

Síntese e caracterização de biolubrificantes por epoxidação etílica do óleo de milho

Fernando Alves da Silva

Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba

Vinicius Sousa Souto

Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba

Fabrine Martins Vieira

Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba

José Carlos Oliveira Santos

Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba

RESUMO

Os óleos lubrificantes são derivados do petróleo e utilizados amplamente no setor industrial, com a finalidade de diminuir o desgaste causado pelo atrito de peças metálicas. Atualmente, os lubrificantes minerais são comercialmente, os mais utilizados em todo o mundo, são uma mistura complexa de hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos, naftênicos e aromáticos de 20 a 50 átomos de carbono. Estes, são produtos da união de dois principais componentes: aditivos químicos e óleo básico. O óleo básico é extraído do processo de refino do petróleo e o aditivo químico é utilizado para modificar, preservar e intensificar as características físicas e químicas do produto. Eles possuem uma maior estabilidade à oxidação e são mais baratos que outros tipos de lubrificantes. No entanto, os lubrificantes minerais têm baixa biodegradabilidade e liberam materiais tóxicos no meio ambiente (Karmakar et al., 2017).

Palavras-chave: Óleos lubrificantes, Biolubrificantes, Óleo de milho.

1 INTRODUÇÃO

Os óleos lubrificantes são derivados do petróleo e utilizados amplamente no setor industrial, com a finalidade de diminuir o desgaste causado pelo atrito de peças metálicas. Atualmente, os lubrificantes minerais são comercialmente, os mais utilizados em todo o mundo, são uma mistura complexa de hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos, naftênicos e aromáticos de 20 a 50 átomos de carbono. Estes, são produtos da união de dois principais componentes: aditivos químicos e óleo básico. O óleo básico é extraído do processo de refino do petróleo e o aditivo químico é utilizado para modificar, preservar e intensificar as características físicas e químicas do produto. Eles possuem uma maior estabilidade à oxidação e são mais baratos que outros tipos de lubrificantes. No entanto, os lubrificantes minerais têm baixa biodegradabilidade e liberam materiais tóxicos no meio ambiente (Karmakar et al., 2017).

Com fim do período de uso dos lubrificantes recomendado pelo fabricante, estes tendem a perder determinadas qualidades, devido a decomposição de seus componentes, tornando-os impróprios para o uso



ao qual foram destinados, passando a ser considerados resíduos perigosos, conhecido popularmente como “óleo queimado” (denominação que não é correta e deve ser evitada). Desse modo, além de possuir certo grau de perigo por ser um produto oriundo do petróleo, o óleo lubrificante usado ou contaminado possui uma carga a mais de toxicidade, uma vez que, seus componentes ao sofrerem degradação geram gases tóxicos como dioxinas, ácidos orgânicos, cetonas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (APROMAC, 2005).

Assim como causa danos à saúde das pessoas que têm contato direto com o resíduo, o óleo lubrificante usado ou contaminado, quando dispersado no meio ambiente, causa grandes prejuízos, afetando muitas pessoas, a fauna e a flora, principalmente quando associado com outros poluentes comuns nas áreas mais urbanizadas (APROMAC, 2005). Fora isso, um litro desse óleo lubrificante tem capacidade de contaminar um milhão de litros de água, cobrindo o equivalente a mil metros quadrados, com uma fina camada que impede a passagem de ar e luz, impedindo a respiração e a fotossíntese de organismos vivos (Lubes em foco, 2011). Apesar de a Legislação determinar de forma clara que todo esse material deve ser encaminhado para rerrefino através de coletores autorizados, pessoas mal intencionadas ou mal informadas escolhem outros destinos para o resíduo, colocando em risco a sua saúde e a da comunidade, cometendo atos ilícitos, descartando de forma inadequada esses resíduos. No entanto, com as preocupações relacionadas ao meio ambiente devido ao aumento da poluição, alternativas mais sustentáveis e mais ecológicas vem sendo cada vez mais estudadas por pesquisadores, a fim de substituir os produtos de origem mineral que por meio de sua queima ou descarte inadequado, vem trazendo sérios danos ao ecossistema e a saúde humana.

Com isso, lubrificantes de base vegetal cada vez mais vem sendo estudados como alternativa viável a substituição dos lubrificantes minerais, por possuírem maior biodegradabilidade e serem ecologicamente corretos. Os lubrificantes biodegradáveis classificam-se, de acordo com sua composição química, em dois grupos: lubrificantes orgânicos e sintéticos. Os orgânicos são produzidos a partir de gorduras vegetais ou animais, enquanto os sintéticos usam lubrificantes orgânicos como matéria-prima, de modo a criar lubrificantes biodegradáveis com melhores propriedades químicas e físicas. Nesse viés, processos sintéticos envolvendo ésteres, álcoois, polialcoóis, poliglicóis, éteres perfluoroalquílicos e outros, são capazes de integrar um lubrificante natural, fazendo com que um lubrificante biodegradável sintético exiba propriedades oxidativas, de resistência ao desgaste e de lubrificação, ainda melhores do que as observadas em lubrificantes minerais (Santos, 2011). Assim, essa pesquisa, frente aos problemas ambientais, se concentrou na síntese (transesterificação e epoxidação) de um biolubrificante renovável, tendo como matéria prima o óleo de milho, livre de aditivos químicos que modifiquem a viscosidade ou inibam a corrosão.

2 OBJETIVO

O objetivo dessa pesquisa consiste em obter um biolubrificante a partir do óleo de milho, por meio das reações de transesterificação e epoxidação etílica.

3 METODOLOGIA

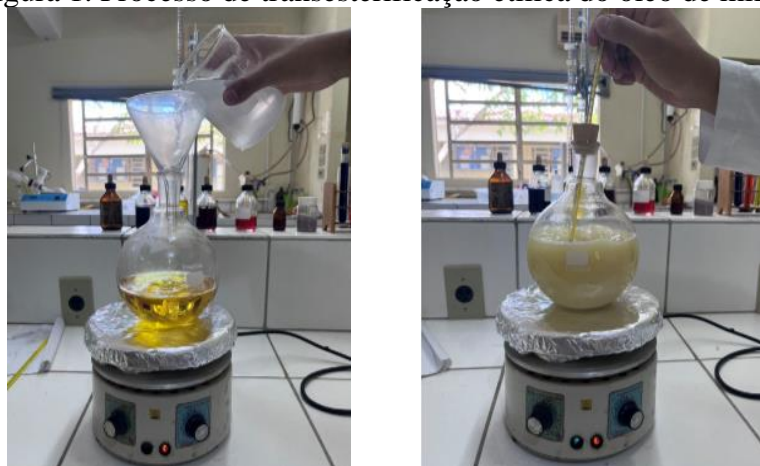
3.1 MATERIAIS

O óleo de milho foi adquirido no comércio local e produzido por indústria brasileira. O óleo refinado não necessita de tratamento prévio antes das reações a que foi submetido.

3.2 PROCEDIMENTO DE EXTRAÇÃO DO BIODIESEL E DO BIOLUBRIFICANTE

Para obtenção do éster etílico, inicialmente foi feito um cálculo da massa molar do óleo de milho a partir do seu índice de saponificação. Com o conhecimento dessa massa foram calculadas as quantidades de álcool (etanol) 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 h, porque temperaturas superiores à temperatura de ebulição do álcool podem acelerar a saponificação dos glicérides pelo catalisador alcalino antes da completa alcoólise (FERRARI et al., 2005).

Figura 1. Processo de transesterificação etílica do óleo de milho.



Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

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.

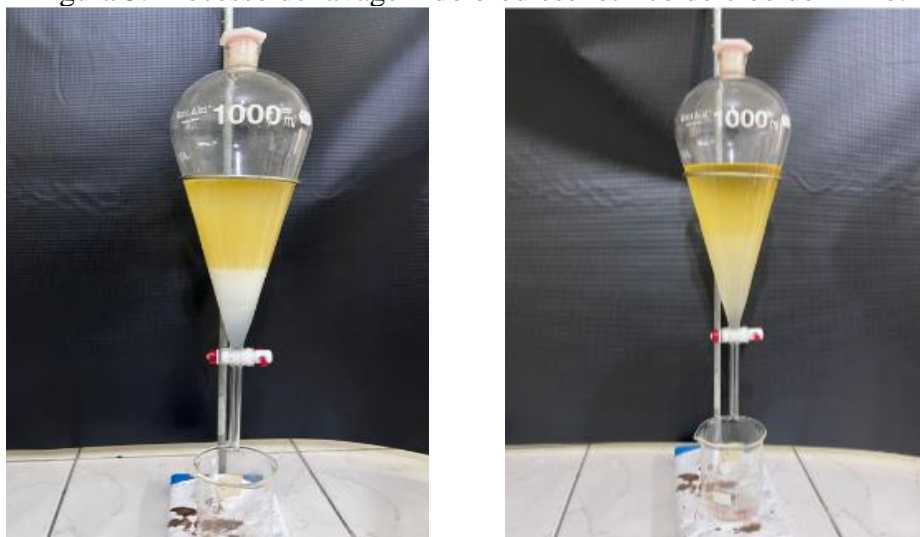
Figura 2. Processo de decantação do biodiesel etílico de óleo de milho.



Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

Após o tempo de espera, a fase inferior foi retirada e armazenada num recipiente próprio. Em seguida, foi realizada a lavagem do éster etílico (biodiesel) com água destilada e solução de ácido clorídrico 0,01M. Foram feitas três lavagens com água destilada (retirando da fase do éster resíduos de glicerol e sabões) e duas lavagens com solução de HCl 0,01M (neutralizando o éster). Para verificar a eficiência da lavagem ácida foi utilizada fenolftaleína.

Figura 3. Processo de lavagem do biodiesel etílico de óleo de milho.



Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

Após as lavagens, foi adicionado sulfato de magnésio anidro para retirar a água que ainda estivesse presente no éster. Em seguida, a fim de remover o etanol que poderia ainda estar presente no éster, foi utilizado um evaporador rotativo.

No processo de epoxidação dos ésteres do óleo de milho, num balão de fundo redondo de 250 mL, foram adicionados 100g do éster etílico obtido do óleo de milho, e gota a gota, 140 mL de ácido peracético comercial 15%. A mistura ficou sob agitação e aquecimento a 45°C, como a reação é exotérmica, utilizou-se de um banho de água e gelo por 1 hora para controle da temperatura. A reação foi realizada utilizando a proporção molares de 1:1,1 éster/ácido peracético.

Figura 4. Processo de epoxidação do biodiesel etílico de óleo de milho.



Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

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) obtido de óleo de milho, 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.

Figura 5. Processo de decantação do biolubrificante etílico de óleo de milho.



Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

3.3 CARACTERIZAÇÃO

O óleo de milho foi caracterizado 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), viscosidade, densidade relativa, teor de cinzas e teor de umidade e voláteis (AOCS Da2a-48).

Os procedimentos adotados para caracterizar éster etílico (biodiesel) obtido após a transesterificação foram os mesmos utilizados para caracterizar o óleo de milho.

O epóxido de éster etílico de óleo de milho (biolubrificante) foi caracterizado por meio dos índices de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de acidez (AOCS Cd 3d-63), índice de saponificação (AOCS Cd 3b-76), teor de sabão (AOCS Cc 17-95), índice de peróxido (AOCS Cd 8-53), hidroxila (AOCS Cd 13-60), oxigênio oxirano (AOCS D Cd 9-57), densidade relativa, teor de cinzas, 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.

4 DESENVOLVIMENTO

O óleo de milho foi adquirido em comércio local e produzido por indústria brasileira. Os resultados que foram obtidos por meio das características físico-químicas do óleo de milho refinado estão apresentados na Tabela 1.

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

Parâmetros	Óleo	Padrões Anvisa ^{1, 2}
Aspecto	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,034	≤ 0,1
Cinzas (%)	0,029	---
Densidade (g/cm ³)	0,916	0,915 - 0,925
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,220	≤ 0,6
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	107	96 - 115
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,0	≤ 10
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	190	189 - 195
Índice de peróxido (meq/Kg)	0,009	≤ 10
Massa molar aproximada (g/mol)	886	---
Viscosidade Cinemática a 40 °C (mm ² /s)	33,64	---

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

Mediante a Instrução Normativa nº 49, de 22 de dezembro de 2006, da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), podemos constatar que, entre os resultados descritos na Tabela 1, o aspecto do óleo de milho está dentro dos padrões permitidos pela ANVISA, obtendo uma coloração de amarelo límpido. O teor de umidade e voláteis também se encontra dentro do estipulado. O teor de umidade indica a quantidade de água presente na amostra e, permite assim, a formação de sabão (Marchetti, 2005). A ANVISA institui um valor para umidade e voláteis (%), como sendo, $\leq 0,1$, desse modo, podemos perceber que o valor obtido do óleo de milho se mantém baixo. O teor de cinzas, por sua vez, se encontra elevado se comparado a Araújo et al. (2009). A ANVISA não estabelece valor de referência para a análise do teor de cinzas. Este teor evidencia a quantidade de resíduo inorgânico presente na amostra depois da queima da matéria orgânica na mufla em altas temperaturas. A densidade relativa encontra-se dentro do permitido pelo órgão regulador. Este parâmetro de análise, informa a quantidade de material que se encontra contido por unidade de volume. O índice de acidez está em conformidade com os padrões da agência reguladora. Este índice, permite verificar o estado de conservação do óleo, evidenciando a pureza, a natureza, a qualidade, tipo de processamento e condições de conservação do mesmo (Ribeiro; Seravalli, 2004; Costa et. al., 2006 apud Pelanda, 2009). O índice de iodo se mantém dentro dos padrões estabelecidos pela ANVISA. O índice de iodo avalia o grau de insaturação do óleo, visto que, cada dupla ligação de um ácido graxo pode incorporar dois átomos de halogênio, no caso iodo (Silva, 2007). O teor de sabão se encontra dentro dos limites esperados pelos parâmetros da ANVISA, que estabelece um valor ≤ 10 , tendo em vista, que a amostra analisada obteve teor igual a (0,0), destacando assim, a alcalinidade da amostra. O índice de saponificação indica da quantidade de álcali, que será necessária para saponificar uma dada quantidade de óleo. A referida amostra analisada por meio do índice de saponificação se mantém dentro do previsto pela legislação. O índice de peróxido estabelecido nas análises foi de 0,009 meq/Kg. O estabelecido pela ANVISA é de no máximo 10 meq/kg. Portanto, o índice de peróxido se encontra dentro do aceitável. A massa molar obtida foi de 886 g/mol. A elevada viscosidade cinemática do óleo é indicativa de que as moléculas de triglicerídeos

presentes no óleo dificultam sua fluidez, por sua vez, o valor obtido da análise do óleo de milho foi 33,64(mm²/s). Vale ressaltar que os padrões da agência reguladora não estipulam um valor para essa análise.

A síntese do biodiesel etílico por transesterificação do óleo de milho, obteve um rendimento de 84% de éster etílico. Demonstrando, assim, um rendimento aceitável. A Tabela 2, mostra os valores referentes aos parâmetros físico-químicos dos ésteres etílicos de óleo de milho (biodiesel).

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

Parâmetros	Ésteres de óleo	Padrões ANP ¹
Aspecto	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,07	0,02
Cinzas (%)	0,04	0,02
Densidade (g/cm ³)	0,935	0,850-0,900
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,47	< 0,5
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	110	Anotar
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	2,09	-----
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	255,9	-----
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,029	-----

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

Com base na Resolução N° 45/2014 da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP), o aspecto do éster etílico analisado, está em conformidade com a legislação, apresentando uma coloração amarelo límpido. Por outro lado, o teor de umidade e voláteis do éster etílico se encontra fora do aceitável pelo órgão legislador, isso deve-se a possível presença de água nos reagentes utilizados. O teor de cinzas instituído pela legislação é de 0,02%, o obtido na análise da amostra, rendeu um percentual de 0,04%, evidenciando estar fora do padrão estipulado pela ANP. O resultado obtido pela determinação da densidade do éster etílico analisado foi de 0,935g/cm³, demonstrando não estar de acordo com os parâmetros da ANP. O índice de acidez se mantém dentro dos padrões, alcançando um valor de 0,47 mg KOH/g óleo. Segundo Oliveira (2021) índices de acidez elevados podem indicar a presença de água, afetando assim, a combustão e podendo ainda danificar as peças do motor. Embora a legislação não defina um valor máximo para o teor de sabão, este ao ser analisado encontrou-se na faixa de 2,09 ppm de oleato de sódio, se comparado com o teor de sabão do óleo de milho, este se encontra elevado. O índice de saponificação demonstrou valores de 255,9 mg KOH/g óleo, a legislação não possui um índice máximo definido a respeito. O mesmo ocorre com o índice de peróxido, este não possui um valor definido na legislação. As análises feitas para o índice de peróxido evidenciaram um valor de 0,029 meq/Kg. Os dados do índice de iodo obtido foi de 110 g I₂/100g óleo, comparando-os com o mesmo parâmetro analisado para o óleo de milho comercial, este se manteve alto, indicando que não houve diminuição do número de insaturações durante o processo de transesterificação.

A reação de epoxidação usando o éster etílico do óleo de milho na presença de ácido peracético, favoreceu na obtenção de um biolubrificante, cujo rendimento deste processo foi de 97%, o que indicando um processo eficiente. As caracterizações físico-químicas dos epóxidos de óleo de milho estão listadas na Tabela 3 abaixo.

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

Parâmetros	Époxido
Aspecto	Amarelo límpido
Umidade (%)	0,1
Cinzas (%)	0,09
Densidade (g/cm ³)	0,959
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	1,982
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	30,0
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,37
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	258,7
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,013
Índice de hidroxila	7,65
Oxigênio oxirano	10,8

Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

A legislação não informa nada a respeito dos valores máximos referentes aos parâmetros analisados para os epóxidos etílicos de origem vegetal. Os dados obtidos por meio das análises dos parâmetros físico-químicos dos epóxidos etílicos de óleo de milho (biolubrificante), nos mostra os valores de umidade e voláteis que obteve um percentual de 0,1%, em comparação ao do éster etílico, pode-se então perceber um aumento significativo, a umidade pode levar a ineficiência do produto, uma vez que, ela pode causar danos em peças. O elevado teor de umidade e voláteis, contribui para o aumento significativo do índice de saponificação, que, por sua vez, apresentou um valor de 258,7mg KOH/g óleo. A análise de cinzas obteve um percentual de 0,09%, relacionando a mesma com as análises feitas do éster etílico, nos indica que a presença de compostos inorgânicos teve um aumento. A densidade relativa obteve 0,959 g/cm³, se comparada a do óleo do milho comercial e ao éster etílico, alcançou valores altos. A densidade tenderá a ser menor, se o peso molecular dos triglicerídeos for menor, porém, quanto mais alto for o grau de instauração, mais denso o óleo será (Carvalho, 2016). O índice de acidez se encontra com 1,982 mg KOH/g óleo, se tomarmos como base o índice de acidez do éster etílico, é possível perceber uma elevação desse índice. O índice de iodo conseguiu um valor de 30,0 g I₂/100g óleo, que se comparado com o éster etílico, este se manteve baixo, demonstrando que a epoxidação diminuiu o número de insaturações. O teor de sabão obteve uma elevação de 0,37 ppm de oleato de sódio, se comparado com o da matéria prima, entretanto, em comparação ao éster etílico, o referido valor se manteve baixo. O índice de peróxido obteve 0,013 meq/Kg, relacionando esse valor com o obtido do éster etílico, percebe-se que o índice de peróxido do epóxido etílico se encontra com valores baixos, assim o epóxido etílico pode apresentar características menos rançosas que o éster etílico. O valor do índice de hidroxila foi de 7,65 mg KOH/g óleo, em comparação aos valores



encontrados por Macedo et al. (2021), o índice obtido na referida análise foi menor. O índice de hidroxila foi utilizado para determinação da ocorrência da hidrólise do anel oxirano. Esses valores de índice de hidroxila, nos revela a existência de hidroxilas no epóxido, estando associado a elevação da concentração de ácido peracético usado no processo reacional. O dado encontrado na análise de oxigênio oxirano foi de 10,8%. De acordo com Baltacioglu e Balkose (1999), o valor do índice de oxigênio oxirano deve ser baixo, entretanto, superior a 6,7%. Desse modo, temos que a reação de epoxidação obteve êxito, mesmo ocorrendo reações de hidrólise.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A referida síntese do biolubrificante, constatou em suas caracterizações, que muitas de suas propriedades estão em conformidade com os órgãos legisladores, evidenciando um potencial de aplicação em diversas áreas, ligadas a indústria e a agricultura, porém, destaca-se a relevância de mais análises para determinar todas as propriedades do produto obtido. Desse modo, o biolubrificante pela epoxidação etflica do óleo de milho apresentou grande potencial para a produção de lubrificantes renováveis e sustentáveis. A utilização de óleo de milho como matéria-prima, se revela uma alternativa viável para substituição de óleos básicos usados para produzir lubrificantes minerais, demonstrando assim, sua contribuição para diminuição da dependência de recursos fósseis finitos e reduzindo as emissões de gases poluentes. Contudo, faz-se necessário mais estudos para otimização dos processos reacionais químicos, para obtenção de lubrificantes biodegradáveis que melhor atendam as demandas do mercado, com menor custo e excelente eficiência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao MEC/FNDE pelo suporte financeiro ao desenvolvimento do projeto vinculado ao PET/Química da UFCG.



REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G. S.; CARVALHO, R. H. R.; SOUSA, E. M. B. D. Produção de Biodiesel a partir de Óleo de Coco (Cocos nucifera L.) Bruto. In: 2nd International Workshop-Advances in Cleaner Production. São Paulo, p. 1-10, 2009.

ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO DE MEIO AMBIENTE DE CIANORTE, Gerenciamento de óleos Lubrificantes Usados e Contaminados, 2005.

BALTACIOGLU H; BALKOSE, D. “Effect of zinc stearate and/or epoxidized soybean oil on gelation and thermal stability on PVC-DOP plastigels”, Journal of Applied Polymery Science. 74, 2488-2498, 1999.

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 Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Óleo de milho, aspectos químicos e nutricionais. Embrapa, Minas Gerais, 2004.

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.

CAVALCANTE, G. H. R. Estudo de óleos nativos da Amazônia (Babaçu e Andiroba): modificação química, caracterização e avaliação como biolubrificante. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal). Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

KARMAKAR G, GHOSH P, SHARMA BK. Chemically modifying vegetable oils to prepare green lubricants. Lubricants, v. 5, nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/lubricants5040044>.

LUBES EM FOCO, Rerrefino: Um enfoque ecológico. Disponível em: O papel do rerrefino em um ambiente sustentável - Lubes em Foco (portallubes.com.br).

MACEDO, A. D. M., FARIAS, H. H., RAMOS, J. D. F., PEREIRA, A. M. S., ROCHA, E. C.da S., DE OLIVEIRA, I. L., & Santos, J. C. O. (2021). Otimização do Processo de Síntese de Biolubrificantes por Epoxidação de Óleo Residual Oriundo de Restaurante Universitário / Optimization of the Biolubricant Synthesis Process by Epoxidation of Waste Oil from a University Restaurant. Brazilian Journal of Development, 7(12), 119743–119761.

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



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

OLIVEIRA, I. L. de. Obtenção de biocombustíveis por transesterificação etílica e metílica do óleo residual oriundo de restaurante universitário. 2021. 45 fl. (Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia), Curso de Licenciatura em Química, Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité – Paraíba – Brasil, 2021.

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.

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.

SILVA, A. F.; FLECK, E.; MELLO, M. I. S.; REIS, M. F. P. Reciclagem - óleos de fritura. Anais: Mostra de trabalhos / projetos dos técnicos de nível superior da prefeitura de Porto Alegre. Porto Alegre, 2007.

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.