

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos



Atena  
Editora  
Ano 2022

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos



Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0198-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.988221306>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos” é constituído por nove capítulos de livros que apresentaram estudos aplicados a diferentes segmentos industriais e ambientais.

O primeiro capítulo avaliou as propriedades e capacidade de escoabilidade de materiais pulverulentos a base de celulose e lactose na fabricação de medicamentos na forma de comprimidos ou cápsulas, os resultados foram satisfatórios e possibilita a substituição da lactose pela celulose. O segundo trabalho avaliou o processo de cavitação no canal do bico injetor ao se substituir o tipo de combustível em motores que operam a diesel, a viscosidade do combustível e a pressão de injeção foram os fatores que mais influenciaram na cavitação. O terceiro capítulo avaliou diferentes modificações químicas no óleo de soja refinado a partir da reação de inúmeras reações com o intuito de melhorar as características lubrificantes, obtendo-se um lubrificante biodegradável a partir do óleo de soja. O capítulo 4 apresenta o estudo da incorporação do extrato de frutos – cupuaçu – e do mesocarpo do coco de babaçu a fim de conferir atividade antioxidante para biofilmes com potencial utilização em biopolímeros.

O capítulo 5 realizou uma análise bibliográfica de catalisadores e suas propriedades que viabilizam reações de transesterificação heterogênea a fim de obter biocombustíveis. Já o capítulo 6 realizou um estudo apresentando a importância da Espectroscopia Raman como técnica de caracterização de óxidos com propriedades catalíticas. O capítulo 7 apresentou um estudo de desenvolvimento de uma planta pirolítica de baixo custo utilizando resíduos de colheita de Eucalipto como biomassa para a combustão. O capítulo 8 apresentou uma técnica de conversão integral de gás metano em gás carbônico em um reator de leito fixo. Por fim, o estudo de potencialidade de biorremediação utilizando a biomassa de *Chlorella Vulgaris* em processos de tratamento de águas residuárias.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE FLUXO DE MISTURAS DE EXCIPIENTES FARMACÊUTICOS**

Marlen Ussifati Rocha

Rodrigo Condotta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213061>

### **CAPÍTULO 2..... 11**

#### **AVALIAÇÃO DO FENÔMENO DE CAVITAÇÃO EM INJETORES DO CICLO DIESEL OPERANDO COM BIODIESEL: MODELAGEM E SIMULAÇÃO**

Luís Felipe Nunes Truta

Boniek Evangelista Leite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213062>

### **CAPÍTULO 3..... 24**

#### **PREPARAÇÃO DE POTENCIAIS BIOLUBRIFICANTES A PARTIR DE MODIFICAÇÕES QUÍMICAS NO ÓLEO DE SOJA REFINADO**

Paulo Roberto de Oliveira

Ana Flávia de Oliveira

Patrick Rodrigues Batista

Carlos Itsuo Yamamoto

Francisco de Assis Marques

Palimécio Gimenes Guerrero Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213063>

### **CAPÍTULO 4..... 37**

#### **INFLUÊNCIA DO MESOCARPO DE COCO BABAÇU NA FORMAÇÃO DE BIOFILMES ADITIVADOS COM COMPOSTOS ANTIOXIDANTES – CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum*)**

Meyrelle Figueiredo Lima

Dennys Correia da Silva

Audirene Amorim Santana

Harvey Alexander Villa Vélez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213064>

### **CAPÍTULO 5..... 44**

#### **CATALISADORES QUE VIABILIZAM A TRANSESTERIFICAÇÃO HETEROGÊNEA: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA**

Priscila Pereira Silva

Thaina Firmino Voltolini

Evandro Roberto Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213065>

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>60</b>
ESPECTROSCOPIA RAMAN <i>IN SITU</i> OU OPERANDO NO ESTUDO DE REAÇÕES CATALISADAS POR ÓXIDOS	
Diego Rodrigues de Carvalho Rômulo Batista Vieira Luelc Souza da Costa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213066">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213066</a>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>74</b>
CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTA PIROLÍTICA DE BAIXO CUSTO EM ESCALA LABORATORIAL PARA PROCESSAMENTO TÉRMICO	
Victor Hugo Andreis Sebben Fabiano Perin Gasparin Lúcia Allebrandt da Silva Ries	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213067">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213067</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>86</b>
GENERALIZED INTEGRAL TRANSFORM TECHNIQUE APPLIED IN METHANE REFORMING PROCESS WITH CARBON DIOXIDE IN FIXED BED REACTOR	
Josiel Lobato Ferreira Emerson Cardoso Rodrigues Dilson Nazareno Pereira Cardoso Wenderson Gomes dos Santos Romero Moreira de Oliveira Bruno Maués Farias João Nazareno Nonato Quaresma Emanuel Negrão Macêdo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213068">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213068</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>106</b>
BIOREMEDIATION POTENTIAL OF <i>Chlorella vulgaris</i> (CHLOROPHYCEAE) IN CASSAVA-PROCESSING WASTEWATERS	
Verónica de Medeiros Carla Cristina Almeida Loures Conceição Fernandes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213069">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213069</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>112</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>113</b>

# CAPÍTULO 3

## PREPARAÇÃO DE POTENCIAIS BIOLUBRIFICANTES A PARTIR DE MODIFICAÇÕES QUÍMICAS NO ÓLEO DE SOJA REFINADO

*Data de aceite: 01/06/2022*

### **Paulo Roberto de Oliveira**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de  
Química e Biologia  
Curitiba-PR

### **Ana Flávia de Oliveira**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de  
Química e Biologia  
Curitiba-PR

### **Patrick Rodrigues Batista**

Laboratório de Físico-Química Orgânica,  
Instituto de Química, Universidade de  
Campinas  
Campinas-SP

### **Carlos Itsuo Yamamoto**

Departamento de Engenharia Química, Centro  
Politécnico, Jardim das Américas, Universidade  
Federal do Paraná  
Curitiba-PR

### **Francisco de Assis Marques**

Universidade Federal do Paraná, Campus  
Curitiba, Departamento de Química  
Curitiba - PR

### **Palimécio Gimenes Guerrero Júnior**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Curitiba, Departamento Acadêmico de  
Química e Biologia  
Curitiba-PR

**RESUMO:** Estimativas de esgotamentos das reservas petrolíferas vêm motivando pesquisas no intuito de buscar alternativas para combustíveis e derivados, como os lubrificantes baseados em óleos diferentes dos óleos minerais, visando assim reduzir a contaminação provocada pelo uso dos lubrificantes convencionais. O objetivo deste trabalho consiste em realizar modificações químicas no óleo de soja refinado, através da reação de transesterificação seguida da epoxidação, hidroxilação e acetilação a fim de melhorar as características lubrificantes desse óleo. A reação de hidroxilação provocou um aumento significativo da viscosidade cinemática de 100,02, 34,18; 54,82 e 46,34 mm<sup>2</sup>.s para os ésteres metílicos EMH-1, EMH-2, EMH-3 e EMH-4 respectivamente. Estes resultados mostram que a viscosidade para os compostos hidroxilados é superior ao do OSR. Com a reação a acetilação dos EMH, os valores de viscosidade cinemática foram de 49,30, 46,22; 42,22 e 28,44 mm<sup>2</sup>.s para o EMA-1, EMA-2, EMA-3, EMA-4, respectivamente. O aumento no índice de viscosidade para os EMH ocorre na seguinte ordem EMH-1, EMH-2, EMH-3 e EMH-4. Para os acetilados a ordem é EMA-2, EMA-3, EMA-4, EMA-1. Estes resultados indicam que o tamanho da ramificação na cadeia éster altera o índice de viscosidade. Todos os produtos foram caracterizados por análises Físico-Químicas e por meio dos espectros de RMN de <sup>1</sup>H e <sup>13</sup>C. Pode-se concluir que a metodologia apresentada neste trabalho possibilita a obtenção de potenciais lubrificantes biodegradáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óleos vegetais; biolubrificantes; epoxidação; hidroxilação;

acetilação.

## PREPARATION OF POTENTIAL BIO-LUBRICANTS FROM CHEMICAL MODIFICATIONS IN REFINED SOYBEAN OIL

**ABSTRACT:** Estimates of the lack of petroleum in the near future have motivated research to investigate fuels and refined products to petroleum alternative. Synthesizing various vegetable oils lubricants, to reduce the contamination caused by the use of conventional lubricants. The objective of this work is to carry out chemical modification of soybean oil by transesterification reaction followed by epoxidation, hydroxylation and acetylation to improve the characteristics of these oil lubricants. The reaction of hydroxylation caused a significant increase in the kinematic viscosity of 100.02, 34.18; 54.82 and 46.34 mm<sup>2</sup>.s for HME-1, HME-2, HME-3 and HME-4 methyl esters, respectively. These results show that the viscosities of hydroxylated lubricants are superior to RSO. With the acetylation of HME, kinematic viscosity values were 49.30, 46.22; 42.22 and 28.44 mm<sup>2</sup>.s for AME-1, AME-2, AME-3 and AME-4, respectively. The increase in viscosity for the hydroxylated compounds occurs in the following order: HME-1, HME-2, HME-3 and HME-4. For acetylated order is AME-2, AME-3, AME-4 and AME-1. These results indicate that the size of the ester chain branching alters the viscosity. All products were characterized by Physicochemical analyzes and by <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectra. It can be concluded that the method presented here enables obtaining potential biodegradable lubricants.

**KEYWORDS:** Vegetable oils; biolubricants; epoxidation; hydroxylation; acetylation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, surgiram novas tecnologias voltadas para o desenvolvimento de produtos a partir de fontes renováveis. As preocupações sobre o uso de produtos derivados do petróleo aumentam com o esgotamento progressivo das reservas mundiais de combustíveis fósseis, e também devido a impactos ambientais (SYAHIR et. al. 2017).

Estimativas de esgotamentos das reservas petrolíferas também vêm motivando inúmeros pesquisadores a buscarem alternativas para combustíveis e derivados, como os lubrificantes que tem como base óleos diferentes dos óleos minerais, visando assim reduzir a contaminação provocada pelo uso dos lubrificantes convencionais (TRINCHET et. al., 2020).

As perdas deliberadas ou acidentais de lubrificantes para o ambiente, por meios de vazamento de gases de escape, eliminação descuidada (SILVA, 2010) evaporação e derramamentos, induzem a uma grande preocupação com a poluição ambiental (TRINCHET et. al., 2020).

A NBR 10004 de 2004 relata que os óleos lubrificantes usados ou contaminados são considerados tóxicos, pois se enquadram como ameaça pela presença de um grande número de constituintes perigosos ou por causa do efeito do conjunto destes.

Segundo a SIDICOM (Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes), a qual é representante das empresas distribuidoras de combustíveis, cuja abrangência chega aos 80% do mercado nacional, em 2020 foram distribuídos 758.107 m<sup>3</sup> de óleos lubrificantes no país.

Esse amplo uso de óleos lubrificante, incluem os óleos minerais e óleos sintéticos. Entre estes, os óleos minerais são os mais comumente usados, e consistem predominantemente em hidrocarbonetos, porém também contém enxofre e compostos nitrogenados, com traços de uma série de metais (ADHVARYU et al., 2005). Os lubrificantes sintéticos têm sido usados por muitos anos, contudo, antes de seu desenvolvimento, os óleos vegetais eram usados como principais lubrificantes (NAGENDRAMMA e KAUL, 2012).

Em todos os lugares a produção, aplicação e descarte de lubrificantes tem que cumprir alguns requisitos para a melhor proteção do meio ambiente em geral e, em especial, na vida dos seres vivos, e assim, tem havido uma procura crescente por lubrificantes “verdes” (AFIFAH et. al., 2021). O procedimento desejável é que seja reduzida a toxicidade e aumentado a biodegradabilidade, pois a utilização de lubrificantes biodegradáveis poderia reduzir significativamente o risco de poluição ambiental (NEGI et al., 2021).

Produtos de origem vegetal, bem como os óleos vegetais modificados podem ser usados como material para a produção de lubrificantes biodegradáveis (NEGI et al., 2021). Por ser um recurso renovável, o óleo vegetal torna-se uma boa alternativa ao óleo mineral, o qual possui natureza tóxica e baixa degradabilidade (SALIMON et al., 2010a), alto ponto de fulgor, baixa volatilidade, altos índices de viscosidade (HWANG; ERHAN, 2001) e alto poder calorífico. A ausência de enxofre na composição química dos óleos vegetais também contribui, não gerando, substâncias danosas ao meio ambiente (PIANOVIC, 2002).

## 2 | OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo realizar modificações químicas no óleo de soja refinado para a obtenção de potenciais biolubrificantes.

## 3 | METODOLOGIA

### 3.1 Caracterização físico-química e por RMN de <sup>1</sup>H e <sup>13</sup>C do OSR, EM, EME, EMH e EMA

As caracterizações do óleo de soja refinado (OSR), dos ésteres metílicos (EM) e dos ésteres metílicos epoxidados (EME), hidroxilados (EMH) e acetilados (EMA) foram feitas através de análises de índice de acidez (AOCS Cd 3d-63), índice de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de saponificação (AOCS Cd 3-25), densidade relativa (AOCS Cc10a-25), teor de umidade e voláteis (AOCS Da 2a-48), índice de oxigênio oxirano (ASTM D 1652-97), viscosidade cinemática (ASTM 445 e D2270), ponto de fluidez (ASTM D6371) e ponto de

fulgor (ASTM D93).

As análises por RMN foram feitas em tubos de ressonância de 5 mm de diâmetro, foram colocados 25 mg do composto, 0,5 mL de clorofórmio deuterado e o tetrametilsilano (TMS), usado como referência. Os espectros de RMN de  $^1\text{H}$  e  $^{13}\text{C}$  foram obtidos em um equipamento de RMN de 200 MHz.

## 3.2 Preparação dos compostos

### 3.2.1 *Reação de transesterificação*

Em um reator de vidro de 5 L foram adicionados 800 g de OSR e uma solução de 220 mL de metanol contendo 6,77 g hidróxido de potássio de 85% de pureza. A mistura foi mantida sobre agitação mecânica a 45 °C por 1 hora.

Após este tempo, o excesso de metanol foi retirado em um evaporador rotatório e a mistura reacional foi transferida para um funil de separação. Foram feitas três lavagem com 100 mL de água destilada, duas lavagens com 50 mL de solução de ácido clorídrico 0,01 M e uma lavagem com 50 mL de solução saturada de cloreto de sódio. Posteriormente os EM foram secos com sulfato de magnésio anidro e armazenado em frasco âmbar.

### 3.2.2 *Reação de epoxidação*

Em balão de fundo redondo de três bocas, de 1 L, contendo 300 g de EM sobre agitação mecânica, foram adicionados gota a gota 420 mL de ácido peracético 15%. Posteriormente manteve-se a mistura sobre agitação e aquecimento a 45 °C por uma hora. Após o término da reação, a mistura foi transferida para um funil de separação. Foram feitas duas lavagens com 100 mL de solução de bicarbonato de sódio 10%. Posteriormente os EME foram secos com sulfato de magnésio anidro e armazenados em frasco âmbar.

### 3.2.3 *Reação de abertura do anel oxirano dos EME*

O sulfato férrico  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  e o ácido p-toluenossulfônico (APTS) foram utilizados como catalisadores na abertura do anel oxirano do EME. As reações foram feitas utilizando 1, 3 ou 5% de catalisador em uma relação massa/massa com o EME. As relações molares de 1:3, 1:6 e 1:9 de EME e água, metanol, etanol, 1-propanol ou 2-propanol foram aplicadas.

Em um balão de 250 mL adicionou-se 100 g de amostra, o catalisador e água, metanol, etanol, 1-propanol ou 2-propanol. As reações foram realizadas em um sistema de refluxo e agitação por 2 horas. Após este tempo, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação. Foram feitas três lavagem com 100 mL de água destilada, e uma lavagem com 50 mL de solução saturada de cloreto de sódio. Posteriormente os ésteres metílicos hidroxilados (EMH) foram secos com sulfato de magnésio anidro.

### 3.2.4 Reação de acetilação dos EMH

Em um sistema de refluxo, contendo 100 g dos EMH em um balão de fundo redondo de 250 mL de três bocas, foram adicionados 12 mL de piridina e 16 mL de anidrido acético gota a gota sob agitação. A reação ficou sobre agitação e aquecimento a 80 °C por 2 horas. Depois, foram adicionadas pedras de gelo. A mistura reacional foi transferida para um funil de separação. A fase orgânica foi lavada duas vezes com 25 mL de água e duas vezes com 25 mL de solução de bicarbonato de sódio 5%. Posteriormente os ésteres metílicos acetilados (EMA) foram secos com sulfato de magnésio anidro e armazenados em frasco âmbar. Para a obtenção do éster metílico diacetilado foi utilizado 32 mL de anidrido acético.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a obtenção dos potenciais biolubrificantes foram feitas algumas modificações químicas no OSR. As reações estão demonstradas na Figura 1.

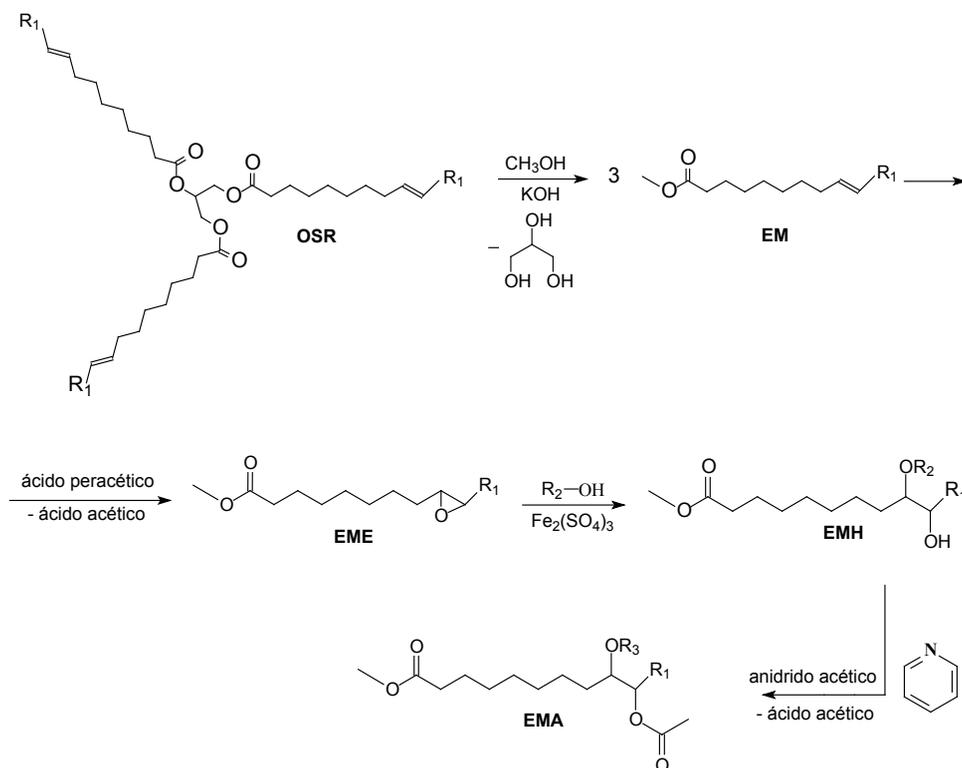


Figura 1. Reações realizadas com o OSR para obtenção dos EM, EME, EMH e EMA. R<sub>1</sub> é uma representação geral para os diferentes tipos de ácidos graxos insaturados. R<sub>2</sub> = H (1), -CH<sub>3</sub> (2), -CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> (3) ou -CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> (4). R<sub>3</sub> = COCH<sub>3</sub> (5), -CH<sub>3</sub> (6), -CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> (7) ou -CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> (8).

#### 4.1 Análises físico-química do OSR, EM, EME, EMH e EMA

Analisando os resultados apresentados na Tabela 1, pode-se observar que o valor do índice de acidez e índice de saponificação para o OSR estão dentro do limite estabelecido pela ANVISA. Para o EM o valor de índice de acidez foi de 0,16 mg KOH.g<sup>-1</sup>, está abaixo do estabelecido Agência Nacional de Petróleo (ANP). Com o índice de acidez e de saponificação, foi possível obter a massa molar de 883,46 g.mol<sup>-1</sup> para o OSR (COCKS; VAN, 1998).

Para o OSR, o índice de iodo apresentado foi de 118,78 mg de I<sub>2</sub>/g estando bem próximo do instituído pela ANVISA. O valor encontrado para o EM (107,66 mg I<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup>) teve um pequeno decréscimo quando comparado ao índice de iodo do OSR indicando que a reação de transesterificação não reduziu, de uma forma expressiva, as duplas ligações das moléculas.

Análises	OSR	EM	EME
Índice de acidez (mg KOH.g <sup>-1</sup> )	0,02	0,16	---
Índice de iodo (mg I <sub>2</sub> .g <sup>-1</sup> )	118,78 ± 0,20	107,66 ± 0,55	8,73 ± 1,4
Índice de saponificação (mg KOH.g <sup>-1</sup> )	190,16 ± 0,70	194,75 ± 2,30	---
Densidade relativa a 20 °C (g.mL <sup>-1</sup> )	920,72 ± 0,02	885,58 ± 0,02	950,02 ± 0,05
Teor de umidade (% H <sub>2</sub> O)	0,05 ± 0,01	0,06	0,10 ± 0,02
Viscosidade Cinemática a 40 °C (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	29,05 ± 1,00	4,16	12,49 ± 0,06
Viscosidade cinemática a 100 °C (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	7,08	---	3,18 ± 0,25
Índice de Viscosidade	216	---	121
Ponto de Fluidez (°C)	-9	-2	0
Ponto de Fulgor (°C)	350	139	210
Índice de Oxigênio Oxirano (%)	---	---	13,20 ± 0,01

Tabela 1. Análises Físico-Químicas dos OSR, EM e EME.

A Tabela 1 mostra que o índice de iodo sofreu uma redução significativa de 107,66 para 8,73 mg de I<sub>2</sub>/g dos EM em relação aos EME. Estes resultados indicam que as ligações duplas foram convertidas em anéis oxiranos. O índice de oxigênio oxirano foi de 13,20%, mostrando que as reações de epoxidação foram bem sucedidas visto que para ser considerado eficaz, deve ser superior a 6,3% (BALTACIOGLU; BALKOSE, 1999).

Valores de viscosidade cinemática (29,05 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>) do OSR encontrados na literatura (MARQUES, 2012) a 40 °C indicam que as moléculas de triglicerídeos presentes no óleo dificultam sua fluidez (SANTOS, 2011). Nota-se também que o índice de viscosidade de 216 para o OSR é considerado muito alto, mostrando que a viscosidade não tem variações

extremas com a variação da temperatura. Dados da literatura mostram que viscosidade a 40 °C dos EM, quando comparado à viscosidade do OSR (Tabela 1) é reduzida para 4,16 mm<sup>2</sup>.s (SANTOS, 2011). A reação de transesterificação, por retirar a molécula de glicerol do triglicerídeo reduz a viscosidade do OSR, melhorando sua característica lubrificante (SANTOS, 2011).

A viscosidade dos EME a 40 °C (12,49 mm<sup>2</sup>.s) foram maiores que os EM, confirmando a reação de conversão das ligações duplas em anéis oxiranos. A densidade relativa encontrada nos EME (950,02 g×mL<sup>-1</sup>) foi maior que a do EM (885,58 g×mL<sup>-1</sup>).

O ponto de fulgor de 350 °C (FACHAGENTUR; NACHWACHSENDE; ROHSTOFFE, 2008) encontrado na literatura para o OSR é considerado alto. Para os EM, os pontos de fulgor que tem sido encontrado na literatura são próximos de 139 °C (ALPTEKIN; CANAKCI, 2008). Este valor indica que nas condições normais de transporte, manuseio e armazenamento os EM não são inflamáveis. O ponto de fulgor do EME foi de 210, ou seja, não apresenta risco de armazenamento e menor risco de incêndio (MACHADO, 2003).

O bom ponto de fluidez, de -9 °C para o OSR (SANTOS, 2008) é ocasionado pelo excesso de ácidos graxos insaturados, que dificultam a formação de macroestruturas cristalinas à baixas temperaturas. O ponto de fluidez dos EM apresentaram um aumento para -2 °C (MELO, 2009), indicando que a reação de transesterificação, mesmo não diminuído as insaturações presentes nos ácidos graxos, aumenta o ponto de fluidez.

O valor do ponto de fluidez para os EME aumenta para 0 °C quando comparado aos valores obtidos para os éster metílicos (-2 °C, Tabela 1), indicando que a remoção das insaturações resulta na diminui de sua aplicação em baixas temperaturas caso não sejam adicionados aditivos compensatórios (SALIMON et al. 2010b).

O índice de viscosidade dos EME foi de 121 mm<sup>2</sup>.s, é considerado muito alto e sugere que ocorrerá pouca modificação na viscosidade dos EME com alterações de temperatura.

Os resultados obtidos na caracterização Físico-Químicas dos ésteres metílicos hidroxilados EMH-1, EMH-2, EMH-3 e EMH-4 estão apresentados na Tabela 2. Estes EMH foram preparados através da melhor condição reacional encontrada, ou seja, uma relação molar EME/reagente de 1:3 e uma relação massa/massa de 3% de Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> como catalisador.

O maior ponto de fulgor foi obtido para o EMH-2 (148,5 °C). Os demais EMH apresentaram ponto de fulgor de 128,5 °C (EMH-4), 115,0 °C (EMH-3) e 108,5 °C (EMH-1). Estes resultados indicam que o EMH-2 é o que apresentou menos voláteis e é o mais resistente ao fogo como um potencial biolubrificante. O ponto de fulgor deve ser elevado, para garantir a segurança operacional e volatilização mínima no funcionamento à máxima temperatura (SALIMON et al., 2012).

ANÁLISES	1	2	3	4
Ponto de Fulgor (°C)	108,5	148,5	115,0	128,5
Ponto de Fluidez (°C)	9	3	3	3
Densidade relativa a 20 °C (kg×m <sup>-3</sup> )	971,0	966,8	965,4	957,4
Índice de Oxigênio Oxirano (%)	0,55	0,47	0,39	0,52
Viscosidade Cinemática 40 °C (mm <sup>2</sup> .s)	100,08	34,18 ± 0,02	54,82 ± 0,09	46,34 ± 0,02
Viscosidade Cinemática 100 °C (mm <sup>2</sup> .s)	7,18	5,15 ± 0,18	7,21 ± 0,09	6,66 ± 0,03
Índice de Viscosidade	25	69	87	95

Tabela 2. Análises Físico-Químicas dos EMH 1-4.

Os valores de ponto de fluidez foram superiores a 0 °C. Estes valores podem limitar o uso destes compostos para uso à baixas temperaturas, caso não sejam adicionados aditivos para melhorar esta propriedade. O valor de 3 °C foi obtido para EMH de 2 a 4. O EMH-1 apresentou o maior ponto de fluidez (9 °C) indicando que quanto mais hidroxilas são adicionados a cadeira carbônica, maior será a interação intermolecular por ligação de hidrogênio entre as moléculas, dificultando a movimentação destas e consequentemente a fluidez do líquido.

Os valores de densidade relativa apresentadas na Tabela 2 são maiores do que o apresentado para o EME (950,02 kg.m<sup>-3</sup>, Tabela 1). Estes resultados mostram que ocorre um aumento da densidade relativa na conversão do EME nos EMH. O maior valor de densidade relativa foi para o EMH-1 (971,8 kg.m<sup>-3</sup>), diminuindo para 966,8, 965,4 e 957,4 kg.m<sup>-3</sup> para EMH-2, EMH-3 e EMH-4, respectivamente. A diminuição da densidade do EMH-2 para o EMH-4 pode estar relacionada ao aumento do tamanho do substituinte.

Os valores de índice de oxigênio oxirano baixos indicaram que a maior parte dos anéis oxiranos foram quebrados durante a reação de hidroxilação dos EM. Estes resultados também indicaram que o catalisador Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> se mostrou bastante eficiente para este tipo de reação.

As viscosidades cinemáticas do EMH-1 foram de 100,88 e 7,32 mm<sup>2</sup>.s para as temperaturas de 40 °C e 100 °C. Com base na classificação ISO 3448, este material pode ser caracterizado como um óleo ISOGV 100 indicados para sistemas hidráulicos de máquinas operatrizes, compressores a ar, e equipamentos industriais para condições normais de uso. O índice de viscosidade para este composto foi de 25, considerado um índice baixo, demonstrando que sua viscosidade varia sensivelmente com a alteração da temperatura.

Para o EMH-2 obteve-se a viscosidade de 34,18 e 5,165 mm<sup>2</sup>.s a 40 °C e 100 °C. Com base na classificação da ISO 3448, este material pode ser caracterizado como um óleo ISOVG32. Tanto sua viscosidade a 40 °C, quanto a 100 °C foram relativamente baixas,

típico de óleos para sistemas hidráulicos, pneumáticos, bombas de vácuo, compressores de parafusos, de pistões, caixas de engrenagens, mancais e outros equipamentos que operam em alta rotação, sem a exigência de aditivos antidesgaste, e de alta pressão (PETROQUIM). O índice de viscosidade de 69 mm<sup>2</sup>.s para o EMH-2 é considerado mediano.

As viscosidades cinemáticas a 40 °C e a 100 °C foram 54,82 e 7,21 mm<sup>2</sup>.s para o EMH-3. Com esses valores, pode-se classificar esta amostra, segundo a norma SAE J300, como óleo tipo SAE 20, mais comumente usados em pequenos motores a gasolina, como os encontrados em cortadores de grama, que não precisa ser iniciado em temperaturas frias (HINTZ, 2012). O índice de viscosidade do EMH-3 foi de 87 mm<sup>2</sup>.s.

As viscosidades cinemáticas do EMH-4 foram de 46,34 e 6,66 mm<sup>2</sup>.s para as temperaturas de 40 °C e 100 °C. Com base na classificação da ISO 3448, este material pode ser caracterizado como um óleo ISOVG46, recomendado para sistemas hidráulicos, pneumáticos, bombas de vácuo, mancais, sem exigência de aditivo AW (em baixas temperaturas), compressores de parafusos, de pistões, caixas de engrenagens, sem exigência de aditivo EP (em altas pressões) e outros recomendados para sistemas hidráulicos que operam em altas temperaturas. O índice de viscosidade desta amostra foi de 95, sendo o maior índice entre os três produtos sintetizados, e considerado alto. Um biolubrificante, com um elevado índice de viscosidade sofre uma mudança muito pequena da viscosidade com temperaturas elevadas (HWANG et al., 2003).

Os valores de índice de viscosidade para os compostos EMH-2, EMH-3 e EMH-4 indicam que o aumento do tamanho da ramificação aumenta o índice de viscosidade.

Os resultados obtidos na caracterização Físico-Químicas dos EMA estão apresentados na Tabela 3.

ANÁLISES	5	6	7	8
Ponto de Fulgor (°C)	136,5	148,5	127	179
Ponto de Fluidez (°C)	6	3	0	0
Densidade relativa a 20 °C (kgxm <sup>-3</sup> )	986,1	972,3	971,0	962,3
Viscosidade Cinemática 40 °C (mm <sup>2</sup> .s)	49,30	46,22	42,29	28,44
Viscosidade Cinemática 100 °C (mm <sup>2</sup> .s)	8,26	6,00	5,92	5,25
Índice de Viscosidade	142	62	75	120

Tabela 3. Análises Físico-Químicas dos AME 5-8.

Após a acetilação dos HME pode-se observar, através dos resultados da Tabela 3, que o EMA-8, apresenta o maior ponto de fulgor (179 °C), seguido pelo EMA-6 (148,5 °C), EMA-5 (136,5 °C) e EMA-7 (127 °C). Estes resultados mostram que a reação de acetilação aumentou o ponto de fulgor quando comparado com os EMH (Tabela 2). Após

as acetilações, exceto para o EMA-6, os compostos sofreram uma redução nos valores de ponto de fluidez de 3 °C. Dentre estes os melhores valores foram encontrados para EMA-7 e EMA-8 (0 °C). Estes resultados demonstram que a adição de grupos acetila melhoram o ponto de fluidez.

O maior valor de densidade relativa foi para o EMA-5. Este valor diminuiu para 972,3, 971,0 e 962,3 kg.m<sup>-3</sup>, para EMA-6, EMA-7 e EMA-8, respectivamente. Comparando com os valores de densidade relativa entre os EMH e EMA, nota-se que os valores de densidade relativa aumentaram para todos os produtos da reação de acetilação, muito provavelmente por causa do aumento do volume das ramificações da cadeia principal.

As viscosidades cinemáticas do EMA-5, para as temperaturas de 40 °C e 100°C, foram de 49,30 e 8,26 mm<sup>2</sup>.s. Estes compostos são caracterizados como um óleo ISOGV46. O índice de viscosidade para estes compostos foram de 142, valor considerado muito alto. Quando comparado aos compostos EMH-1, cujo índice de viscosidade foi 25, foi possível verificar que as reações de acetilação dos grupos hidroxilas, aumentam o índice de viscosidade e conseqüentemente a sua estabilidade com a variação da temperatura.

O EMA-6 forneceu um valor de viscosidade de 46,22 e 6,00 mm<sup>2</sup>.s a 40 °C e 100 °C. Com base na classificação da ISO 3448, este material pode ser classificado da mesma forma que o EMH-4, ou seja, como óleo ISOGV46. Comparando com a amostra EMH-2 (34,18 mm<sup>2</sup>.s, Tabela 2), a amostra do EMA-6 teve um aumento da viscosidade cinemática a 40 °C e a 100 °C, porém, os valores de índice de viscosidade de ambos foram bem próximos (EMH-2, 69 mm<sup>2</sup>.s e o EMA-6, 62 mm<sup>2</sup>.s). Estes valores são classificados como índice de viscosidade medianos.

As viscosidades cinemáticas para o EMA-7 a 40 °C e a 100 °C foram 42,29 mm<sup>2</sup>.s e 5,92 mm<sup>2</sup>.s. Devido aos valores encontrados de viscosidade cinemática, assim como o EMH-3, o EMA-7 também pode ser classificar como óleo tipo SAE 20.

As viscosidades cinemáticas do EMA-8 foram de 28,84 mm<sup>2</sup>.s e 5,65 mm<sup>2</sup>.s para as temperaturas de 40 °C e 100 °C. Estes compostos podem ser classificados como ISOGV32, a mesma classificação da amostra EMH-2. O índice de viscosidade do EMA-8 foi de 120. Este valor é considerado muito alto, demonstrando novamente que o aumento do tamanho da ramificação na cadeia aumenta o índice de viscosidade.

## 5 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir com base nos valores de ponto de fluidez que os EMA são mais adequados para serem usados como biolubrificantes a temperaturas mais baixas. Mas tanto os EMA quanto os EMH necessitarão de aditivos para serem usados em temperaturas abaixo de 0 °C.

A variação no tamanho das ramificações da cadeia principal tanto para os EMH quanto para os EMA não alteraram significativamente os valores de ponto de fluidez, mas

a mudança de EMH para EMA provocou uma redução nestes valores provavelmente pela diminuição das interações intermoleculares devido a alteração do grupo hidroxila para um grupo acetila. Isto pode ser confirmado com base nos compostos dos EMH-1 que apresentaram os maiores valores de ponto de fluidez, visto que possuem duas hidroxilas na cadeia principal. As alterações químicas realizadas no OSR demonstraram claramente que as características, para uso como biolubrificantes, dos compostos produzidos foram melhoradas.

## AGRADECIMENTOS

Fundação Araucária, CNPq, CAPES, LACAUT, LAMAQ e UTFPR/DAQBI.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004. Classificação de Resíduos Sólidos, 2004.**

ADHVARYU, A.; LIUB, Z. ERHAN; S. Z. **Synthesis of novel alkoxyated triacylglycerols and their lubricant base oil properties.** Industrial Crops and Products. 21, 113–119, 2005.

AFIFAH, A. N.; SYAHRULLAIL S.; AZLEE, N. I. W.; ROHAH A. M. **Synthesis and tribological studies of epoxidized palm stearin methyl ester as a green lubricant.** Journal of Cleaner Production. 280, 124320, 2021

ALPTEKIN, E; CANAKC, M. **Determination of the density and the viscositie of biodiesel-diesel fuel blends.** Renewable Energy, v. 33, p. 2623-2630, 2008.

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 4 de 02 fevereiro de 2010.** retificada DOU 22.02.2010.

ANVISA - Agencia Nacional de Vigilância Sanitária - Resolução- RCD nº 482, de 23 de setembro de 1999. **Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos de gorduras vegetais.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p. 82-87, 1999.

AOCS Cd 1-25: **Iodine Value of Fats and Oils Wijs Method.** 5ª ed., Champaign: AOCS, 1997.

AOCS Cd 3d-63: **Acid Value.** AOCS. 5ª ed., Champaign: AOCS, 1997.

AOCS Cd 3-25: **Saponification Value of Fats and Oils.** 5ª ed., Champaign, AOCS, 1998.

AOCS Cc 10a-25: **Specific Gravity of Oils and Liquid Fats Method.** 5ª ed., Champaign: AOCS, 1995.

AOCS Da-2a-48: **Moisture and Volatile Matter, Air Oven Method.** 5ª ed., Champaign: AOCS, 1997.

ASTM - American Society for Testing Materials. **Standard Test Method for Kinetic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids, ASTM (D 445-97).** Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 2000.

ASTM - American Society for Testing Materials. **Standard Test Method for Epoxy Content of Epoxy Resins, ASTM (D 1652-97)**. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 1997.

ASTM - American Society for Testing Materials. **Standard Test Method for Cold Filter Plugging Point of Diesel and Heating Fuels, ASTM (D 6371)**. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 2017.

ASTM - American Society for Testing Materials. **Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester, ASTM (D 93)**. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 2002.

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.

CARRARETO, C; MARCOR, A; MIRANDOLA, A; STOPPATO, A; TONNON, S. **Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations**. Energy, 29, 2195-2211, 2004.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE. eV. **Biokraftstoffe basisdaten Deutschland**. 2008. Media Cologne Kummunikationsmedien: Hürth, 2008.

HINTZ, M. **SAE 30 Vs. SAE 20**. Acessado em abril de 2022. Disponível <[http://www.ehow.com/facts\\_5904584\\_sae-30-vs\\_-sae-20.html](http://www.ehow.com/facts_5904584_sae-30-vs_-sae-20.html)>

HWANG, H. S; ADHVARYU, A; ERHAN, S. Z; **Preparation and properties of lubricant base stocks from epoxidized soybean oil and 2-ethylhexanol**. Journal American Oil Chemistry Society. 80, 811–815, 2003.

HWANG, H; ERHAN, S.Z. **Modification of Epoxidized Soybean Oil for Lubricant Formulations with Improved Oxidative Stability and Low Pour Point**. Journal American Oil Chemistry Society. 78, 1179–1184, 2001.

ISO 3448: 1975, **Industrial Liquid Lubricants**. Viscosity Classification, ISO: Geneva.

NAGENDRAMMA, P.; KAUL, S. **Development of ecofriendly/biodegradable lubricants**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16, 764-774, 2012.

MACHADO, P. R.M. **Avaliação de Desempenho do Óleo de Soja Como Combustível para Motores à Diesel**. 2003. Dissertação. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, 2003.

MARQUES, A. **Estudo do efeito da adição de diésteres em fluidos industrias de origem vegetal e suas propriedades**. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2012.

MELO, M. A. R. **Monitoramento da estabilidade oxidativa no armazenamento do biodiesel metílico de soja/mamona e blendas em recipientes de vidro**. Dissertação. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2009.

NEGI, P.; SINGH, Y.; TIWARI, K. **A review on the production and characterization methods of bio-based lubricants**. Materials Today: Proceedings. 46, 10503-10506, 2021.

PIANOVIC J. 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**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Curitiba. Pontifícia Universidade Católica do Paraná -Departamento de Engenharia Mecânica, 2002.

SAE J300 to Viscosity Grades below SAE 20, **SAE International Journal of Fuels and Lubricants**, 3, 2, 1030-1040, 2010.

SALIMON, J.; SALIH, N.; YOUSIF, E. **Biolubricants: raw materials, chemical modifications and environmental benefits**. *European Journal of Lipid; Science Technology*. 112: 519-530, 2010a.

SALIMON, J.; SALIH, N.; YOUSIF, E. **Improvement of pour point and oxidative stability of synthetic ester base stocks for biolubricant applications**. *Arabian Journal of Chemistry*. 112, 5, 519 – 530, 2010b.

SALIMON, J.; SALIH, N.; YOUSIF, E. **Triester derivatives of oleic acid: The effect of chemical structure on low temperature, thermo-oxidation and tribological properties**. *Industrial Crops and Products*. 38, 107– 114, 2012.

SANTOS, E. H. **Síntese e Caracterização de Biolubrificantes a Partir do Óleo de Soja Refinado**. TCC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

SANTOS, R. B; SERRATE, J. W; CALIMAN, L. B; L. Jr, Valdemar; C.; Eustáquio V. R. **Estudo da transesterificação de óleo de soja com álcoois de cadeia de até quatro carbonos**. 31º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia – SP, 2008.

SYAHIR, A. Z.; ZULKIFLI, N. W. M.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; ALABDULKAREM, A.; GULZAR, M.; KHUONG, L. S.; HARITH, M. H. **A review on bio-based lubricants and their applications**. *Journal of Cleaner Production*. 168, 997-1016, 2017.

SILVA, J. A. C. **Biodegradable Lubricants and Their Production Via Chemical Catalysis**. *Tribology - Lubricants and Lubrication*, 185-200, 2010.

TRINCHET, C. C.; MURRU, C.; GARCIA, M. E. D.; GONZALEZ, A. F.; LAINO, R. B. **Artificial Intelligence and fourier-transform infrared spectroscopy for evaluating water-mediated degradation of lubricant oils**. *Talanta*. 219, 121312, 2020.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acetilação 24, 25, 28, 32, 33  
Ácidos graxos 28, 30, 45, 52  
Adsorb 88  
Aeração 2, 4, 5, 7  
Agência Nacional de Petróleo (ANP) 29, 34  
Alimentos 37, 39, 43, 44, 86  
Análise da fluidez 2  
Antioxidante 37, 38, 40, 41  
Atividade catalítica 46, 47, 49, 52, 53, 54, 61, 68

### B

Bico injetor 11, 14, 15, 16, 19, 20, 22  
Biochar 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 84  
Biocombustíveis 12, 23, 34, 44, 45, 59, 76  
Biodegradáveis 24, 26, 37, 38, 43  
Biodiesel 11, 12, 13, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 34, 35, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 106, 107  
Biofarmacêuticas 2  
Biofilmes 37, 40, 42  
Biolubrificantes 24, 26, 28, 33, 34, 36  
Biomassa 12, 45, 74, 75, 79, 80, 83, 84, 85, 106, 107  
Bio-óleo 74, 75, 76, 80, 82, 83, 84  
Biopolímeros 37, 43  
Bioremediation 106, 107, 109, 110  
Boudouard 86, 88

### C

Carbon dioxide 86, 87, 90, 98, 101, 102, 104, 105  
Catalisadores 27, 44, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 68, 69, 72  
Catálise 44, 47, 48, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 68, 72  
Cavitação 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23  
*Chlorella vulgaris* 106, 107, 110  
Cisalhamento 2, 4, 5, 7, 8

Combustíveis 11, 12, 24, 25, 26, 36, 45, 56  
Coupled Integral Equations Approach (CIEA) 86, 93  
Cupuaçu 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43

## **D**

Densidade relativa 26, 29, 30, 31, 32, 33  
Diesel 11, 12, 13, 16, 20, 22, 23, 34, 35, 36, 44, 45, 68

## **E**

Efeito Raman 61  
Epoxidação 24, 27, 29  
Escoabilidade 1, 3  
Espalhamento Raman 62, 63, 64  
Espectroscopia Raman 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73  
Excipientes farmacêuticos 1, 2, 6

## **F**

Fármacos 1, 2, 3, 37, 38, 39  
Fóton 62, 64

## **G**

Gás de arraste 74, 75, 77, 80  
Generalized Integral Transform Technique (GITT) 86, 87, 95

## **H**

Hidroxilação 24, 31

## **I**

Injeção 4, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23

## **L**

*Lactuca sativa* 106, 107, 108

## **M**

Materiais pulverulentos 1, 2  
Matrizes energéticas 44  
Microcelulose 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9  
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 3  
Modelo de Schnner e Sauer 11, 16  
Monocromadores 65

Motores 11, 12, 13, 32, 35, 45

## **N**

Não-renováveis 11

## **O**

Óleos vegetais 12, 24, 26, 45, 47, 49, 58

Óxidos 44, 46, 47, 50, 52, 54, 60

## **P**

Petróleo 12, 25, 29, 34, 44, 45

Phytotoxicity 106

Pirólise 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ponto de fluidez 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34

Ponto de fulgor 26, 29, 30, 31, 32

Porosidade 2, 3, 5, 6, 48, 50, 54

Propriedades fenomenológicas 2

## **R**

Renováveis 11, 12, 25, 44

Reômetro 4

Resíduos 34, 53, 55, 57, 75, 84, 85, 112

Reutilização 49, 52, 54, 75, 112

## **T**

Termoconversão 75

Toxicidade 26, 45, 106, 107

Transesterificação heterogênea 44

Triglicerídeos 29, 45, 47, 48, 51, 55

## **V**

Viscosidade 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 24, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 47

## **W**

Wastewaters 106

## **Z**

Zeólitas 44, 46, 47, 54, 56, 57, 58

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos



 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
📷 @atenaeditora  
📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos