

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 3

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 3

**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

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

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof<sup>o</sup> 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

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> 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

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> 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 3

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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
E57	Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 3 / 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 978-65-258-0713-3 DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.133222111">https://doi.org/10.22533/at.ed.133222111</a>  1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.  CDD 660
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## 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.

O e-book: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos 3” é constituído por cinco capítulos de livro que investigaram: i) propriedade de óleos vegetais para a síntese de biopolímeros; ii) reaproveitamento de casca de noz-pecã no processo de imobilização de peroxidase de raiz forte; iii) biotransformação do fungo *Aspergillus flavus* frente as chalconas sintéticas e acetofenona; iv) utilização do catalisador 1%Cu/5%Ni/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-12%CeO<sub>2</sub> empregado no processo de reforma do etanol sob vapor d’água na geração de gás hidrogênio como fonte de energia e; v)

O primeiro capítulo avaliou a influência do grau de insaturação de óleos vegetais na obtenção de biopolímeros sintetizados a partir de frutos típicos da região amazônica: Açaí, Jupati, Compadre de azeite, Patauí, Castanha-do-Pará e Pracaxi. Os resultados apontaram que o óleo de compadre de azeite e pracaxi, sendo que este último resultou apenas em resinas de alta viscosidade. O capítulo 2 investigou a capacidade de reaproveitar resíduos provenientes da casca de noz-pecã como imobilizador de peroxidase de raiz forte utilizando a adsorção e ligação covalente como metodologia, sendo obtida uma recuperação de atividade de 124,8% e 129,7%.

O capítulo 3 avaliou a potencialidade de biotransformação do fungo *Aspergillus flavus* frente às chalconas sintéticas e acetofenona. Os resultados confirmaram que o micro-organismo apresentou elevada capacidade de biorredução da dupla ligação  $\alpha$ ,  $\beta$ -carbonilada das chalconas existentes em seis diferentes formulações que foram confirmadas por meio dos espectros de RMN <sup>1</sup>H.

O quarto capítulo investigou a eficiência do catalisador composto por 1%Cu/5%Ni/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-12%CeO<sub>2</sub> no processo de reforma do etanol com vapor d’água. Os resultados demonstraram que a taxa de conversão em gás hidrogênio foi de 40%, com produção de coque em torno de 3%.

Por fim, o quinto capítulo apresentou uma revisão de literatura que demonstra a viabilidade técnica e financeira da remoção do corante Vermelho Congo, presente em efluentes têxteis, por intermédio do processo de adsorção utilizando zeólitas.

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.

**CAPÍTULO 1 ..... 1****INFLUÊNCIA DO GRAU DE INSATURAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS DE ESPÉCIES AMAZÔNICOS NA OBTENÇÃO DE BIOPOLÍMEROS**

Caio Augusto de Almeida Canelas

João Paulo Mota Jeronimo

Tainara de Paula de Lima Lima

Joyce Kelly do Rosario da Silva

Marcele Fonseca Passos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221111>**CAPÍTULO 2 ..... 12****IMOBILIZAÇÃO DE PEROXIDASE DE RAIZ FORTE EM CASCA DE NOZ-PECÃ POR ADSORÇÃO FÍSICA E LIGAÇÃO COVALENTE EM MEIO ORGÂNICO**

Ani Caroline Weber

Cristiano de Aguiar Pereira

Guilherme Schwingel Henn

Sabrina Grandó Cordeiro

Daniel Augusto Weber

Bruna Costa

Larissa Cima

Beatriz Fabris Bettanin

Giovana Schneider

Jéssica Samara Herek dos Santos

Elisete Maria de Freitas

Eduardo Miranda Ethur

Lucélia Hoehne

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221112>**CAPÍTULO 3 .....25****REAÇÃO DE BIOTRANSFORMAÇÃO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS, UTILIZANDO O FUNGO *Aspergillus flavus*: EM BUSCA DE SUBSTÂNCIAS BIOATIVAS**

Renan Arruda da Costa

Marivaldo José Costa Corrêa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221113>**CAPÍTULO 4 .....37****REFORMA DO ETANOL COM VAPOR D'ÁGUA E OXIDATIVA COM O CATALISADOR 1%Cu/5%Ni/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-12%CeO<sub>2</sub>**

Laura dos Santos Costa

Marcelino Luiz Gimenes

Marcos de Souza

Isabela Dancini Pontes

Gabriel Lucas Prado Santos

Aline Domingues Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221114>

<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>40</b>
GERAÇÃO DE EFLUENTES CONTAMINADOS POR CORANTES TÊXTEIS E A POSSIBILIDADE DA TRATAMENTO POR ADSORÇÃO	
Mateus Gonçalves dos Santos	
Damaris Guimarães	
Paulo Henrique Leite Quintela	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221115">https://doi.org/10.22533/at.ed.1332221115</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>52</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>53</b>

## INFLUÊNCIA DO GRAU DE INSATURAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS DE ESPÉCIES AMAZÔNICOS NA OBTENÇÃO DE BIOPOLÍMEROS

*Data de submissão: 08/10/2022*

*Data de aceite: 12/11/2022*

### **Caio Augusto de Almeida Canelas**

Universidade Federal do Pará –  
Faculdade de Biotecnologia – Grupo  
de Desenvolvimento Tecnológico em  
Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/9601042341734349>

### **João Paulo Mota Jeronimo**

Universidade Federal do Pará –  
Faculdade de Biotecnologia – Grupo  
de Desenvolvimento Tecnológico em  
Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5102027019911327>

### **Tainara de Paula de Lima Lima**

Universidade Federal do Pará –  
Programa de Pós-graduação em Ciência  
e Engenharia dos Materiais – Grupo  
de Desenvolvimento Tecnológico em  
Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5776933232996487>

### **Joyce Kelly do Rosario da Silva**

Universidade Federal do Pará – Programa  
de Pós-graduação em Biotecnologia -  
Grupo de Bioprospecção e Inovação  
Tecnológica dos Produtos Naturais da  
Amazônia  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/2278686174214080>

### **Marcele Fonseca Passos**

Universidade Federal do Pará –  
Programa de Pós-graduação em Ciência  
e Engenharia dos Materiais – Grupo  
de Desenvolvimento Tecnológico em  
Biopolímeros e Biomateriais da Amazônia  
Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/0588450144351187>

**RESUMO:** Os óleos vegetais de espécies amazônicas apresentam importância peculiar como insumo no desenvolvimento de bioprodutos, vista às propriedades biológicas e químicas dos seus constituintes. Sob esta perspectiva, este estudo avaliou a influência do grau de insaturação de diferentes óleos vegetais na obtenção de biopolímeros, sintetizados por meio de um processo livre de solventes tóxicos. Para isso, os óleos vegetais de açaí, jupati, compadre de azeite, patauá, castanha-do-pará e pracaxi foram caracterizados quimicamente por meio da técnica de cromatografia gasosa (CG). O índice de iodo foi determinado pela norma Cd 1c-85 da *American Oil Chemists' Society* (AOCS). Os óleos com o maior e o menor grau de insaturação foram funcionalizados via reação de epoxidação, e posteriormente

reticulados usando ácido cítrico e etilenoglicol dimetacrilato. O óleo de compadre de azeite apresentou o maior teor de índice de iodo ( $\text{gI}/100\text{g} = 191,93$ ) e o óleo de pracaxi, o menor ( $\text{gI}/100\text{g} = 70,91$ ). Os biopolímeros foram obtidos a partir do óleo de compadre de azeite, e o óleo de pracaxi, resultou apenas em resinas viscosas. Assim, pode-se inferir que o teor de instauração dos óleos vegetais influencia nas propriedades reológicas do material, podendo gerar desde biopolímeros sólidos a líquidos altamente viscosos.

**PALAVRAS-CHAVE:** índice de iodo; óleo vegetal; ácidos graxos insaturados, epoxidação; biopolímero.

## INFLUENCE OF THE DEGREE OF UNSATURATION OF VEGETABLE OILS OF AMAZON SPECIES FOR OBTAINING BIOPOLYMERS

**ABSTRACT:** Vegetable oils from Amazonian species are essential in developing bioproducts, given their constituents' biological and chemical properties. From this perspective, this study evaluated the influence of the degree of unsaturation of different vegetable oils in obtaining biopolymers synthesized through a process free of toxic solvents. For this, the vegetable oils of açai, jupati, compadre de olive oil, pataua, Brazil nut, and pracaxi were chemically characterized using the gas chromatography (GC) technique. The iodine value was determined by the American Oil Chemists' Society (AOCS) Cd 1c-85 standard. The oils with the highest and lowest degree of unsaturation were functionalized via epoxidation reaction and later cross-linked using citric acid and ethylene glycol dimethacrylate. Olive oil compadre showed the highest iodine content ( $\text{gI}/100\text{g} = 191.93$ ) and pracaxi oil the lowest ( $\text{gI}/100\text{g} = 70.91$ ). Biopolymers were obtained from compadre oil, and pracaxi oil resulted only in viscous resins. Thus, it can be inferred that the degree of unsaturations of vegetable oils influences the material's rheological properties, which can be generated from solid biopolymers to highly viscous liquids.

**KEYWORDS:** iodine value; vegetable oil; unsaturated fatty acids; epoxidation; biopolymer.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil detém uma das maiores biodiversidades do planeta, com destaque para a região amazônica, que possui aproximadamente metade das espécies do ecossistema global (DINIZ; DINIZ, 2018). Visto isso, a concepção de biodiversidade é tratada como o conglomerado de todas as diferentes espécies de vida, tanto da fauna, quanto da flora existente na biosfera (MUNDO, 2021). Nesse sentido, os óleos vegetais das espécies amazônicas, constituídos, principalmente, por triacilglicerídeos, desempenham um papel fundamental na indústria e na saúde, devido à biodegradabilidade, acessibilidade, versatilidade e propriedades biológicas (WAI et al., 2019). Ou seja, as oleaginosas apresentam bioativos importantes na composição química, como ácidos graxos insaturados e carotenoides (SERRA et al., 2019). Tais substâncias têm alto valor farmacológico, como atividade anti-inflamatória e antibacteriana, e propriedades antioxidantes (IBIAPINA et al., 2021).

Adicionalmente, os óleos vegetais representam uma importante fonte de matéria-

prima renovável na criação de biopolímeros e materiais para a indústria de polímeros, tendo seu desenvolvimento impulsionado pelo aumento do preço do petróleo (KREPS, 2020), pelos impactos ambientais dos plásticos convencionais (MACLEOD et al., 2021; LAVERS; BOND; ROLSKY, 2022; LAW; NARAYAN, 2022), e pela crescente demanda da sociedade por materiais sustentáveis (DINTCHEVA et al., 2020; GAUTAM et al., 2022). YANG et al., (2022), por exemplo, utilizou ácido cítrico e óleo de soja epoxidado para melhorar as propriedades de bioplásticos a base de amido, tornando o material um candidato viável para aplicação como embalagens. Ainda, ABDEL-HAMEED et al., (2022) produziu um biolubrificante a base de óleo de jojoba epoxidado, buscando contornar os efeitos nocivos dos lubrificantes à base de petróleo na saúde humana. Logo, há um contínuo interesse da comunidade acadêmica no uso das oleaginosas para a geração de novos produtos biotecnológicos.

Reações de epoxidação, carboxilação, hidroxilação, halogenação, oxidação e hidrogenação (MENG et al., 2021) são, comumente, utilizadas para funcionalizar os óleos vegetais, transformando-os em bioprodutos sustentáveis (TENORIO-ALFONSO; SÁNCHEZ; FRANCO, 2020). As modificações químicas, tipicamente, são realizadas nos grupos carboxila das ligações duplas ou triplas e carbono-carbono em triacilgliceróis (HO et al., 2022). Na indústria oleoquímica, por sua vez, a reação de epoxidação é uma rota interessante. Por este mecanismo, geram-se intermediários epoxidados, com versatilidade de uso, como: tintas, vernizes, lubrificantes, entre outros. A reação, em verdade, ocorre nas posições insaturadas das moléculas dos triglicerídeos dos óleos vegetais, tendo, como resultado, substratos mais reativos. Assim, ocorre a adição de um único átomo de oxigênio a cada cadeia de ácidos graxos insaturados, utilizando um agente oxidante. Este componente transforma a cadeia original de ácidos graxos insaturados em um grupo epóxi. E, a eficiência de conversão da cadeia pode ser monitorada direta e indiretamente pelo teor de oxigênio oxirano (ABDAN; TAHIR; ERN, 2020). Os agentes oxidantes, normalmente utilizados, são: ácidos percarboxílicos, peróxidos inorgânicos e peróxidos orgânicos (CHAUKE; MUKAYA; NKAZI, 2019; LEWANDOWSKI et al., 2019; SHEN et al., 2019).

Considerando, então, que os óleos vegetais se apresentam viáveis como matéria – prima, este trabalho estudou a influência do seu grau de insaturação para a potencial geração de biopolímeros. Utilizou-se, para tanto, reação de epoxidação e sistema catalítico verde, livre de solventes tóxicos.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Materiais

Os óleos de açaí (*Euterpe oleracea*), pracaxi (*Pentaclethra macroloba*), jupati (*Raphia taedigera*), patauá (*Oenocarpus bataua*) e castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*) foram adquiridos comercialmente da empresa Amazon Oil (Belém, PA). O óleo de compadre

de azeite (*Plukenethia polyadenia*) foi cedido pelo Grupo de Bioprospecção e Inovação Tecnológica dos Produtos Naturais da Amazônia (Belém / UFPA). Peróxido de hidrogênio (35%) e acetato de etila foram obtidos da Reatec; dióxido de manganês foi obtido pela Êxodo Científica; óxido de alumínio e ácido cítrico foram adquiridos pela empresa Dinâmica, e etilenoglicol dimetacrilato foi obtido da Sigma-Aldrich.

## 2.2 Método

### 2.2.1 Cromatografia Gasosa (CG)

A composição em ácidos graxos dos óleos de açaí, jupati, compadre de azeite, patauá, castanha do Pará e pracaxi foi determinada por cromatografia gasosa, utilizando o método oficial AOCs Ce 2-66 para ésteres metílicos. Os óleos foram esterificados de acordo com o método de LUDDY et al. (1960). A análise foi realizada em um cromatógrafo gasoso GC2010 Shimadzu, equipado com uma coluna TG – WAX 30.0m x 0.32mm. Hélio foi usado como gás de arraste, com fluxo de 1 mL. min<sup>-1</sup> e volume de injeção de 1 µL (split, partição 1:10). A rampa de temperatura utilizada foi 1 min a 50° C, aquecimento até 250° C, com razão de 10° C.min<sup>-1</sup>, e a temperatura foi mantida por 8 min. Os ácidos graxos obtidos foram analisados através do software GC Solution Shimadzu.

### 2.2.2 Avaliação do índice de iodo (IV)

A determinação do índice de iodo foi realizada com base no resultado obtido na análise da cromatografia gasosa, através da norma da AOCS Cd 1c-85 (2009). Os valores do índice de iodo foram calculados conforme o número potencial de átomos de iodo adicionados a cada ácido graxo (Equação (1)).

$$\begin{aligned} \text{Índice de iodo} = & (\% \text{ ácido hexadecênico} \times 0,9976) + (\% \text{ ácido octacênico} \times \\ & 0,8986) + (\% \text{ ácido octadecadiênico} \times 1,810) + \\ & (\% \text{ ácido octadecatriênico} \times 2,735) \end{aligned} \quad \text{Eq. (1)}$$

## 2.3 Reação de Epoxidação

A obtenção da resina epoxídica foi realizada através de um sistema catalítico verde, adaptado de FILHO et al., (2014). A reação foi conduzida a 70°C, por 8 h e teve início com a adição do catalisador (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Foram utilizadas as seguintes proporções: 10 mL de acetato de etila e 0,413 mL de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), para cada grama de óleo. Dióxido de manganês (MnO<sub>2</sub>) foi adicionado, de forma fracionada, como terminador de cadeia, decompondo o peróxido remanescente, e gerando, como subprodutos, oxigênio e água. Por fim, a mistura foi filtrada, e o solvente foi recuperado em evaporador rotativo (QUIMIS, modelo Q344M2) à 80 rpm e 80 °C.

## 2.4 Síntese dos biopolímeros

Dois metodologias distintas foram aplicadas: na primeira, etilenoglicol dimetacrilato ( $C_{10}H_{14}O_4$ ) foi empregado como agente de reticulação, devido à capacidade de formar polímeros térmica e mecanicamente estáveis (FIGUEIREDO; DIAS; ARRUDA, 2008). Neste caso, foram adicionados  $0,0882 \text{ g.mL}^{-1}$  de etilenoglicol aos óleos epoxidados. A solução foi mantida sob agitação magnética por 1 h, e o polímero foi obtido pela técnica de evaporação de solvente durante 24 horas à  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ . A segunda metodologia utilizou o ácido cítrico ( $C_6H_8O_7$ ) como comonômero do processo de cura, justificável pela sustentabilidade do reagente. O ácido cítrico foi solubilizado em água, na razão de 1:10 m/v, sob agitação magnética até completa solubilização do ácido cítrico (ALTUNA; PETTARIN; WILLIAMS, 2013). Em seguida, foi adicionado o óleo epoxidado. A concentração de ácido cítrico em relação a quantidade de óleo epoxidado foi de 4% m/m. A reação foi conduzida por 6 horas, e o material foi obtido pela técnica de evaporação de solvente.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Cromatografia Gasosa (CG)

A Figura 1 mostra o gráfico de barras correspondente aos percentuais relativos dos ácidos graxos presentes em cada óleo. Foram encontrados elevados teores de ácido oleico (ômega 9) nos óleos de pracaxi (52,6%), jupati (49,8%), açaí (62,3%) e patauá (80,8%). composto muito empregado na indústria de cosméticos por suas propriedades emolientes. O óleo de pracaxi exibiu uma alta concentração de ácido behênico (13,8%), composto cicatrizante que auxilia a renovação celular (REBELLO, 2019). Os óleos de castanha-do-pará e compadre de azeite apresentaram majoritariamente, a presença do ácido linoléico (37,7% e 47,1% respectivamente). Ademais, a composição em ácidos graxos do óleo de compadre de azeite apresentou uma grande disparidade com índices de ácidos graxos insaturados e saturados de 94% e 6%, respectivamente. Os principais compostos identificados foram: ácidos graxos poliinsaturados como o linoleico - duas insaturações, e linolênico (35%) - três insaturações na estrutura (NELSON; COX, 2012). Logo, a alta quantidade de insaturações nesses compostos indicam a possibilidade da formação de monômeros epoxidícos com maior funcionalidade, propriedade definida pelo número de sítios de ligação que participam na formação da rede polimérica (CANEVAROLO, 2002).

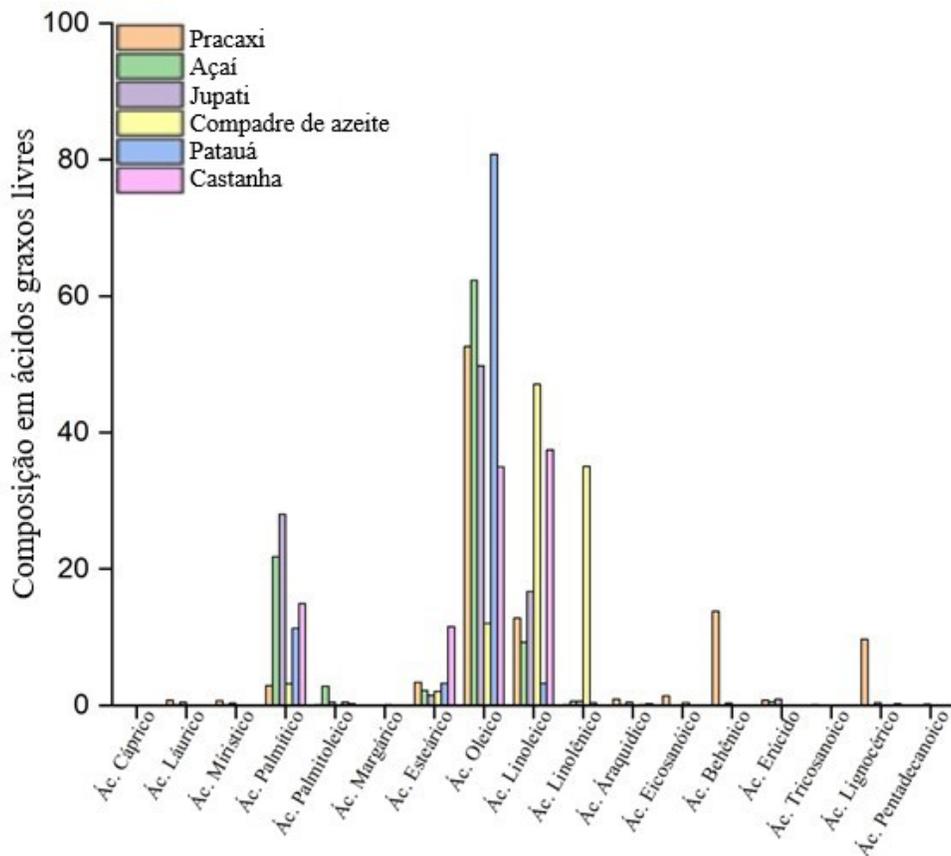


FIGURA 1 – Composição em ácidos graxos livres dos óleos de pracaxi, açaí, Jupati, compadre de azeite, patauá e castanha-do-pará

### 3.2 Avaliação do índice de iodo

O grau de insaturação de óleos vegetais pode ser medido pelo índice de iodo, e existe uma relação linear entre ambas as variáveis. Os óleos de pracaxi, Jupati, açaí e patauá apresentaram um baixo grau índice de iodo (Tabela 1). Ou seja, foi observado um baixo teor de insaturações, quando comparado a outros óleos selecionados para estudos semelhantes, devido a composição majoritária em ácido oleico, o qual apresenta apenas uma insaturação na cadeia (DAS; KARAK, 2009; GOUD; PATWARDHAN; PRADHAN, 2006; LAGE et al., 2015). Tal característica, então, induz a geração de resinas epoxídicas com menor formação de sítios de ligação (anéis oxiranos). Conseqüentemente, esta característica influencia na posterior obtenção dos polímeros, os quais tendem a ter baixa massa molecular ou baixa densidade de reticulação (PASCAULT; WILLIAMS, 2010). O óleo de compadre de azeite, por sua vez, apresentou um índice de iodo surpreendentemente elevado (191,93 gI/100g), o que é explicado pela sua rica composição em ácidos graxos

poliinsaturados (KNOTHE, 2002). Tal característica, então, sugere o potencial uso deste óleo de origem amazônica, na geração de polímeros ramificados e reticulados, conforme método de preparação, controle de variáveis e técnicas de síntese.

Óleo	Açaí	Jupati	Compadre de Azeite	Patauí	Castanha	Pracaxi
Índice de iodo (gl/100g)	77,16	77,09	191,93	80,09	99,73	70,91

Tabela 1 – Índice de iodo dos óleos vegetais amazônicos estudados

### 3.3 Síntese dos biopolímeros

A Figura 2 apresenta os materiais obtidos após a reticulação dos óleos vegetais funcionalizados. Pode-se observar que o óleo de Compadre de Azeite epoxidado permitiu a formação de biopolímeros sólidos à temperatura ambiente. Por outro lado, materiais oriundos do óleo de Pracaxi formaram resinas viscosas. Os resultados estão em concordância com os valores do índice de iodo das oleaginosas, e são similares aos encontrados na literatura para polímeros provenientes de óleos vegetais epoxidados, com baixo índice de iodo (GERBASE; PETZHOLD; COSTA, 2002).

Resinas epóxi, em contrapartida, são materiais altamente empregados na indústria de polímeros (GONÇALVES et al., 2022), e quando provenientes de óleos vegetais, possuem aplicações em diversos segmentos, tais como: plastificantes (BARONCINI et al., 2016; HOSNEY et al., 2018), lubrificantes (UPPAR; DINESHA; KUMAR, 2022), revestimentos (DI MAURO et al., 2020) e aplicações médicas (HOOD et al., 2022; RIBEIRO; SILVA; REIS, 2022; YEOH et al., 2020). Em termos do tipo de agente de reticulação estudado - ácido cítrico e etilenoglicol dimetacrilato -, ambos apresentaram o mesmo comportamento nos materiais final. Contudo, testes posteriores são necessários para avaliar a influência dos diferentes agentes de reticulação nas propriedades mecânicas e de superfície.

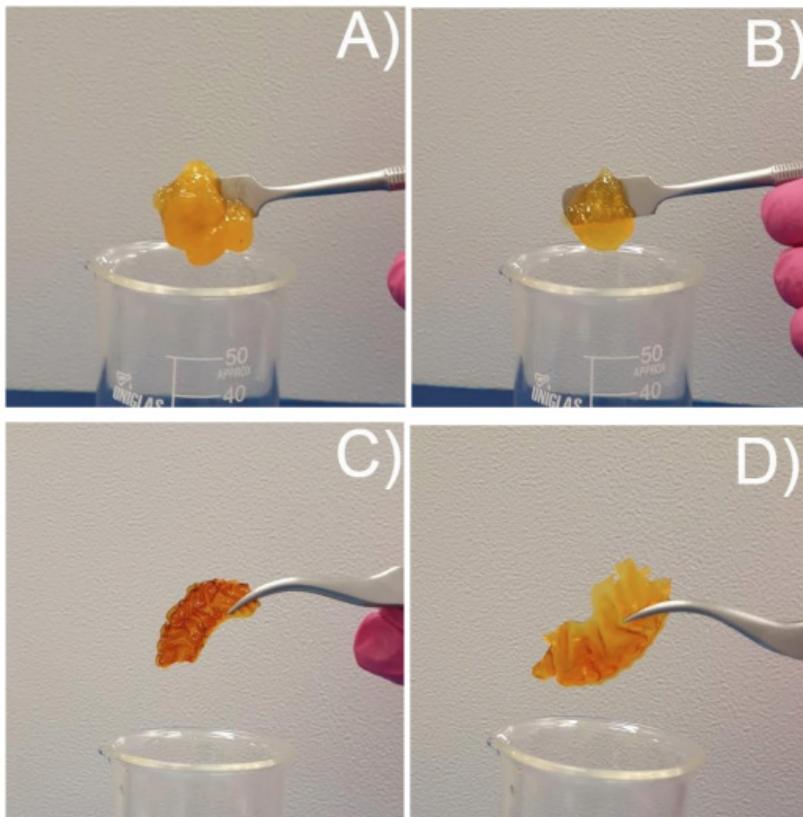


FIGURA 2 - A) Óleo de Pracaxi + etilenoglicol dimetacrilato ; B) Óleo Pracaxi + ácido cítrico; C) Óleo de compadre de azeite + etilenoglicol dimetacrilato; D) Óleo de compadre de azeite + ácido cítrico

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As oleaginosas são fontes renováveis de matéria-prima, de potencial interesse na geração de produtos sustentáveis. Sob esta perspectiva, neste trabalho, os óleos vegetais investigados, abrem precedentes para a sua correta seleção na indústria ou na saúde, conforme a composição em ácidos graxos e o índice de iodo. Óleos com baixo teor de insaturação tendem a gerar resinas e materiais flexíveis, como o óleo de pracaxi; óleos com alto teor de insaturação (compadre de azeite) possuem mais pontos reativos na molécula. Ou seja, moléculas polifuncionais tendem a gerar polímeros tridimensionais, em condições favoráveis. Frequentemente, isto gera modificações nas propriedades físicas e mecânicas do produto. Além disso, o processo reacional aqui adotado apresentou as seguintes vantagens: uso de um catalisador heterogêneo, de fácil recuperação e reutilização; incremento de reagentes de baixo custo; e geração de subprodutos não tóxicos, como a água.

## REFERÊNCIAS

ABDAN, K.; TAHIR, P. M.; ERN, L. K. **Carbon Using Vegetable Oils**. p. 1–15, 2020.

ABDEL-HAMEED, Hamdy S. et al. **Chemical transformation of Jojoba oil and Soybean oil and study of their uses as bio-lubricants**. *Industrial Crops and Products*, v. 187, p. 115256, 2022.

ALTUNA, F. I.; PETTARIN, V.; WILLIAMS, R. J. J. **Self-healable polymer networks based on the cross-linking of epoxidized soybean oil by an aqueous citric acid solution**. *Green Chemistry*, v. 15, n. 12, p. 3360, 2013.

BARONCINI, E. A. et al. **Recent advances in bio-based epoxy resins and bio-based epoxy curing agents**. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 133, n. 45, 5 dez. 2016.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros**. Artliber editora, São Paulo, v. 24, 2002.

DAS, G.; KARAK, N. **Epoxidized Mesua ferrea L. seed oil-based reactive diluent for BPA epoxy resin and their green nanocomposites**. *Progress in Organic Coatings*, v. 66, n. 1, p. 59–64, set. 2009.

DI MAURO, C. et al. **Sustainable Series of New Epoxidized Vegetable Oil-Based Thermosets with Chemical Recycling Properties**. *Biomacromolecules*, v. 21, n. 9, p. 3923–3935, 14 set. 2020.

DINTCHEVA, Nadka Tzankova et al. **Natural compounds as sustainable additives for biopolymers**. *Polymers*, v. 12, n. 4, p. 732, 2020.

DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T. **Exploração dos recursos da biodiversidade da Amazônia Legal: uma avaliação com base na abordagem do Sistema Nacional/Regional de Inovação**. *Redes*, v. 23, n. 2, p. 210, 2018.

FIGUEIREDO, E. C.; DIAS, A. C. B.; ARRUDA, M. A. Z. **Impressão molecular: uma estratégia promissora na elaboração de matrizes para a liberação controlada de fármacos**. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 44, n. 3, set. 2008.

FILHO, Rubens Maciel et al. **Processo de epoxidação verde de composto insaturado**. Depositante: Fundação universidade federal do abc (BR/SP) / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (BR/SP). Procurador: Luciana Alboccino Barbosa Catalano. BR 10 2014 017842 2. Depósito: 21 jul. 2014

GAUTAM, Krishna et al. **Production of biopolymers from food waste: Constrains and perspectives**. *Bioresource Technology*, p. 127650, 2022.

GERBASE, A. E.; PETZHOLD, C. L.; COSTA, A. P. O. **Dynamic mechanical and thermal behavior of epoxy resins based on soybean oil**. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 79, n. 8, p. 797–802, ago. 2002.

GONÇALVES, F. A. M. M. et al. **Advances in the development of biobased epoxy resins: insight into more sustainable materials and future applications**. *International Materials Reviews*, v. 67, n. 2, p. 119–149, 17 fev. 2022.

- GOUD, V. V.; PATWARDHAN, A. V.; PRADHAN, N. C. **Studies on the epoxidation of mahua oil (*Madhumica indica*) by hydrogen peroxide.** *Bioresource Technology*, v. 97, n. 12, p. 1365–1371, ago. 2006.
- HO, Y. H. et al. **Acrylated Biopolymers Derived via Epoxidation and Subsequent Acrylation of Vegetable Oils.** *International Journal of Polymer Science*, v. 2022, 2022.
- HOOD, C. et al. **Flexible polymeric biomaterials from epoxidized soybean oil, epoxidized oleic acid, and citric acid as both a hardener and acid catalyst.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 139, n. 42, 10 nov. 2022.
- HOSNEY, H. et al. **Epoxidized vegetable oil and bio-based materials as PVC plasticizer.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 135, n. 20, p. 46270, 20 maio 2018.
- IBIAPINA, A. et al. **Essential and fixed oils from Amazonian fruits: proprieties and applications.** *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 0, n. 0, p. 1–13, 2021.
- KREPS, Bart Hawkins. **The Rising Costs of Fossil-Fuel Extraction: An Energy Crisis That Will Not Go Away.** *American journal of economics and sociology*, v. 79, n. 3, p. 695-717, 2020.
- KNOTHE, G. **Structure indices in FA chemistry. How relevant is the iodine value?** *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 79, n. 9, p. 847–854, set. 2002.
- LAGE, F. C. et al. **Caracterização de ácidos graxos, ésteres metílicos de ácidos graxos e óleos vegetais epoxidados.** Editora Edgard Blucher, Ltda., 11 maio 2015.
- LAVERS, Jennifer L.; BOND, Alexander L.; ROLSKY, Charles. **Far from a distraction: plastic pollution and the planetary emergency.** *Biological Conservation*, v. 272, p. 109655, 2022.
- LAW, Kara Lavender; NARAYAN, Ramani. **Reducing environmental plastic pollution by designing polymer materials for managed end-of-life.** *Nature Reviews Materials*, v. 7, n. 2, p. 104-116, 2022.
- LUDDY, Francis E.; BARFORD, R. A.; RIEMENSCHNEIDER, R. W. **Direct conversion of lipid components to their fatty acid methyl esters.** *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 37, n. 9, p. 447-451, 1960.
- MACLEOD, Matthew et al. **The global threat from plastic pollution.** *Science*, v. 373, n. 6550, p. 61-65, 2021.
- MENG, Y. et al. **The lord of the chemical rings: Catalytic synthesis of important industrial epoxide compounds.** *Catalysts*, v. 11, n. 7, 2021.
- MUNDO, N. **O futuro passa pela Amazônia.** v. 35, n. 102, p. 111–124, 2021.
- NELSON, David L.; COX, Michael M. Lehninger **Principles of Biochemistry** 6th Edition. 2012.
- PARADA HERNÁNDEZ, Natalia Lorena et al. **Síntese de Biopolímeros a partir de Óleo de Mamona para Aplicações Médicas.** 2015.

PASCAULT, Jean-Pierre; WILLIAMS, Roberto JJ. **General concepts about epoxy polymers. Epoxy Polymers: New materials and innovations**, p. 1-12, 2010.

PÉTURSSON, Sigthór. **Clarification and expansion of formulas in AOCS recommended practice Cd 1c-85 for the calculation of iodine value from FA composition**. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 79, n. 6, p. 621-622, 2002.

REBELLO, Tereza. **Guia de produtos cosméticos**. Editora Senac São Paulo, 2019.

RIBEIRO, A. R.; SILVA, S. S.; REIS, R. L. **Challenges and opportunities on vegetable oils derived systems for biomedical applications**. Biomaterials Advances, v. 134, p. 112720, mar. 2022.

SERRA, J. L. et al. **Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocols, total carotenoids and chemical composition**. Food Research International, v. 116, n. December 2018, p. 12–19, 2019.

SHEN, Yirui et al. **Recent progress in application of molybdenum-based catalysts for epoxidation of alkenes**. Catalysts, v. 9, n. 1, p. 31, 2019.

TENORIO-ALFONSO, A.; SÁNCHEZ, M. C.; FRANCO, J. M. **A Review of the Sustainable Approaches in the Production of Bio-based Polyurethanes and Their Applications in the Adhesive Field**. Journal of Polymers and the Environment, v. 28, n. 3, p. 749–774, 2020.

UPPAR, R.; DINESHA, P.; KUMAR, S. **A critical review on vegetable oil-based bio-lubricants: preparation, characterization, and challenges**. Environment, Development and Sustainability, 20 set. 2022.

WAI, P. T. et al. **Catalytic developments in the epoxidation of vegetable oils and the analysis methods of epoxidized products**. RSC Advances, v. 9, n. 65, p. 38119–38136, 2019.

YANG, Jianlei et al. **Synthesis and properties of bioplastics from corn starch and citric acid-epoxidized soybean oil oligomers**. Journal of Materials Research and Technology, v. 20, p. 373-380, 2022.

YEOH, F. H. et al. **Production of Biodegradable Palm Oil-Based Polyurethane as Potential Biomaterial for Biomedical Applications**. Polymers, v. 12, n. 8, p. 1842, 17 ago. 2020.

**A**

Açaí 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Ácidos graxos 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10

Adsorção 12, 13, 15, 17, 18, 19, 21, 40, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50

Amazônia 1, 4, 9, 10, 25

Anti-inflamatória 2, 28

Antioxidantes 2, 27

*Aspergillus flavus* 25, 26, 28, 35

Atividade catalítica 13, 15, 19, 21

Atividade enzimática 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21

**B**

Biocatalisadores 14, 27

Biopolímeros 1, 2, 3, 5, 7, 10

Bioprodutos 1, 3

Biorredução 25, 29, 31, 35

Biotransformação 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36

**C**

Casca da Noz-Pecã (CNP) 14

Castanha-do-Pará 1, 3, 5, 6

Catalisador 4, 8

Chalconas 25, 27, 28, 29, 33, 35, 36

Cromatografia gasosa (CG) 1, 4, 5

**E**

Enzimas 14, 15, 27

Epoxidação 1, 2, 3, 4, 9

Espectros de RMN <sup>1</sup>H 25, 29, 33, 35

**F**

Flavonóides 27

Fungos endofíticos 25, 26, 27

**G**

Granulometria 13, 21

**I**

Imobilização enzimática 14, 15, 17

Índice de iodo 1, 2, 4, 6, 7, 8

Indústria têxtil 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49, 50

**J**

Jupati 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

**L**

Lignina 14

**M**

Mesh 13, 16, 18, 20, 21

Microrganismos 25, 26, 27, 28

**N**

Noz-pecã 12, 13, 14, 15

**O**

Óleos vegetais 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10

Oxidoredutases 14

**P**

Patauá 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Peroxidase 12, 13, 14, 15, 22, 23, 24

Pracaxi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Propriedades farmacológicas 27

**R**

Reaproveitamento 13, 14, 15

Resíduo agroindustrial 13, 21

**S**

Substratos 3, 14, 27, 28, 29

**V**

Vermelho congo 40, 44, 45, 47, 48, 49, 50

**Z**

Zeólitas 40, 49

 [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 3

 [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 3