



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE
UNIDADE ACADÊMICA DE BIOLOGIA E QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

ANTONIO MARCOS SILVA PEREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE
BIOLUBRIFICANTES OBTIDOS DO ÓLEO DE SOJA REFINADO E RESIDUAL**

Cuité – PB

2022

ANTONIO MARCOS SILVA PEREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE
BIOLUBRIFICANTES OBTIDOS DO ÓLEO DE SOJA REFINADO E RESIDUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso requisitado para
obtenção do Grau de Licenciatura em Química
pela Universidade Federal de Campina Grande,
Campus Cuité/PB.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos

Cuité – PB

2022

P436e	Pereira, Antônio Marcos Silva.
	<p>Estudo comparativo das propriedades físico-químicas de biolubrificantes obtidos do óleo de soja refinado e residual. / Antônio Marcos Silva Pereira. - Cuité, 2022.</p>
	44 f.
	<p>Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, 2022.</p>
	"Orientação: Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos".
	Referências.
	<p>1. Biocombustível. 2. Óleo de soja. 3. Biolubrificante. 4. Óleo de soja - biolubrificante. 5. Epoxidação. 6. Óleo residual - ecossistema - impacto. 7. Restaurante universitário - óleo residual. 8. Restaurante universitário - Cuité - CES. I. Santos, José Carlos Oliveira. II. Título.</p>
	CDU 665.75(043)

ANTONIO MARCOS SILVA PEREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE
BIOLUBRIFICANTES OBTIDOS DO ÓLEO DE SOJA REFINADO E RESIDUAL**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de
Campina Grande para obtenção do Grau de Licenciado em Química.

Aprovada em 16/03/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos
Orientador – UABQ/UFCG

Prof^ª. Dra. Joana Maria de Farias Barros
Examinador - UABQ/UFCG

Prof. Dr. Marciano Henrique de Lucena Neto
Examinador – UABQ/UFCG

RESUMO

A utilização de combustíveis fósseis tem resultado em intensos impactos ambientais que suscitam a necessidade de desenvolver fontes de energia renováveis. Uma excelente alternativa é a pesquisa constante no desenvolvimento de fontes de energia e de produção de bens que não dependam de matérias-primas fósseis. A produção de biolubrificantes a partir de matéria-prima renovável é exemplo desses estudos. Assim como há uma preocupação com a escassez do petróleo e com o desenvolvimento de alternativas sustentáveis para produção de energia, atualmente observa-se também outro problema que atinge a todos: a poluição. Embora o óleo residual de cozinha represente uma porcentagem ínfima do lixo, o seu impacto ambiental é muito grande no ecossistema. Uma das metodologias para síntese de biolubrificantes é a reação de transesterificação seguida da epoxidação de óleo vegetal, melhorando as características lubrificantes do óleo. Este trabalho consistiu na produção de biolubrificantes a partir de óleo de soja residual, oriundo de um restaurante universitário no Campus Cuité da Universidade Federal de Campina Grande, e na comparação das propriedades físico químicas do biolubrificante do óleo de soja comercial. Os biolubrificantes do óleo residual e do óleo comercial foram caracterizados por meio de suas propriedades físico-químicas. De acordo com os resultados das análises físico química, a produção de lubrificantes biodegradáveis poderá ajudar, de forma significativa, na diminuição do impacto ambiental do uso de materiais fósseis para produção de lubrificantes, bem como do lançamento de óleo residual no meio ambiente.

Palavras-chave: óleo de soja, biocombustível, epoxidação, meio ambiente, biomassa.

ABSTRACT

The use of fossil fuels has resulted in intense environmental impacts that raise the need to develop renewable energy sources. An excellent alternative is constant research into the development of energy sources and the production of goods that do not depend on fossil raw materials. The production of biolubricants from renewable raw materials is an example of these studies. Just as there is a concern with the scarcity of oil and the development of sustainable alternatives for energy production, there is currently another problem that affects everyone: pollution. Although residual cooking oil represents a tiny percentage of waste, its environmental impact is very large on the ecosystem. One of the methodologies for the synthesis of biolubricants is the transesterification reaction followed by the epoxidation of vegetable oil, improving the lubricating characteristics of the oil. This work consisted in the production of biolubricants from residual soybean oil, from a university restaurant on the Campus Cuité of the Federal University of Campina Grande, and the comparison with the biolubricant from commercial soybean oil. The materials involved in the process were characterized through their physicochemical properties. According to the results, the production of biodegradable lubricants can significantly help to reduce the environmental impact of the use of fossil materials for the production of lubricants, as well as the release of residual oil into the environment.

Keywords: soybean oil, biofuel, epoxidation, environment, biomass.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus porque seus propósitos não se frustram.

Agradeço a minha família, meus pais José pereira e Maria das Graças que estiveram sempre ao meu lado, .

Aos professores que encontrei neste caminho, e em especial ao professor José Carlos Oliveira pelo projeto, e também aos amigos que levo para fora daqui, pois sem eles seria muito difícil a caminhada.

E a todos aqueles, que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse realizado, os meus sinceros agradecimentos.

Lista de Figuras e Tabelas

Figura 1 . Etapas da reação de transesterificação.....	16
Figura 2 . Representação do anel oxiranico.....	17
Figura 3 . Processo de produção do éster metílico de óleo de soja usado: (a) síntese; (b) decantação; (c) lavagem.....	20
Figura 4 . Processo de produção do ester metílico metílico de óleo de soja refinado: (a) síntese; (b) decantação; (c) lavagem.....	20
Figura 5 . Processo de produção e purificação do biolubrificante metílico de óleo de soja usado.....	21
Figura 6 . Processo de Produção e Purificação do Biolubrificante Metílico de Óleo de Soja Refinado.....	22
Tabela 1 . Parâmetros físico-químicos da matéria-prima.....	30
Tabela 2 . Parâmetros físico-químicos dos ésteres metílicos (biodiesel).....	33
Tabela 3 . Parâmetros físico-químicos dos epóxidos (Biolubrificantes).	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVOS.....	10
2.1	OBJETIVO GERAL.....	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1	ÓLEOS VEGETAIS E GERAÇÃO DE ENERGIA.....	11
3.2	ÓLEO RESIDUAL.....	12
3.3	ÓLEO DE SOJA REFINADO.....	13
3.4	BIOLUBRIFICANTE.....	13
3.5	TRANSESTERIFICAÇÃO.....	15
3.6	Epóxidação.....	17
4	METODOLOGIA.....	19
4.1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.2	PROCEDIMENTO DE OBTENÇÃO.....	19
4.2.1	TRANSESTERIFICAÇÃO.....	19
4.2.2	EPOXIDAÇÃO.....	21
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO ÓLEO DE SOJA.....	30
5.2	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS ÉSTERES METÁLICOS.....	33
5.3	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS BIOLUBRIFICANTES.....	36
6	CONCLUSÕES.....	39
7	REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

As fontes de energia são essenciais à vida do homem, pois proporcionam melhor qualidade de vida. Segundo Ramos et al. (2017), cerca de 80% da energia gerada no mundo é proveniente dos combustíveis fósseis, tais como carvão, petróleo e gás natural. Esse fato tem desencadeado um problema ambiental grave, principalmente porque o uso de combustíveis fósseis libera elevada quantidade de gases poluentes, como o monóxido de carbono, os quais contribuem, por exemplo, para a intensificação do efeito estufa, aumentando gradativamente o aquecimento global. A rápida diminuição das reservas de combustíveis fósseis, a extração, o transporte e os processos industriais de transformação do petróleo são responsáveis por diversos danos ambientais (EREDA, 2004).

Além de seu alto poder calorífico, os óleos vegetais apresentam qualidades que os diferenciam como combustíveis sustentáveis: a ausência de enxofre na sua composição química; o fato de que a sua produção industrial não gera substâncias danosas ao meio ambiente e, ainda, o fato de serem elaborados a partir de culturas vegetais que consomem o dióxido de carbono da atmosfera durante a fotossíntese (PIANOVSKI JÚNIOR, 2002). Apesar de ser favorável do ponto de vista energético, a utilização direta dos óleos vegetais em motores a diesel é muito problemática, portanto há a necessidade de processos de transformação química para torná-lo pronto para o uso. Estudos mostram que a sua combustão direta gera carbonização de peças, resistência à ejeção nos êmbolos, diluição do óleo do cárter, contaminação do lubrificante, entre outros problemas (RINALDI et al., 2007). Pesquisas têm mostrado que uma das alternativas para melhorar as características de uso dos óleos vegetais nos motores é a modificação promovida por reações químicas, como a transesterificação (para obtenção de biodiesel) e a epoxidação (para obtenção de biolubrificantes) (HWANG et al., 2003; LATHI; MATTIASSON, 2007).

O descarte de grande quantidade do óleo de cozinha é muitas vezes feito de maneira inadequada, causando sérios problemas ambientais, como contaminação da água, aumento dos gastos com tratamento de esgoto etc. Duas formas de evitar este fato são a conscientização da população e o incentivo à prática da reciclagem. O óleo residual, proveniente de restaurantes, indústrias ou residências, pode ser utilizado na fabricação de sabão, na produção de éster metílico e de outros produtos biodegradáveis, como os biolubrificantes.

O maior agravante na utilização de lubrificantes minerais é a baixa reciclagem, a ausência de gerenciamento de resíduos e de controle de descarte por parte de seus responsáveis, sendo que a maior quantidade de lubrificantes usados é lançada no ambiente de

forma inadequada (SANTOS et al., 2017). Essas preocupações levaram a um crescente interesse em óleos vegetais para utilização como combustíveis e derivados, como os lubrificantes, com alto teor de ácido oleico, tendo em vista que são considerados potenciais substitutos para os óleos minerais convencionais, baseados em petróleo. Assim como há uma preocupação com a escassez do petróleo e com as alternativas sustentáveis para produção de energia, atualmente se observa também outro problema que atinge a todos: a poluição. Na contemporaneidade, embora o óleo de cozinha represente uma porcentagem ínfima do lixo, o seu impacto ambiental é muito grande no ecossistema (BARTHICHOTO et al., 2013).

Várias são as iniciativas de reutilização de resíduos que apresentam resultados convincentes. Há uma crescente mudança de hábito no que se refere à reciclagem de diversos tipos de materiais e seu emprego em vários setores produtivos, não apenas ao apelo econômico, já que a matéria-prima apresenta um baixo custo, mas também, sobretudo, com intuito de mitigar os efeitos de degradação ambiental e de poluição atmosférica. A produção entre elas pode-se destacar o baixo preço da matéria-prima e, conseqüentemente, do lubrificante, além dos benefícios ambientais. Como desvantagens do processo de produção, a grande quantidade de ácidos graxos livres encontrados, a necessidade de etapas de purificação que aumentam os gastos durante a síntese e a diferentes épocas de plantio e desenvolvimento de culturas que oferecem oferta desigual de matéria-prima em diferentes períodos do ano.

Tendo em vista os efeitos gerados pelos lubrificantes derivados do petróleo não renovável e seus aditivos, além de uma possível escassez em futuro próximo, buscam-se processos de produção de biolubrificantes modificados quimicamente que possuam menor custo, extraídos de fontes renováveis que sejam ambientalmente mais seguras, para reduzir o consumo excessivo de lubrificantes minerais mais agressivos ao meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Obter biolubrificantes a partir do óleo soja residual e do óleo de soja comercial, por meio das reações de transesterificação e epoxidação metílica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir os ésteres metílicos por meio da reação de transesterificação do óleo de soja residual e do óleo de soja comercial;

- Epoxidar os ésteres metílicos provenientes do óleo de soja residual e do óleo de soja comercial, utilizando o ácido peracético;

- Caracterizar pelos seguintes índices: umidade e voláteis, teor de cinzas, densidade relativa, Índice de acidez, Índice de iodo, teor de sabão, Índice de saponificação, Índice de peróxido massa molar, o óleo de soja residual e o óleo de soja comercial, os ésteres metílicos e o epóxido de ésteres metílicos obtidos a partir destes óleos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ÓLEOS VEGETAIS E GERAÇÃO DE ENERGIA

Derivados do petróleo, como diesel e gasolina, são utilizados como combustíveis para movimentar veículos, a exemplo de caminhões, carros e tratores. Contudo, percebe-se que as reservas petrolíferas são finitas, difíceis e custosas de serem exploradas e possuem natureza não renovável (KUCEK, 2004). O beneficiamento do petróleo para a obtenção de seus derivados, que apresentam maior valor comercial, como a gasolina, o asfalto e o diesel, gera diversos impactos ambientais, como a contaminação de rios, lagos e lençóis freáticos, o elevado consumo de água, gerando gases nocivos para os seres vivos e sólidos de difícil tratamento, por isso estudam-se e desenvolvem-se novos produtos a partir de fontes renováveis para reduzir e, se possível, até eliminar os impactos ambientais causados durante as etapas de produção da matéria-prima até o beneficiamento final do produto.

Os óleos vegetais são provenientes da biomassa, umas das fontes energéticas utilizadas há muito tempo. A biomassa é uma fonte importante, porque ela pode contribuir para o desenvolvimento sustentável e gerar renda, principalmente nas regiões mais carentes do Brasil. Segundo Moret (2012), a biomassa é uma excelente fonte de combustível utilizado há muitos séculos e também se diversifica na sua utilização, podendo ser convertida nas formas sólida (lenha, carvão, briquete), líquida (óleo vegetal, ésteres metílicos, álcool pirolenhoso) ou gasosa (gás de biomassa, o metano).

Óleos vegetais são insumos fundamentais, produzidos a partir da gordura extraída de plantas. Apesar de outras partes das plantas poderem ser utilizadas na extração de óleo, na prática, ele é extraído, na maioria das vezes, das sementes, já os óleos provenientes de frutos recebem o nome de azeite, como o óleo de dendê e o da azeitona.

Óleos vegetais, comparados ao diesel, apresentam uma viscosidade elevada, dessa forma, para que os óleos vegetais substituam o diesel, a sua viscosidade tem que apresentar valores entre 3 e 6 mm²/s de acordo com o padrão da ANP para ser utilizado como combustível porque a alta viscosidade diminui a potência do motor, além disso, no óleo vegetal puro, a combustão é incompleta, com formação de depósitos e de pontos quentes na câmara de combustão, polimerização e emissão de dioxina, entre outros fatores. Então, para que os óleos vegetais apresentassem propriedades adequadas para ter seu uso como combustível foram desenvolvidos estudos os quais trouxeram metodologias de transformações químicas desses óleos. Em meados da década de 1970, surgiram as primeiras propostas de

modificação química de óleos vegetais por intermédio da reação de transesterificação (RAMOS *et al*, 2003), em que, por meio da transesterificação de óleos vegetais e gordura animal, obtém-se o éster metílico utilizado como combustível, devido ao número de cetano e outras propriedades, como calor de combustão, ponto de fluidez e viscosidade.

3.2 ÓLEO RESIDUAL

O óleo, depois de utilizado em frituras em casas, restaurantes, bares, entre outros lugares que fazem uso deste, tem sido descartado de maneira incorreta, a exemplo da colocação dele no ralo da pia e do descarte junto a outros lixos orgânicos. O óleo, depois de usado, torna-se um resíduo indesejado e sua reciclagem como biocombustível não só retiraria do meio ambiente um poluente, mas também permitiria a geração de uma fonte alternativa de energia. Assim, duas necessidades básicas seriam atendidas de uma só vez.

Um melhor conhecimento das características físico-químicas dos óleos vegetais usados em fritura e uma padronização da produção destes óleos podem viabilizar economicamente o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel lançado pelo Governo Federal (2005) de coleta ao nível residencial (BARBOSA, 2007). A decomposição do óleo de cozinha emite metano na atmosfera, um dos principais gases que causam o efeito estufa. O óleo muitas vezes vai para o ralo da pia e chega aos rios pelas redes de esgoto, e cada litro de óleo despejado no esgoto urbano tem potencial para poluir cerca de um milhão de litros de água, o que equivale à quantidade que uma pessoa consome ao longo de quatorze anos de vida (HOCEVAR, 2005).

O processo de fritura ocorre em temperaturas entre 160°C e 220°C por longo período de tempo (CVENGROS; CVENGROSOVA, 2004). De acordo com Costa Neto et al. (2000), durante o processo de fritura, ocorrem alterações físico-químicas no óleo, como: aumento da viscosidade, aumento do calor específico, diminuição do número de iodo (número proporcional ao teor de insaturação do composto), mudança na tensão superficial, mudança na cor, aumento da acidez devido à formação de ácidos graxos livres, odor desagradável (ranço), aumento da tendência do óleo em formar espuma. E quando óleo é reutilizado varias vezes forma uma substancia chamada acroelína que e prejudicial a saúde gástrica e intestinal no ser humano.

3.3 ÓLEO DE SOJA REFINADO

Conforme Carvalho (2017), óleos e gorduras designados para consumo humano precisam passar pelo processo de refino, que também pode ser denominado de refino físico e químico. Os tocoferóis presentes no óleo bruto fornecem ao óleo estabilidade oxidativa, todavia no processo de refino o óleo perde parte dos tocoferóis. Além de triglicerídeos, o óleo de soja apresenta pequena quantidade de fosfolipídeos, esteróis, tocoferóis, carotenóides, clorofilas, mono e diglicerídeos e ácidos graxos livres (D'ARCE, 2006).

A extração do óleo de soja é feita por solvente, em que o hexano retira todo óleo presente nas sementes da soja, as sementes são trituradas e passam pelo processo de aquecimento e é colocado o solvente, a mistura é conduzida por tubulações a estanque para equipamentos nos quais o solvente será evaporado, resultando em óleo bruto. Esse óleo bruto passará pelo processo de refino, então o óleo bruto passará pela degomagem, que é a retirada da goma, pela neutralização de ácido graxos livres, com solução de NaOH, pela clarificação e pela desodorização e, depois desses processos, pelo envase. O farelo no qual será extraído o óleo passará pelo processo, sendo utilizado como ração animal.

De acordo com a informação da campestre indústria e comércio de óleos vegetais, a porcentagem dos ácidos graxos presentes no óleo de soja é: ácido linolênico (5,5%-9,5%), ácido palmítico (9,7%-13,3%), ácido oleico (17,7%-28,5%), ácido estearico (3%-5,4%) e ácido linoleico (49,8%-57,1%).

3.4 BIOLUBRIFICANTE

Os lubrificantes minerais são provenientes do petróleo, sendo obtidos pelo processo de refino do petróleo. A parte do petróleo destinada à produção de óleo mineral é obtida no processo de separação por destilação que consiste em vaporização e condensação. Embora o mercado seja dependente de parte do óleo derivado do petróleo, há a preocupação a nível mundial, devido à origem não renovável desse material, de existir a geração de resíduos difíceis de serem tratados e, assim, ele é considerado como um produto perigoso e tem potencial tóxico (FILHO et al., 2016).

Na tentativa de buscar uma possível substituição geral ou parcial do lubrificante de origem do petróleo, foram desenvolvidos estudos para tornar os óleos vegetais uma fonte de lubrificantes que recebe a nomeação de biolubrificante.

O termo biolubrificante tem origem na natureza biodegradável, aplica-se a todos os

lubrificantes que são rapidamente biodegradáveis, que podem se decompor e não são tóxicos para os seres humanos e para o meio ambiente. Os óleos minerais puros não apresentam função como lubrificantes, sendo fundamental o uso de aditivos para torná-los adequados ao uso. Por outro lado, os óleos vegetais puros apresentam melhores lubricidade, viscosidade e volatilidade, devido ao tamanho e à massa molar média das cadeias de triglicerídeos e à presença de grupos ésteres polares, que aumentam a viscosidade e a tendência de formação de filme sobre superfícies metálicas (BREVES, 2018).

Todas as máquinas que têm peças móveis, do motor do carro ao barbeador elétrico, exigem lubrificantes para funcionar de forma suave e duradoura. Na contemporaneidade, a maioria dos lubrificantes é feita com o chamado óleo base, acrescido com aditivos para melhorar o desempenho em cada uso em particular. A demanda mundial por esses aditivos está na cifra das centenas de milhões de toneladas anuais.

Um biolubrificante pode ter como base: óleos vegetais ou ésteres sintéticos fabricados a partir de óleos renováveis modificados ou de produtos de origem petrolífera. Há diversos rótulos ecológicos, destinados a distinguir estes produtos dos lubrificantes tradicionais, estando conscientes do seu papel na promoção e na defesa do meio ambiente, algumas empresas dispõem de uma gama de lubrificantes especialmente desenvolvidos para minimizar os riscos ambientais durante a sua utilização, sobretudo quando esta possa representar uma ameaça ao meio ambiente.

As funções dos biolubrificantes são:

- ✓ Reduzir as perdas de energia mecânica;
- ✓ Facilitar o movimento das ignições necessárias durante o funcionamento do motor;
- ✓ Reduzir o desgaste dos componentes sujeitos à fricção (durante a fricção das peças, se elas trabalharem sem uma lubrificação, haverá um desgaste maior);
- ✓ Proteger os componentes da corrosão, impedindo que as peças sejam desgastadas por algum ácido;
- ✓ Aumentar a estanqueidade, para que haja maior contato com a água, evitando, assim, a oxidação das peças;
- ✓ Evitar que detritos e sujeiras entupam componentes do motor, fazendo a limpeza.

Já as vantagens dos biolubrificantes que podem ser proporcionadas são:

- ✓ Elevada biodegradabilidade;
- ✓ Reduzida toxicidade, boas propriedades de lubrificação, elevado índice de viscosidade, elevado ponto de inflamação;
- ✓ Seguro quando for utilizá-lo;

- ✓ Aumento da longevidade dos componentes;
- ✓ Distribuição das perdas por evaporação e do óleo;
- ✓ Prevenção do risco de poluição do meio ambiente.

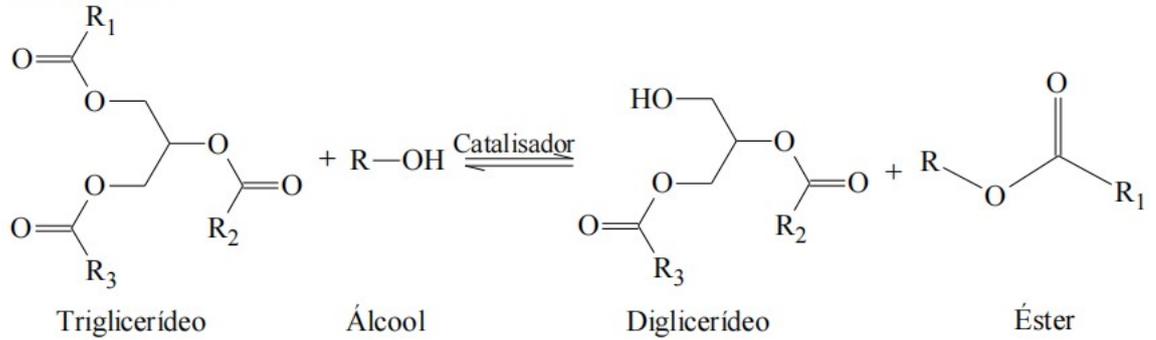
3.5 TRANSESTERIFICAÇÃO

A transesterificação consiste em uma reação química, em que o triglicerídeo reage com álcool de cadeia curta como metanol ou etanol em excesso de catalisador poder ser ácido ou alcalino produzindo uma mistura de ester metílico ou etílico conforme o álcool utilizado na reação e glicerol (SANTOS, 2011). As reações com metanol reagem mais rápido com o triglicerídeo, e permite uma separação espontânea do glicerol do ester (FERRARI et al. 2007). a função dos catalisadores na reação e facilitar a conversão do ester e melhorar o rendimento e as reações com catalisadores alcalis são mais rápidas do que as conduzida em meio básico (KUCEK, 2004).

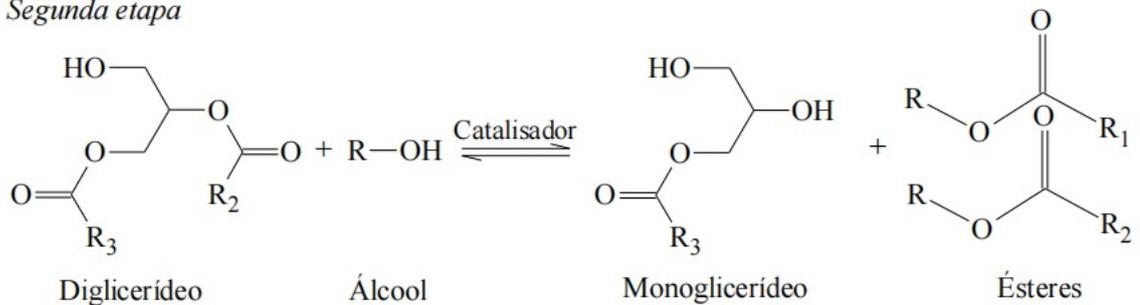
A reação de transesterificação ocorre em três etapas consecutivas e reversíveis, o triglicerídeos reage com o álcool na presença de um catalisador, formando diglicerídeos e monoglicerídeos como intermediários (FREEDMAN et al., 1986). Em uma reação reversível, o catalisador utilizado acelera o tempo de reação de transesterificação e aumenta o rendimento. Tal catalisador pode ser um reagente ácido ou básico, sendo comumente utilizado hidróxido de sódio ou de potássio (SCHUCHARDT, 1998). Esse tipo de reação é preferida por seu baixo custo e por seu alto nível de conversão dos triglicerídeos em monoésteres (DEMIRBAS, 2008; SCHUCHARDT, 1998), haja vista que o rendimento da transesterificação com catalisador básico é alto, e estes catalisadores são mais facilmente manipuláveis e menos corrosivos do que os catalisadores ácidos (GARCIA, 2006). A Figura 1 mostra a reação.

Figura 1. Etapas da reação de transesterificação.

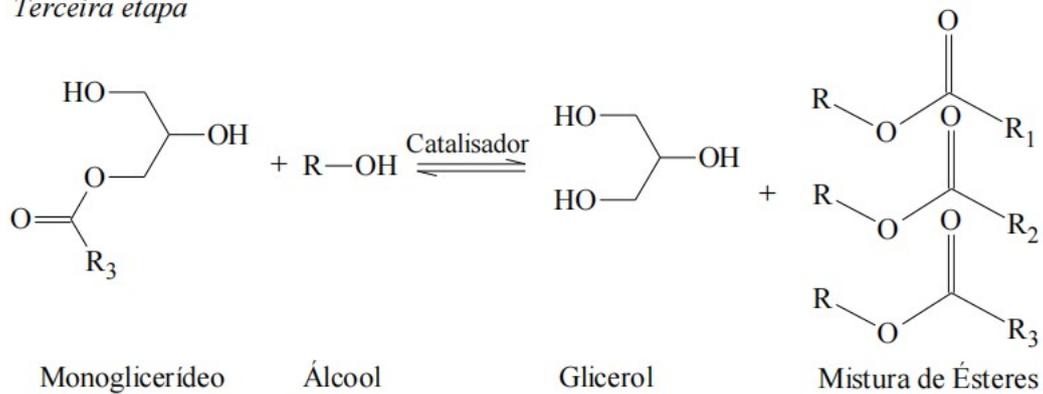
Primeira etapa



Segunda etapa



Terceira etapa



Fonte: Moreira (2017).

Para obter um bom rendimento na reação, são necessários 3 mols de álcool para 1 mol de triglicerídeo, assim existirá um rendimento de 3 mols de ésteres para 1 mol de glicerol (FUKUDA, 2001). Para que a transesterificação ocorra, é necessário que não haja presença de água nos triglicerídeos e no álcool, visto que a presença da água causará uma reação parcial conhecida como saponificação, tendo como produto o sabão (WRIGHT et al., 1944). A transesterificação reduz a viscosidade dos óleos (BOKADE et al., 2007; URIOSTE, 2004). Os ésteres graxos produzidos por intermédio da transesterificação são os insumos básicos para uma gama de derivados de óleos químicos com alto valor agregado. Podem ser utilizados na

produção de lubrificantes: polímeros, plastificantes, produtos de higiene pessoal, papéis, tecidos e alimentos (ARCOS et al., 1998).

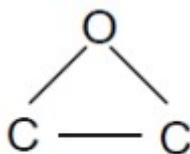
3.6 EPOXIDAÇÃO

A epoxidação de óleos vegetais é uma das formas de obtenção de biolubrificantes. Isso é possível, porque os óleos vegetais, como o óleo de soja, são constituídos por uma mistura de triglicerídeos, que contêm na sua cadeia ácidos graxos com ligações insaturadas (FARIAS, 2010). A epoxidação transforma as ligações insaturadas em grupos oxirânicos por meio de agentes oxidantes e catalisadores adequados e processos adequados.

A epoxidação torna os óleos vegetais mais reativos, diminui o número de insaturações presentes no óleo, aumentando a sua estabilidade oxidativa, e, ainda, acrescenta grupos funcionais eletronegativos à molécula, aumentando a tendência de formação do filme sobre uma superfície metálica que já é presente nos óleos vegetais (BREVES, 2018). A epoxidação tem importância para indústria, sendo utilizados como estabilizantes de PVC, plastificantes, agentes de cura em tintas e intermediários para a produção de poliuretanos poliésteres e resinas epoxídicas (LEHNEM, 2011).

A epoxidação ocorre envolvendo as duplas ligações presentes nos compostos insaturados, em que o oxigênio é inserido, formando um anel oxirânico (SILVA, 2015). A figura 2 mostra isso.

Figura 2. Representação do anel oxirânico.



Fonte: Solomons e Fryhle (2005).

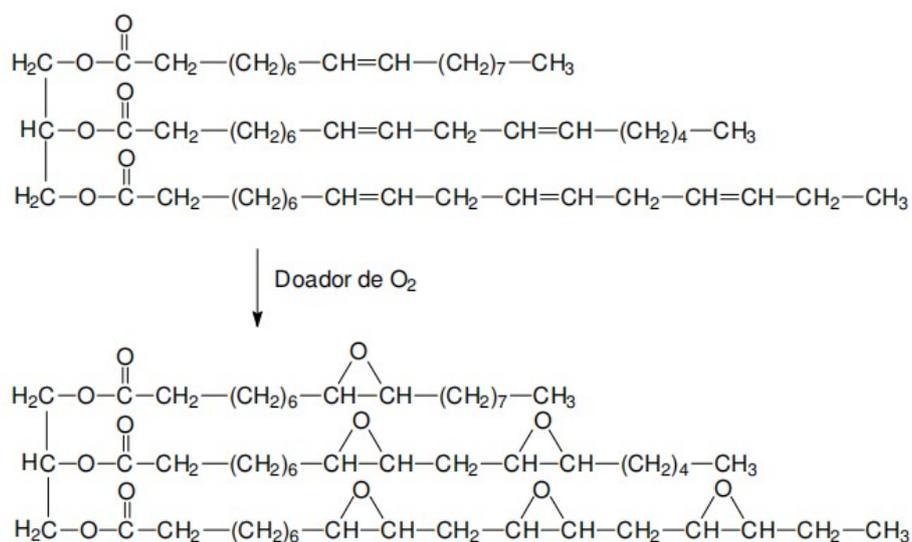
Existem quatro formas de se fazer a reação de epoxidação (SANTOS, 2011). São elas:

- ✓ Epoxidação com ácidos percarbóxicos, catalisada por ácidos ou enzimas;
- ✓ Epoxidação com peróxidos orgânicos ou inorgânicos;
- ✓ Epoxidação com halohidrinás;
- ✓ Epoxidação com oxigênio molecular.

De acordo com Goud et al. (2007), a epoxidação com ácidos percarbóxílicos, catalisada por ácidos ou enzimas e a epoxidação com peróxidos orgânicos ou inorgânicos são as formas mais limpas, eficientes e viáveis. Em escala industrial, é utilizada a epoxidação com ácidos percarbóxílicos (GOUD et al., 2007; LIMA, 2011).

A reação de epoxidação é uma reação extremamente exotérmica, na qual deve haver o controle da temperatura. Em escala industrial, a epoxidação com o ácido peracético não seria viável devido ao risco de segurança por causa da instabilidade do perácido, já a reação com ácido perfórmico torna-se viável em virtude da adição do ácido fórmico ao óleo e depois adição gradativa do peróxido de hidrogênio, mostrando-se, assim, adequado para controlar a reação em processos industriais (QUADROS JUNIOR, 2015).

Figura 3. Representação da reação de epoxidação de um triglicerídeo



4 METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O óleo de soja comercial foi adquirido no comércio local, e o óleo de soja residual de fritura que foi utilizado durante o procedimento foi adquirido em um restaurante universitário situado no Campus Cuité da Universidade Federal de Campina Grande. As amostras foram coletadas, purificadas e submetidas a processos de transesterificação e epoxidação.

O processo de purificação do óleo residual foi feito da seguinte forma:

- a) Decantação por 30 dias após processo de coleta;
- b) Aquecimento do óleo residual de fritura a, aproximadamente, 40°C, para tornar a amostra pastosa totalmente líquida, facilitando, dessa forma, a segunda etapa;
- c) Esse resíduo foi filtrado em papel de filtro qualitativo para a remoção dos sedimentos pesados e de sólidos em suspensão, usando um sistema de vácuo (bomba de vácuo).

4.2 PROCEDIMENTOS DE OBTENÇÃO

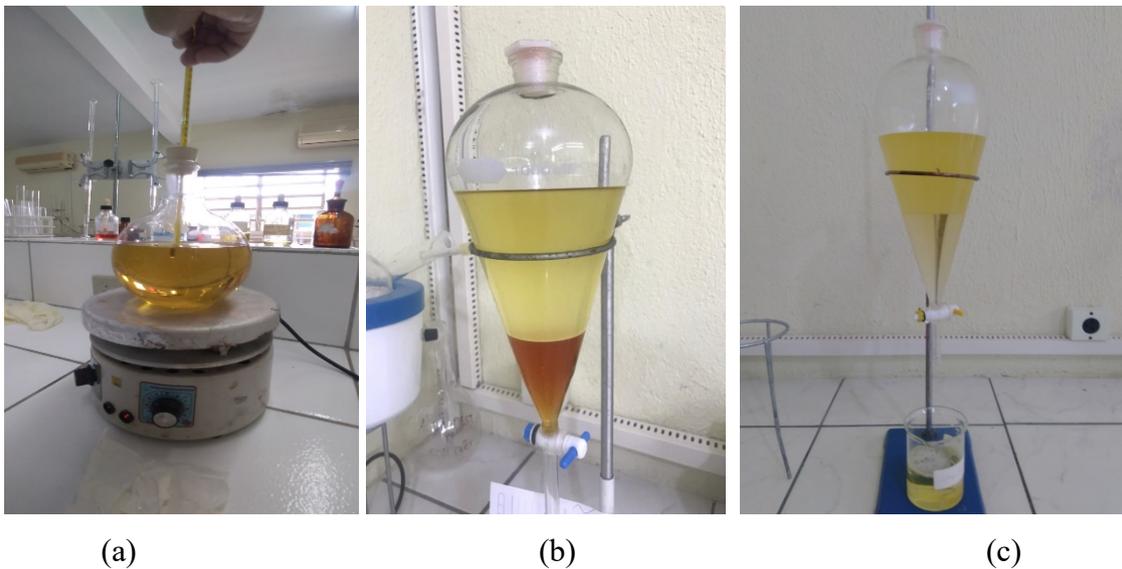
4.2.1 TRANSESTERIFICAÇÃO

Para obtenção do éster metílico, inicialmente foi feito um cálculo da massa molar do óleo de soja refinado ou do comercial a partir do seu índice de saponificação. Com o conhecimento dessa massa, foram calculadas as quantidades de álcool (metanol) e de catalisador (KOH) necessárias para a realização da reação. A reação de transesterificação foi realizada adotando-se uma razão molar óleo/álcool igual a 1:6 e 0,7% de catalisador (óleo/catalisador) (PELANDA, 2009), mantendo-se a temperatura em aproximadamente 45°C durante 1 hora, porque temperaturas superiores à temperatura de ebulição do metanol (60°C) podem acelerar a saponificação dos glicerídeos pelo catalisador alcalino antes da completa alcoólise (FERRARI et al., 2005).

Após a reação de transesterificação, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação, permitindo a separação das fases: superior, contendo o éster metílico, e inferior, composta de glicerol, sabões, excesso de base e álcool. Após o tempo de espera, a fase inferior foi retirada e armazenada em um recipiente próprio. Em seguida, foi realizada a lavagem do éster metílico (biodiesel) com água destilada e solução de ácido clorídrico 0,01M.

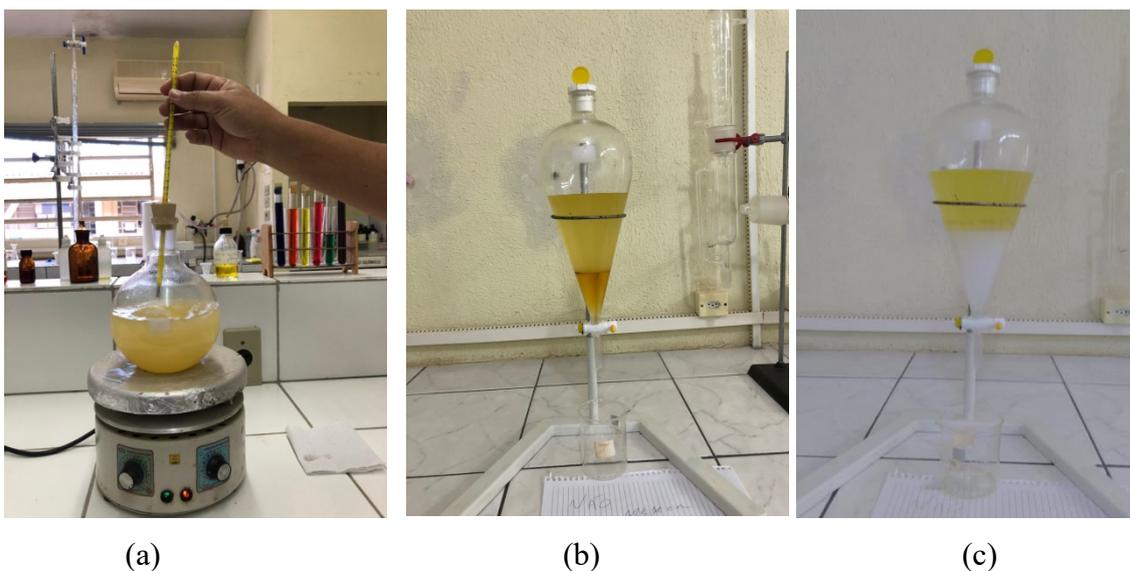
Foram feitas três lavagens com água destilada (retirar da fase dos ésteres resíduos de glicerol e sabões) e duas lavagens com solução de HCl 0,01M (neutralizar os ésteres).

Figura 4. Processo de produção do éster metílico de óleo de soja usado: (a) síntese; (b) decantação; (c) lavagem.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 5. Processo de produção do éster metílico de óleo de soja refinado: (a) síntese; (b) decantação; (c) lavagem.



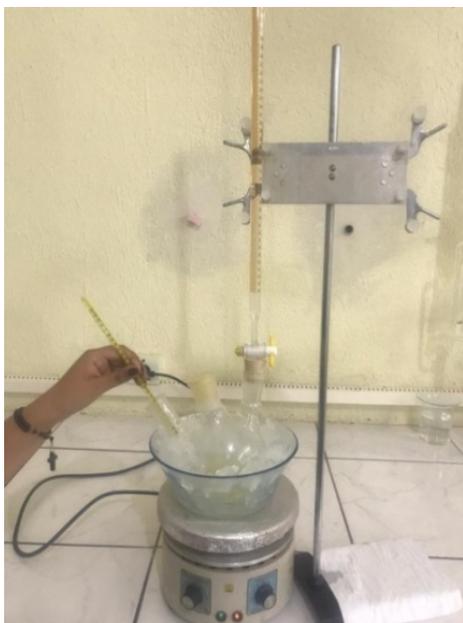
Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

4.2.2 EPOXIDAÇÃO

Em um balão de fundo redondo de 250 mL, foram adicionados 100g do éster metílico, obtidos do óleo de soja refinado ou comercial, e gota a gota, 140 mL de ácido peracético comercial 15%. A mistura ficou sobre agitação e aquecimento a 45°C em um banho de água e gelo por 1 hora. A reação foi realizada utilizando a proporção molares de 1:1,1 éster/ácido peracético.

Após o término da reação, a mistura foi transferida para um funil de separação, onde foi retirada a fase inferior, correspondente ao ácido acético, a fase superior foi lavada apenas uma vez com 50 mL de bicarbonato de sódio 10%, e houve o desprendimento total das bolhas devido à reação de neutralização. Quando as fases estavam separadas, foi feita a retirada do ácido peracético e, por fim, o biolubrificante foi colocado no recipiente próprio para fazer a retirada da amostra para as análises.

Figura 6. Processo de produção e purificação do biolubrificante metílico de óleo de soja usado.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 7. Processo de Produção e Purificação do Biolubrificante Metílico de Óleo de Soja Refinado.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

O óleo de soja refinado ou comercial e o residual foram caracterizados mediante índice de acidez (AOCS Cd 3d-63), índice de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de saponificação (AOCS Cd 3b-76), teor de sabão (AOCS Cc 17-95), índice de peróxido (AOCS Cd 8-53), densidade relativa, teor de cinzas, teor de umidade e voláteis (AOCS Da-2a-48), viscosidade dinâmica, oxidação e estabilidade térmica e oxidativa.

Os procedimentos adotados para caracterizar os ésteres metílicos obtidos após a transesterificação foram os mesmos utilizados para caracterizar o óleo comercial de soja.

O epóxido de éster metílico de óleo comercial de soja foi caracterizado por meio dos índices de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de peróxido (AOCS Cd 8- 53), hidroxila (AOCS Cd 13-60) e oxigênio oxirano (AOCS D Cd 9-57), densidade relativa, teor de cinzas, viscosidade, teor de umidade e voláteis (AOCS Da-2a-48) e oxidação e estabilidade térmica e oxidativa.

Todas as caracterizações descritas anteriormente foram realizadas de acordo com as técnicas descritas por Wu et al. (2000) e foram feitas em duplicatas.

As amostras foram o óleo residual, o éster metílico do óleo residual e o epóxido metílico do óleo residual, o óleo de soja comercial, o éster metílico do óleo de soja comercial, o epóxido do óleo de soja comercial.

Índice de Acidez (AOCS Cd3d-63)

O índice de acidez é o número de miligramas de hidróxido de potássio necessários para neutralizar os ácidos livres em 1 grama de amostra de teste. Com as amostras de teste que não contêm virtualmente nenhum ácido livre, além dos ácidos graxos, o valor do ácido pode ser convertido diretamente por meio de um fator adequado em porcentagem de ácidos graxos livres. Aplicável a gorduras e a óleos crus e refinados de origem animal, vegetal e marinha, e vários produtos derivados deles.

Em um erlenmeyer de 250 mL, foram pesados 10g de amostra e adicionados 62 mL da mistura do solvente neutralizada (31 mL de tolueno + 31 mL de álcool isopropílico). A amostra foi bem dissolvida na mistura de solventes. Para facilitar esse processo, podia aquecer um pouco, porém não foi preciso. Foram adicionadas 3 gotas de indicador fenolftaleína e titulado com KOH 0,1N até que obteve uma coloração rosa permanente durante 30 segundos. O mesmo procedimento foi repetido sem a presença de amostra para determinação do branco.

O índice de acidez foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{Índice de Acidez} = (A - B) \cdot N \cdot 56,1 / W$$

Em que:

A: volume da solução de KOH 0,1N utilizado na titulação da amostra (mL); B: volume da solução de KOH 0,1N utilizado na titulação do branco (mL); N: normalidade da solução de KOH; W: massa da amostra (g).

Índice de Iodo (AOCS Cd 1-25)

O valor de iodo é uma medida da insaturação de gorduras e óleos e é expresso em termos do número de centigramas de iodo absorvido por grama de amostra (% de iodo absorvido). Aplicável a todas as gorduras e a óleos normais que não contêm ligações duplas conjugadas. Aplicável a todas as gorduras e a óleos normais com amostras com valores de iodo entre 0-15.

Em um erlenmeyer de 250mL, foi pesado 0,25g de amostra, adicionado 10mL de clorofórmio e 25mL de solução de Wijs (agitando o erlenmeyer para manter maior contato

com a amostra). Em seguida, o frasco foi armazenado em um local escuro a temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 30 minutos. Após esse tempo, foi adicionado 10 mL de solução de iodeto de potássio 10%, 100mL de água destilada e titulado com solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N, misturando-se vigorosamente e foi adicionado 1mL de solução indicadora de amido e titulado até o desaparecimento da coloração escura. O mesmo procedimento foi repetido sem a presença de amostra para a determinação do branco.

O índice de iodo foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{Índice de Iodo} = 12,6 \cdot N \cdot (A - B) / W$$

Em que:

N: normalidade da solução de tiosulfato de sódio; A: volume da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N utilizado na titulação do branco (mL); B: volume da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N utilizado na titulação da amostra (mL); W: massa da amostra (g).

Teor de Sabão (AOCS Cc 17-95)

O método titulométrico determina a alcalinidade da amostra de teste como oleato de sódio. Aplicável apenas a óleos vegetais refinados.

Em um erlenmeyer de 250 mL, pesou-se 10g de amostra, adicionou 0,25mL de água deionizada e houve uma agitação vigorosamente. Em seguida, uma solução contendo 0,1g do indicador bromofenol e 50mL de acetona neutralizada foi preparada, foi adicionada, no erlenmeyer contendo a amostra, 50mL dessa solução recém-preparada e, caso exista sabão, ocorre uma separação de fases e a camada superior terá uma coloração verde azulada. Então, a mistura foi titulada com uma solução de ácido clorídrico 0,01N padronizada até a viragem da coloração verde azulada para o amarelo. O procedimento foi repetido sem a presença de amostra para determinar o branco.

O teor de sabão foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Teor de Sabão} = (A - B) \cdot N \cdot 304,4 / W$$

Em que:

A: volume da solução de HCl utilizado na titulação da amostra(mL); B: volume da solução de HCl utilizado na titulação do branco(mL); N: normalidade da solução de HCl; W: massa da amostra(g).

Índice de Saponificação (AOCS Cd 3b-76)

O valor de saponificação é a quantidade de hidróxido de potássio necessária para saponificar uma quantidade definida da amostra de teste. É expresso como o número de miligramas de hidróxido de potássio (KOH) necessários para saponificar 1 grama da amostra de teste. Aplicável a destilados e a lamas desodorizantes de óleo.

Em um erlenmeyer de 250mL foram pesados de 1,2g-2,2g da amostra e adicionados 25mL de potassa alcoólica. Esse erlenmeyer foi colocado na chapa aquecedora onde foi aquecido suavemente durante 1 hora para que a amostra fosse completamente saponificada. Em seguida, foram adicionadas ao erlenmeyer algumas gotas de fenolftaleína e titulado com solução de HCl 0,5M até o desaparecimento da coloração rosa. O mesmo procedimento foi repetido sem a presença de amostra para determinar o branco.

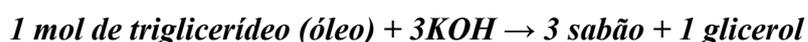
O índice de saponificação foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{Índice de Saponificação} = (B - A) \cdot N \cdot 56,1 / W$$

Em que:

A: volume da solução de HCl 0,5M utilizado na titulação da amostra (mL); B: volume da solução de HCl 0,5M utilizado na titulação do branco (mL); N: normalidade da solução de HCl; W: massa da amostra(g).

A partir do índice de saponificação, foi calculada a massa molar do óleo:



$$X \text{ ————— } 3 \cdot (56,1 \text{ g.mol}^{-1})$$

$$1\text{g} \text{ ————— } \text{Índice de Saponificação}$$

Índice de Peróxido (AOCS Cd 8-53)

Este método determina todas as substâncias, em termos de miliequivalentes de peróxido por 1000 gramas de amostra de teste, que oxidam iodeto de potássio nas condições do teste. As substâncias são geralmente consideradas peróxidos ou outros produtos semelhantes da oxidação de gorduras. Aplicável a todas as gorduras e a óleos normais, incluindo margarina. Este método é altamente empírico e qualquer variação no procedimento de teste pode resultar em resultados erráticos.

Em um erlenmeyer de 250 mL, foram pesados 3g da amostra e adicionados 30mL de solução ácido acético: clorofórmio 3:2 (v/v). Ademais, foram misturados com leve agitação. Adicionou-se 0,5mL de solução de KI 10% e deixou-se em repouso por 1 minuto. Depois

adicionou-se 30mL de água destilada e 0,5ml de solução de amido 1%, onde foi titulado com solução de tiosulfato de sódio 0,01N com agitação constante até que houve o desaparecimento da coloração azul.

O índice de peróxido foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{Índice de Peróxido} = (A - B) \cdot N / W$$

Em que:

A: volume do tiosulfato utilizado na titulação da amostra (mL); B: volume do tiosulfato utilizado na titulação do branco (mL); N: normalidade da solução de Na₂S₂O₃; W: massa da amostra(g).

Densidade Relativa

É a razão da massa específica do óleo, do éster metílico e do epóxido, pela massa específica da água tomada como referência. Dessa forma, a densidade relativa é um número puro (grandeza adimensional) (IMBELLONI, 2007).

Em um picnômetro de 5mL previamente pesado, foram adicionados aproximadamente 5mL de água destilada e isso foi pesado. Em seguida, foram adicionados aproximadamente 5mL da amostra(para o OS usado e OS comercial, o éster metílico e o epóxido) e isso foi pesado.

O cálculo da densidade foi feito de acordo com a expressão:

$$d_x = m_x / m_{\text{água}}$$

Em que:

d_x: densidade relativa da amostra; m_x: massa da amostra (g); m_{água}: massa da água (g).

Teor de cinzas

Com auxílio de uma estufa a 109°C, foram colocadas duas cápsulas de porcelana, onde foram secadas durante 1 hora. Após esse período, elas foram colocadas no dessecador para esfriar. Então, as cápsulas vazias foram pesadas e foram adicionados aproximadamente 6g de amostra. Cada placa com a amostra foi levada à mufla a 550°C por 4 horas. Após esse período, elas foram colocadas no dessecador para esfriar por seca de 30 minutos. Então, as cápsulas com a amostra foram pesadas novamente.

O teor de cinzas foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\% \text{ Cinzas} = [(C - B)/A] \cdot 100$$

Em que:

A = massa da amostra; B = cápsula de porcelana + amostra após mufla; C = cápsula de porcelana + amostra antes da mufla.

Teor de umidade e voláteis (AOCS Da-2a-48)

Este método determina a umidade e quaisquer materiais voláteis nas condições do teste. Este método é aplicável a sabonetes e a produtos de sabão. Não é aplicável a produtos que contenham quantidades apreciáveis de silicato de sódio, mais de 1% de glicerol e sabões produzidos a partir de óleos, como óleo de linhaça, que tendem a se oxidar facilmente.

Com auxílio de uma estufa aproximadamente a 110 °C, foram colocadas duas placas de Petri que ficaram por 1 hora. Após esse período, foram colocadas no dessecador para esfriar por cerca de 30 minutos. Desse modo, as placas vazias foram pesadas e adicionou-se aproximadamente 6g de amostra. A placa com a amostra foi levada à estufa a 110°C por 1 hora. Após esse período, ela foi colocada no dessecador para esfriar. Então, a placa com a amostra foi pesada. O teor de umidade e voláteis foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\% \text{ Umidade e Voláteis} = [(C - B)/A] \cdot 100$$

Em que:

A = massa da amostra; B = Placa + amostra após estufa; C = Placa + amostra antes da estufa. Amostra, óleo de soja refinado e o éster metílico, e o epóxido.

Viscosidade Dinâmica

Para determinação da viscosidade, foi utilizado um viscosímetro Quimis modelo Q860M26. Esse equipamento dispõe de cinco rotores distintos entre si em relação ao diâmetro, sendo que, para os óleos residual e comercial de soja, foi utilizado o rotor nº 2 e, para os ésteres metílicos e os epóxidos, o rotor nº 1. A viscosidade foi determinada a 40°C. O aquecimento da amostra foi promovido por meio de uma chapa de aquecimento, a temperatura foi medida por um sensor que acompanha o produto.

Índice de Hidroxila (AOCS Cd 13-60)

O valor de hidroxila é definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio equivalente ao teor de hidroxila de um grama de amostra de teste. Aplicável a óleos graxos e a seus derivados, como álcoois graxos, mono e diglicerídeos e ácido hidroxiesteárico.

Para a determinação do Índice de Hidroxila, pesou-se, em um balão de fundo redondo de 250mL, 10g da amostra do epóxido de éster metílico de óleo residual e comercial de soja, adicionou-se 5mL do reagente piridina/anidrido acético (3/1 volume) e colocou-se o balão em um banho-maria por 1 hora sobre refluxo. Após o aquecimento, foram adicionados 10mL de água por meio do condensador para o balão e aqueceu-se em banho-maria com tempo adicional de 10 minutos em refluxo. Foi utilizado 25mL de álcool butílico para lavagem interna do condensador e os lados do balão. Por fim, foi adicionado 1mL de solução indicador de fenolftaleína e titulado com potassa alcoólica 0,5M até a coloração rosa. O mesmo procedimento foi feito sem a presença do epóxido para se obter o branco. Paralelamente ao experimento anterior, foi pesado 9g do epóxido em um erlenmeyer para a determinação da acidez. Adicionou-se 10 mL de piridina e 1mL de solução indicadora de fenolftaleína. A mistura foi titulada com potassa alcoólica 0,5M até a coloração ficar rosa.

O índice de hidroxila foi determinado pela seguinte expressão:

$$\text{Índice de Hidroxila} = [B + (W \cdot A/C) - S] \cdot N \cdot 56,1 / W$$

Em que:

A: volume da solução de KOH necessária para titulação de acidez, em mL; B: volume da solução de KOH necessária para titular o branco, em mL; C: massa da amostra usada para a titulação da acidez, em g; S: volume da solução de KOH necessária para titular a amostra acetilada, em mL; W: massa da amostra usada para acetilação, em g; N: normalidade ou molaridade da potassa alcoólica.

Oxigênio Oxirano (AOCS Cd 9-57)

Este método determina o oxigênio oxirano, que é o oxigênio contido no seguinte agrupamento. Nas condições prescritas para este método de teste, o oxigênio é titulado diretamente com brometo de hidrogênio em ácido acético. Aplicável a materiais graxos epoxidados e a compostos epóxi em geral.

Na determinação do oxigênio oxirano, pesou-se entre 0,3g-0,5g da amostra dos epóxidos em um erlenmeyer de 250mL e adicionou-se 10mL de ácido acético glacial sob agitação até total dissolução. Em seguida, foram adicionadas 5 gotas do indicador violeta cristal (solução 0,1% em ácido acético glacial) e o sistema foi agitado. Por fim, a mistura foi

titulada com uma solução de ácido bromídrico 0,1M até que a solução passou para coloração azul esverdeada permanente por 30 segundos. O volume gasto na titulação foi anotado.

O cálculo do oxigênio oxirano foi realizado de acordo com a seguinte expressão:

$$OO\% = 4,3 \cdot V \cdot M/W$$

Em que:

OO%: porcentagem do teor de epóxido, %; V: volume gasto na titulação em mL; M: molaridade da solução de ácido bromédrico; W: massa da amostra de epóxido em g.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO ÓLEO DE SOJA

Os parâmetros físico-químicos do óleo de soja usado e do óleo de soja refinado estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da matéria-prima.

Parâmetros	Óleo de soja usado	Óleo de soja refinado	Padrões Anvisa^{1,2}
Aspecto	Amarelo límpido	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,090	0,079	≤ 0,1
Cinzas (%)	0,05	0,06	---
Densidade (g/cm³)	0,916	0,956	0,919 - 0,925
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,420	0,118	≤ 0,6
Índice de iodo (g I₂/100g óleo)	154,0	127,8	120 - 139
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,15	0,12	≤ 10
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	181,5	179,6	189 - 195
Índice de peróxido (meq/Kg)	0,050	0,007	≤ 10
Massa molar aproximada (g/mol)	927	937	---
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm²/s)	27,3	29,7	---

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021; ¹BRASIL, 2021; ²BRASIL, 2006.

Comparando as características do óleo de soja residual com as do óleo de soja refinado, os dois óleos apresentaram a porcentagem de umidade e voláteis abaixo do limite determinado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). O teor de umidade e voláteis indica a quantidade de água presente nos dois óleos analisados, essa água é que propicia a

formação de sabão (MARCHETTI, 2005). Vemos que o óleo residual usado na fritura contém mais água que óleo de soja refinado. Este método determina o percentual de água e de qualquer outro material orgânico contido na amostra que evapora até 130 °C.

O teor de cinzas, após queima da amostra em forno mufla, tem por finalidade a avaliação do teor de substâncias inorgânicas presentes no óleo de soja na amostra do óleo residual. O teor de cinzas foi de 0,05 g/ml, já no óleo de soja refinado ou comercial foi de 0,06 g/ml.

A densidade dos óleos analisados, tanto o óleo residual quanto o óleo de soja refinado, está fora do limite ou dos padrões da ANVISA. No óleo residual, a densidade está abaixo do limite e a densidade do óleo de soja está acima dos padrões da ANVISA (BRASIL, 2006). A densidade é caracterizada da seguinte maneira: quanto menor for o peso molecular dos triglicerídeos, menor será a densidade, e quanto maior for o grau de insaturação, mais denso será o óleo.

O índice de acidez do óleo residual foi de 0,420 mg de KOH por grama de óleo enquanto o do óleo de soja comercial foi 0,118 mg de KOH por gramas de óleo, contudo os dois óleos estão dentro do padrão da ANVISA (BRASIL, 2021). O óleo residual apresenta o índice de acidez maior que do óleo comercial, isso, de acordo com alguns estudos, deve-se ao estresse térmico que o óleo residual sofreu.

O índice de iodo é a medida da insaturação do óleo, pois cada dupla ligação de um ácido graxo pode incorporar dois átomos de halogênio. Por essa razão, quanto maior a insaturação do ácido graxo, maior será a sua capacidade de absorção de iodo e, conseqüentemente, maior será o índice (MORETTO; FETT, 1998; RAMAMURTHI; MCCURDY, 1993). Analisando o índice de iodo do óleo residual que foi de 154,0 g I₂/100g de óleo e do óleo de soja comercial que foi de 127,8 g I₂/100g de óleo, de acordo com a Tabela, o óleo residual está acima dos padrões previstos pela ANVISA e o óleo de soja comercial está dentro dos padrões da ANVISA. Isto pode indicar a existência de quantidades pouco maiores de ácidos graxos insaturados (ácido oléico, ácido linoléico e ácido linolênico) do que as citadas na literatura (BUCZENKO, 2002). O óleo residual consumiu mais iodo e, por isso, apresenta mais insaturações.

O óleo de soja residual apresentou teor de sabão 0,15ppm de oleato de sódio e o óleo de soja comercial seu teor de sabão foi de 0,12ppm de oleato de sódio. Os dois óleos estão de acordo com os padrões da ANVISA, que seus teores de sabão são menores que 10ppm de oleato de sódio que o padrão. Esses resultados mostram que os dois óleos analisados apresentaram uma alcalinidade baixa.

Para medir o índice de saponificação, 1 grama de óleo de soja residual consumiu 181,5mg de hidróxido de potássio e 1 grama do óleo de soja comercial consumiu 179,6mg de hidróxido de potássio. Os dois óleos apresentaram valor abaixo do padrão da ANVISA que é 189-195mg KOH/g de óleo, isso mostra que, nas duas amostras, há uma presença de água ou de ácidos graxos bem baixa. O óleo de soja residual tem valor um pouco maior, consumiu mais por ter menos água ou ácidos graxos que facilitassem a formação de sabão.

O índice de peróxido do óleo soja residual foi de 0,050meq/kg e do óleo de soja comercial foi de 0,007meq/kg, apresentando valores abaixo dos padrões da ANVISA (BRASIL, 2021), em que o óleo residual apresenta o valor maior que o do óleo de soja comercial, mostrando que esse pode se deteriorar mais rápido, porque o índice de peróxido é o método utilizado para medir o estado de oxidação de óleos e gorduras (COCHI, 2003). Os peróxidos são os primeiros compostos formados quando um óleo ou uma gordura se deteriora. A oxidação está diretamente relacionada com os ácidos graxos insaturados, pois o oxigênio atmosférico reage com as suas duplas ligações. A reação de oxidação produz peróxidos e hidroperóxidos, estes compostos produzem, por reações paralelas, outros compostos, como aldeídos e cetonas, que dão odor desagradável ao alimento (MORETTO; FETT, 1998).

A viscosidade do material pode ser definida como a propriedade física dos fluidos que caracteriza a sua resistência ao escoamento. Esta propriedade é variável nos óleos vegetais e depende do grau de instauração e do tamanho das cadeias que os compõem, podendo, também, ser influenciada pelas ramificações e pelo posicionamento de insaturações. A determinação da viscosidade nos óleos vegetais é importante e pode limitar a escolha da matéria-prima que dará origem ao biodiesel. A Viscosidade Cinemática a 40°C do óleo de soja usado foi igual 27,3(mm²/s), e a viscosidade cinemática a 40°C do óleo de soja comercial foi igual a 29,7 (mm²/s), essa diferença entre a viscosidade é influenciada pela quantidade de água presente no óleo e pelo índice de ácidos graxos, porque, quanto mais ácidos graxos presentes, maior será a viscosidade que é responsável por dificultar a fluidez .

A massa molar do óleo de soja residual foi de 927g/mol e do óleo de soja comercial foi de 937g/mol. O óleo de soja residual apresentou a massa molar menor que o óleo comercial. A massa molar do óleo foi calculada a partir do índice de saponificação, porque, a partir dessa massa molar, é calculada a quantidade de álcool e do catalisador necessária para a reação de obtenção do éster metílico.

5.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS ÉSTERES METÍLICOS

Os ésteres metílicos, também denominados de biodiesel, foram obtidos a partir da reação de transesterificação das amostras de óleo em presença de álcool e de catalisador. O rendimento da reação de obtenção dos ésteres metílicos pode ser influenciado pelo catalisador utilizado ou pelo tempo de reação, mas, para os dois ésteres, obteve-se um bom rendimento. Para o éster metílico de óleo de soja usado, o rendimento foi de 94,2%, enquanto que, para o biodiesel metílico de óleo de soja refinado, o rendimento foi de 92,7%.

Após o processo de síntese, as amostras de biodiesel foram caracterizadas de acordo com suas propriedades físico-químicas (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos dos ésteres metílicos (biodiesel).

Parâmetros	Ésteres de óleo usado	Ésteres de óleo refinado	Padrões ANP¹
Aspecto	Amarelo límpido	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,115	0,251	0,02
Cinzas (%)	0,020	0,014	0,02
Densidade (g/cm³)	0,900	0,935	0,850-0,900
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,200	0,106	≤ 0,5
Índice de iodo (g I₂/100g óleo)	125,0	136,1	Anotar
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,220	0,433	-----
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	101,5	111,2	-----
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,0410	0,0074	-----
Massa molar aproximada (g/mol)	829	776	-----
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm²/s)	5,4	5,1	3,0 – 6,0

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021; ¹BRASIL, 2014.

O teor de umidade e voláteis do éster metílico do óleo residual e do óleo de soja comercial foi acima dos padrões da ANP, sendo que a do éster metílico do óleo residual apresentou valor menor que do éster metílico do óleo de soja comercial. Esse alto valor indica que os ésteres apresentam água na sua composição, provavelmente oriunda do processo de lavagem.

Os teores de cinzas do éster metílico do óleo de soja residual, bem como do éster metílico do óleo de soja comercial, estão de acordo com o padrão da ANP (BRASIL, 2014). O éster metílico do óleo comercial apresentou teor de cinzas um pouco abaixo do éster metílico do óleo residual, mostrando, assim, que tem menos compostos inorgânicos presentes nesta amostra.

Com relação à densidade, o éster metílico do óleo de soja residual apresentou a densidade de acordo com o padrão da ANP (BRASIL, 2014), como listado na Tabela 2, já o éster metílico do óleo de soja comercial apresentou a densidade um pouco acima do padrão da ANP. Quanto maior for o grau de instauração, mais denso será o óleo e, quanto menor for o peso molecular dos triglicerídeos, menor será a densidade (CARVALHO, 2017).

O índice de acidez do éster metílico do óleo de soja residual apresentou 0,2 mg de KOH por grama de óleo, enquanto que o éster metílico do óleo de soja comercial foi 0,106 KOH/g óleo. Esses índices estão abaixo do limite estabelecido pela ANP, mas, comparando o índice de acidez com sua matéria-prima, o que mais diminuiu a acidez foi o éster metílico do óleo de soja residual.

O índice de iodo mede o número de insaturações presentes nos ésteres de ácidos graxos. O índice de iodo do éster metílico do óleo de soja usado foi 125 g I₂/ 100g de óleo, e, com relação a sua matéria-prima, houve uma diminuição das insaturações. Já no éster metílico do óleo de soja comercial, houve um aumento das insaturações em relação a sua matéria-prima, pois o óleo comercial teve o índice de iodo 127,8 g I₂/ 100g de óleo e o éster metílico teve o índice de iodo de 136,1 g I₂/ 100 g de óleo. No Brasil não se tem um limite máximo estabelecido, por isso a legislação ANP manda anotar o valor encontrado.

O teor de sabão foi igual a 0,220ppm de oleato de sódio para o éster metílico do óleo de soja residual e o teor de sabão do éster metílico do óleo de soja comercial foi 0,433ppm de oleato de sódio, indicando uma quantidade muito pequena de sabão presente nas amostras, provavelmente oriunda do processo de lavagem. Os ésteres metílicos apresentaram uma alcalinidade superior que nas suas matérias-primas, provavelmente devido aos resíduos do catalisador alcalino.

O índice de saponificação do éster metílico do óleo de soja residual foi 101,5 mg de KOH/g de óleo, e o índice de saponificação do éster metílico do óleo de soja comercial foi 111,2 mg de KOH/g de óleo, são valores considerados bons. Não é considerada uma propriedade fundamental segundo a ANP, aparecendo a denominação anotar, isto porque esses valores mudam devido às diferentes matérias-primas utilizadas no preparo de biodiesel. Para Lozano (1996), esse parâmetro é útil para calcular a massa molar da gordura e da adulteração por outros óleos com índices de saponificação diferentes. Nos ésteres metílicos, esta caracterização mostra a presença de ácidos graxos que não foram transesterificados.

Em relação ao índice de peróxido, verificou-se que, para o éster metílico do óleo de soja residual, ele foi igual a 0,0410 meq/kg, e, para o éster metílico do óleo de soja comercial, foi 0,0074 meq/kg, comparando mesmo com valores baixos. Os peróxidos são os primeiros compostos a serem formados quando o óleo se deteriora, logo o éster metílico do óleo residual apresenta o índice de peróxido um pouco maior que o éster metílico do óleo de soja comercial, o que demonstra que ele pode se deteriorar mais rápido.

A massa molar do éster metílico proveniente do óleo de soja residual foi de 829 g/mol e a massa molar do éster metílico do óleo de soja comercial foi de 776 g/mol. Comparando as massas molares dos ésteres com as massa molares das amostras de óleo, verifica-se que houve uma diminuição nestes valores, mostrando que na reação de transesterificação retirou-se algumas interações moleculares, reduzindo-se o peso molecular.

A viscosidade nos óleos pode favorecer as propriedades de lubrificidade do biocombustível, entretanto valor elevado para este parâmetro pode gerar um produto fora das especificações, mesmo quando estes são submetidos à reação de transesterificação. A viscosidade expressa a resistência oferecida pelo biodiesel ao escoamento. Seu controle visa garantir um funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível, além de preservar as características de lubrificidade do biodiesel. Comparando a viscosidade do éster metílico com a de suas matérias-primas, houve uma diminuição significativa na sua viscosidade cinemática, a do óleo usado era de 27,3(mm²/s). Depois da transesterificação, sua viscosidade passou a ser 5,4(mm²/s) e, no óleo de soja comercial, a viscosidade cinemática era de 29,7 (mm²/s), o seu éster metílico foi igual a 5,1 (mm²/s) e os dois estão de acordo com padrões da ANP, já que a viscosidade deve ficar entre 3,0 e 6,0 mm²/s, e esses valores mostram que a reação de transesterificação foi eficiente. Essa diminuição da viscosidade foi devido à retirada dos ácidos graxos presentes no óleo. A viscosidade do biodiesel aumenta com o comprimento da cadeia carbônica e com o grau de saturação (SOUZA, 2017).

5.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS BIOLUBRIFICANTES

Uma reação importante para a indústria oleoquímica é a epoxidação, que ocorre nas posições insaturadas presentes nas moléculas dos triglicerídeos dos óleos vegetais, sendo os produtos formados substratos mais reativos. A reação de epoxidação dos ésteres metílicos oriundos do óleo de soja usado e do óleo de soja comercial, utilizando o ácido peracético 15%, possibilitou a obtenção de epóxidos (biolubrificantes). A reação de epoxidação ocorreu com um bom rendimento. Para o epóxido metílico do óleo de soja usado, obteve-se 92,7% de rendimento e, para o epóxido metílico de óleo de soja refinado, o rendimento foi de 93,6%, mostrando que a reação foi eficiente.

Os epóxidos metílicos (biolubrificantes) foram caracterizados de acordo com suas propriedades físico-químicas (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos dos epóxidos (Biolubrificantes).

Parâmetros	Epóxido metílico de óleo usado	Epóxido metílico de óleo refinado
Aspecto	Amarelo	Alaranjado
Umidade e Voláteis (%)	0,6	0,8
Cinzas (%)	0,022	0,015
Densidade (g/cm ³)	0,956	0,950
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	1,847	1,784
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	299,2	250,9
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	15,9	19,5
Índice de peróxido (meq/Kg)	0,50	0,01
Índice de hidroxila (mg KOH/ g óleo)	23,4	20,7
Oxigênio oxirano (%)	9,2	10,7
Massa molar aproximada (g/mol)	563	670
Viscosidade cinemática a 40°C (mm ² /s)	10,5	9,8

Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

De acordo com a ANP, a coloração não é característica de qualidade, é influenciada

pelo óleo base, no entanto a variação da cor pode indicar o início de contaminação ou oxidação (MOREIRA, 2017). O epóxido metílico do óleo de soja residual apresentou coloração amarelo enquanto o epóxido metílico do óleo de soja comercial apresentou coloração alaranjada.

A umidade e voláteis para o epóxido metílico do óleo de soja residual foi de 0,6% e do epóxido metílico do óleo de soja comercial 0,8%. Em comparação do éster metílico, houve um aumento na umidade do epóxido metílico. Isso mostra que o biolubrificante apresenta um pouco mais de umidade ou voláteis que pode se evaporar até uma temperatura de 130° C.

O teor de cinzas para o epóxido do óleo de soja residual foi igual a 0,022% e para o epóxido de óleo de soja comercial foi de 0,015%, assim o segundo apresentou menos compostos inorgânicos.

A densidade encontrada no epóxido do óleo de soja residual (0,956 g/cm³) foi maior que a do éster metílico (0,900g/cm³), e a densidade encontrada no epóxido do óleo de soja comercial (0,950 g/cm³) também foi maior que a do éster metílico (0,936 g cm³). A densidade tende a aumentar linearmente com o aumento do teor de epóxido (NAKAMURA et al., 1998).

Se compararmos o índice de acidez do éster metílico com o do biolubrificante, verifica-se que houve um aumento considerável, pois o biolubrificante do óleo de soja residual foi igual a 1,847 mg KOH/g óleo, enquanto o do éster metílico, foi 0,200 mg KOH/g óleo. O biolubrificante proveniente do óleo de soja comercial foi 1,784 mg KOH/g óleo, e o éster metílico foi de 0,106 mg KOH/g óleo, isso mostra que houve um aumento de ácidos livres sendo mais KOH para neutralizar estes ácidos, que requer uma quantidade maior de KOH para neutralizar os ácidos livres em 1 grama de óleo.

O índice de saponificação do biolubrificante do óleo de soja residual foi 299,2 mg KOH/g óleo e do biolubrificante do óleo de soja comercial 250,9 mg KOH/g óleo, isso mostra que o biolubrificante do óleo residual tem menos impureza saponificável que o o biolubrificante de óleo de soja comercial, além de que o índice de saponificação dos biolubrificantes foi maior porque precisou de uma quantidade de KOH a mais que os ésteres.

Os resultados da Tabela 3 mostram que o índice de iodo, usado para o monitoramento das reações de epoxidação e de abertura dos anéis oxiranos (MORETTI, 2007), sofreu uma redução significativa para o biolubrificante do óleo usado de 125,0 g I₂/ 100 g óleo (éster metílico de óleo usado) para 15,9 g I₂/ 100 g de óleo, indicando que houve uma diminuição no número de ligações duplas, provavelmente devido à formação de anéis oxiranos. Já o éster metílico do óleo comercial foi igual 136,1 (g I₂/100g óleo), diminuindo para 19,5 (g I₂/100g óleo) no seu respectivo biolubrificante.

Se compararmos os índices de peróxidos dos ésteres metílicos de óleo usado com o do óleo comercial com biolubrificantes dos dois, verifica-se que o biolubrificante apresenta o índice de peróxido maior, o índice de peróxido do biolubrificante do óleo de soja usado foi igual a 0,50 (meq/Kg), já o índice de peróxido do biolubrificante do óleo de soja foi igual a 0,01 (meq/Kg). Os peróxidos são os primeiros a se formarem na deterioração do óleo, então o biolubrificante do óleo de soja usado está mais propício a se deteriorar mais rápido que o biolubrificante do óleo de soja comercial.

A porcentagem em oxigênio oxirano para o biolubrificante do óleo de soja residual foi igual a 9,2% e do biolubrificante do óleo de soja comercial igual a 10,7%, mostrando que o oxigênio fez as ligações, formando os anéis oxiranos, o oxigênio é inserido nas insaturações transformando-se em epóxido. As porcentagens de 9,2% e 10,7% mostram também que a reação foi um sucesso, na medida em que as porcentagens de oxigênio oxirano devem ser superiores a 6,3% (BALTACIOGLU; BALKOSE, 1999; PARREIRA, 2003).

Comparando-se a massa molar dos biolubrificantes com a dos ésteres metílicos e suas matérias-primas, houve uma diminuição significativa.

O índice de hidroxila foi utilizado para determinar se ocorreu a hidrólise do anel oxirano. Como pode ser observado na Tabela 3, o índice de hidroxila foi de 23,4 mg KOH·/ g óleo e 20,7 4 mg KOH·/ g óleo para os epóxidos do óleo residual e do óleo comercial, respectivamente, é indicativo de que há hidroxilas nestes epóxidos formados. Isso se deve ao fato da elevada concentração do ácido peracético, utilizada para a reação de epoxidação. Dessa forma, soluções de ácido peracético muito concentradas geram uma maior quantidade de ácido acético como um dos produtos da reação de epoxidação que está forçando a hidrólise dos epóxidos, gerando os compostos dihidroxilados.

O aumento da viscosidade cinemática dos epóxidos em relação aos ésteres metílicos é um indicativo da confirmação da reação de conversão das ligações duplas em anéis oxiranos. Provavelmente, este valor de viscosidade pode estar ainda maior devido à presença das hidroxilas, formadas pela hidrólise dos anéis oxiranos. As ligações de hidrogênio formadas entre as hidroxilas de diferentes moléculas desse composto dificultam o escoamento do epóxido e aumentam a viscosidade. Em virtude disso, a viscosidade do éster metílico foi de 5,4 mm²/s e, depois da reação de epoxidação, a viscosidade cinemática a 40°C passou a ser igual a 10,5mm²/s, e a viscosidade do éster metílico do óleo comercial foi igual a 5,1mm²/s. Depois da reação de epoxidação, passou ser igual a 9,8 mm²/s.

6. CONCLUSÕES

Analisando os óleos de soja residual e óleo comercial e fazendo a comparação de suas características físico química, os dois são ótimas matérias-primas para obtenção de biodiesel e de biolubrificante e do subproduto o glicerol que tem diferentes aplicações na indústria. Essa comparação mostrou que há pouca diferença nos parâmetros analisados, evidenciando que o óleo refinado depois de usado no processo de fritura, então, poder ser reciclado o óleo de soja residual, que seria descartado de maneira incorreta no meio ambiente, trazendo prejuízos para a natureza, como contaminação de solos e da água dos rios e dos lagos, sendo uma excelente matéria-prima para produzir biodiesel e consequentemente o biolubrificante.

De acordo com os parâmetros analisados, tanto do éster metílico do óleo de soja usado quanto do óleo de soja comercial, a densidade do EMOSU está de acordo com padrões da ANP. No EMOSC, a densidade está um pouco acima do padrão ANP, porém o teor de cinzas e o índice de acidez estão de acordo com padrões da ANP. Os parâmetros que a ANP pede para anotar, como índice de iodo, teor de sabão, índice de saponificação, índice de peróxido, massa molar, não adotam um padrão. A reação de transesterificação foi eficiente quando analisamos a viscosidade OSRU que foi de 27,3 mm²/s e, no EMOSRU, passou a ser de 5,4 mm²/s,

Na comparação do epóxido metílico do óleo de soja usado com o epóxido metílico do óleo comercial, a reação de epoxidação também foi eficiente. Analisando o índice de iodo que, no éster metílico do óleo usado, foi de 125 gI₂/ 100g de óleo e, no éster metílico do óleo comercial, foi de de 136,1gI₂/ 100g de óleo, observa-se que ele passou a ser de 15,9 e 19,5 g I₂/100g de óleo, respectivamente. O aumento da viscosidade cinemática a 40 °C em relação ao éter foi devido à formação de hidroxilas no epóxido.

Assim, este projeto de pesquisa foi desenvolvido com o objetivo de sintetizar um biolubrificante renovável a partir de óleo de soja residual e comparar suas propriedades com o biolubrificante obtido com o óleo de soja comercial, visando minimizar impactos para os diferentes ecossistemas.

7. REFERÊNCIAS

- BARBOSA, G. N.; PASQUALETTO, A. *Aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de éster metílico*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Católica de Góias, 2007.
- BARTHICHOTO, M.; MATIAS, A. C. G.; SPINELLI, M. G. N.; ABREU, E. S. Responsabilidade ambiental: perfil das práticas de sustentabilidade em unidades produtoras de refeições de Higienópolis, São Paulo. *Qualitas Revista Eletrônica*, v.14, n.1, 2013.
- BRASIL. ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP Nº 45 DE 25/08/2014. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes económicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Seção 1. Brasília, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 49 de 22 de dezembro de 2006. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Óleos Vegetais Refinados; a Amostragem; os Procedimentos Complementares; e o Roteiro de Classificação de Óleos Vegetais Refinados. Diário Oficial da União, Seção 1. Brasília, 2006.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Nº 87 de 15 de Março de 2021. Estabelece a lista de espécies vegetais autorizadas, as designações, a composição de ácidos graxos e os valores máximos de acidez e de índice de peróxidos para óleos e gorduras vegetais. Diário Oficial da União, edição 51, Seção 1, p. 261. Brasília, 2021.
- BREVES, R. *A modificação química dos óleos da polpa e da amêndoa da macaúba (acrocomia aculeata (jacq.) lood. ex mart) para a obtenção de epóxidos*. Laboratório de Pesquisa em Polímeros e Nano-materiais. UNB. 2018.
- BUCZENKO, M.; OLIVEIRA J.; MEIEN, O. Caracterização físico-química do subproduto obtido durante a desodorização do óleo de soja. *Ceppa*, v. 20, n. 1, p. 55-64, 2002
- COSTA NETO, P. R. C.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. *Química Nova*, v.23, n. 4, p. 531-537, 2000.
- CVENGROS, J.; CVENGROSOVA, Z. Used frying oils and fats and their utilization in the

- production of methyl esters of higher fatty acids. *Biomass and Bioenergy*, v. 27, n. 2, p. 173-181, 2004.
- D'ARCE, M. A. B. R. O processamento industrial do óleo vegetal e do farelo. *Revista Visão Agrícola*, v.5, p. 140-141, 2006.
- DE SOUSA, Raquel Machado; LABIDI, Sofiane; LEOCADIO, Jailson Nunes. Aplicação de RNAs para Predição de Índice de Viscosidade: uma avaliação da qualidade de biodiesel. In: **Anais do VIII Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais**. SBC, 2017.
- DEMIRBAS, A. Comparison of transesterification methods for production of ester metílico from vegetable oils and fats. *Energy Conversion and Management*, v. 49, p.125–130, 2008.
- EREDA, T. *Epoxidação de óleos vegetais, visando a obtenção de lubrificantes industriais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2004.
- FARIAS, M. *Síntese, caracterização de catalisadores e estudo de suas atividades catalíticas na epoxidação de óleos vegetais*. Dissertação de Mestrado, 2010.
- FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, v.28, n.1, p.19-23, 2005.
- FILHO, R. C.; JUNIOR, D. M.; MORAES, M. S.; SANTOS, A. R. Propriedades Físicas de Óleos Lubrificantes Minerais e Vegetais e Avaliação de Desgastes por Four Bal. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.5, p. 154- 163, 2016
- FREEDMAN, B. Transesterification Kinetics of Soybean Oil. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, v. 63, p. 1375-1380, 1986.
- GARCIA, C. M. *Transesterificação de óleos vegetais*. Dissertação (Mestrado em Química). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- GOUD, V. V.; PRADHAN, N. C.; PATWARDHAN, A. V. Epoxidation of karanja (*Pongamia glabra*) oil by H₂O₂. *Journal of American Oil Chemist's Society*, v. 83, n.7, 2006.
- HWANG, H. S.; ADHVARYU, A.; ERHAN, S. Z. Preparation and properties of lubricant basestocks from epoxidized soybean oil and 2-ethylhexanol. *Journal of American Oil Chemist's Society*, v.80, n.8, p.811-815, 2003.

IMBELLONI, L. E. Densidade relativa de uma solução: desmistificando conceitos. *Rev. Bras. Anesthesiol.*, v. 57, n. 3, 2007.

KUCEK, K. T. **Otimização da transesterificação etílica do óleo de soja em meio alcalino.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica) – Curso de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LATHI, P. S; MATTIASSON, B. Green approach for the preparation of biodegradable lubricant base stock from epoxidized vegetable oil. *Applied Catalysis B: Environmental Science*, v.69, n.5, p.207-212, 2007.

LIMA, L. V. C.; OLIVEIRA, P. R.; GUERRERO, P. G.; SANTOS, E. H.; VIESSER, R. V.; COSTA NETO, P. R. Síntese de ácido peracético para produção de potenciais biolubrificantes. *Anais do XVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR*, Ponta Grossa, 2011.

MORET, A. S. Geração de Eletricidade e Qualidade de Vida: Análise De Um Sistema Aplicado. *Desarrollo local sostenible*, n. 14, 2012.

MORETTO, E.; FETT, R. *Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos.* São Paulo: Varela, 1998.

PELANDA, F. M. **Obtenção e caracterização de lubrificantes a partir de óleo de fritura e óleo de soja refinado.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Química Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

PIANOVSKI JÚNIOR, G. **Utilização de misturas de óleo diesel e ésteres etílicos de óleo de soja como combustíveis alternativos:** Análise do desempenho e do processo de combustão no motor diesel. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2002.

RAMAMURTHI, S.; McCURDY, A. R. Enzymatic pretreatment of deodorizer distillate for concentration of sterols and tocopherols. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 70, n. 3, p. 287-295, 1993.

RAMOS, L.P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de Produção de Biodiesel. *Revista Virtual Química*, v. 9, n.1, p.317-369, 2017.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U. Síntese de éster metílico: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de

química geral. *Química Nova*, v.30, n.5, p.1374-1380, 2007.

SALIMON, J.; SALIH, N.; ABDULLAH, B. M. Improvement of physicochemical characteristics of monoepoxide linoleic acid ring opening for biolubricant base oil. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, v. 20, p.1-8, 2011.

SANTOS, E. H. *Síntese e caracterização de biolubrificantes a partir do óleo de soja refinado*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

SCHUCHARDT, U; SERCHELI R; VARGAS, R. M. Transesterification of vegetable oils: a review. *Journal Brazil Chemistry Society*, 1998.

WU, X.; ZHANG, X.; YANG, S.; CHEN, H.; WANG, D. The study of epoxidized rapeseed oil used as a potential biodegradable lubricant. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 77, n. 5, p. 561-563, 2000.