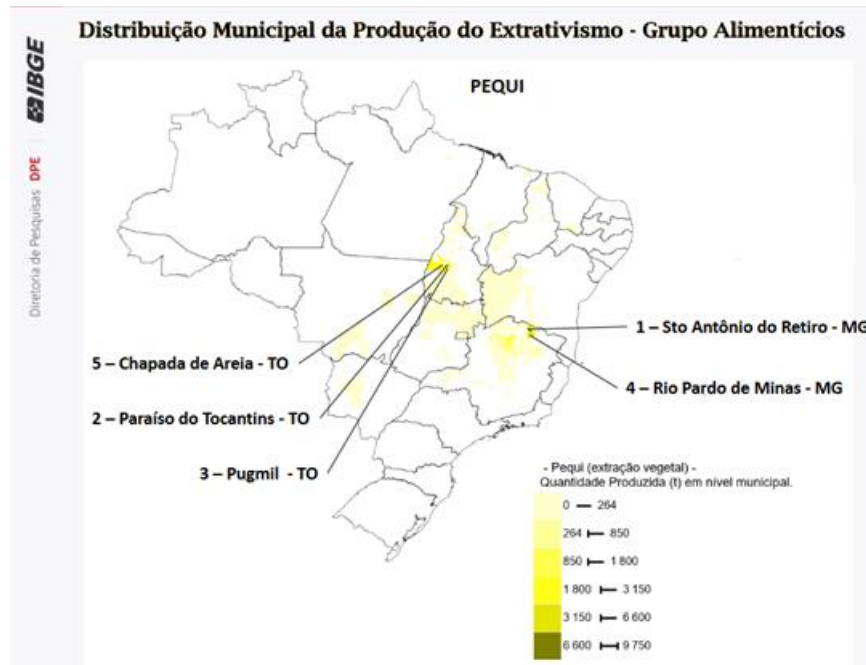
2 - Valor da Produção na Extração vegetal em Mil reais.

1 - Quantidade produzida na extração vegetal em toneladas.

Quando analisado o ano de 2021, por regiões, destaque para a região sudeste, somente Minas Gerais o principal produtor de pequi de acordo com dados da PEVS 2021, com o equivalente a 54,8% do volume nacional. O município de Santo Antônio do Retiro responsável por produzir 9,8 mil toneladas e 60,2 milhões o valor da produção (IBGE, 2022).

Na Figura 7 é possível observar a distribuição municipal da produção do extrativismo, na qual está representado a quantidade produzida de pequi em nível municipal.

Figura 7. Distribuição municipal da produção do extrativismo.



Fonte: (IBGE, 2022)

Como forma de organização socioprodutiva e de gestão estratégica para a agricultura familiar, os municípios utilizam do cooperativismo como instrumento de representatividade no mercado e maior competitividade (SANTOS, 2016). No entanto o Quadro 6 é um levantamento das cooperativas extrativistas.

Quadro 6. Cooperativas extrativistas.

Cooperativas	Produtos	Localização	N° de Famílias
Cooperjap – Cooperativa dos produtores rurais e catadores de pequi	Pequi em conserva, óleo de pequi, castanha de pequi e polpas de frutas nativas congeladas.	Japonvar (MG)	210 cooperados
Cooperativa dos Agricultores Familiars e Agroextrativista Grande Sertão	Polpas de frutas integrais, óleo de pequi, pequi congelado com caroço, açúcar mascavo, Cerveja artesanal de coquinho, farinha de mandioca.	Montes Claros (MG)	1200 famílias em 300 comunidades de 30 municípios do norte de Minas Gerais
Cooperuaçu – Cooperativa dos Agricultores Familiars e Extrativistas do Vale do Peruaçu	Polpas de frutas congeladas, polpa de pequi em conserva, creme, molho, farofa, castanha e óleo de pequi.	Vale do Peruaçu Januária (MG)	60 agroextrativistas (maioria de mulheres)
Sítio Boca do Mato*	Produção e beneficiamento do pequi e do baru (cremes, molhos, pasta e licores)	Mumbá (GO)	Família Berquó
COOPAFAMA – Cooperativa Agroecológica dos Agricultores Familiars do Projeto de Assentamento Colônia I	Alimentos agroecológicos e sem agrotóxicos e referência na utilização de ingredientes originários do Cerrado como o Pequi para produção de bolos, pães e biscoitos.	Padre Bernardo (GO)	24 famílias assentadas e 18 mulheres extrativistas.
COOPSERTÃO - Cooperativa Sertão Veredas	Comercializa polpa, óleo e farinha de pequi, óleo de buriti, polpas de frutas congeladas, mel, baru, farinha de mandioca e açúcar mascavo.	Chapada Gaúcha (MG)	110 cooperados (assentamentos de reforma agrária e comunidades quilombolas)
CEPPEC – Centro de	Trabalho artesanal de		45 famílias coletoras que

Produção, Pesquisa e Capacitação do Cerrado	tecelagem, extrativismo do baru, farinha de jatobá e pequi	Assentamento Andalucia Nioaque (MS)	trabalham em todas as etapas da cadeia produtiva
---	--	-------------------------------------	--

Fonte: (CENTRAL DO CERRADO, 2023).

* Matéria prima utilizada nos produtos obtidas diretamente do Cerrado no próprio sítio ou por meio de produtores locais e famílias que vivem do pequi. Cadeia de processo toda artesanal, da produção até a embalagens.

O índice de acidez serve para direcionar o tipo de catalise e o índice de saponificação é o indicador de estimativa do quanto o óleo pode se transformar em sabão, quanto maior o valor deste índice menor a qualidade do biodiesel. Apresentam os índices obtidos de acidez e saponificação da amêndoa, do caroço e da polpa do pequi na Tabela 1 (DEUS, 2008 e SOUZA, 2019).

Tabela 1. Índice de acidez e de saponificação da amêndoa, do caroço e da polpa do pequi.

Biomassa	Índice de acidez (mg KOH/ g óleo)	Índice de saponificação (Ácido oleico g.(100g) ⁻¹	Referência
Amêndoa do pequi	4,94	206,10	DEUS, 2008
Caroço do pequi	12,2	391,78	SOUZA, 2019
Polpa do pequi	3,17	194,29	DEUS, 2008

Fonte: (SOUZA et al., 2019).

Como mostrado na Tabela 1, o caroço do pequi, matéria-prima considerada de baixa qualidade, em função de sua composição, apresenta índice elevado de acidez e de saponificação, isto se deve aos ácidos graxos livres, apresentando menor eficiência de conversão na reação de transesterificação catalisada por base, formando o sabão e dificultando a separação (SOUZA et al., 2019).

O biodiesel metílico e etílico obtido a partir do óleo de pequi tiveram os resultados que indicam que o biocombustível obtido por meio das duas rotas atendeu as especificações da ANP para o índice de acidez, e massa específica em temperatura ambiente descritos na Tabela 2. O biodiesel metílico foi obtido pela reação do metóxido de potássio e o biodiesel etílico a partir do etóxido de potássio em uma reação com duração de 40 minutos, acrescido de 100 g de óleo. A mistura foi retirada para repouso por 30 minutos em um funil de decantação para obtenção das duas fases: biodiesel e glicerina. A glicerina foi retirada e feita a lavagem com água destilada até que se obtivesse pH 7. Com o biodiesel foram realizados os ensaios físico-químicos de qualidade, conforme apresentados na Tabela 2. Os autores

concluíram que o pequi poderia ser uma fonte alternativa para a produção de biodiesel, pois apresenta elevado teor de óleo e por ser uma opção para o cerrado brasileiro, visto que o biodiesel está dentro das especificações da ANP (BATISTA et al., 2013).

Tabela 2. Características de qualidade do biodiesel de pequi.

Aspecto	BMP	BEP	Especificações ANP
Cor ASTM, máx.	3,50	3,50	-
Massa específica a 20°C g/cm ³	0,8663	0,8515	0,875 a 0,900
Índice de acidez (mg NaOH/g)	0,7907	0,7850	0,8
Índice de saponificação (mg KOH/g)	58,52	61,26	-
Viscosidade	5,0	5,0	-

Fonte: (BATISTA et al., 2013).

Com base nas literaturas disponíveis a respeito do uso do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*) para a produção de biodiesel.

A utilização do óleo de amêndoa de pequi como matéria-prima para a produção de biodiesel, utilizando os biocatalisadores (*Candida rugosa* Lipase, não imobilizada de procedência NOVOZYME e o *Candida antarctica* Lipase B, imobilizada de procedência NOVOZYME), determinou o índice de saponificação do óleo utilizando KOH, titulando o excesso com HCl. No processo da síntese do éster, utilizou ácido e cloreto de tionila. As reações enzimáticas foram de 2 h, 4 h, 6 h, 8, 10 h e 12 h e apresentaram a formação de triacetina, diferente dos métodos tradicionais, que para o autor é considerado um resultado positivo. A produção biocatalítica usando acetato de etila como solvente é tida como promissora e pode ter os 62% de rendimento reacionais obtidos melhorados. O fato da enzima utilizada não ser imobilizada é um ponto negativo, podendo ocorrer a inativação da enzima, impossibilitando o uso em ciclos da produção. Enquanto que a imobilização auxilia na estabilidade do sítio catalítico da enzima, podendo influenciar num bom desempenho da mesma. Já, para a enzima imobilizada (CAL A), o rendimento máximo foi de 20% (SOUSA, 2016).

O óleo extraído da polpa de pequi, utilizando um catalisador heterogêneo composto magnético à base de iodeto de potássio suportado em sílica, para a

produção de biodiesel por transesterificação. Os resultados obtidos indicaram tempo reacional baixo, 130 minutos, e alto rendimento estequiométrico, 93%. A solução resultante continha metanol/biodiesel/glicerina. E o biodiesel apresentou pH, sem a necessidade de lavagem para a neutralização do produto (MACEDO, 2014).

4.2.2. Óleo de soja

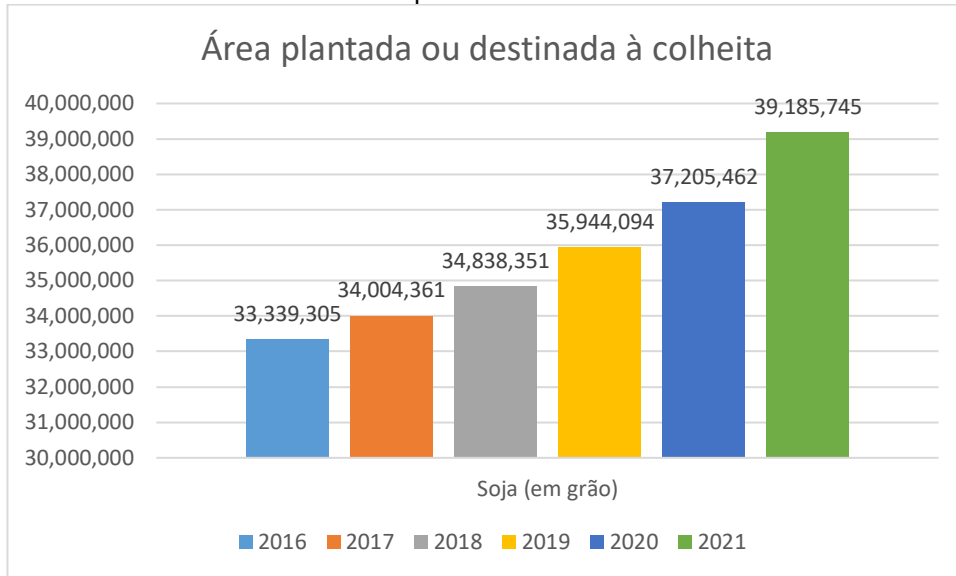
A *Glycine max* é o nome científico para a soja (CAMPESTRE, 2017) que como fonte de biodiesel é um dos grãos mais produzidos no Brasil, atrás dos grãos para exportação, do farelo de soja e do óleo de cozinha. Quando processados como farelo os grãos produzidos ganham valor agregado tornando o biocombustível mais acessível.

A soja é considerada uma oleaginosa, tem o farelo proteico como o principal produto derivado, representando cerca de 75% a 80% do grão e bastante utilizada como forma de alimentação animal (HIRAKURI; LAZZAROTTO; ÁVILA, 2010). O farelo da soja é o insumo mais relevante para alimentação dos animais destinados a produção de carne para alimentação humana. Segundo a Embrapa *“As proteínas da soja possuem alto valor biológico, e é o único vegetal que contém proteína completa, equivalente a um ovo e podendo ser consumida como única fonte de proteína tanto no curto como ao longo prazo”* (CORAZZA, 2021).

A soja foi considerada a oleaginosa que abriu o mercado de biocombustíveis baseados no óleo vegetal e possibilitou, segundo PERES; BELDRANO, 2006 a inserção de outras oleaginosas como o girassol e a canola (NETA et al., 2019).

Cerca de 2.388 municípios brasileiros realizam a produção da soja, representando cerca de 42,8% dos 5.568 municípios brasileiros. De acordo com dados disponíveis na SIDRA, a respeito da Produção Agrícola Municipal – PAM, do produto das lavouras temporárias, observa-se um aumento crescente ano a ano em hectares de área plantada ou destinada à colheita da soja, conforme apresentado no Gráfico 6 (IBGE, 2021).

Gráfico 6. Área plantada ou destinada à colheita.



Fonte: (IBGE, 2021).

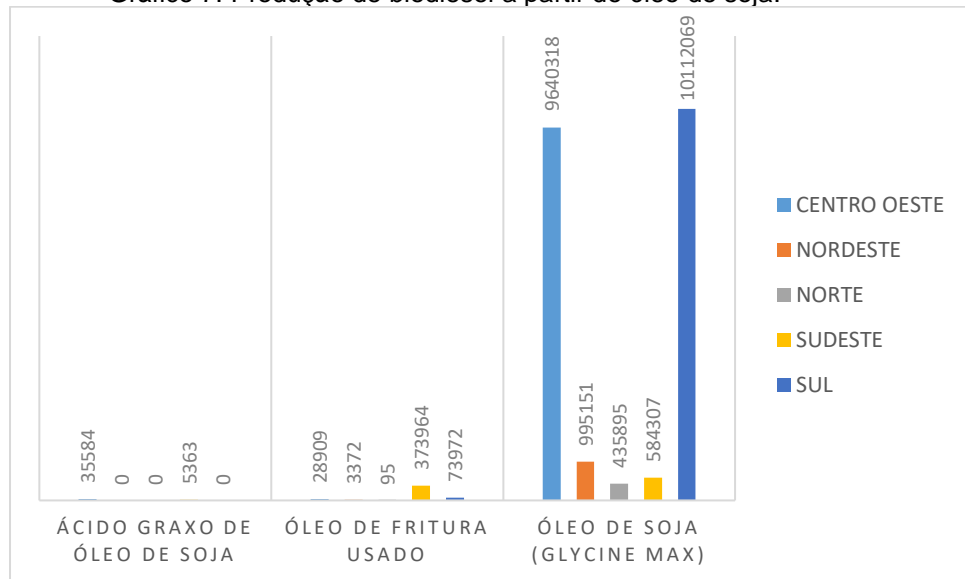
Com destaque para o ano de 2021, na qual estimado pelo (IBGE, 2021), a área plantada era o equivalente a 39.185.745 hectares, enquanto que 39.168.068 hectares de área colhida e produção de 134.934.935 toneladas com um valor de produção de 341.747.600 mil reais o que equivale um rendimento médio de produção de 3.445 Kg por hectare. Dados do (MAPA, 2022), o valor bruto da produção de Soja no ano de 2020 foi de R\$ 305,36 bilhões, enquanto que em 2021 foi de R\$ 389,56 bilhões, apresentando uma variação de 27,6% entre 2021/2020 e considerando os meses de janeiro a abril de 2022 o valor bruto foi de 351,99 bilhões.

O Brasil detém posição de destaque no mercado mundial, é o 1º colocado quando se trata da produção e exportação da soja em grão, 3º colocado em produção e 2º em exportação do farelo e do óleo de soja (MAPA, 2022).

Destaca-se o Mato Grosso como maior produtor de soja brasileiro na safra 2021/2022, com uma produção de 39.961,1 milhões de toneladas em uma área plantada de 10.909,4 milhões de hectares, enquanto que no Goiás a produção foi de 17,290 milhões de toneladas em 4,394 milhões de hectares respectivamente. Para cada região brasileira, destaca-se um Estado em termos de produção, no Norte do país: Tocantins com 3.877,1 mil (t), no Nordeste: Maranhão com 3.573,6 mil (t), no Centro-Oeste: Mato Grosso, no Sudeste: Minas Gerais com 7.590,5 mil (t) e o Paraná na região Sul com 12.250,3 mil (t), conforme dados da (EMBRAPA, 2023).

Devido ao cenário favorável, que apresenta bons números e da disponibilidade de oferta o óleo de soja é utilizado em larga escala para a produção de biocombustível e o Gráfico 3 representa a produção em m³ de biodiesel entre o período de janeiro de 2017 a maio de 2022, a partir do óleo de soja *Glycine max*, do ácido graxo de óleo de soja e do óleo de fritura usado de acordo com dados da ANP, 2022. Destaques para as regiões Centro Oeste com 9.640.318 m³ e Sul com 10.112.069 m³, as maiores responsáveis pela produção de biodiesel a partir do óleo de soja *Glycine max*.

Gráfico 7. Produção de biodiesel a partir do óleo de soja.



Fonte: Adaptado (ANP, 2022).

Os índices de acidez e saponificação do óleo de soja são descritos por SOUZA, 2019, na Tabela 3.

Tabela 3. Índice de acidez e de saponificação da soja.

Biomassa	Índice de acidez (mg KOH/ g óleo)	Índice de saponificação (Ácido oleico g.(100g) ⁻¹)	Referência
Soja	0,13	1,77,79	SILVA, 2005

Fonte: (SOUZA et al., 2019).

Conforme mostrado na Tabela 3, o baixo índice de acidez apresentado pela biomassa soja é fator fundamental de importância para saber o melhor processo utilizado para a conversão do óleo em biodiesel, pois o excesso de ácidos graxos livres pode ocasionar reações secundárias que impactam no processo de

transesterificação, processo esse que ocorre na presença de hidróxidos (SOUZA et al., 2019).

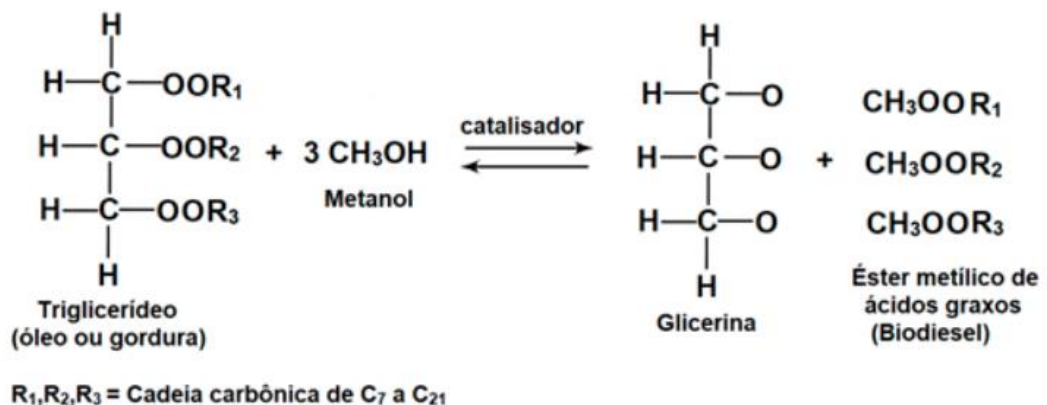
4.3. REAÇÕES DE TRANSESTERIFICAÇÃO

A transesterificação é o processo no qual a reação dos triglicerídeos do óleo e ou gordura animal com um álcool (metanol ou etanol), forma como produto o éster (metílico ou etílico) e a glicerina ou glicerol como produto secundário, conforme mostrado na Figura 8. Para que o éster seja comercializado na forma de biodiesel é necessário o processo de purificação para adequação quanto à especificação da qualidade (ANP, 2021).

A reação de transesterificação consiste na separação do glicerol do óleo tornando-o compatível aos motores de ciclo diesel (RIBEIRO, 2020). O processo resulta na diminuição da viscosidade do óleo. Dado o processo para obtenção do biodiesel, o uso de álcool de cadeia curta como o metanol e etanol é uma tentativa de eliminar os catalisadores da reação. O metanol é utilizado em maioria pelos países europeus enquanto o Brasil utiliza o etanol, tornando-o mais competitivo pois apresenta menor nível de toxidez, já que é proveniente de fontes renováveis e possui tecnologia para produção em larga escala (TRENTIN, 2010).

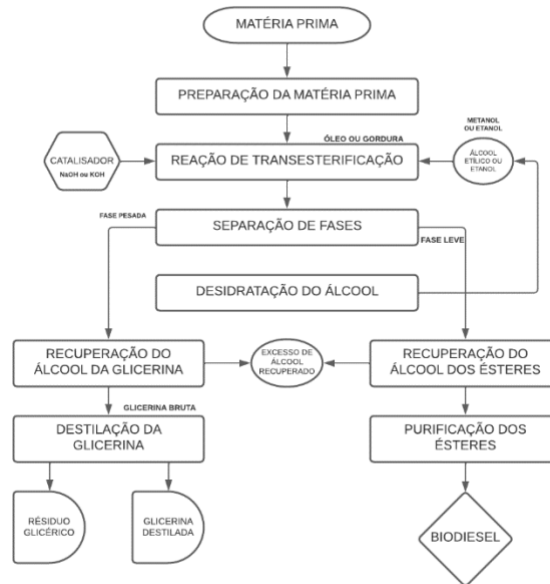
Na Figura 8, a reação é reversível e ocorre a partir da proporção de três mols de álcool para um mol de triglicerídeo, com a necessidade maior de álcool para que o produto esteja em equilíbrio e um aumento maior do rendimento dos ésteres. Por outro lado, a glicerina obtida é aproveitada como insumos em outras muitas aplicações distintas (COSTA, 2011).

Figura 8. Reação Geral de Transesterificação.



A Figura 9 representada em forma de fluxograma, por RIBEIRO, 2020 especifica as etapas do processo de transesterificação.

Figura 9. Processo de Transesterificação.



Fonte: Adaptação de (BARROS; JARDINE, 2018).

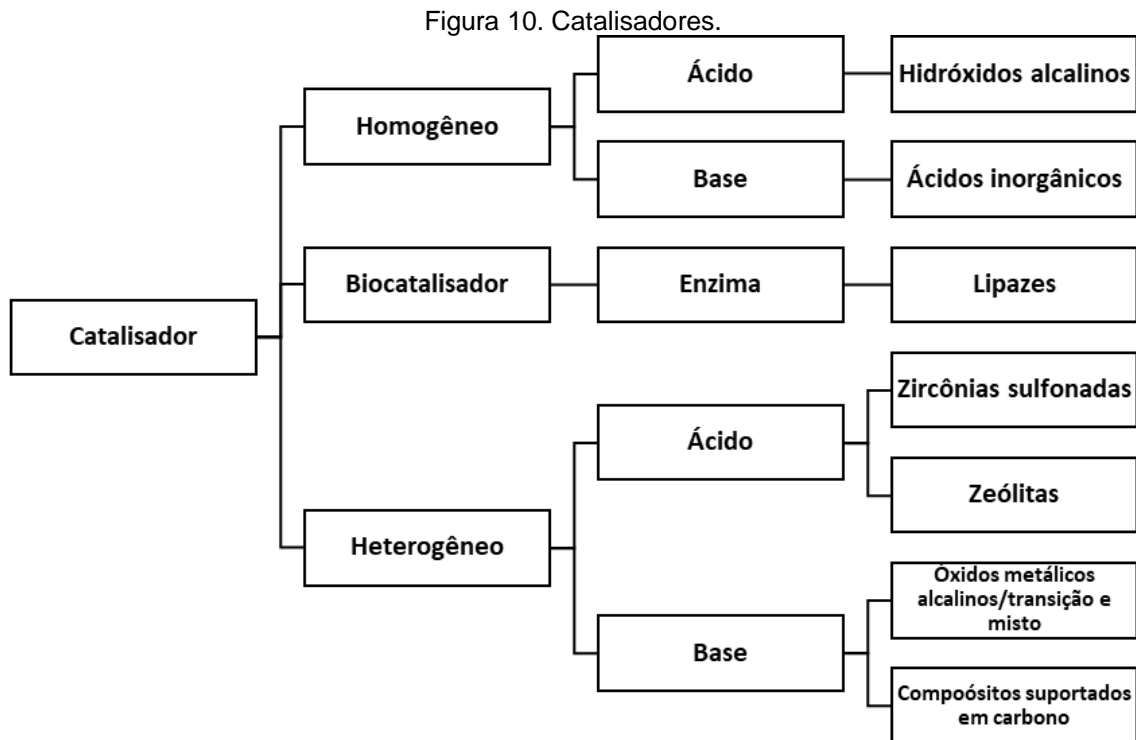
A matéria prima passa pela etapa de preparação na qual é realizado o processo de ajuste das propriedades. Seguido da etapa da reação de transesterificação onde ocorre a reação do óleo com o álcool, formando um éster e glicerina. Após a reação, os ésteres são separados em fases, a mais pesada composta de glicerina com excessos de álcool, o catalisador, água e as impurezas. A fase mais leve é composta por uma mistura de ésteres e as impurezas do óleo. Após a separação, ocorre a etapa de recuperação do álcool, da glicerina e do álcool dos ésteres, submetida ao processo de evaporação (água e álcool) e destilação (excessos residuais do álcool) que ocorre por destilação à vácuo, tornando-a um subproduto adequado a comercialização. A purificação dos ésteres é realizada por lavagem, centrifugação e desumidificação, gerando o produto final biodiesel (CARVALHO, 2008).

4.3.1. Catálise

Os catalisadores são substâncias que aumentam a velocidade da reação química, sem que haja o seu consumo. Quando o catalisador e os reagentes estão em uma mesma fase, a catálise é conhecida como homogênea, e quando o

catalisador e os reagentes estão em fases distintas, é conhecida como heterogênea (SABOYA, 2012). Na maioria das vezes os catalisadores utilizados na reação de transesterificação não são recuperados. Nesse caso, os catalisadores são homogêneos e podem ser de natureza ácida ou básica (COSTA, 2011).

A Figura 10 classifica os tipos de catalisadores e exemplifica.



Fonte: Autor Próprio

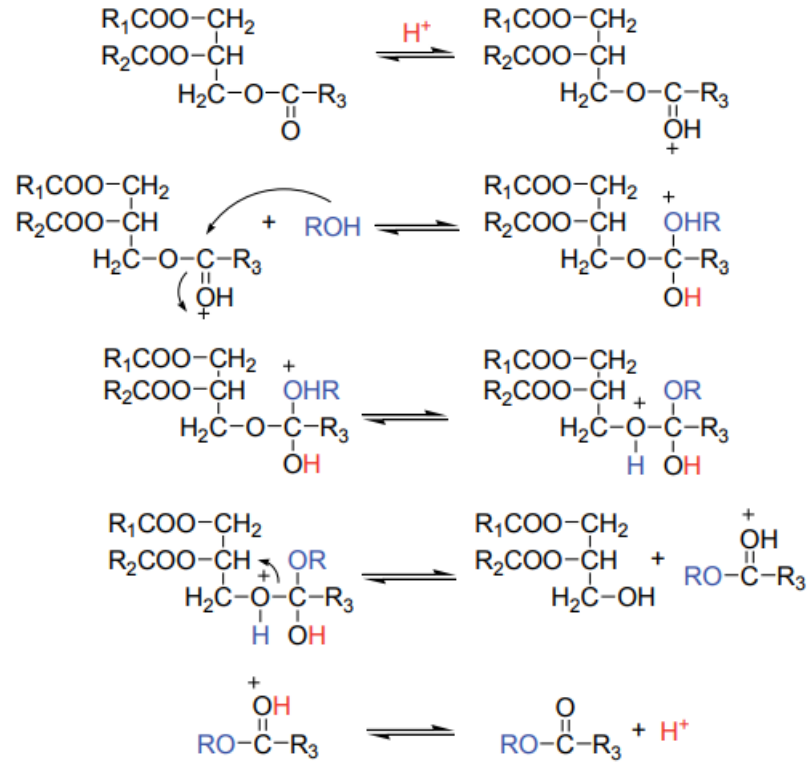
4.3.1.1. Catálise homogênea ácida

A catálise ácida é vantajosa quando a matéria prima utilizada possui alto teor de ácidos graxos livres, pois podem ser diretamente esterificados evitando o processo de saponificação. A catálise pode ser usada no processo de esterificação e transesterificação (ISSARIYAKUL; DALAI, 2014). Porém, há necessidade de alta temperatura, maior tempo de reação, e de um reator fabricado em material resistente à corrosão ácida (FERREIRA, 2016). Ácido sulfúrico, ácido clorídrico, ácido fosfórico e ácido sulfônico são alguns dos exemplos de catalisadores utilizados (ENCARNAÇÃO, 2007).

A Figura 11 apresenta a reação de transesterificação por catálise ácida que inicia a partir da ativação da carbonila, facilitando o ataque nucleofílico do álcool, seguido da ocorrência do prototropismo intermolecular, permitindo a eliminação do

diglicerídeo. Para a formação do novo éster ocorre a desprotonação da carbonila (COSTA, 2011).

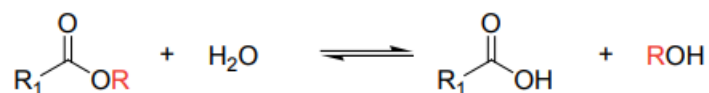
Figura 11. Reação de transesterificação por catálise ácida.



Fonte: (COSTA, 2011).

A Figura 12 apresenta a reação de hidrólise de éster, uma reação secundária quando há a presença de água no meio reacional levando a formação de ácidos carboxílicos, reduzindo o rendimento em ésteres monoalquílicos (COSTA, 2011).

Figura 12. Reação de hidrólise de éster.



Fonte: (COSTA, 2011).

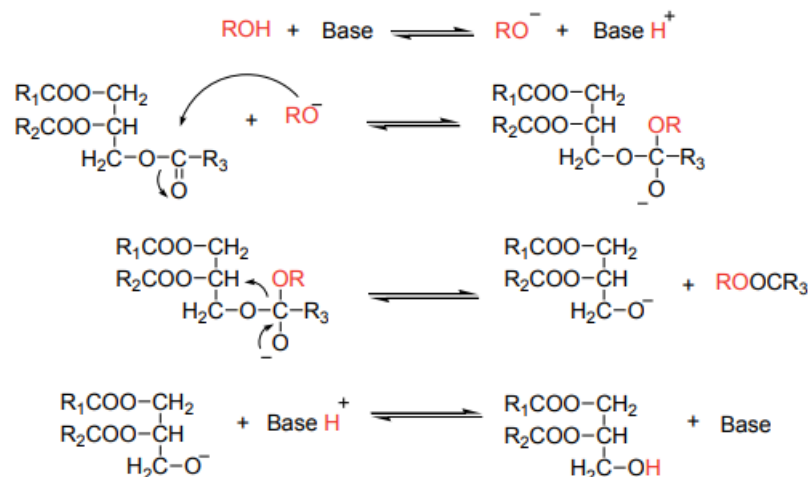
4.3.1.2. Catálise homogênea básica

O processo de transesterificação pode ser catalisado por hidróxidos metálicos ou alcóxidos metálicos (HELWANI ET AL., 2009). Hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio são exemplos de hidróxidos metálicos mais utilizados. Quando a matéria prima utilizada como fonte de triagliceróis é de alta qualidade, a catálise é de alto

rendimento, caso contrário, quando a matéria é de baixa qualidade, apresentando teor alto de ácidos graxos livres, obtém-se a reação de saponificação como resultado da reação dos ácidos com o catalisador formando o sabão e, por consequência, rendimento de reação menor apresentando problemas durante a separação do biodiesel e do glicerol (FERREIRA, 2016). Quando o catalisador utilizado é uma base, maior será a facilidade de manipulação e de menor corrosão, quando comparado ao uso do ácido (COSTA, 2011).

A Figura 13 descreve as etapas da transesterificação catalisado por uma base, partindo da reação desta com o álcool, produzindo o catalisador com a adição de um próton e um alcóxido. Na sequência ocorre a formação de um complexo intermediário, no qual um ânion do diglicerídeo e o éster monoalquílico é gerado a partir do ataque nucleofílico do alcóxido à carbonila do triglicerídeo. Com a desprotonação do catalisador em seguida, ocorre a formação do diglicerídeo que irá reagir com a segunda molécula de álcool (COSTA, 2011).

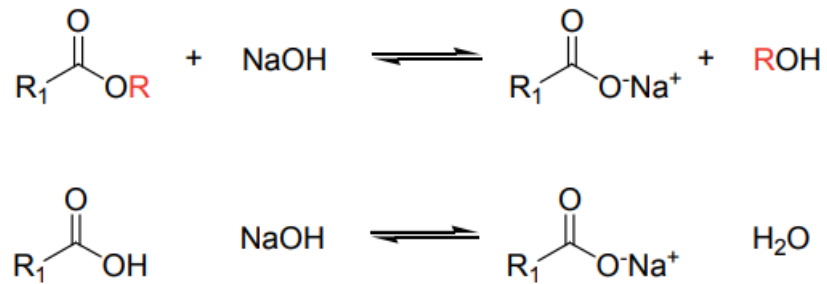
Figura 13. Reação de transesterificação por catálise básica.



Fonte: (COSTA, 2011).

A Figura 14 mostra as reações secundárias que podem ocorrer durante a transesterificação que é uma parte desvantajosa do processo quando ocorre a produção de sabão, tanto quando os ácidos graxos livres são neutralizados, quanto pela saponificação dos glicerídeos. Para correção do problema, a utilização do excesso de catalisador é uma alternativa, pois o sabão é removido com água (COSTA, 2011).

Figura 14. Reação secundária.



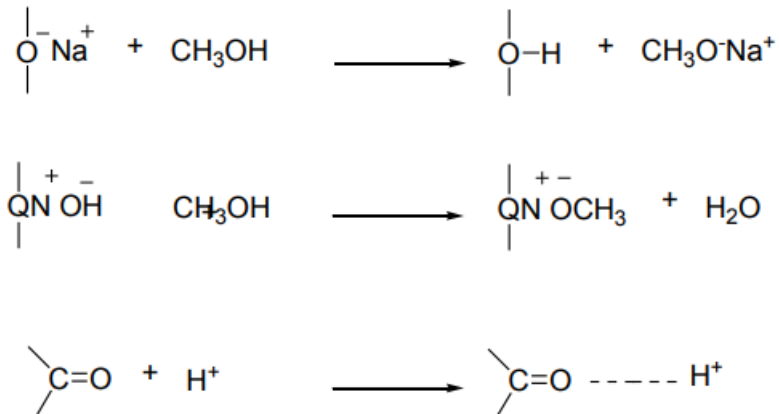
Fonte: (COSTA, 2011).

4.3.1.3. Catálise heterogênea

Os catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel são responsáveis pela simplificação e economia nos pós tratamento (separação e purificação) do biodiesel, além de não produzirem sabões, neutralizando os ácidos graxos livres e a saponificação dos triglicerídeos (VICENTE et al., 1998). Quando comparado aos catalisadores homogêneos, eles apresentam muitas vantagens a níveis de aplicação industrial, tais como: viabilização e redução de custos de separação, purificação e tratamento dos efluentes. Alcóxidos de titânio e os óxidos de metais (estanho, cálcio, magnésio e zinco) são alguns dos exemplos de catalisadores heterogêneos (CARVALHO, 2008).

A Figura 15 representa a reação catalítica de Bronsted, relacionada a interação entre o álcool usado para a transesterificação e a superfície do sólido catalítico, gerando os alcóxidos através da troca de cátions com o hidrogênio do álcool na reação. Os sólidos básicos que possuem a presença de amônio quaternário QN^+OH^- também formam os alcóxidos com a absorção do álcool. Enquanto que os catalisadores ácidos, são capazes de protonar a carbonila dos materiais graxos, formando os carbocátions (COSTA, 2011; CORDEIRO et al., 2011).

Figura 15. Reação por catálise heterogênea.



Fonte: (COSTA, 2011)

No Quadro 7 é possível identificar um comparativo entre as catálises homogênea e heterogênea, apresentando as vantagens e desvantagens de suas aplicações.

Quadro 7. Comparativo das catálises.

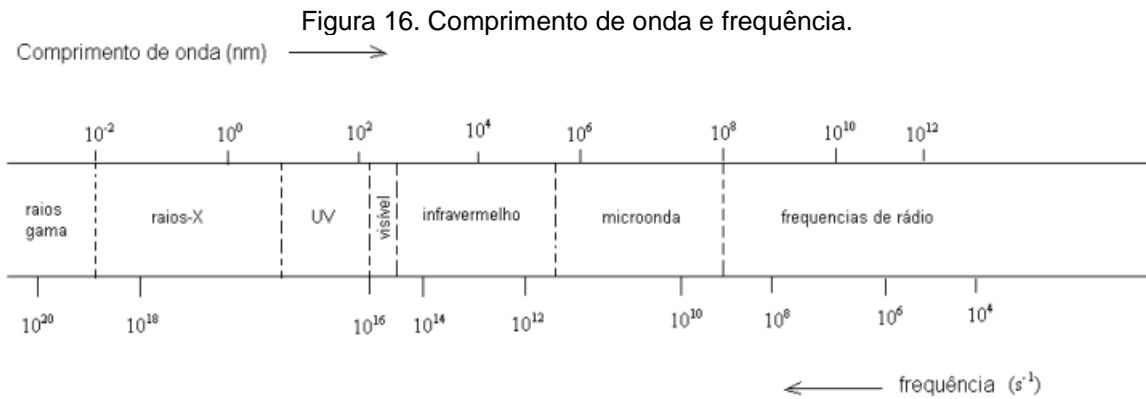
Catálises		
Homogênea ácida	Homogênea básica	Heterogênea
Matéria prima de alto teor de ácidos graxos livres	Matéria prima de baixo teor de ácidos graxos livres	Vantagem a nível de aplicação industrial
Reação longa para atingir a mesma taxa de conversão e maior temperatura	Cinética de reação mais rápida	Cinética mais lenta em relação a homogênea
Catalisador ácido: Mais corrosivo	Catalisador alcalino: Menos corrosivo	Catalisador ácido ou base
Esterificado diretamente	Saponificação	Neutralização dos ácidos graxos livres e a saponificação
Maior razão molar álcool/óleo	Menor razão molar álcool/óleo	Simplificação e economia nos pós tratamento

Fonte: Autor Próprio.

4.4. ESPECTROSCOPIA

Na espectroscopia é realizado o estudo dos níveis de energia dos átomos ou moléculas, a partir da interação da radiação eletromagnética com a matéria. A absorção da luz na região infravermelha, característica da natureza das ligações químicas por parte das moléculas é convertida em vibrações (BRUKER, 2023). Na Figura 16, é possível identificar a faixa de radiação do infravermelho, que ocorre entre

a faixa visível e micro-ondas, sendo a faixa de interesse a região de 4000 a 400 cm^{-1} (FORATO et al., 2010).



Fonte: (FORATO et al., 2010).

A espectroscopia FT-IR coleta os dados espectrais de todos os comprimentos de onda em uma passagem. A luz infravermelha passa através de um interferômetro e direcionada a amostra. Esse sinal representa a intensidade da luz como função de posição e o resultado deve ser transformado em Fourier (FT) para a representação da intensidade em função do número de ondas (BRUKER, 2023).

A radiação infravermelha não provoca transições eletrônicas, mas as absorções ocorrem em frequências específicas para cada grupo funcional. As vibrações podem ser em deformações axiais, um movimento rítmico ao longo do eixo da ligação fazendo com que o movimento rítmico aumente e diminua lentamente a distância inter atômica. E as deformações angulares, variações ritmadas de ligações que possuem um átomo em comum em relação ao resto da molécula, sem que haja alterações das posições relativas. As absorções dos grupos funcionais variam em larga faixa, porque as bandas provêm de interações complexas. As bandas consideradas importantes para o exame preliminar são as regiões de 900 a 650 cm^{-1} , na qual as ausências de bandas fortes indicam que a estrutura não contém anéis aromáticos e a de 4000 a 1300 cm^{-1} , é a região dos grupos funcionais que ocorrem as absorções, enquanto que a região conhecida como impressão digital é a região intermediária de 1300 a 900 cm^{-1} (COUGO, 2017).

5. RESULTADOS

5.1. REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

Foram realizadas, no total, dez reações de transesterificação dos óleos de soja e pequi para a obtenção de biodiesel, nos tempos determinados de 30 minutos, 2, 4, 6 e 8 horas de duração. Após o tempo de reação foi feita a separação das fases (Figuras de 17 a 21), que são o biodiesel (fase menos densa) e glicerol (fase mais densa). Durante a separação de fases foi observado que o biodiesel a partir do OP levou mais tempo para separar se comparado ao biodiesel a partir do OS. Uma exceção foi, ao constatar através de análise preliminar de bancada a olho nu, a reação BOP4 apresentou menor tempo de separação de fase se comparado aos demais, presumindo que teria um comportamento melhor dentre as amostras comparadas, ideia que não se concretizou após as análises por espectrometria e viscosidades. Ao final de todas as separações de fase foram feitas medidas de acidez dos produtos obtidos que indicaram a neutralidade das reações.

Figura 17. Separação de fases para os biodiesel de: (a) pequi e (b) soja para o tempo de reação de 8h.



Figura 18. Separação de fases para os biodiesel de: (c) pequi e (d) soja para o tempo de reação de 6h.



Figura 19. Separação de fases para os biodieseis do: (e) pequi e (f) soja para o tempo de 4h de reação.

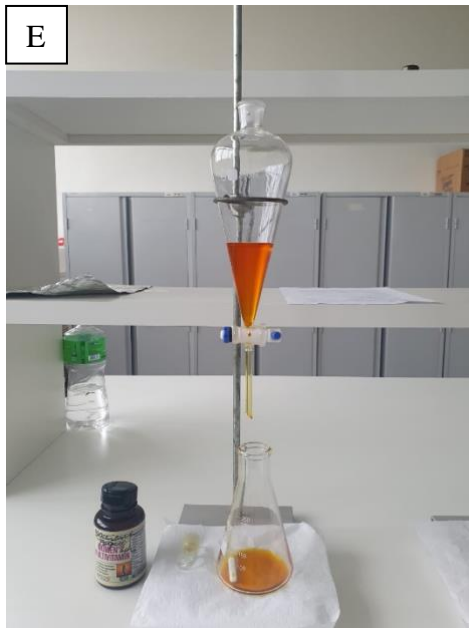
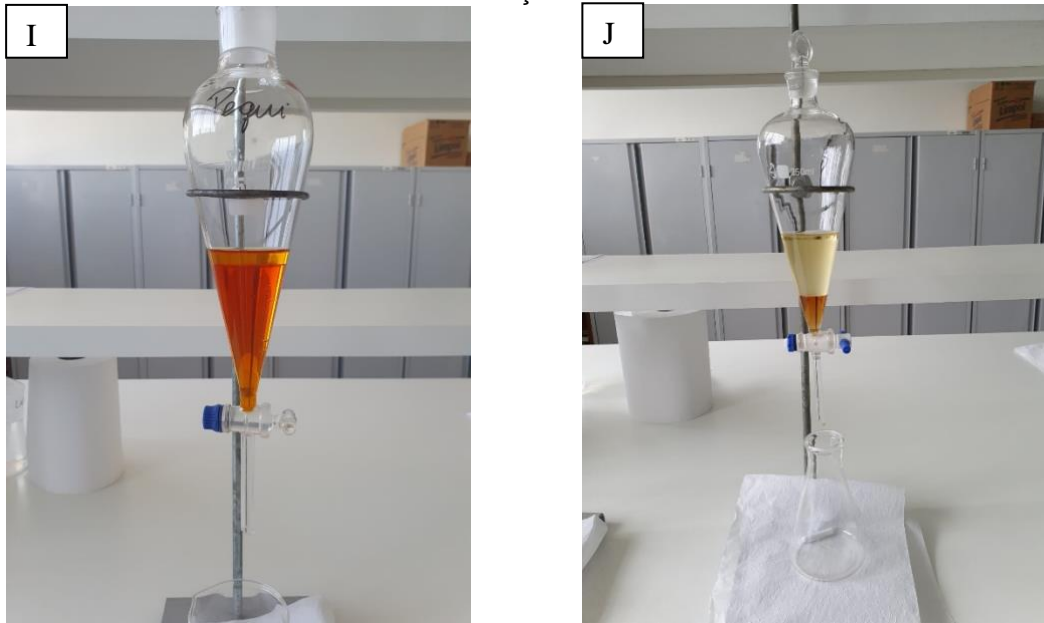


Figura 20. Separação de fases para os biodieseis do: (g) pequi e (h) soja para o tempo de 2h de reação.



Figura 21. Separação de fases para os biodiesel de: (i) pequi e (j) soja para o tempo de 30 min de reação.



5.2. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ (IA) DOS ÓLEOS VEGETAIS

A quantidade de ácidos graxos livres (AGL) em uma amostra de óleo ou gordura, a depender do tipo de catálise a ser utilizada pode ser prejudicial à reação, pois pode reagir com os catalisadores e serem transformados em compostos indesejáveis (FAROBIE e MATSUMURA, 2017); (SANTOS et al, 2020). Dessa forma, a partir do resultado do índice de acidez é possível definir a rota catalítica a ser adotada, por isso, essa análise é imprescindível antes da realização de uma reação de transesterificação.

A Tabela 4 dispõe dos dados obtidos durante a determinação do índice de acidez (IA), a quantidade de hidróxido de potássio por grama de amostra do óleo, necessária para a titulação de uma amostra em solvente específico até um ponto final.

Tabela 4. Titulação ácido-base dos óleos.

Óleo	Peso (g)	Solução metanoica de hidróxido de potássio utilizada (ml)	Índice de Acidez (mg KOH/g)
Soja	1,0099	1,9	1,055451035
	1,0019	2,3	1,287853079
	1,0192	2,9	1,596251962
Pequi	1,0168	3,2	1,765538946
	0,9992	3,2	1,79663731
	0,9972	3,1	1,743983153

Fonte: Próprio Autor

De acordo com (FERNANDES et al., 2012) o valor limite para o índice de acidez para se utilizar catálise homogênea básica é de 6 mg KOH g⁻¹ de óleo. Para valores superiores, a catálise homogênea ácida é mais indicada, uma vez que, devido ao alto valor de acidez, podem ocorrer reações paralelas durante a transesterificação, a exemplo a saponificação. Isso sugere que quanto maior o IA, menor será a conversão e o rendimento na reação de transesterificação.

Considerando os dados da Tabela 4, os óleos de soja (OS) e de pequi (OP) apresentaram IA em média e respectivamente, 1,31 ± 0,116 e 1,77 ± 0,013 mg KOH g⁻¹ de óleo. Como o IA obtido para os dois óleos foram abaixo do valor limite de 6 mg KOH g⁻¹ para catálise homogênea básica (FERNANDES et al., 2012), as reações de transesterificação seguiram a referida catálise.

SILVA et al (2014) produziram ésteres metílicos e etílicos a partir do OP e encontraram o valor de 2,2 mg KOH. g⁻¹ para o IA, dado encontrado com a mesma ordem de grandeza do OP. Santos et al (2020) encontraram valor de IA de 0,842 mg KOH.g⁻¹ que diferiu do encontrado nesse trabalho, mas que também está dentro do valor limite para utilização da catálise homogênea básica.

CARVALHO, 2017 determinou o índice de acidez de 7 (sete) amostras de óleo de soja in natura que variaram entre 0,11 e 0,008 mg KOH.g⁻¹, valores distintos quando comparados ao OS, mas que deve ser justificado, provavelmente, à qualidade dos grãos, às condições de cultivo da soja, do solo, clima, etc. De acordo com (ARAÚJO et al., 2014) um longo tempo de armazenamento de grãos em silos resulta em um maior índice de acidez de óleos vegetais, isso por conta da ação enzimática. O armazenamento em longos períodos é uma prática comum na indústria de processamento de oleaginosas porque para compensar a sazonalidade entre safras, os grãos devem passar um período de tempo armazenados.

5.3. ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

A espectroscopia na região do infravermelho (IV) é uma técnica muito utilizada para investigar a presença de ésteres metílicos em amostras de biodiesel. Os Gráficos 8 e 9 apresentam os espectros na região do IV dos óleos em estudo (OS e OP) e dos seus respectivos biodieseis.

Gráfico 8. Espectros na região do infravermelho (IV) do OS e os respectivos biodieseis.

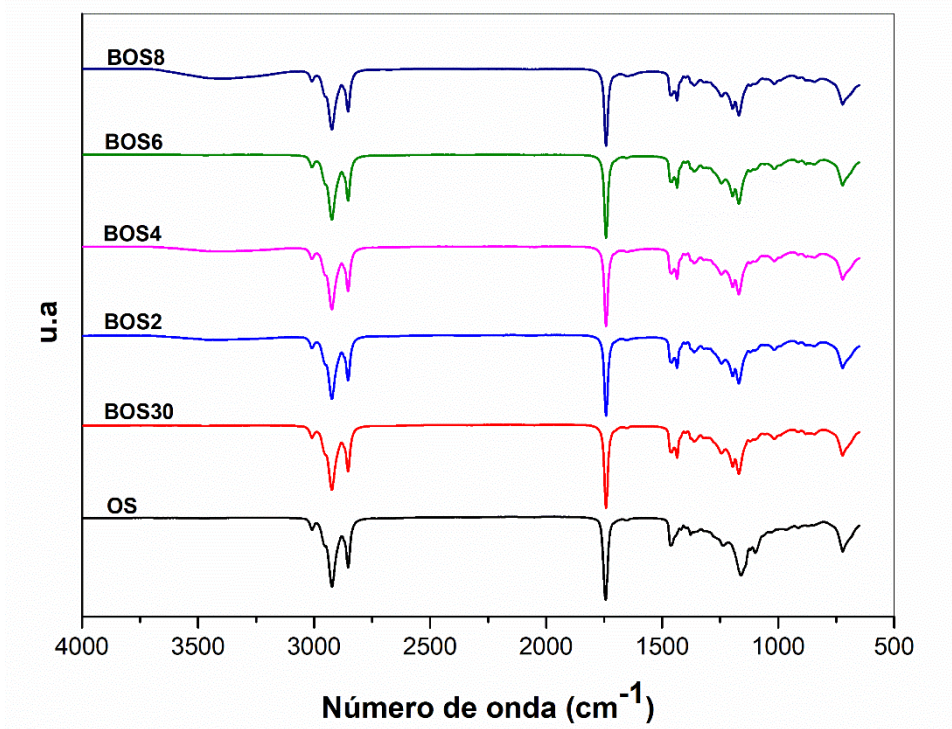
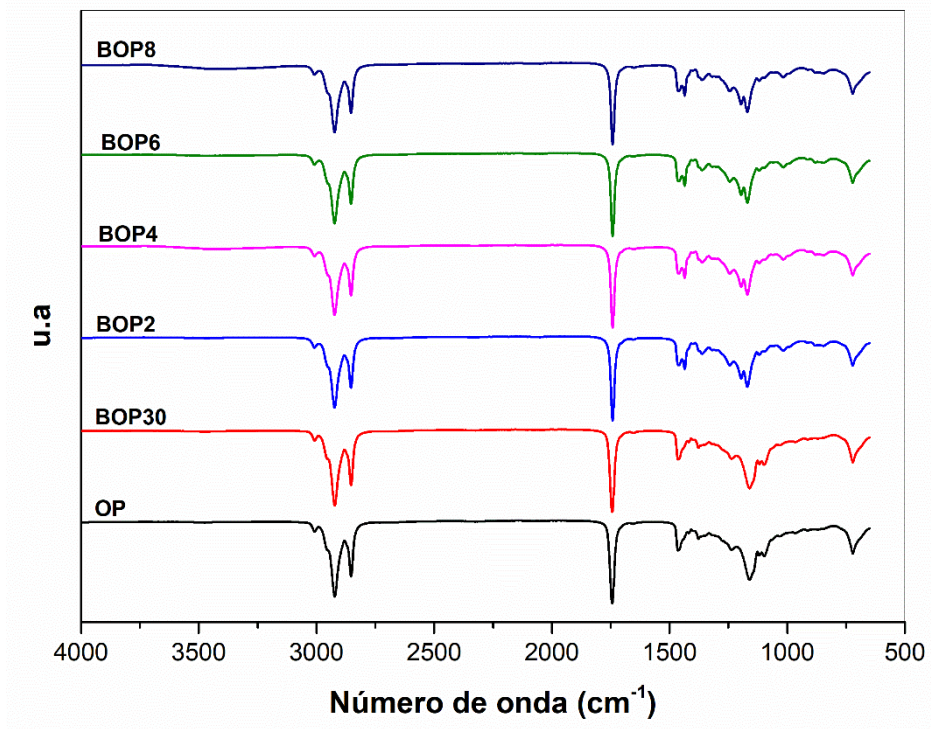


Gráfico 9. Espectro na região do infravermelho (IV) do OP e os respectivos biodieseis.



Analisando os espectros dos Gráficos 8 e 9 observa-se que os espectros apresentam semelhanças, tanto para os óleos quanto para os biodieseis, bem como para os biodieseis do mesmo óleo. SANTOS et al., 2012 realizaram um estudo para

obter ésteres metílicos a partir do óleo de soja e foram identificadas bandas de absorção também identificadas nos espectros para os óleos em estudo e para os biodieseis obtidos, são elas: estiramento simétrico e assimétrico para a ligação C-H de grupos metílicos na região entre 2850-2960 cm^{-1} , estiramento simétrico e assimétrico das ligações C-H em grupos olefínicos entre 3000-3015 cm^{-1} para os ácidos graxos insaturados oleico (18:1), linoleico (18:2) e linolênico (18:3).

Foi identificada também uma banda intensa em 1740 cm^{-1} atribuída ao estiramento da ligação C=O de carbonila de ésteres. Foram observadas duas bandas muito próximas e de média intensidade entre 1430-1480 cm^{-1} , relacionadas a bandas sobrepostas de C-H olefínico (insaturado).

Analisando o OP e o BOP30, bem como o OS e BOS30 verifica-se que não houve diferença entre os espectros do óleo e do seu respectivo biodiesel, indicando que 30 min de reação é insuficiente para obtenção de ésteres metílicos.

Foi identificada a banda em 1034 cm^{-1} relacionada aos ésteres metílicos dos óleos transesterificados. Verificou-se a presença de uma banda localizada próximo a 1000-1090 cm^{-1} , relativa ao estiramento da ligação C-O não acoplada de ésteres.

5.4. ANÁLISE DE VISCOSIDADE CINEMÁTICA E ÍNDICE DE VISCOSIDADE (IV)

A viscosidade cinemática é um parâmetro que analisa a resistência de um líquido para fluir, indicando a espessura do óleo (MAHMUDUL et al., 2017). O IV indica a variação da viscosidade com a temperatura, e quanto maior ele for, menos suscetível serão as variações de viscosidade do biodiesel (BRAGA et al., 2014). Os valores de viscosidade cinemática e IV obtidos para os biodieseis são apresentados na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5. Valores de viscosidade cinemática e de índice de viscosidade para o OS e OP e seus respectivos biodieseis.

Amostras	$\nu_{40^{\circ}\text{C}} [\text{mm}^2\text{s}^{-1}]$	$\nu_{100^{\circ}\text{C}} [\text{mm}^2\text{s}^{-1}]$	IV
OS	31,37	7,59	224,5
BOS30	4,12	1,68	259,8
BOS2	4,14	1,68	256,5
BOS4	4,16	1,69	256,9
BOS6	4,13	1,68	259,3
BOS8	4,13	1,68	258,7
OP	34,37	7,83	210,1

BOP30	34,31	7,83	210,4
BOP2	4,50	1,77	232,5
BOP4	4,30	1,71	233,8
BOP6	4,32	1,71	233,4
BOP8	4,29	1,71	234,5

Pelos dados da tabela observa-se que a viscosidade dos biodieseis diminuiu significativamente quando comparada à viscosidade dos óleos e para as duas temperaturas utilizadas. Isso indica que as reações de transesterificação ocorreram pelo fato de não haver mais a molécula de glicerol ligada aos ácidos graxos. Com isso, a viscosidade tende a diminuir, sendo o esperado em uma reação de transesterificação. Esses dados estão condizentes com a literatura, pois a viscosidade cinemática dos óleos crus tendem a ser maiores do que as de biodieseis (MAHMUDUL et al., 2017).

Foi verificado também que o aumento do tempo de reação não influenciou na variação de viscosidade dos biodieseis e para os dois tipos de óleo, sugerindo que, provavelmente, o tempo de reação não é um fator predominante para conversão dos triglicerídeos em ácidos graxos livres, a perceber pela reação a partir de 2h que apresentou os mesmos resultados, tanto na análise de infravermelho quanto de viscosidade. Os dados do OP mostram claramente isso.

Vale à pena observar também que a viscosidade para o BOS30 variou em relação ao OS, contrariando os resultados obtidos para o BOP30 e OP, sendo esses últimos mais coerentes, uma vez que o infravermelho mostrou que os espectros do OP e do BOP30 foram iguais, ou seja, 30 min de reação não foi suficiente para conversão reacional. Nesse caso, é necessário repetir a análise para o BOS30.

De acordo com a ANP a variação de viscosidade cinemática a 40 °C deve ocorrer em uma faixa 3 a 6 mm² s⁻¹. Os resultados mostraram que todos os biodieseis estudados se encontram dentro dessa faixa, com exceção apenas do BOP30 que não ficou dentro desse limite, indicando que pode haver presença significativa de óleo na amostra e não de biodiesel.

Com relação ao IV, os biodieseis apresentaram viscosidade estável entre eles. E, como em todos os casos o IV foi maior do que o IV do óleo de origem, isso indica que não haverá variações significativas na viscosidade do biodiesel.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi estudada a análise comparativa entre o biodiesel do OS e do OP. Com os resultados obtidos dessa pesquisa, podem ser destacadas as seguintes conclusões.

Após a realização das reações de transesterificação e separação do biodiesel, foi observado claramente que houve separação de fases, ou seja, a fase mais densa composta pelo glicerol, excesso de álcool e água, além da fase menos densa, onde se encontrava o biodiesel.

O IA para o OS e OP foi respectivamente, $1,31 \pm 0,116$ e $1,77 \pm 0,013$ mg KOH g^{-1} . E, como esse índice foi abaixo do valor especificado pela literatura, as reações de transesterificação seguiram a catálise homogênea básica.

Por IV foram identificadas as principais bandas de absorção em biodieseis, dentre elas: em 1740 cm^{-1} (formação do grupo C=O dos ésteres metílicos), em 1034 cm^{-1} , relacionada aos ésteres metílicos dos óleos transesterificados e próximo a $1000\text{-}1090\text{ cm}^{-1}$, relativa ao estiramento da ligação C-O não acoplada de ésteres.

A análise de viscosidade cinemática mostrou que a viscosidade dos biodieseis diminuiu em relação à viscosidade dos óleos de origem. A viscosidade cinemática a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ para os biodieseis foi inferior ao limite de $3\text{ a }6\text{ mm}^2\text{ s}^{-1}$ estabelecido pela ANP, atendendo, dessa forma, as especificações.

Os dados do índice de viscosidade (IV) mostraram que os biodieseis apresentaram viscosidade estável entre eles. E, como em todos os casos o IV dos biodieseis foram maiores do que o IV do óleo de origem, isso indica que não haverá variações significativas na viscosidade do biodiesel.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a finalização do trabalho foram levantados alguns aspectos que podem servir como melhoria para trabalhos futuros. Então, são elencados como sugestão: analisar as potencialidades do desenvolvimento sustentável do pequi, através da agroecologia e o desenvolvimento da agricultura familiar e pequenas agriculturas, tornando-o toda a cadeia produtiva sustentável, mapeando os impactos e consequências como um todo. Visto que em comparação a soja, o pequi de cadeia produtiva informal é no momento atual organizado por cooperativas em sua maioria no norte de minas, conforme mapeados no Quadro 6. Enquanto a soja é um produto

tecnológico desde a semente até a produção em diversos biomas. Portanto, é interessante a realização de identificação das possibilidades do pequi ser comportado em outros biomas brasileiros. Verificar a concorrência alimentar versus combustível. Explorar as potencialidades dos resíduos do pequi, tais como o caroço e a casca, com outras rotas catalíticas, já que a partir da determinação do índice de acidez apresentado na literatura (Tabela 1), o óleo do caroço do pequi apresenta elevada acidez.

8. BIBLIOGRAFIA

AI. Aditivos Ingredientes. Os tipos de óleos vegetais. Editora insumos, 2017. Disponível em: <https://aditivosingredientes.com/artigos/artigos-editoriais-geral/os-tipos-de-oleos-vegetais>. Acesso em: 07 set. 2022.

ALPTEKIN, E.; CANAKC, M. Characterization of the key fuel properties of methyl ester–diesel fuel blends. Fuel, v. 88, p. 75–80, 2009.

Determination of the density and the viscositie of biodiesel-diesel fuel blends. Renewable Energy, v. 33, p. 2623-2630, 2008.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biodiesel. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 03 jul. 2022.

Biodiesel. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 12 set. 2022.

Especificação do biodiesel. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/biodiesel/especificacao-do-biodiesel>. Acesso em: 07 jul. 2022.

Mapa Dinâmico Produtores de Biodiesel. 2022. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTlkODYyODctMGJjNS00MGlyLWJmMWItNGJINDg0ZTg5NjBlliwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzIxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22>. Acesso em: 11 jul. 2022.

Resolução ANP N° 45, de 25 de agosto de 2014. Atos Oficiais, 2022. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-45-2014?origin=instituicao&q=45%202014>. Acesso em: 10 set. 2022.

APROBIO. Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil. Economia verde: produção de biocombustíveis é peça chave. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/peconomia-verde-produccedilatildeo-de-biocombustiacuteveis-eacute-peccedila-chavep>. Acesso em: 06 set. 2022.

Produção de biocombustíveis é peça-chave para economia verde no país. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/pproduccedilatildeo-de-biocombustiacuteveis-eacute-peccedila-chave-para-economia-verde-no-paiacutesp>. Acesso em: 06 set. 2022.

ARAÚJO, P. C., SILVA, C. V. da, MONTE, A. F. G., BATISTA, F. R. X. AVALIAÇÃO DO SOBREAQUECIMENTO DE ÓLEOS VEGETAIS ATRAVÉS DE ANÁLISES QUÍMICAS E ESPECTROSCOPIA UV/VISÍVEL - Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Física , 2014.

ARRUDA, A.P., et al. Transesterificação do biodiesel metílico de óleo de pequi (Caryocar brasiliense) catalisado por hidróxido de sódio. 8° Simpósio Nacional de Biocombustíveis. Tecnologias, sociedade e

ambiente. Cuiabá/MT, 2015. ISBN 978-85-85905-11-8. Disponível em: <http://www.abq.org.br/biocom/2015/trabalhos/70/6438-17599.html>. Acesso em: 15 jul. 2022.

BARRETO, C. X. R., et al. Produção de biodiesel metílico a partir de óleo de pequi (*Caryocar brasiliensis* camb.). 33ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), 2010. Disponível em: <http://sec.s bq.org.br/cdrom/33ra/resumos/T1856-2.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.

BATISTA, A. C. F. et al. Caracterização físico-química do biodiesel de pequi (*Caryocar brasiliensis*). Brazilian Journal of Biosystems Engineering, 7 (1), 23–26, 2013. Acesso em: 30 jul. 2022.

BEN. Balanço Energético Nacional 2021. EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2021#:~:text=O%20Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20do%20Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico%20Nacional%20%E2%80%93,Brasil%2C%20tendo%20por%20base%20o%20ano%20de%202020>. Acesso em: 06 set. 2022.

BRAGA, J.W.B., JUNIOR, A.A.D.S., MARTINS, I.S. Determination of viscosity index in lubricant oils by infrared spectroscopy and PLSR. Fuel 120, 171–178. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001623611301154X?via%3DIhub>. Acesso em: 08 fev. 2023.

BRAGA, M., et al. Biodiesel dos óleos de soja e palma e seu potencial como combustível alternativo. Universidade Federal do Pará. Centro de Tecnologia da Eletronorte, 2016. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/01/BIODIESEL-DOS-O%CC%81LEOS-DE-SOJA-E-PALMA-E-SEU-POTENCIAL-COMO-COMBUSTI%CC%81VEL-ALTERNATIVO.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

BRUKER. Guia para espectroscopia infravermelha. 2023. Disponível em: <https://www.bruker.com/pt/products-and-solutions/infrared-and-raman/ft-ir-routine-spectrometer/what-is-ft-ir-spectroscopy.html>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CAMPESTRE. Óleo de Soja. 2017. Disponível em: <https://www.campestre.com.br/oleos-vegetais/oleo-de-soja/>. Acesso em: 15 ago. 2022.

CAMPOS, F. de. A conservação do Cerrado na lógica econômica. WWF-brasil, 2020. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?76991/Artigo-A-conservacao-do-Cerrado-na-logica-economica>. Acesso em: 07 set. 2022.

CANDIDO, P. de A., MALAFAIA, G. C., REZENDE, M. L. A exploração do pequi na região norte de Minas Gerais: abordagem por meio do Sistema Agroalimentar Localizado. Revista IDeAS. Interfaces em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade. V.5, n.2, p.118-138, 2012.

CARDOSO, R. de O. A crise do combustível no Brasil e o impacto na vida dos mais pobres. Jornal GGN, 16 jul. 2022. Disponível em: <https://jornalggn.com.br/economia/a-crise-do-combustivel-no-brasil-e-o-impacto-na-vida-dos-mais-pobres/>. Acesso em: 25 jul. 2022.

CARVALHO, S. P de. Obtenção de biodiesel por transesterificação enzimática de óleo de soja com etanol empregando t-butanol como solvente. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

CAVALCANTE, K. S. B., et al. Avaliação das propriedades físico-químicas e estabilidade térmica do óleo e do biodiesel metílico de pequi (*Caryocar Coriaceum* Seed Oil). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2007, 1, Teresina Anais... Terezina: Embrapa, 2007. p.56-60.

CENTRAL DO CERRADO. Comunidades associadas, 2023. Disponível em: <https://www.centraldocerrado.org.br/listacompleta>. Acesso em: 07. Fe. 2023.

CERRATINGA. Pequi. Instituto Sociedade, População e Natureza, 2022. Disponível em: <https://www.cerratinga.org.br/especies/pequi/>. Acesso em: 08 set. 2022.

CORAZZA, E. Indústria de óleos vegetais. Conselho Regional de Economia. Caderno nº 006/2021. Disponível em: https://corecondf.org.br/caderno-no-006-2021-industria-de-oleos-vegetais/?doing_wp_cron=1662561281.9205880165100097656250. Acesso em: 07 set. 2022.

CORDEIRO, C. S. et al. Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). Química Nova, Vol. 34, nº 3, 477-486, 2011. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/6SJ5B5tn79sgbkjZ9RZdZ3m/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 set. 2022.

COSTA, P. P. K. G. Catalisadores químicos utilizados na síntese de biodiesel. Brasília, DF. Embrapa Agroenergia, 2011. 26 p. Documentos, ISSN 2177-4439;07. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/918436/1/doc07.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

COSTA, V. L. et al. A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira: Contextualização histórica e o processo de produção. Revista Brasileira de Energia, Vol. 19, Nº.2. 2º Sem. 2013, pp. 71 - 89.

COUGO, C. D. G. Utilização da técnica Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) para estimativa das concentrações de carboidratos e de lipídeos em *Scenedesmus* sp. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, pesquisa e desenvolvimento de processos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/163450>. Acesso em: 10 fev. 2023.

DEUS, T. N. Extração e caracterização de óleo do pequi (*Caryocar Brasiliensis* Camb.) para o uso sustentável em formulações cosméticas óleo/água. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra), Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008.

SILVA, L. S. Q. da. Biodiesel: óleos vegetais podem ser opção ao petróleo. Revista Educação Pública, 2002. ISSN: 1984-6290. DOI: 10.18264/REP. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/2/1/-biodiesel-oacuteteleos-vegetais-podem-ser-opccedilatildeo-ao-petroacuteteleo>. Acesso em: 15 ago. 2022.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. Mercado Agropecuário – Preço recebido pelo produtor. 2023. Disponível em: https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_produto_dados. Acesso em: 09 fev. 2023.

EMBRAPA. Soja em números (safra 2021/2022). Embrapa Soybean, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 07 fev. 2023.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica. 114 p. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química. Rio de Janeiro, 2007.

FERNANDES, D.M. et al, 2012. Preparation and characterization of methylic and ethylic biodiesel from cottonseed oil and effect of tert-butylhydroquinone on its oxidative stability. Fuel 97, 658–661. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.01.067>

FERREIRA, M.C. Cinética de transesterificação de óleo de palma em meio alcalino. 141 p. Dissertação – Centro Universitário FEI. São Bernardo do Campo, 2016.

FILHO, E. M. C., SARTORELLI, P. A. R. Guia de árvores com valor econômico. São Paulo: Agroicone, 2015. ISBN 978-85-5655-000-2. Disponível em: https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2015/11/Guia_de_arvores_com_valor_economico_Agroicone.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

FORATO, L. A. et al. A Espectroscopia na região do infravermelho e algumas aplicações. Embrapa, Documentos 51. ISSN 1518-7179. Outubro, 2010. São Carlos, SP. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884592/1/DOC512010.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2023.

FORBES. Agricultores brasileiros plantam mais soja em Cerrado e desmatam menos. Forbes Agro, 2021. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2021/12/agricultores-brasileiros-plantam-mais-soja-em-cerrado-e-desmatam-menos/>. Acesso em: 08 set. 2022.

GOV.BR. CNPE adota período de transição para alterar o percentual da mistura de biodiesel no óleo diesel. MME. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/cnpe-adota-periodo-de-transicao-para-alterar-o-percentual-da-mistura-de-biodiesel-no-oleo-diesel>. Acesso em: 04 dez. 2022.

Resolução CNPE nº 16 de 29 de outubro de 2018. MME. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/cnpe-adota-periodo-de-transicao-para-alterar-o-percentual-da-mistura-de-biodiesel-no-oleo-diesel/resolucao_16_cnpe_291018.pdf. Acesso em: 30 nov. 2022.

Sistema de Gerenciamento das ações do biodiesel (SABIDO). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/sistema-de-gerenciamento-das-acoes-do-biodiesel-sabido>. Acesso em: 13 jul. 2022.

Selo Biocombustível Social. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/selo-biocombustivel-social>. Acesso em: 13 jul. 2022.

HELWANI, Z. et al. Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review. Fuel Processing Technology, Indonesia, v.90, n.12, p.1502-1514, December, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382009002148>. Acesso em: 08 jul. 2022.

HIRAKURI, M. H., LAZZAROTTO, J. J., ÁVILA, M. T. de. Avaliação da relação entre soja e produção de biodiesel. Embrapa Soja, Londrina – PR, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30053/1/167.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PAM – Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=destaques>. Acesso em: 11 jan. 2023.

Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Produção Agrícola Municipal. PAM, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 13 jan. 2023.

Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. PEVS, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2021>. Acesso em: 13 jan. 2023.

Gerência de Agricultura. IBGE/DPE/COAGRO, 2022. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/38bea0bae537bfdea778578680b4a6d2.pdf. Acesso em: 7 fev. 2023.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Biodiversidade do Cerrado. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cbc/conservacao-da-biodiversidade/biodiversidade.html>. Acesso em: 07 set. 2022.

IGTPAN. Instituto Granado de Tecnologia da Poliacrilonitrila. Glicerina na sustentabilidade da produção da poliacrilonitrila. 2020. Disponível em: http://www.igtpan.com/glicerina_poliacrilonitrila.asp. Acesso em: 06 set. 2022.

KETZER, F. Extração de óleos vegetais. Processos químicos. Instituto Federal Farroupilha, Panambi, RS, 2018. Disponível em: <https://processosquimicos.com/areas-de-atuacao-extracao-de-oleos-vegetais/#:~:text=De%20maneira%20geral%2C%20%20C3%B3leos%20vegetais%20s%20C3%A3o%20e%20extra%20dos%20de,produ%20C3%A7%20C3%A3o%20de%20cosm%20C3%A9ticos%20%20produ%20C3%A7%20C3%A3o%20de%20biocombust%20C3%ADveis%20%20entre%20outros>. Acesso em: 07 set. 2022.

MACEDO, E. L. de. Transesterificação de triacilglicerídeos do óleo de pequi (Cariocar brasiliense Camb.) para a produção de biodiesel via catálise heterogênea básica com catalisador sintetizado a partir de sílica, óxido de ferro magnético e iodeto de potássio. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 14º Congresso Nacional de Iniciação Científica, CONIC SEMESP, 28 e 29 de novembro de 2014, São Paulo. Disponível em: <https://www.conic-semesp.org.br/anais/files/2014/trabalho-1000018519.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2023.

MAHMUDUL, H.M., et al. 2017. Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 72, 497–509. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117300047?via%3DIihub>. Acesso em: 08 fev. 2023.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Caderno de boas práticas para o extrativismo sustentável orgânico do pequi. 1º Edição: Ano 2014. 21 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/arquivos-publicacoes-organicos/pequi.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2022.

Agropecuária Brasileira em números. Secretária de Política Agrícola. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/abn-05-2022.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2023.

MME. Ministério de Minas e Energia. Percentual obrigatório de biodiesel sobe para 12%. Ministério de Minas e Energia. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/percentual-obrigatorio-de-biodiesel-sobe-para-12>. Acesso em: 23 jul. 2022.

MOURA, R. A cronologia da crise do diesel, de Dilma à greve dos caminhoneiros. Uol Economia, BBC Brasil em Londres, 24 maio 2018. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/bbc/2018/05/24/cronologia-greve-diesel-dilma-temer.htm>. Acesso em: 25 jul. 2022.

NETA, C. M. M. et al. Avaliação do óleo e biodiesel de soja (Glycine max) a partir de parâmetros físicos-químicos. 7º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel. p.125–126. Florianópolis, SC. 04 a 07 de novembro de 2019. Disponível em: <https://ubrabiio.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Anais-CBiodiesel-2019-125-126.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

OLIVEIRA, M. D. Óleo para o biodiesel. *Revista Pesquisa FAPESP. Energia.* Edição 245. Jul. 2016. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/oleo-para-o-biodiesel/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

PERES, J. R. R.; BELDRANO, N. E. M. Oleaginosas para biodiesel: Situação e potencial. In: Ferreira, J. R.; Cristo, C. M. P. N. (coord.). *O futuro da indústria: Biodiesel – coletânea de artigos.* Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006. p.67-82.

PETROBRAS. Como são formados os preços do diesel. 2022. Disponível em: <https://precos.petrobras.com.br/web/precos-dos-combustiveis/w/diesel/df>. Acesso em: 04 dez. 2022.

PRODUÇÃO DE BIODIESEL. Soja – Principal matéria prima para biodiesel no Brasil. Grupo CPT, 2016. Disponível em: <https://www.producaodebiodiesel.com.br/biocombustiveis/soja-principal-materia-prima-para-biodiesel-no-brasil>. Acesso em: 22 jul. 2022.

RAMOS, L. P. Degradação térmica de óleos comestíveis. Centro de Pesquisa em Química Aplicada do Departamento de Química da UFPR. 2004.

REIS, A. F.; SCHMIELE, M. Características e potencialidades dos frutos do Cerrado na indústria de alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*. 22 e2017150. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15017>. Acesso em: 06 set. 2022.

RIBEIRO, M. D. F. D. S. Sistemas de bioenergias. 96 p. Curitiba, 2020. ISBN 978-65-5745-551-7. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/186829/pdf/0>. Acesso em: 04 jul. 2022.

SABOYA, R. M. A. Produção de biodiesel empregando catalisadores nanoestruturados do tipo SBA-15 modificada com lantânio. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. 101 f. Disponível em: <https://1library.org/document/qo5wje5y-producao-biodiesel-empregando-catalisadores-tipo-sba-modificada-lantanio.html>. Acesso em: 06 set. 2022.

SANTOS, et al.; Estudo prospectivo de óleos vegetais: o caso da Embrapa Agroenergia. Embrapa Agroenergia, 2022. PDF (107 p.). ISSN 2177-4439; 41. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1140622/1/-DOC41.pdf>. Acesso em: 07 set. 2022.

SANTOS, et al.; Estudo teórico e experimental de espectros infravermelho de ésteres de ácido graxo presentes na composição do biodiesel de soja. *Quim. Nova*, Vol. 35, N° 9, 1752-1757, 2012.

SANTOS, P. H. R. dos; OLIVEIRA, L. F. R. de; BARBOSA, G. P. Pequi: Biologia floral e de fruto, fenologia e produção. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, UFVJM, MG, 2017. Disponível em: <http://www.revistaea.org/pf.php?idartigo=2586>. Acesso em: 06 set. 2022.

SILVA, C. L. M. Obtenção de ésteres etílico a partir da transesterificação do óleo de andiroba com etanol. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2005.

SILVA, T. A. et al.; Methylic and ethylic biodiesel from pequi oil (*Caryocar brasiliense* Camb.): Production and thermogravimetric studies. *Fuel* 136 (2014) 10-18. Disponível em: www.elsevier.com/locate/fuel.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. Pequizeiro (Pequi) – Mapas, Ocorrência de Pequi no Cerrado. 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-e-recursos-florestais-cerrado/arvores-e-seus-usos/pequi/674-mapas-5?tipo=tableau&modal=1>. Acesso em: 08 set. 2022. Pequizeiro (Pequi). Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-e-recursos-florestais-cerrado/arvores-e-seus-usos/pequi>. Acesso em: 08 set. 2022.

SOUSA, F. das C. Uso do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*) do semiárido nordestino como substrato para a produção de biodiesel por catálise enzimática. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Salgueiro. I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, CONIDIS, 10 a 12 de novembro de 2016, Campina Grande-PB. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conidis/2016/TRABALHO_EV064_MD1_SA2_ID2684_24_102016221835.pdf. Acesso em: 15 set. 2022.

SOUZA, M. G. S., et al. Caracterização e utilização de óleo residual de pequi (*Caryocar brasiliense*) na produção de biocombustíveis líquidos. RIPE 2019, 5, 2, 41-49. ISSN 2447-6102. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/28222/27465>. Acesso em: 21 jul. 2022.

TEIXEIRA, S. A. de M. Ecologia política e econômica do extrativismo do pequi (*Caryocar brasiliense*): bases para seu manejo sustentável em Minas Gerais. Tese Doutorado em Ecologia (Conservação e manejo da vida silvestre), Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2019.

TRENTIN, C. M. Estudo da cinética de transesterificação não-catalítica de óleo de soja com co-solvente em reator micro tubo. 153 p. Dissertação – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Departamento de Ciências Agrárias. Erechim, 2010.

TURCHIELLO, A. Biodiesel: alternativa energética, mercado, obtenção, propriedades físico-químicas e consumo/ desempenho. Química Nova, v.28, n. 1, p. 19-23, 2005.

TURINI, E. T. O Extrativismo como alternativa sustentável do Cerrado. Monografia, 42 f. Universidade de São Paulo, USP, 2013.

VICENTE, G.; COTERON, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production. Industrial Crops and Products, v.8, p. 29-35, 1998.

ZUNIGA, A. D. G., et al. Revisão: Propriedades físico-químicas do biodiesel. Pesticidas: r. ecotoxicol. E meio ambiente, Curitiba, v.21, p. 55-72, jan/dez. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337744792_REVISAO_PROPRIEDADES_FISICO-QUIMICAS_DO_BIODIESEL. Acesso em: 08 set. 2022.