

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

Emily Camilly da Silva Rocha ¹
Antonio Marcos Silva Pereira ²
Higor Henrique Faria ³
Andrew Diego Medeiros Macedo ⁴
José Carlos Oliveira Santos ⁵

RESUMO

O crescente aumento dos preços dos produtos derivados do petróleo, a dependência de uma matéria-prima não renovável e os diversos impactos ambientais causados pelas indústrias tem motivado pesquisadores a buscarem alternativas energéticas. O objetivo deste trabalho consiste na comparação das propriedades físico-químicas de biolubrificantes produzidos a partir de óleo de soja residual, oriundo de um Restaurante Universitário da Universidade Federal de Campina Grande, com o biolubrificante obtido do óleo de soja refinado. Os materiais envolvidos no processo (óleos vegetais, biodiesel, biolubrificantes) foram caracterizados através de suas propriedades químicas e físico-químicas. O rendimento na produção do biolubrificante oriundo de óleo refinado de soja foi 1,7% superior ao do óleo residual do processo de fritura de alimento, ou seja, a epoxidação, reação que transforma o biodiesel em biolubrificante, propiciou um rendimento de 92,0% para o biolubrificante metílico do óleo residual e 93,7% para o biolubrificante metílico do óleo refinado. Os óleos analisados, refinado e residual, tiveram suas propriedades adequadas a Agência Nacional de Vigilância Ambiental. Já os produtos obtidos tiveram suas propriedades adequadas em comparação com os parâmetros estabelecidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Os biolubrificantes obtidos apresentaram excelentes propriedades físico-químicas, demonstrando elevada capacidade de empregabilidade no mercado de lubrificantes mundiais.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Meio Ambiente, Óleo usado, Biomassa, Epoxidação.

INTRODUÇÃO

As fontes de energia são essenciais à vida do homem, pois proporcionam maior 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

¹ Graduando do Curso de Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, emily.camilly@estudante.ufcg.edu.br;

² Graduando do Curso de Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, antonio.pereira@estudante.ufcg.edu.br;

³ Graduando do Curso de Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, igsaadbblog@gmail.com;

⁴ Graduando do Curso de Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, andrew.diego@estudante.ufcg.edu.br;

⁵ Professor orientador: Doutor em Química, Centro de Educação e Saúde - UFCG, jose.oliveira@professor.ufcg.edu.br.

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, com 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 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, daí a necessidade do seu uso após processos. Estudos mostram que a sua combustão direta conduz à 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 (biodiesel) e a epoxidação (biolubrificantes) (HWANG *et al.*, 2003; LATHI; MATTIASSON, 2007).

O descarte de grande quantidade do óleo de cozinha continua sendo feito de maneira inadequada, causando sérios problemas ambientais, como contaminação da água, aumento dos gastos com tratamento de esgoto, etc. Uma forma de evitar este fato é a conscientização da população e o incentivo à prática da reciclagem. O óleo residual, seja ele proveniente de restaurantes, indústrias ou residências, pode ser utilizado na fabricação de sabão, produção de biodiesel e outros produtos biodegradáveis, como os biolubrificantes. Assim, este projeto de pesquisa será 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 refinado, visando minimizar impactos para os diferentes ecossistemas.

METODOLOGIA

MATERIAIS

O óleo de soja refinado foi um óleo produzido por indústria brasileira e adquirido no comércio local e o óleo de soja residual foi adquirido em um restaurante universitário situado

no Centro de Educação e Saúde (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 à, 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).

PROCEDIMENTO DE EXTRAÇÃO DO BIODIESEL E DO BIOLUBRIFICANTE

Para obtenção dos ésteres, inicialmente foi feito um cálculo da massa molar do óleo de soja refinado e residual 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 álcool 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 num recipiente próprio. Em seguida, foi realizada a lavagem dos ésteres (biodiesel) com água destilada e solução de HCl 0,01 M. 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). Para verificar a eficiência da lavagem ácida foi utilizada fenolftaleína. Após as lavagens, foi adicionado MgSO₄ anidro para retirar a água que ainda estivesse presente nos ésteres. Em seguida, a fim de remover o álcool que poderia ainda estar presente no éster, foi utilizado um evaporador rotativo.

Na reação de epoxidação, num balão de fundo redondo de 250 mL, foram adicionados 100g dos ésteres metílicos, 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 molar de 1:1,1 éster/ácido peracético. 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 foi lavada duas vezes com 50 mL

de bicarbonato de sódio 10% até o desprendimento total das bolhas devido à reação de neutralização. A fim de remover a água residual, foi adicionado sulfato de magnésio anidro a um erlenmeyer contendo o epóxido (biolubrificante), agitando-se vigorosamente por 5 minutos e em seguida mantendo-se em repouso durante 30 minutos (NUNES *et al.*, 2008). Para remover o sulfato de magnésio, foi realizada uma filtração a vácuo.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

O óleo de soja refinado e o óleo de soja 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.

Os procedimentos adotados para caracterizar os ésteres metílicos obtidos após a transesterificação foram os mesmos utilizados para caracterizar os óleos.

Os epóxidos de ésteres metílicos foram caracterizados 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).

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

REFERENCIAL TEÓRICO

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, pois 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 observa-se também outro problema que atinge a todos: a poluição. Hoje, 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 bem convincentes. Há uma crescente mudança de hábito no que se refere a 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 sobretudo, com intuito de mitigar os efeitos de degradação ambiental e poluição atmosférica. A produção de biocombustíveis e derivados a partir de óleos residuais de fritura possui várias vantagens, dentre 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, necessidade de etapas de purificação que aumentam os gastos durante a síntese e também a sazonalidade 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, busca-se processos de produção de biolubrificantes modificados quimicamente que possuam menor custo, extraídos de fontes renováveis que sejam ambientalmente mais seguros, para reduzir o consumo excessivo de lubrificantes minerais mais agressivos ao meio ambiente.

O óleo de cozinha é um líquido usado principalmente para fritar alimentos em uma grande quantidade. Infelizmente, em muitos casos, esse óleo de cozinha usado em residências, bares e restaurantes acaba sendo jogado no ralo da pia ou mesmo nos vasos sanitários. Outras pessoas já preferem colocá-lo em algum recipiente vedado e descartá-lo com o lixo orgânico comum. Entretanto, todos esses métodos de descarte do óleo de cozinha usado são meios de contaminação do meio ambiente, podendo poluir as águas, o solo e até mesmo a atmosfera (ZHENG *et al.*, 2006).

Os prejuízos econômicos e ambientais quando o consumidor não é consciente e despeja indevidamente o óleo residual na rede de esgoto ou nos lixões são enormes. Ao ser despejado na pia ou no vaso sanitário, o óleo usado passa pelos canos da rede de esgoto e fica retido em forma de gordura. Isso é ruim porque atrai pragas que podem causar várias doenças. Além disso, esse óleo encrustado nos encanamentos dificulta a passagem das águas pluviais e causa o extravasamento de água na rede de esgoto e o seu entupimento, levando ao mau funcionamento das estações de tratamento (YUAN *et al.*, 2008).

O óleo de cozinha usado chega também aos solos, tanto por meio das margens dos mananciais aquáticos quanto por meio do óleo descartado no lixo comum que acaba parando nos lixões. O óleo contamina o solo e acaba sendo absorvido pelas plantas, prejudicando-as, além de afetar o metabolismo das bactérias e outros micro-organismos que fazem a

deterioração de compostos orgânicos que se tornam nutrientes para o solo. É também por meio da infiltração no solo que esse óleo de cozinha polui os lençóis freáticos. Outro problema resultante é que esse óleo usado torna o solo impermeável e, quando ocorrem as chuvas, contribui para o surgimento de enchentes. Além do solo e da água, até mesmo a atmosfera acaba sendo poluída, porque a decomposição do óleo produz o gás metano, que é um gás do efeito estufa, ou seja, é capaz de reter o calor do sol na troposfera, o que aumenta o problema do aquecimento global. Assim, a possibilidade de reaproveitamento óleos residuais de fritura para obtenção de biolubrificante torna-se vantajoso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O óleo de soja refinado e o óleo de soja residual após processo de purificação foram caracterizados mediante suas propriedades físico-químicas e os resultados foram comparados com a legislação em vigor (BRASIL, 2006; BRASIL, 2021), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da matéria prima.

Parâmetros	Óleo de soja residual	Óleo de soja refinado	Padrões Anvisa
Aspecto	Amarelo límpido	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,090	0,098	≤ 0,1
Cinzas (%)	0,05	0,06	---
Densidade (g/cm ³)	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 I ₂ /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 (mm ² /s)	27,3	29,7	---

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Através dos resultados obtidos relativos ao óleo residual foi possível observar que a matéria prima utilizada estava imprópria para o consumo humana, devido ao seu índice de acidez inadequado, mas estaria adequado para a reutilização tanto para biodiesel, sabões entre outros. Pode-se observar ainda que seu índice de iodo não está dentro dos parâmetros da Anvisa, podendo indicar que houve oxidação de ácidos graxos insaturados na amostra. O óleo refinado apresentou uma acidez maior que o indicado, mostrando que possíveis rupturas em sua cadeia com liberação dos seus ácidos graxos; uma vez que este possível resultado seja devido aos aditivos que se encontram em sua composição, ou armazenamento inadequado.

A reação de transesterificação proporcionou em rendimento de 92,7% para o biodiesel metílico obtido a partir do óleo de soja refinado e 92,2% para o biodiesel metílico obtido do óleo de soja residual, cujos processos estão ilustrados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Processo de produção do biodiesel metílico de óleo de soja residual: (a) síntese; (b) decantação; (c) lavagem.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 2. Processo de produção do biodiesel metílico de óleo de soja refinado: (a) síntese; (b) decantação; (c) lavagem.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Os ésteres obtidos do óleo de soja refinado e do óleo de soja residual pelo processo de transesterificação foram caracterizados mediante suas propriedades físico-químicas e os resultados foram comparados com a legislação em vigor (BRASIL, 2014), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos dos ésteres metílicos do óleo de soja refinado e residual (biodiesel).

Parâmetros	Ésteres de óleo residual	Ésteres de óleo refinado	Padrões ANP
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/cm ³)	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 I ₂ /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 (mm ² /s)	5,4	5,1	3,0 – 6,0

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

De acordo com os padrões da ANP foi observado na Tabela 2 que a umidade e voláteis estão fora do permitido, e conseqüentemente, os níveis de acidez também ultrapassaram, pois a presença da umidade favorece a ativação de enzimas que hidrolisam rapidamente o óleo, produzindo um aumento considerável da acidez. 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 a 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 (PEREIRA, 2022) Com relação à densidade, o éster metílico do óleo de soja residual apresentou a densidade de acordo com a ANP (BRASIL, 2014), 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).

A reação de epoxidação proporcionou em rendimento de 92,0% para o biolubrificante metílico do óleo de soja residual e 93,6% para o biolubrificante metílico do óleo de soja refinado, cujos processos estão ilustrados nas Figuras 3 e 4. Os epóxidos metílicos (biolubrificantes) obtidos do óleo de soja refinado e do óleo de soja residual pelo processo de epoxidação de seus ésteres metílicos foram caracterizados mediante suas propriedades físico-químicas e os resultados foram comparados com a literatura, conforme Tabela 3. De acordo com a ANP, a coloração não é característica de qualidade, sendo 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 diferente do epóxido metílico do óleo de soja comercial apresentou coloração alaranjada.

Figura 3. Processo de produção e purificação do biolubrificante de óleo de soja residual.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

Figura 4. Processo de produção e purificação do biolubrificante de óleo de soja refinado.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos dos epóxidos de óleo de soja (biolubrificantes).

Parâmetros	Epóxido metílico de óleo residual	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)	18,7	19,6
Oxigênio Oxirano (%)	9,2	10,7
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	10,5	6,8

Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

Em comparação do éster metílico, percebe-se um aumento na umidade e voláteis do epóxido metílico, indicando que o biolubrificante apresenta mais umidade ou voláteis, podendo evaporar até 130°C. O teor de cinzas para o epóxido do óleo de soja residual em comparação com o do epóxido de óleo de soja comercial foi superior, indicando a presença de mais compostos inorgânicos (PEREIRA, 2022). O índice de saponificação do biolubrificante do óleo de soja residual foi maior que do biolubrificante do óleo de soja comercial, isso mostrando que o biolubrificante do óleo residual tem mais impureza saponificável que o biolubrificante de óleo comercial (PEREIRA 2022). O índice de iodo, usado para o monitoramento das reações de epoxidação e de abertura dos anéis oxiranos, sofreu uma redução significativa para o biolubrificante do óleo usado, indicando que houve uma diminuição no número de ligações duplas, provavelmente devido à formação de anéis oxiranos. Já no éster metílico do óleo comercial, diminuiu no seu respectivo biolubrificante. Se compararmos os índices de peróxidos dos ésteres metílicos de óleo usado com o do óleo comercial com seus biolubrificantes, verifica-se que o biolubrificante apresenta o índice de peróxido maior. Os peróxidos são os primeiros a se formarem na deterioração do óleo, então o biolubrificante do óleo de soja usado está propício a se deteriorar mais rápido que o biolubrificante do óleo de soja comercial (PEREIRA, 2022). 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 (PEREIRA, 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa busca principalmente formas de reaproveitamento de matérias primas e dá novas possibilidades para elas, tanto para ajuda ambiental, quanto para o avanço de pesquisas nessas áreas, incluindo a química verde como parte disso, que tem como objetivo minimizar impactos na natureza. Com base nos resultados obtidos, as matérias primas utilizada mostraram-se aptas para serem usadas na obtenção de biodiesel e biolubrificante. As reações de transesterificação e epoxidação foram eficientes, pois além de terem um bom rendimento, os produtos obtidos apresentaram a maioria das propriedades físico-químicas adequadas a Legislação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PIVIC/UFCG pelo suporte.

REFERÊNCIAS

BARTHICHOTO, M. *et al.* Responsabilidade ambiental: perfil das práticas de sustentabilidade em unidades produtoras de refeições de Higienópolis, Município de São Paulo. **Qualitas Revista Eletrônica**, v.14, n.1, 2013.

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.

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. 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 refinadoizam o produto em todo o território nacional.** Diário Oficial da União, Seção 1. Brasília, 2014.

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.

FERRARI, R. A. *et al.* 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.

HWANG, H. S. *et al.* 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.

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.

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.

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.

PEREIRA, A. M. S. **Estudo comparativo das propriedades físico-químicas de biolubrificantes obtidos do óleo de soja refinado e residual.** 44 fl. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Licenciatura em Química). Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2022.

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.

RAMOS, L. P. *et al.* Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.

RINALDI, R. *et al.* Síntese de éster metílico: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1374-1380, 2007.

SANTOS, J.C.O. *et al.* Argila natural aplicada à clarificação de óleo lubrificante automotivo usado. **Cerâmica**, v. 63, p. 517-523, 2017.

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.

YUAN, X. *et al.* Optimization of conversion of waste rapeseed oil with high FFA to biodiesel using response surface methodology. **Renewable Energy**, v. 33, n. 7, p.1678-1684, 2008.

ZHENG, S. *et al.* Acid-catalyzed production of biodiesel from waste frying oil. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, n. 3, p. 267-272, 2006.