

Obtenção de um lubrificante biodegradável pela epoxidação etílica do óleo de algodão com vistas a aplicação na construção civil

Fabrine Martins Vieira

Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba

Vinicius Sousa Souto

Universidade Federal Campina Grande - Paraíba

Fernando Alves da Silva

Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba

José Carlos Oliveira Santos

Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba

RESUMO

Considerando a exploração desenfreada e a dependência das reservas de petróleo, a procura por fontes alternativas de energia para substituir os combustíveis fósseis tornou-se urgente. As práticas que defendem a utilização de combustíveis renováveis objetivam alcançar uma relação positiva entre os custos e benefícios obtidos na substituição dos combustíveis fósseis, reduzindo a poluição e suas consequências. Desse modo, há a necessidade de promover a troca de matrizes energéticas poluentes por matrizes energéticas corretas e ambientalmente benéficas como alternativa à harmonização dos benefícios econômicos e ambientais (EREDA, 2004).

Palavras-chave: Lubrificante biodegradável, Óleo de algodão, Construção civil.

1 INTRODUÇÃO

Considerando a exploração desenfreada e a dependência das reservas de petróleo, a procura por fontes alternativas de energia para substituir os combustíveis fósseis tornou-se urgente. As práticas que defendem a utilização de combustíveis renováveis objetivam alcançar uma relação positiva entre os custos e benefícios obtidos na substituição dos combustíveis fósseis, reduzindo a poluição e suas consequências. Desse modo, há a necessidade de promover a troca de matrizes energéticas poluentes por matrizes energéticas corretas e ambientalmente benéficas como alternativa à harmonização dos benefícios econômicos e ambientais (EREDA, 2004).

A procura por fontes renováveis de energias alternativas para a obtenção de combustíveis vem crescendo em todo o mundo, principalmente devido às preocupações ambientais relacionadas com as matérias-primas. Entre as possibilidades que podem levar a redução do uso dos derivados do petróleo está a utilização de biodiesel e biolubrificantes à base de óleo vegetal.



Os lubrificantes minerais convencionais estão sendo gradativamente substituídos por biolubrificantes à base de óleos vegetais. Oriundos de recursos renováveis, como sementes de plantas, os óleos vegetais promovem uma série de benefícios ambientais, incluindo a amenização dos impactos na biodiversidade e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Estes óleos apresentam propriedades lubrificantes semelhantes às dos óleos minerais, tornando-os adequados para muitas aplicações industriais e automotivas.

No Brasil, destaca-se a produção do algodão, principalmente nas regiões do Cerrado, onde as características climáticas são favoráveis ao cultivo da planta. O Brasil é o terceiro maior exportador de algodão do mundo (SEVERINO et al., 2019). Do algodão é possível utilizar as fibras na indústria têxtil, e as sementes para extração do óleo, empregado como matéria-prima para a produção de biodiesel e biolubrificantes.

A produção de biodiesel a partir do óleo de algodão, fonte de energia renovável e menos poluente, possibilitará a grandes e pequenos produtores nacionais o aproveitamento máximo do algodão, sem desviar da sua linha de produção principal, a indústria têxtil (PUTTI et al., 2012).

Os biolubrificantes derivados de óleos vegetais ou outras fontes biológicas constituem uma classe de lubrificantes sustentáveis, reconhecidos pelos seus benefícios ambientais e desempenho satisfatório. Contudo, desafios como a estabilidade térmica e oxidativa ainda são enfrentados, com vistas a melhorar a viabilidade e o uso generalizado deste produto.

Procedimentos como a transesterificação e a epoxidação são frequentemente usados para sintetizar o biodiesel (éster etílico) e o biolubrificante (epóxidos), respectivamente, a partir do óleo de semente de algodão. O biodiesel e o biolubrificante produzidos a partir de óleo de algodão oferecem uma alternativa limpa e renovável aos combustíveis fósseis.

2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa consiste em obter um biolubrificante a partir do óleo de algodão, por meio das reações de transesterificação e epoxidação etílica, com vistas a sua utilização na construção civil.

3 METODOLOGIA

O óleo de algodão utilizado no procedimento é um óleo vegetal refinado a partir de sementes de algodão e adquirido em loja local. As amostras foram submetidas a tratamentos de transesterificação e epoxidação.



3.1 PROCEDIMENTOS DE OBTENÇÃO

3.1.1 Transesterificação

Para obtenção dos ésteres etílicos, inicialmente calculou-se a massa molar do óleo de algodão a partir do seu índice de saponificação. Conhecendo-se a massa molar foram calculadas as quantidades de álcool (etanol) e de catalisador (KOH) necessárias para a realização da reação. Desse modo, a transesterificação foi realizada empregando uma razão molar óleo/álcool igual a 1:6 e 0,7% de catalisador (óleo/catalisador), mantendo-se a temperatura em aproximadamente 45° C durante 1 h (DANTAS et al., 2021).

Após a reação de transesterificação, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação permitindo a separação das fases: superior contendo o éster etílico e inferior composta de glicerol, sabões, excesso de base e álcool. Após o tempo de espera, a fase inferior foi retirada e armazenada num recipiente próprio. Em seguida, realizou-se a lavagem do éster etílico (biodiesel) com água destilada e solução de ácido clorídrico 0,01M. Posteriormente foram feitas cinco 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). Para verificar a eficiência da lavagem ácida utilizou fenolftaleína. Após as lavagens, adicionou-se sulfato de magnésio anidro para retirar a água que ainda estivesse presente nos ésteres. Em seguida, a fim de remover o etanol que poderia ainda estar presente no éster, utilizou um evaporador rotativo.

3.1.2 Epoxidação

A reação foi realizada adotando a proporção molar de 1:1,1 éster/ácido peracético. Num balão de fundo redondo de 250 mL, foram adicionados 100g do éster etílico obtido do óleo de algodão, e gota a gota, 140 mL de ácido peracético comercial 15%. A mistura ficou sob agitação e aquecimento a 45°C em um banho de água e gelo por 1 hora. Após o término da reação, a mistura foi transferida para um funil de separação, onde se retirou a fase inferior, correspondente ao ácido acético, e a fase superior (biolubrificante) que lavou-se duas vezes com 50 mL de bicarbonato de sódio 10% até o despreendimento total das bolhas devido à reação de neutralização. A fim de remover a água residual, adicionou sulfato de magnésio anidro a um erlenmeyer contendo o epóxido (biolubrificante) obtido de óleo de algodão, agitando-se vigorosamente por 5 minutos e em seguida mantendo-se em repouso durante 30 minutos (DANTAS et al., 2021). Para remover o sulfato de magnésio, será realizada filtração a vácuo.

3.1.3 Caracterização Físico-Química

O óleo de algodão 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 (AOCS Cd 8-53), densidade relativa, teor de cinzas, teor de umidade e voláteis (AOCS Da-2a-48),

viscosidade dinâmica. O epóxido de ésteres etílicos de óleo de algodão foi caracterizado ainda por meio índice de hidroxila (AOCS Cd 13-60) e oxigênio oxirano (AOCS D Cd 9-57).

Todas as caracterizações descritas anteriormente foram realizadas de acordo com as técnicas descritas por (FARIAS et al., 2021) e feitas em triplicatas.

4 DESENVOLVIMENTO

O óleo de algodão foi caracterizado por meio dos parâmetros físico-químicos listados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos do óleo de algodão.

Parâmetros	Óleo	Padrões Anvisa ^{1,2}
Aspecto	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,09	≤ 0,1
Cinzas (%)	0,03	---
Densidade (g/cm ³)	0,916	0,919 - 0,925
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,056	≤ 0,6
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	102,1	96 – 115
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,09	≤ 10
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	41,7	189 – 195
Índice de peróxido (meq/Kg)	0,007	≤ 10
Massa molar aproximada (g/mol)	856	---
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	38,52	---

Fonte: Dados da Pesquisa, 2023; ¹BRASIL, 2021; ²BRASIL, 2006.

O aspecto do óleo utilizado está de acordo com o estabelecido pela ANVISA, assim como o teor de umidade e voláteis, onde obteve-se o valor de 0,09%, menor que o valor estabelecido pela ANVISA, este valor é importante pois indica a quantidade de água presente no óleo, evidenciando a não existência de contaminação.

O teor de cinzas apresentou um valor de 0,03%, igual ao obtido por Ramos (2023). Ao comparar a trabalhos onde foram utilizados outros tipos de óleo, obtemos que o óleo de algodão apresenta teor de cinza menor que o óleo residual de soja 0,05% obtido por Macedo et. al (2021), por Cruz (2022) para o óleo de soja refinado 0,06%, e por Macedo (2021) para o óleo de mamona 0,05%.

A densidade (0,916 g/cm³) para o óleo está abaixo do intervalo delimitado pela ANVISA de 0,919 a 0,925 g/cm³, mas igual ao obtido por Ramos (2023). O índice de acidez, atingiu o valor de 0,056 mg KOH/g óleo, estando nos padrões estabelecidos pela legislação e abaixo do índice obtido por Ramos (2023). Por meio do índice de acidez se observa o estado de conservação do óleo, a qualidade e a pureza apresentada.

O índice de iodo aponta o grau de insaturações de um ácido, podendo influenciar na densidade do óleo, causando variações. Para o óleo de algodão obteve-se o valor de 102,1 g I₂/100 g de óleo, estando dentro do intervalo definido pela ANVISA. O resultado é corroborado pelo valor obtido por Ramos (2023).

O índice de saponificação do óleo de algodão, atingiu o valor de 41,7 mg KOH/g óleo, valor inferior

ao determinado pela legislação. Esse valor, ainda assim, é maior que o obtido por Ramos (2023) que obteve 24,6 mg KOH/g óleo.

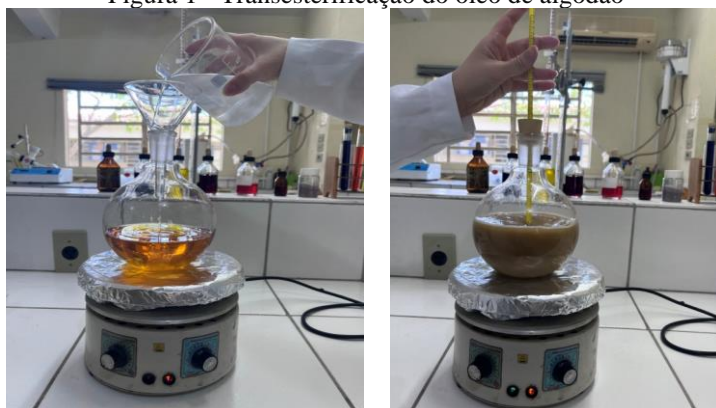
O índice de peróxido, de acordo com a legislação, deve ser ≤ 10 meq/Kg. Desse modo, o valor obtido para o óleo de algodão está dentro do estabelecido, uma vez que se obteve o valor de 0,007 meq/Kg. A massa molar do óleo foi de 856 g/mol e a viscosidade cinemática alcançou o valor de 38,52 mm²/s.

Tendo sido realizada a caracterização do óleo de algodão, destinou-se a executar a transesterificação, com vistas a obter o éster etílico do óleo de algodão (biodiesel). A reação de transesterificação é reversível, onde se submete um triglicerídeo a reagir com um álcool de cadeia curta, comumente etanol ou metanol, sob catálise ácida ou básica (Cruz, 2022).

No procedimento adotou-se uma razão 1:6 óleo/álcool, com vistas a aumentar o rendimento de alquil éster, obtendo como subproduto o glicerol, sob catálise a 0,7% de catalisador/óleo. Utilizou-se o etanol e a catálise básica com KOH.

A reação de transesterificação ilustrada na figura 1, apresentou um rendimento de 80%, que pode ser explicado pela utilização do etanol, um álcool de cadeia maior, quando comparado ao metanol, que possibilitou um rendimento de 97% no trabalho de Ramos (2023).

Figura 1 - Transesterificação do óleo de algodão



Fonte: Autoria Própria

Após a reação de transesterificação, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação onde foi retirada a fase contendo glicerol (subproduto), sabões e excessos de base e álcool, como ilustrado na figura 2.

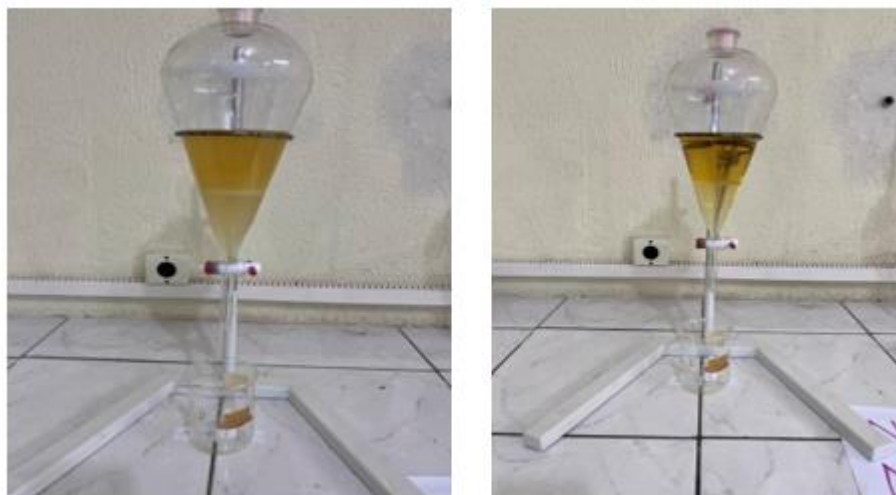
Figura 1 - Separação de fases



Fonte: Autoria Própria

Após o período de decantação e separação das fases da mistura, realizou-se a lavagem do éster etílico (biodiesel) para a garantir a retirada de impurezas ainda presentes, figura 3.

Figura 2 - Processo de lavagem do biodiesel etílico do óleo de algodão



Fonte: Autoria Própria

Finalizado o processo de purificação do éster etílico do óleo de algodão, foi realizada a caracterização físico-química desse, obtendo como resultados os dados listados na tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos dos ésteres etílicos de óleo de algodão (biodiesel).

Parâmetros	Ésteres de óleo	Padrões ANP ¹
Aspecto	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,016	0,02
Cinzas (%)	0,05	0,02
Densidade (g/cm ³)	0,939	0,850-0,900
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,047	≤ 0,5
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	102,9	Anotar
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,54	-----
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	222,1	-----
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,03	-----
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	-----	3,0 – 6,0

Fonte: Dados da Pesquisa, 2023; ¹BRASIL, 2014.

A Resolução Nº 45/2014 da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP), estabelece que o teor de umidade e voláteis deve respeitar o padrão de 0,02%, logo, o éster etílico obtido está dentro dos padrões, apresentando um teor de 0,016%, resultado aproximado ao obtido por Ramos (2023), 0,019%.

No que diz respeito ao teor de cinzas, o éster etílico obtido está acima do padrão estabelecido pela ANP, tendo apresentado teor de 0,05% de cinzas. Esse teor é importante principalmente quando o objetivo é a utilização em motores de automóveis.

O éster etílico do óleo de algodão (0,939 g/cm³) apresentou densidade acima do padrão que estabelece a ANP. Esse valor de densidade sugere a presença de uma cadeia alquiléster longa. O resultado está acima do obtido por Ramos (2023) para o éster metílico do óleo de algodão (0,870 g/cm³). Sugerindo uma possível interferência do álcool utilizado, na densidade do éster obtido.

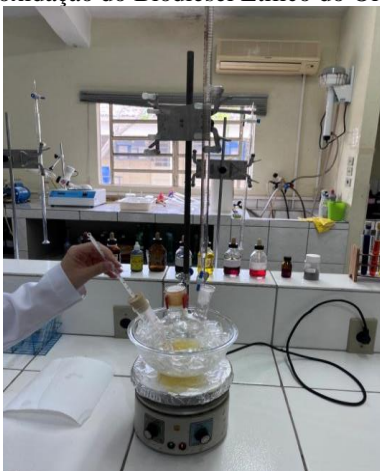
O índice de acidez para o éster etílico do óleo de algodão (0,047 mg KOH/g óleo) está dentro do padrão estabelecido pela ANP. Indicando excelente estado de conservação do éster em análise. Para o índice de iodo do éster etílico alcançou-se o valor de 102,9 g I₂/100 g óleo, sugerindo a presença de um grau de insaturação que não tão excedente. O valor alcançado é superior ao obtido por Ramos (2023) para éster metílico do óleo de algodão 91,7 g I₂/100 g óleo. O índice de iodo assinala a capacidade de resistência à oxidação do produto.

O índice de saponificação para o éster etílico atingiu o valor de 222,1 mg KOH/g óleo. Quando comparado ao valor obtido para o óleo de algodão, o éster etílico apresentou aumento no índice de saponificação, indicando que redução de impurezas insaponificáveis no processo de transesterificação. O alto valor obtido para o índice de saponificação sugere uma interferência no rendimento da reação de transesterificação, sendo possivelmente consequência da utilização da catálise básica com KOH, pois catalisadores básicos promovem um maior nível de saponificação no processo, devido ao catalisador reagir com os ácidos graxos livres do óleo, levando a formação de sabão.

O biolubrificante do óleo de algodão foi obtido mediante reação de epoxidação dos ésteres etílicos obtidos na reação de transesterificação, seguindo o processo ilustrado nas figuras 4-6.

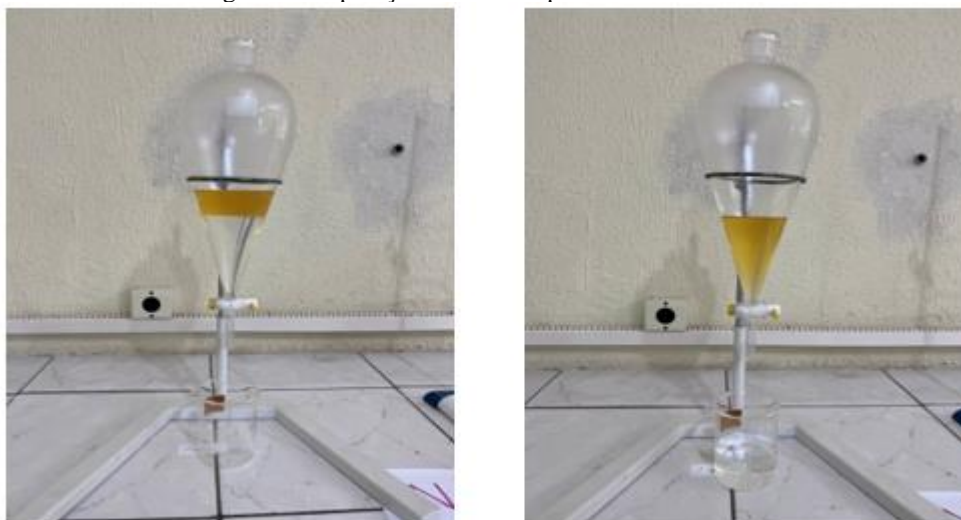
A epoxidação é a reação de um composto insaturado com um perácido, sendo caracterizada pela adição de um oxigênio à dupla ligação presente nos ésteres lubrificantes, produzindo um anel epóxido. É possível obter esse epóxidos através de ésteres, ácidos graxos ou triglicerídeos. A reação de epoxidação é amplamente aplicada na indústria oleoquímica para obtenção de lubrificantes biodegradáveis de maior estabilidade térmica.

Figura 4 - Epoxidação do Biodiesel Etílico do Óleo de Algodão



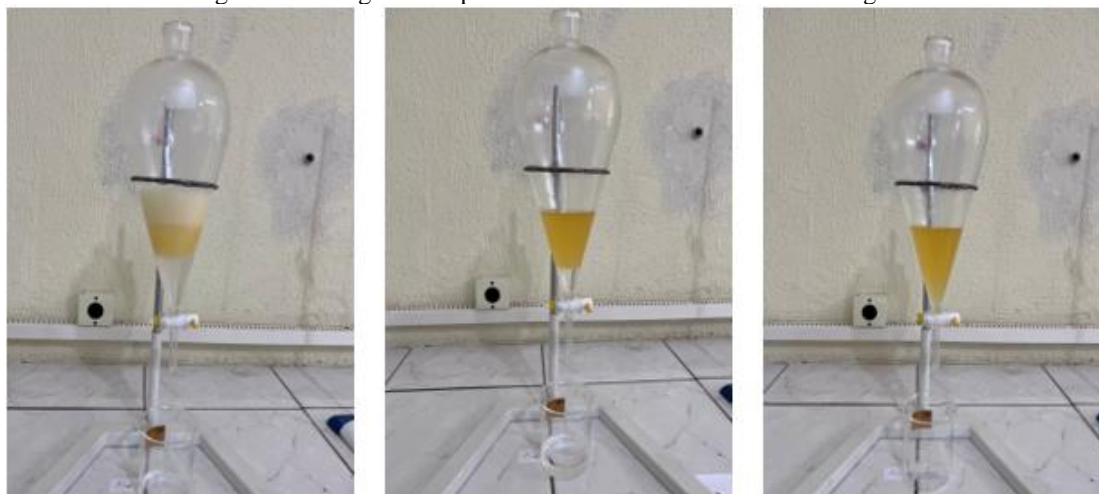
Fonte: Autoria Própria

Figura 3 - Separação das fases Epóxido/Ácido Acético



Fonte: Autoria Própria

Figura 4 - Lavagem do Époxido do Éster Etílico do Óleo de Algodão



Fonte: Autoria Própria

A epoxidação dos ésteres etílicos do óleo de algodão, utilizando ácido peracético 15%, possibilitou a obtenção dos biolubrificantes, com um rendimento de 97,0%.

Os epóxidos (biolubrificantes) obtidos pelo processo de epoxidação dos ésteres etílicos do óleo algodão foram submetidos a caracterização físico-química (tabela 3) e os resultados foram comparados com a literatura.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos dos epóxidos etílicos de óleo de algodão (biolubrificante).

Parâmetros	Époxido
Aspecto	Amarelo límpido
Umidade (%)	1,72
Cinzas (%)	0,037
Densidade (g/cm ³)	0,959
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,248
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	32,6
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,12
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	277,7
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,02
Índice de hidroxila (mg KOH/g óleo)	8,33
Oxigênio oxirano (%)	11,02
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	-----

Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

O teor de umidade para o epóxido do éster etílico do óleo de algodão alcançou a valor de 1,72%, maior quando comparado ao obtido por Ramos (2023) para epóxido do éster metílico do óleo de algodão 1,48%. Esse teor é importante para a aplicabilidade do biolubrificante, uma vez que a maior umidade pode ocasionar danos nas peças dos automóveis, e também quando se pensa na aplicação em construção civil, pois esse tipo de uso necessita de um material capaz de reduzir a umidade nas superfícies onde o biolubrificante é aplicado.



O epóxido apresentou um teor de cinzas de 0,037%, resultado que está em concordância ao apresentado por Ramos (2023) para o teor de cinzas do epóxido do éster metílico de algodão (0,032%). O teor de cinzas assinala a presença de material orgânico e inorgânico, não combustível, após a queima do biolubrificante. A densidade obtida para o epóxido foi de $0,959 \text{ g/cm}^3$, maior que o apresentado por Ramos (2023) para o epóxido do éster metílico do óleo de algodão $0,895 \text{ g/cm}^3$.

O índice de acidez para o epóxido do éster etílico de algodão foi de 0,248 mg KOH/g óleo, sendo menor que o valor da acidez obtida por Ramos (2023) para o epóxido do éster metílico de algodão 0,982 mg KOH/g óleo. Quanto menor o índice de acidez, maior a eficiência do biolubrificante na preservação do material, equipamento ou superfície onde o epóxido é aplicado, amenizando o processo de corrosão.

Para o epóxido do éster etílico do óleo de algodão, o índice de iodo obtido foi de 32,6 g $\text{I}_2/100 \text{ g}$ óleo, valor menor que obtido por Ramos (2023) para epóxido do éster metílico do óleo de algodão. A redução no índice de iodo do epóxido quando comparado ao éster etílico, indica a eficiência da reação de epoxidação na quebra das ligações duplas nos ácidos graxos.

O índice de saponificação obtido para o epóxido do éster etílico foi maior que o apresentado por Ramos (2023) para o epóxido do éster metílico. O valor foi maior também quando comparado ao obtido para o éster etílico do óleo de algodão. Esse índice revela a quantidade de ácidos graxos de alto e baixo peso molecular.

O teor de sabão obtido para o epóxido do éster etílico foi de 0,12 ppm de oleato de sódio, valor menor do que o obtido por Macedo et al. (2023) para o epóxido metílico do óleo de canola. O teor de sabão indica a presença de resquícios de óleo que acabaram reagindo com a base.

O índice de peróxido obtido para o epóxido do éster etílico do óleo de algodão foi de 0,02 meq/kg, maior que o obtido por Macedo et.al (2023) para o epóxido metílico do óleo de canola. O índice de peróxido está associado a rancidez do material.

O índice de hidroxila atingiu o valor de 8,33 mg KOH/g óleo, menor que os obtidos por Cruz (2022) para o epóxido etílico do óleo de soja residual (18,9 mg KOH/g óleo) e para o epóxido etílico de óleo de soja comercial (19,8 mg KOH/g óleo).

Obteve-se o valor de 11,02% de oxigênio oxirano para o epóxido do éster etílico. Esse valor supera o obtido por Cruz (2022) para o biolubrificante do óleo residual que foi de 6,7%. E o resultado aqui apresentado é menor do que o obtido por Cruz (2022) para o biolubrificante do óleo comercial que foi de 11,6%. O valor aqui obtido indica o sucesso na realização da reação de epoxidação, apesar de terem ocorrido algumas reações de hidrólise.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reação de transesterificação obteve um bom rendimento de 80%, assim como a reação de epoxidação onde o rendimento foi de 97%. Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos do biodiesel e do biolubrificante apresentam concordância quando comparados aos padrões estabelecidos pelas legislações e quando comparados com a literatura.

De acordo com a caracterização físico-química realizada, o epóxido do éster etílico do óleo de algodão apresenta potencial emprego como biolubrificante biodegradável na indústria automotiva e também na construção civil, embora ainda seja necessário realizar ensaios específicos de viabilidade para essa aplicação.



REFERÊNCIAS

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 econômicos 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.

CRUZ, Jefferson Felipe dos Santos. Química e sustentabilidade: análise comparativa da obtenção de lubrificantes biodegradáveis pela epoxidação do óleo de soja comercial e usado em fritura. Trabalho de conclusão de curso (Química). Universidade Federal de Campina Grande, Cuité/PB, 2022.

DANTAS, F. R.; SOUSA, I. V. S.; OLIVEIRA, I. L.; DANTAS, G. M. P.; SANTOS, J. C. O. Síntese e Caracterização Físico-Química de Biolubrificante Obtido de Óleo de Soja Residual Oriundo de Restaurante Universitário. Educação Ciência e Saúde, v.8, n. 2, p. 1-19, 2021.

EREDA, T. Epoxidação de óleos vegetais, transferindo a concessão de financiamentos industriais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2004.

FARIAS, H. H.; MACEDO, A. D. M.; RAMOS, J. D. F.; SANTOS, J. C. O. Epoxidação Metálica do Óleo de Mamona para Síntese de Biodiesel e Biolubrificante. Educação Ciência e Saúde, v.8, n. 2, p. 1-19, 2021. MACEDO, A. D. M. et al. Epoxidation process canola oil esters. Caderno de Anais Home, 2023.

MACEDO, A. D. M. et al. Otimização do processo de síntese de biolubrificante por epoxidação de óleo de residual oriundo de restaurante universitário. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 12, p. 119743-119761, 2021.

PUTTI, F. F.; LUDWING, R.; MACINI, N. Análise da viabilidade da produção de biodiesel a partir do uso do algodão. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Paulista, v. 8, n. 7, p. 127 – 142, 2021.

RAMOS, J. D. F.; Santos, J. C. O. Study of methyl epoxidation of cottonseed oil to obtained a biodegradable lubricant. Caderno de Anais Home, 2023.

SEVERINO, L. et al. Produto: Algodão – Parte 01: Caracterização e desafios tecnológicos. Série desafios do agronegócio brasileiro (NT3), 2019.