

EDUCAÇÃO CIÊNCIA E SAÚDE
<http://dx.doi.org/10.20438/ecs.v8i2.409>

EPOXIDAÇÃO METÍLICA DO ÓLEO DE MAMONA PARA SÍNTESE DE BIODIESEL E BIOLUBRIFICANTE

Higor Henrique Farias¹, Andrew Diego Medeiros Macedo¹, Júlia Daniela Ferreira Ramos¹, José Carlos Oliveira Santos²

¹ Curso de Licenciatura em Química, Unidade Acadêmica de Biologia e Química, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil.

² Professor da Unidade Acadêmica de Biologia e Química, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, Brasil.

Email para correspondência: jose.oliveira@professor.ufcg.edu.br

Resumo

As pesquisas voltadas para o desenvolvimento de alternativas na produção de energia a partir de matéria orgânica de origem animal e vegetal, a biomassa, tem ganhado interesse nos últimos anos, devido ao cenário de escassez do petróleo e pelas mudanças climáticas. Sintetizar biolubrificantes (lubrificantes biodegradáveis) a partir de recursos renováveis por epoxidação é uma alternativa sustentável frente à química convencional, que se baseia no uso de insumos fósseis, gera resíduos tóxicos e causa impactos ambientais adversos. Este trabalho consistiu na produção de biolubrificantes a partir do óleo de mamona utilizando a transesterificação do óleo, seguido da epoxidação metílica do éster. Os materiais envolvidos no processo foram caracterizados através de suas propriedades químicas e físico-químicas. Em relação ao processo de processo de epoxidação, mostrou-se eficiente, pois o produto dessa reação apresentou propriedades físico-químicas adequadas aos lubrificantes. Desta forma, a produção de lubrificantes biodegradáveis pode ajudar de forma significativa na diminuição do impacto ambiental do uso de materiais fósseis para produção de lubrificantes, bem como do aproveitamento de material da biomassa da região nordeste. Evidenciando a aplicação da síntese que atende princípios da química verde, além do uso de um óleo vegetal não comestível e o aproveitamento da biomassa residual. A produção de biolubrificante por epoxidação metílica do óleo de mamona é uma abordagem que atende as demandas tecnológicas atuais por desenvolvimento eficiente de processos e produtos sustentáveis.

Palavras-chave: óleo de mamona, biomassa, meio ambiente.

Abstract

Research aimed at developing alternatives in energy production from organic matter of animal and vegetable origin, biomass, has gained interest in recent years, due to the scenario of oil shortages and climate change. Synthesizing biolubricants (biodegradable lubricants) from renewable resources by epoxidation is a sustainable alternative to conventional chemistry, which is based on the use of

fossil inputs, generates toxic wastes, and causes adverse environmental impacts. This work consisted of the production of biolubricants from castor oil using the transesterification of the oil, followed by the methyl epoxidation of the ester. The materials involved in the process were characterized through their chemical and physicochemical properties. Regarding the epoxidation process, it proved to be efficient, as the product of this reaction showed physicochemical properties suitable for lubricants. Thus, the production of biodegradable lubricants can significantly help to reduce the environmental impact of using fossil materials to produce lubricants, as well as the use of material from biomass in the Northeast region. Evidencing the application of the synthesis that meets the principles of green chemistry, in addition to the use of non-edible vegetable oil and the use of waste biomass. Biolubricant production by methyl epoxidation of castor oil is an approach that meets today's technological demands for the efficient development of sustainable processes and products.

Keywords: castor oil, biomass, environment.

1 Introdução

No contexto histórico os primeiros óleos lubrificantes que foram utilizados pelos seres humanos foram os óleos de origem animal e vegetal. No século XIX, aos poucos esses óleos foram substituídos por lubrificantes derivados do petróleo, esses que são denominados óleos minerais. Logo, os óleos derivados do petróleo estão sendo substituídos por óleos sintéticos (obtidos através de reações químicas), devido aos padrões de qualidade e eficiência cada vez mais rigorosos, nem sempre alcançados pelos óleos minerais convencionais, e aos requisitos mais restritos, impostos pelas legislações ambientais (BONDIOLI et al., 2003).

A dimensão dos problemas ambientais tem despertado o interesse no desenvolvimento de pesquisas com derivados da biomassa (KLEINAITÉ; JASKA, 2014), com uma ênfase e atenção especial a proteção do meio ambiente contra a poluição causada por lubrificantes de origem mineral, especial em áreas onde os mesmos podem oferecer perigo ao meio ambiente.

Lubrificantes são geralmente compostos por uma quantidade majoritária de um óleo base, acrescido por uma quantidade de aditivos para conferir uma característica desejada. O alto consumo global dos lubrificantes derivados dos óleos minerais e sua necessidade de substituição fez crescer a pesquisa acerca do uso dos óleos vegetais na produção de biolubrificantes, que são uma ótima saída para substituir aos lubrificantes derivados do petróleo. Os biolubrificantes, devido a sua composição química, são biodegradáveis. Por sua vez, são substâncias que têm a capacidade de se decompor, em um

hidroxila presente no ácido ricinoléico confere, ao óleo de mamona, a propriedade exclusiva de solubilidade em álcool. Além disso, deve se ressaltar também que o óleo de mamona possui três pontos de funcionalidade na molécula, conforme estrutura da Figura 1, que são: o grupo carbóxico, que pode ser acetilado ou removido por desidratação para que aja o aumento a insaturação e conferir a característica de um óleo semi-secante (CANGEMI et al., 2010; OGUNNIYI, 2006).

Os lubrificantes têm como função efetuar o controle de temperatura, proporcionando maior quantidade de energia para o sistema, protegendo contra a corrosão decorrente dos processos de oxidação (SANTOS et al., 2017). Segundo Hilsdorf (2004), os lubrificantes de origem fóssil são formulados a partir de um óleo base e de aditivos químicos. Tem se observado ainda, que apenas um quarto dos lubrificantes fósseis produzidos no mundo é reciclado, gerando uma quantidade gigantesca de resíduos tóxicos à natureza (BRASIL, 2005; SALIMON et al., 2010; SANTOS, 2018).

Os lubrificantes são utilizados entre duas superfícies em movimento relativo para formar uma película entre elas que reduz o atrito e conseqüentemente a geração de calor, aumentando a vida útil de seus componentes (SALIMON et al., 2011). No entanto, dependendo de sua aplicação podem exercer também a função de refrigeração, limpeza de partes móveis, vedação, isolamento, proteção, transmissão de força mecânica e até transferência de determinadas características físico-químicas a outros produtos, sendo muito utilizados em máquinas e como óleos para corte (SANTOS et al., 2019). Devido aos riscos de contaminação ao meio ambiente que podem causar, estão sendo desenvolvidos lubrificantes biodegradáveis sintéticos como alternativa para os lubrificantes convencionais provenientes do petróleo (SALIMON et al., 2011). Razões ambientais e econômicas levam a utilização de óleos vegetais como lubrificantes após modificações químicas apropriadas. Esses produtos apresentam desempenho semelhante aos lubrificantes tradicionais e apresentam as vantagens de serem oriundos de matérias-primas renováveis, menos tóxicos e mais fáceis de serem degradados no meio ambiente (EREDA, 2004).

Os biolubrificantes provenientes de óleos vegetais são formados pela junção entre as moléculas de ácidos graxos de cadeia longa e do glicerol

(triglicerídeos). Os triglicerídeos naturais são facilmente biodegradados e apresentam elevada eficiência de lubrificação, contudo, apresentam limitada estabilidade térmica e oxidativa (LATHI; MATTIASSON, 2007; SALIMON et al., 2011). Para que tais características sejam atribuídas aos lubrificantes de origem vegetal, modificações químicas devem ser empregadas como a reação de transesterificação (Figura 2) e de epoxidação (Figura 3).

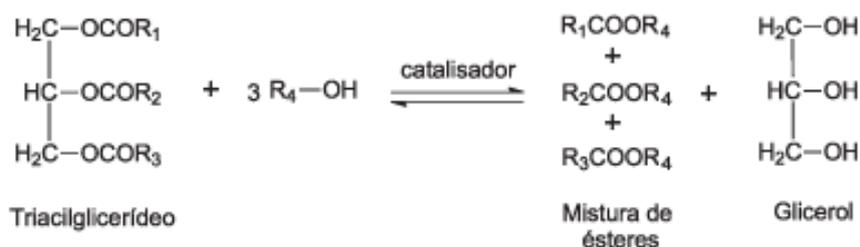


Figura 2. Esquema geral da reação da transesterificação de óleos.

Fonte: Geris et al. (2007).

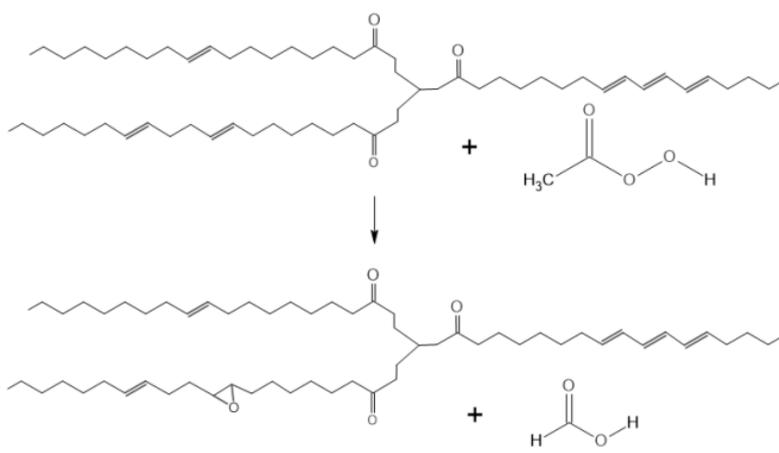


Figura 3. Esquema geral da reação da epoxidação de óleos com ácido peracético.

Fonte: Luís (2021).

A transesterificação mostra-se como uma opção para melhorar o desempenho dos óleos vegetais como combustíveis, sendo um processo simples, cujo produto denominado de éster alquílico, tem características similares ao óleo diesel obtido do petróleo (CONCEIÇÃO et al., 2009). Segundo Machado (2012), a transesterificação, também chamada de alcólise, é outra maneira de transformar triacilglicerídeos em biocombustível, onde através deste método, os óleos e gorduras são convertidos em uma mistura de

monoésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerina. A reação dos triacilglicerídeos com um monoálcool, se processa na presença de catalisador, normalmente um ácido ou base de Brønsted. É a reação em que um éster é transformado em outro através da troca de grupos alcóxidos, sendo um processo em que o triglicerídeo reage com um álcool de cadeia curta como o metanol ou o etanol em excesso na presença de um catalisador ácido ou alcalino produzindo uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos e glicerol (MARCHETTI, 2005).

A epoxidação de óleos vegetais tem sido utilizada na obtenção de lubrificantes biodegradáveis conferindo a estes uma maior estabilidade térmica é uma reação de importância comercial porque os epóxidos provenientes dessas matérias-primas e do oleato de metila, produto da transesterificação deles, têm aplicações como materiais plastificantes e estabilizadores de polímeros (GOUD et al., 2006). As matérias graxas podem ser epoxidadas na forma de ésteres (principalmente ésteres metílicos), ácidos graxos ou triglicerídeos, dando epóxidos, que, por sua vez, podem ser utilizados para obtenção de diversos derivados (éter-álcoois, hidroxí-ésteres, éster-álcoois, entre outros. A epoxidação consiste na reação de um composto insaturado com um perácido. Dependendo da força do ácido, o anel oxirânico pode ser aberto, já que o epóxido é mais reativo que os ésteres por conta da tensão do anel (EREDA, 2004). A epoxidação de derivados de óleos vegetais mais limpas, eficientes e viáveis são as duas primeiras. Em escala industrial é utilizada a epoxidação com ácidos percarboxílicos (NUNES et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi sintetizar biolubrificantes a partir do óleo de mamona por meio de reações de transesterificação e epoxidação metílica.

2 Material e Métodos

2.1 Materiais

O óleo de rícino, ou óleo de mamona, é extraído da semente da mamona, sendo o principal produto derivado da mamoeira (*Ricinus communis L.*), que corresponde a aproximadamente 50% do total da semente. O óleo de mamona que foi utilizado durante o procedimento experimental foi produzido por indústria brasileira e adquirido no comércio local, onde de acordo com as

informações do fabricante, contém alta concentração de ácido ricinoléico (entre 80-90%). As amostras foram coletadas, purificadas e submetidas ao processo de transesterificação e de epoxidação.

2.2 Transesterificação do Óleo de Mamona

Para obtenção dos ésteres metílicos, inicialmente foi feito um cálculo da massa molar do óleo de mamona a partir do seu índice de saponificação. Com o conhecimento dessa massa, foram calculadas as quantidades de álcool (metanol) e de catalisador (KOH) que foram adicionadas ao óleo de mamona, mantendo sempre a temperatura abaixo de 60°C durante 1 hora. Na Figura 4, pode-se observar o sistema reacional para produção do biodiesel, onde foram colocados 500 g de óleo de mamona, 130 mL de metanol e 3,5 g do catalisador hidróxido de potássio.



Figura 4. Produção do biodiesel pela reação de transesterificação.

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Após a reação de transesterificação, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação permitindo a separação das fases (a fase inferior é constituída de glicerol, sabões, excesso de base e álcool e a fase superior de

éster metílico, biodiesel), sendo que a mesma ficou em repouso cerca de 24 horas (Figura 5).



Figura 5. Biodiesel antes e depois da separação de fases.

Fonte: Dados da Pesquisa, 2020.

Após o repouso, a parte inferior foi retirada e armazenada em um recipiente, e a parte superior foi lavada com água destilada e solução de ácido clorídrico 0,01N, sendo que para verificar a eficiência da lavagem foi usado fenolftaleína. Para retirar o metanol e a água presente no éster usou-se um agitador magnético com aquecimento.

2.3 Epoxidação do Éster do Óleo de Mamona

A mistura do éster metílico provinda do óleo de mamona e o ácido peracético 15% ficaram sob agitação e aquecimento a 45°C em um banho de água e gelo por uma hora (Figura 6a). Após o término da reação, a mistura foi transferida para um funil de separação (Figura 6b), onde se retirou a fase inferior (ácido acético), e a fase superior (epóxido, biolubrificante) foi lavada com de bicarbonato de sódio 10%. A fim de remover a água residual, foi adicionado sulfato de magnésio anidro a um erlenmeyer contendo o epóxido obtido de óleo

de mamona, o mesmo foi agitado vigorosamente durante 5 minutos e em seguida mantendo-se em repouso durante 30 minutos.

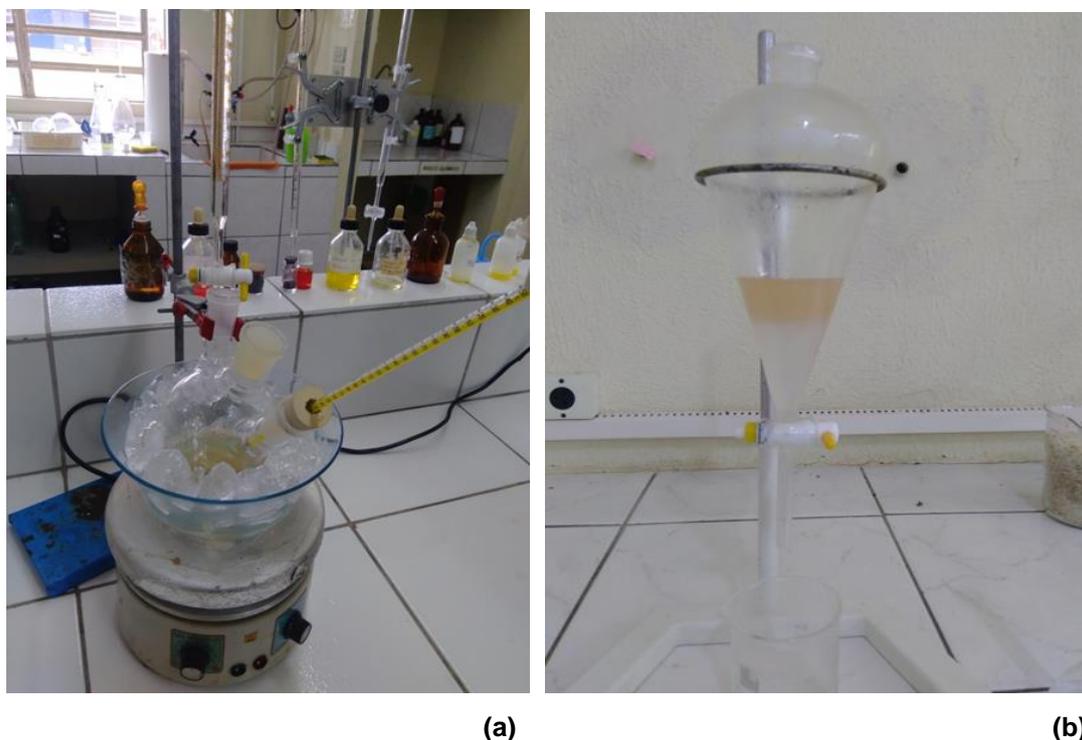


Figura 6. Processo de produção do biolubrificante pela reação de epoxidação.

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

2.4 Caracterização Físico-Química

O óleo de mamona foi caracterizado mediante índice de acidez (AOCS Cd3d-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, densidade relativa, teor de cinzas, teor de umidade e voláteis (AOCS Da-2a-48), viscosidade (WU et al., 2000).

Os procedimentos adotados para caracterizar o éster metílico obtido após a transesterificação foram os mesmos utilizados para caracterizar o óleo de mamona (WU et al., 2000).

O epóxido de éster metílico de óleo de mamona foi caracterizado por meio dos índices de iodo (AOCS Cd 1-25), hidroxila (AOCS Cd 13-60) e oxigênio oxirano (ASTM D 1652-97), densidade relativa, teor de cinzas, viscosidade, teor de umidade e voláteis (AOCS Da-2a-48) (WU et al., 2000).

Todas as análises foram feitas em duplicata.

3 Resultados e Discussão

Após a realização do processo de coleta do óleo de mamona foram realizadas como consequente a sua caracterização físico-química. A Tabela 1 a seguir evidencia os resultados obtidos.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do óleo de mamona.

Propriedades	Valores Obtidos	Padrões ANVISA
Índice de Iodo (g I ₂ /100g óleo)	75,22	120 – 139
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,513	≤ 10
Índice de Acidez (mg KOH/g)	3,034	≤ 0,6
Índice de saponificação (mg KOH/g)	196,3	189 – 195
Teor de Umidade e Voláteis(%)	0,34	≤ 0,1
Aspecto	marrom límpido	Límpido e isento de impurezas
Densidade (g/cm ³)	0,9611	0,919 - 0,925
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,652	≤ 10
Massa molar aproximada (g/mol)	857	---
Cinzas (%)	0,073	---
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	75,9	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ao avaliar os resultados, alguns parâmetros não são delimitados pela ANVISA (BRASIL, 2006), estes são: teor de umidade, que nesse relatório obtivemos o valor de 0,34%, teor de sabão de 0,652 ppm de oleato de sódio, massa molar aproximada de 857 g/mol, cinzas em 0,073%. O índice de iodo observado foi de 72,22 g I₂/100g óleo, o mesmo trata-se da medida de insaturação que classifica óleos, gorduras e é utilizado como controle de alguns processamentos, se baseando no fato de que iodo e outros halogênios se

adicionam numa dupla ligação da cadeia insaturada dos ácidos graxos, o valor obtido então foi considerado baixo, isto, levando em consideração que os valores estão fora da faixa do que é estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Os valores encontrados de índice de acidez 3,034 mg KOH/g e da densidade 0,96 g/cm³, estão acima quando comparados com os valores da ANVISA e o índice de saponificação de 196,3 mg KOH/g um pouco abaixo. O aspecto do óleo está de acordo quando se compara aos parâmetros da ANVISA (BRASIL, 2006). Comparando esse resultado com a literatura voltada em especial para esse tipo de caracterização ao óleo de mamona, Firestone (2006) analisou alguns parâmetros como iodo, saponificação, umidade, acidez e índice peróxido, os valores obtidos foram respectivamente: 81-91 g I₂/100g óleo, 176-187 mg KOH/g, < 0,375 %, <1,00 mg KOH/g e <10,0 meq/kg. Nesse sentido, os resultados obtidos aqui, com exceção do índice de acidez, se aproximam do autor citado.

A reação de transesterificação usando o óleo de mamona com a presença do metanol na presença de hidróxido de potássio proporcionou a obtenção da mistura de ésteres metílicos (biodiesel). O rendimento apresentado foi em torno de 98%, que é um valor bem expressivo quando comparado a outras oleaginosas (dendê 18-20%; soja 15-17%; algodão 13-15%; moringa 20-35%), de acordo com Moreira et al. (2010). Os ésteres metílicos (biodiesel) obtidos foram caracterizados de acordo com suas propriedades físico-químicas listadas na Tabela 2.

Diferentemente do óleo de mamona, o éster metílico derivado desse óleo, apresentou índice de acidez (0,2802 mg KOH/g) abaixo do limite de 0,5 estabelecido pela Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2003), e dos valores que foram encontrados por Machado et al. (2006) e Costa et al. (2015), indicando uma pequena quantidade de ácidos graxos livres, mostrando assim um bom estado de conservação desse biodiesel, diferente de outros óleos que apresentam grandes valores para o índice de acidez. A densidade relativa encontrada para o éster metílico de óleo residual (0,923 g/cm³) indica que ela está dentro do limite estabelecido pela ANP para o diesel.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos do éster metílico de óleo de mamona.

Parâmetros	Resultados	Padrões ANP
Aspecto	Amarelo escuro límpido	Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	1,45	0,02
Cinzas (%)	0,11	0,02
Densidade (g/cm ³)	0,923	0,850-0,900
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,2802	≤ 0,5
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	63,48	Anotar
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,184	-----
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	140,3	-----
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,188	-----
Massa molar aproximada (g/mol)	613	-----
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	7,9	3,0-6,0

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

A viscosidade pode ser dita como uma propriedade física mais importante a ser realizada em um lubrificante/biolubrificante. De acordo com a ANP (ANP, 1999), ela é responsável por determinar o grau de dificuldade que um fluido tem para escoar a certa temperatura. Contudo, não pode apresentar uma viscosidade elevada que venha a oferecer resistência ao movimento entre as peças. O padrão que é estabelecido pela N° 45/2014 da ANP que está em torno de 3,0 a 6,0 (mm²/s), assim os ésteres tanto o obtido por meio de metanol quanto etanol possuem a viscosidade fora do limite. Segundo Cavalcante, quando mais alto o índice de viscosidade de um óleo lubrificante, menos é a variação de sua viscosidade ao se variar a temperatura. Na prática, é um número que indicado dependência da viscosidade cinemática em função da temperatura. O índice de saponificação do mencionado óleo, obtendo um valor

de 140,3 mg KOH/g. A resolução nº 482 da Resolução de Diretoria Colegiada – ANVISA, tem como padrão de índice de saponificação a faixa de valores entre 245 à 256 mg KOH/g de óleo. Desta forma, o óleo de mamona possui uma tendência de saponificação bem inferior ao que é adotado como referência pelo referido órgão regulador (BRASIL, 1999).

O índice de iodo é um parâmetro que é usado para prever a presença de duplas ligações em um éster de um ácido graxo. O valor referente ao iodo foi de 63,48 g I₂/100g óleo, valor bem parecido ou próximos com os valores apresentados por outras oleaginosas (andiroba 56,25 g I₂/100g óleo, dendê 45,06 g I₂/100g óleo, pequi 45,13 g I₂/100g óleo, de acordo com Melo (2014). Para o índice de peróxido o valor encontrado neste trabalho foi de 0,188 meq/Kg, comparado esse valor com outros valores encontrados na literatura, observa-se que estão parecidos ou próximos (gergelim 0,09 meq/Kg, linhaça 0,20 meq/Kg, semente de uva 0,26 meq/Kg). O teor de umidade apresentado um valor bem baixo do valor que é delimitado pela ANVISA/ RDC Nº 88 que é de máximo 10 % (m/m). O mesmo consiste na remoção dos fosfatídeos através de sua hidratação, aumentando sua densidade e, conseqüentemente, possibilitando a separação por precipitação, diminuindo impurezas que dificultam a produção do biodiesel conforme Moreira et al. (2010). Em relação ao teor de sabão, é preciso frisar que o mesmo não consta na legislação que rege a qualidade do biodiesel, sendo fixado um parâmetro de teor máximo de sódio e potássio em 5 mg/kg (0,0005%), que são usados para garantir a qualidade do biodiesel como também autorizar a comercialização ao consumidor final (DIAS, 2014). O teor de cinzas encontrados no presente trabalho foi de 0,11%, valor que está no limite estabelecido pela legislação.

Segundo a Agência Nacional de Petróleo não existe uma legislação que especifique os parâmetros no Brasil para controle de óleos básicos de fontes renováveis (biolubrificantes). Logo, para análise de parâmetros físico-químicos é necessário a utilização dos métodos descritos no anexo III da Resolução 22/2010 para lubrificantes (ANP, 2010). A reação de epoxidação usando o éster metílico do óleo de mamona na presença de ácido peracético proporcionou a obtenção do epóxido de éster metílico de óleo de mamona (biolubrificante). O rendimento ficou em torno de 94,4%, o que indica a eficiência do processo (NUNES et al., 2008). O epóxido de éster metílico de

óleo de mamona (biolubrificante) obtido foi caracterizado de acordo com suas propriedades físico-químicas listadas na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos do epóxido do éster metílico de óleo de mamona.

Parâmetros	Resultados	Padrões ANP para lubrificantes
Aspecto	Amarelo claro límpido	límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	1,5	
Cinzas (%)	0,25	0,02
Densidade (g/cm ³)	0,906	anotar
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	3,91	----
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,909	----
Oxigênio Oxirano (%)	7,41	-----
Índice de hidroxila (mg KOH/ g óleo)	28,2	----
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	9,8	9,0 a 12,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para o biolubrificante de mamona, o índice de iodo foi de 3,91 g I₂/100g, esse valor está relacionado com a quantidade de insaturação presentes nos ácidos graxos dos triglicerídeos como também a tendência à oxidação. Comparados com o valor referente ao do biodiesel, segundo consta no órgão fiscalizador e regulamentador, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP), o índice de iodo encontrado no presente trabalho encontra-se na média. A determinação do índice de peróxido se torna importante na medida em que servirá de medida com estimativa do grau de degradabilidade da matéria-prima selecionada para a obtenção do biocombustível, como também dando auxílio na aceitabilidade dos mesmos (MELO, 2010). O valor encontrado para o epóxido foi bem menor do que os resultados obtidos por Silva (2012). A análise feita do teor de umidade mostra a

quantidade de água presente na amostra, que é o fator que propicia a formação de sabão (MARCHETTI et al., 2005). A análise feita no epóxido do óleo de mamona mostrou um valor de 1,5%, teor de umidade relativamente alto. Se comparado com o valor encontrado no trabalho de Santos (2011) que foi $0,005 \pm 0,007$. O índice de hidroxila é utilizado com o intuito de determinar se aconteceu a hidrólise do anel oxirano. Como pode ser visto, o índice de hidroxila é um indicativo que há hidroxilas no epóxido. Isso se deve a elevada concentração do ácido peracético utilizado para a reação de epoxidação. Outro ponto que deve ser observado é o aumento da viscosidade cinemática do epóxido em relação ao éster metílico o que é um indicativo da reação de conversão das ligações duplas em anéis oxiranos. Desta forma, este valor de viscosidade pode estar ainda maior devido à presença das hidroxilas, formado pela hidrólise dos anéis oxiranos (SANTOS et al., 2019).

Neste trabalho, o valor obtido para a densidade do epóxido foi de $0,906 \text{ g/cm}^3$, comparado com os resultados obtidos por Santos (2011), os resultados foram bem próximos $0,8833 \text{ g/cm}^3$, valores também que estão próximos aos valores recomendados pela resolução ANP nº 04 de 02 de fevereiro de 2010, que estipula um valor limite de umidade entre $0,850 - 0,900 \text{ g/cm}$. Em relação ao teor de cinzas do epóxido metílico, a quantidade de cinzas presentes pode ser resultado da presença de compostos metálicos no óleo ou solúveis em água, como poeira e ferrugem, sendo o resultado apresentado pelo presente trabalho de 0,25%. O índice obtido de oxigênio oxirano para o epóxido metílico foi de 7,41%, o mesmo índice trata de verificar a eficiência da abertura do anel, o resultado apresentado está diferente do resultado apresentado por Silva (2015), que foi de 4,79.

4 Conclusões

O óleo de mamona é uma boa opção para a produção de bioprodutos (biodiesel e óleo básico biolubrificante), devido a sua composição de ácido graxo saturado, que apresenta baixa acidez e uma viscosidade consideravelmente alta. Apartir das qualidades apresentadas por essa oleaginosa foi possível obter biodiesel usando o processo da transesterificação convencional e o biolubrificante por meio da epoxidação.

Em relação ao processo de processo de epoxidação, mostrou-se eficiente, pois o produto dessa reação apresentou propriedades físico-químicas adequadas aos lubrificantes.

Os resultados obtidos são favoráveis à aplicação industrial dos materiais sintetizados, pois os diferentes reagentes utilizados nas sínteses dos materiais atendem a uma ampla faixa de utilização dos mesmos na indústria.

Analisando de forma geral a pesquisa desenvolvida, pode-se concluir que o biolubrificante obtido a partir do óleo de mamona pode ser aplicado no mercado mundial, em sua forma bruta, como biolubrificante, como bio-óleo para síntese de biograxas ou como aditivo para lubrificantes fósseis, desempenhando função relevante na procura por produtos renováveis e que gerem menos impactos ao meio ambiente.

5 Referências

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Portaria n. 129, de 30 de julho de 1999**. Dispõe sobre óleos lubrificantes básicos rerrefinados. Diário Oficial da União, Brasília, 1999.

ANP. Agência Nacional do Petróleo. **Portaria Nº 255, de 15 de setembro de 2003**; Especificação para o biodiesel puro a ser adicionado ao óleo diesel automotivo. Brasília, 2003.

ANP. Agência Nacional do Petróleo. **Resolução ANP Nº 22 de 02 de julho de 2010**. Regulamenta as especificações de graxas e óleos lubrificantes destinados ao uso veicular e industrial. Brasília, 2010.

BONDIOLI, P. et al. Synthesis of Biolubricants with High Viscosity and High Oxidation Stability. **Oléagineux, Corps Gras, Lipides**, v. 10, n. 2, p. 150-154, 2003.

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 e o Roteiro de Classificação de Óleos Vegetais Refinados. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, 2006.

CANGEMI, J. M. et al. A revolução verde da mamona. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 1, p. 3-8, 2010.

CARDOSO, T. S. Uma revisão da utilização de catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel/A review of the use of heterogeneous catalysts for the production of biodiesel. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 240-276, 2020.

CONCEIÇÃO, M. M. et al. Evaluation of the oxidative induction time of the ethylic castor biodiesel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 97, n. 2, p. 643-646, 2009.

COSTA, C. L. et al. Caracterização físico-química de óleos fixos artesanais do coco babaçu (*Orbignya phalerata*) de regiões ecológicas do estado do Maranhão, Brasil. **Pesquisa em Foco**, v. 20, n. 1, p. 27-38, 2015.

DIAS, F. P. **Produção sustentável do biodiesel de óleo e gordura residual: estudo comparativo do processo de purificação do biodiesel com água e adsorventes sintéticos**. 178 f. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

EREDA, T. **Epoxidação de óleos vegetais, visando a obtenção de lubrificantes industriais**. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2004.

FIRESTONE, D. **Physical and chemical characteristics of oils, fats, and waxes**. New York: AOCS Press, 2006.

GERIS, R. et al. Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1369-1373, 2007.

GOUD, V. V. et al. Epoxidation of karanja (*Pongamia glabra*) oil by H₂O₂. **Journal of American Oil Chemist's Society**, v. 83, n. 7, p. 300-309, 2006.

HILSDORF, J. W. **Química Tecnológica**. São Paulo: USP, 2004.

KLEINAITÉ, E.; JAŠKA, V. A cleaner approach for biolubricant production using biodiesel as a starting material. **Journal of Cleaner Production**, v. 75, n. 15, p. 40-44, 2014.

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.

LUIS, D. D. F. **Modelagem e simulação do processo de epoxidação de óleo vegetal**. 2021. 95 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Química) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2021.

MACHADO, G. C. et al. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Revista Ceres**, v. 53, n. 308, p. 463-470, 2006.

MACHADO, P. M. A. **A obtenção do produto 1,2-diacetato a partir do biodiesel de soja via reação intermediária de epoxidação por meio de catálise heterogênea**. 54 f. 2012. Monografia (Bacharelado em Química Tecnológica). Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MADALENA, L. C. S. et al. Uma revisão do uso do óleo de rícino proveniente da Mamona (*Ricinus communis* L.), em diversos setores industriais e combustíveis. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 5, p. 1-12, 2017.

MARCHETTI, J. M. et al. Possible methods for éster methyl production. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 6, p. 1300-1311, 2005.

MELO, F. H. Óleos Vegetais como Alternativas ao Diesel. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 21, n. 2, p. 251-267, 2020.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das propriedades de óleos vegetais visando a produção do biodiesel**. 118 f. 2014. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em Química). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

MENEGHETTI, S. P. et al. A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 63-73, 2013.

MOBARAK, H. M. et al. The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 33, n. 1, p. 34-43, 2014.

MOREIRA, F. B. D. F. et al. In situ Transesterification of Babassu for Production of Biodiesel as Sustainable Energy Option for Aratuba Community in State of Ceará, Brazil. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 10, n. 2, p. 105-112, 2010.

NUNES, M. R. D. S. et al. Epoxidação do óleo de mamona e derivados empregando o sistema catalítico V/TBHP. **Química nova**, v. 31, n. 4, p. 818-821, 2008.

OGUNNIYI, D. S. Castor oil : a vital industrial raw material. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 9, p. 1086-1091, 2006.

SALIMON, J. et al. Biolubricants: Raw materials, chemical modifications and environmental benefits. **European journal of lipid science and technology**, v. 112, n. 5, p. 519-530, 2010.

SALIMON, J. et al. Improvement of Physicochemical Characteristics of Monoepoxide Linoleic Acid Ring Opening for Biolubricant Base Oil. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. 2011, n. 1, p. 1-8, 2011.

SANTOS, E. H. **Síntese e caracterização de biolubrificantes a partir do óleo de soja refinado**. 58 f. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Ambientais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SANTOS, J. C. O. et al. Recycling of lubricating oils used in gasoline/alcohol engines. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 18, n. 137, p. 1463-1470, 2019.

SANTOS, J. C. O. et al. Thermal degradation of synthetic lubricating oils: Part II - rheological study. **Petroleum Science and Technology**, v. 35, n. 6, p. 535-539, 2017.

SANTOS, J. C. O. Recovery of used lubricating oils - A brief review. **Progress in Petrochemical Science**, v. 1, n. 3, p. 1-4, 2018.

SILVA, J. A. C. **Obtenção de um lubrificante biodegradável a partir de Ésteres de Biodiesel da Mamona via catálise enzimática e estudos de estabilidade oxidativa**

e térmica. 169 f. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, M. **Desenvolvimento de novos biolubrificantes hidráulicos derivados dos óleos de maracujá e de moringa in natura e epoxidados.** 140 f. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

WU, X. et al. 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.

6 Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBITI/CNPq-UFCG).