

# Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química

---

Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

# Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química

---

Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília



Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</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>ª</sup> Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</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  
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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliariari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás

Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior



Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## Desenvolvimento e transferência de tecnologia na engenharia química

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Érica de Melo Azevedo

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento e transferência de tecnologia na engenharia química / Organizadora Érica de Melo Azevedo. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-606-5

DOI 10.22533/at.ed.065200912

1. Engenharia química. I. Azevedo, Érica de Melo (Organizadora). 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](mailto: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.



## APRESENTAÇÃO

A publicação de e-books no Brasil é uma importante ferramenta para a divulgação científica e a valorização das pesquisas e pode ajudar a desenvolver uma relação mais próxima entre a Academia e a Indústria. O presente livro mostra aspectos da pesquisa e transferência de tecnologia na engenharia química e suas áreas correlatas. Diversas patentes, materiais e equipamentos vêm sendo desenvolvidos buscando a melhora na qualidade de vida humana, na qualidade dos produtos consumidos e melhora ambiental e queremos mostrar estes trabalhos. O livro “Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química” apresenta artigos na área de processos químicos, tecnologia química e ensino de química.

O e-book contém 8 capítulos, que abordam temas como biotecnologia; hidrólise enzimática; extração de lipídeos a partir de microalgas; síntese de materiais adsorventes a partir de resíduos; preparação de materiais para a remoção de contaminantes; formulações de combustíveis; formulação alimentar com adição de resíduo agroindustrial e produção de anti-incrustantes a partir de surfactantes naturais.

Os objetivos principais do presente livro são apresentar aos leitores diferentes aspectos do conhecimento científico na área de Engenharia Química, abordando conceitos de desenvolvimento e transferência de Tecnologia. Os artigos da coleção podem ser utilizados para o desenvolvimento de projetos de pesquisa, para o ensino dos temas abordados e até mesmo para a atualização do estado da arte nas áreas de tecnologia química, engenharia química e engenharia de bioprocessos.

Após esta apresentação, convido os leitores a apreciarem e consultarem, sempre que necessário, a obra “Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química”. Desejo uma excelente leitura!

Érica de Melo Azevedo

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **POTENCIAL APLICAÇÃO BIOTECNOLÓGICA DO SORO DO QUEIJO NA PRODUÇÃO DE PRODUTOS DE VALOR AGREGADO**

Paula Valéria Viotti  
Wardleison Martins Moreira  
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante  
Marcelo Fernandes Vieira

**DOI 10.22533/at.ed.0652009121**

### **CAPÍTULO 2..... 10**

#### **MODELAGEM DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIOETANOL EM DYNETICA UTILIZANDO ROTA METABÓLICA SIMPLIFICADA**

Matheus Yuri Gritzenco de Giovanni  
Renam Luis Acorsi  
Cid Marcos Gonçalves Andrade  
José Eduardo Olivo

**DOI 10.22533/at.ed.0652009122**

### **CAPÍTULO 3..... 20**

#### **ESTUDO DE TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE LIPÍDEOS DE ALGAS**

Carla Veronica Rodarte de Moura  
Daiane Fossatti Dall'Oglio  
Edmilson Miranda de Moura

**DOI 10.22533/at.ed.0652009123**

### **CAPÍTULO 4..... 42**

#### **ALTERNATIVE ROUTE TO SYNTHESIZE A BIOPHENOLIC RESIN FROM TANNIN AND KRAFT BLACK LIQUOR AND ITS APPLICATION AS AN ADSORBENT MATERIAL**

Wardleison Martins Moreira  
Paula Valéria Viotti  
Marcelo Fernandes Vieira  
Cristina Maria dos Santos Gaudêncio Baptista  
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante  
Marcelino Luiz Gimenes

**DOI 10.22533/at.ed.0652009124**

### **CAPÍTULO 5..... 53**

#### **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO EMPREGO DE ÁLCOOIS COMO AGENTE ESTABILIZANTE EM MISTURAS BIO-ÓLEO PIROLÍTICO/DIESEL**

Wendell Ferreira de La Salles  
Kátia Simone Teixeira da Silva de La Salles  
Larissa Machado de Assis  
Jullyane Cunha Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.0652009125**

<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>61</b>
PREPARAÇÃO DE HIDROGÉIS A BASE DE GLICEROL PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DE ÁGUAS RESIDUAIS	
Bárbara Brígida Pinho de Lima	
Wesley Renato Viali	
Eloiza da Silva Nunes Viali	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0652009126</b>	
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>67</b>
ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE CHOCOLATE ENRIQUECIDO COM FARINHA DE CAROÇO DE JACA	
Matheus Henrique Nascimento Goes	
Janclei Pereira Coutinho	
Fábio Alan Carqueija Amorim	
Julia Carneiro Romero	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0652009127</b>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>87</b>
FORMULAÇÃO DE MATRIZES ANTI-INCRUSTANTES UTILIZANDO SURFACTANTES NATURAIS	
Anderson Oliveira de Medeiros	
Maria da Gloria Conceição da Silva	
Leonie Asfora Sarubbo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0652009128</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>100</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>101</b>



## ESTUDO DE TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE LIPÍDEOS DE ALGAS

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 06/11/2020

### **Carla Veronica Rodarte de Moura**

Universidade Federal do Piauí, Departamento  
de Química  
Teresina - Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/8314351279360798>

### **Daiane Fossatti Dall'Oglio**

Universidade Federal do Piauí, Departamento  
de Química  
Teresina - Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/6916024411250155>

### **Edmilson Miranda de Moura**

Universidade Federal do Piauí, Departamento  
de Química  
Teresina - Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/0624348825872858>

**RESUMO:** Biocombustíveis derivados de óleos extraídos de microalgas são considerados promissores na substituição de fontes de energia à base de petróleo. No entanto, a extração de lipídios dessa fonte é um desafio devido ao seu baixo rendimento e a necessidade de procedimentos de alto custo no rompimento da parede celular. Neste estudo, será descrito alguns métodos físicos e químicos usados para ruptura celular e extração dos lipídeos de algas. Além disso, apresentaremos um estudo da multivariada das condições de extração, visando maximizar a extração lipídica da microalga *Scenedesmus sp.*, cultivada em águas residuais.

O método de extração, o tempo de extração, a mistura de solventes e o pré-tratamento foram considerados entre os níveis superior e inferior para avaliar sua significância, incluindo suas interações na resposta experimental, utilizando um número reduzido de experimentos. Os estudos foram realizados utilizando métodos de extração de baixo custo, como agitação magnética e ultrassom. A condição ótima de extração foi obtida utilizando uma mistura de solventes, clorofórmio:metanol (2:1), em um período de extração de 2 horas no ultrassom.

**PALAVRAS-CHAVE:** Algas, extração de lipídeos, técnicas físicas e químicas.

### STUDY OF ALGAE LIPID EXTRACTION TECHNIQUES

**ABSTRACT:** Biofuels derived from oils extracted from microalgae are considered promising in the replacement of petroleum-based energy sources. However, extracting lipids from this source is a challenge due to its low yield and the need for high-cost procedures to break the cell wall. In this study, some physical and chemical methods used for cell disruption and lipid extraction from algae were described. Also, we present a study of the multivariate of the extraction conditions, aiming to maximize the lipid extraction of the *Scenedesmus sp.* microalgae grown in wastewater. The extraction method, extraction time, solvent mixture, and pretreatment were considered between the upper and lower levels to assess their significance, including their interactions in the experimental response, using a reduced number of experiments. The studies were carried out using low-cost extraction methods, such

as magnetic stirring and ultrasound. The optimal extraction condition was obtained using a solvent mixture, chloroform: methanol (2: 1), in an extraction period of 2 hours on ultrasound. **KEYWORDS:** Algae, lipid extraction, physical and chemical techniques.

## 1 | INTRODUÇÃO

Grande parte da energia utilizada pelas nações é derivada de combustíveis fósseis. Entretanto, alguns problemas enfrentados pelo uso desses combustíveis são a questão ambiental e o esgotamento de tais fontes. A incerteza em sua disponibilidade é considerada um importante gatilho para os pesquisadores procurarem por fontes alternativas de energia, que podem complementar ou substituir combustíveis fósseis (HARUN *et al.*, 2010; MATA *et al.*, 2010). Considerando tais condições, a busca por energias renováveis e por combustíveis sustentáveis têm se intensificado (CHEN *et al.*, 2018; OUANJI *et al.*, 2016; MOAZAMI *et al.*, 2012). Nesse contexto, a síntese de biodiesel em larga escala tem se tornado mais atraente nos últimos anos devido à sua renovabilidade, menor toxicidade quando comparado ao diesel de petróleo e apelo ambiental uma vez que é livre de enxofre, aromáticos e produz menos fuligem, óxido de carbono e dióxido de carbono (MISHRA e GOSWAMI, 2018). Atualmente, o biodiesel é produzido a partir de diferentes safras, como soja, colza, girassol, palma, coco, jatropha, karanja, usou óleo frito e gorduras animais (SPOLARE *et al.*, 2006; KHAN *et al.*, 2009). Haverá certas limitações no uso desses óleos como combustíveis alternativos por causa de sua demanda de alimentos, expectativa de vida, menor rendimento /ha, maior uso da terra e preço mais alto, entre outros (MATA *et al.*, 2010). É necessário pesquisar matérias-primas alternativas não alimentares para produção de biodiesel. Seleção de matéria-prima de biodiesel é baseada em maiores rendimentos, curta duração, menor custo de produção e menos terras uso. Entre as várias matérias-primas do biodiesel, o óleo de microalgas tem potencial para substituir o óleo diesel convencional.

No entanto, em relação aos substratos tradicionalmente usados para biocombustíveis, a produção comercial de FAME a partir de óleos vegetais e gordura animal podem gerar problemas de sustentabilidade, pois afetam a produção de alimentos (BALAT, 2011), e a produção de óleos não comestíveis está associada à disponibilidade de terras aráveis para seu cultivo (ULLAH *et al.*, 2014). Assim, a exploração de combustíveis alternativos tem se voltado para os chamados biocombustíveis de terceira geração (BHARGAVI *et al.*, 2018), ou seja, produzir óleos de baixo custo e biomassa renovável com alto potencial de produção de energia.

Do ponto de vista ambiental, as microalgas apresentam várias vantagens sobre as oleaginosas que são amplamente utilizada para extração do óleo (RANDRIANARISON e ASHRAF, 2017), pois não precisam de campos cultiváveis, podem ser cultivadas em águas residuais, apresentando taxas de crescimento mais elevada do que as plantas terrestres e

têm uma densidade de energia maior do que as matérias-primas vegetais (BAICHA *et al.*, 2016).

Contudo, a extração de lipídios da biomassa de microalgas consiste em romper as paredes celulares das algas (GHASEMI NAGHDI *et al.*, 2016) usando abordagens mecânicas e/ou químicas (HALIM *et al.*, 2012). Como a quantidade de lipídeos nas microalgas é relativamente pequena (15 a 30%), é crucial que o procedimento de extração selecionado seja eficiente para extrair o máximo de lipídeos possível (RAMLUKAN *et al.*, 2014). A extração de lipídeos de microalgas passa por problemas causados pela presença de água, além da ruptura das paredes celulares que formam uma barreira para a penetração do solvente. (YAP *et al.*, 2014). Lipídios são constituídos por um grupo diverso de substâncias biológicas, algumas das quais polares, enquanto outras não polares (SCOTT *et al.*, 2010). A extração de lipídios da biomassa de microalgas são, portanto, uma tarefa desafiadora que é fundamental na determinação da economia geral do biodiesel produção (BARCLAY *et al.*, 1994). Embora a extração de lipídios em escala de laboratório seja bastante rotineira, as variáveis que afetam a extração de lipídios de microalgas não é bem compreendido e aumenta a escala para produção comercial um desafio maior (WIJFFLES *et al.*, 2010). Um processo de extração de lipídios ideal para biodiesel de microalga a produção precisa ser específica para lipídios (a fim de minimizar a co-extração de contaminantes não lipídicos) e seletiva para as frações lipídicas necessárias. Uma vez liberado das célula de algas, os lipídios são capazes de passar para a fase de solvente a partir da qual eles podem ser coletados após a evaporação do solvente. Ruptura celular é então considerado um método para quebrar a parede celular das algas. Uma vez que as microalgas são caracterizadas por uma parede celular, que é uma espessa e camada rígida composta de carboidratos complexos e glicoproteínas com alta resistência mecânica e resistência química, esta etapa operacional pode exigir grandes quantidades de energia. As principais técnicas de rupturas das células podem ser conceitualmente categorizadas em métodos físicos e químicos. Apesar de alguns métodos físicos e químicos isoladamente serem capazes de romper a membrana celular de certas algas, muitas vezes é necessário o uso da combinação de dois ou mais métodos para esse fim.

Sendo assim nesse capítulo iremos tratar de algumas técnicas químicas, físicas e a conjugação das duas para extração de lipídeos de algas. Além disso, apresentaremos um estudo multivariado das condições de extração, visando maximizar a extração lipídica da microalga *Scenedesmus sp.*, cultivada em águas residuais.

## 2 | TÉCNICAS DE RUPTURA CELULAR DAS ALGAS

Na prática, os métodos utilizados para ruptura celular de microalgas são divididos em: Ruptura Celular por processos Físicos, Ruptura Celular por Métodos Químicos.

## 2.1 Ruptura Celular de microalgas por processos Físicos

Dependendo do tipo de biomassa, é recomendado um pré-tratamento antes da extração lipídica. O pré-tratamento ajuda a promover a ruptura celular das microalgas induzindo a extração de lipídios, ou seja, liberando-os das estruturas celulares com maior facilidade (MUBARAK et al., 2015). Os métodos de ruptura podem ser classificados de acordo com a forma de desintegração celular em físicos ou químicos, sendo que os físicos são utilizados por manterem a integridade química das substâncias contidas inicialmente nas células (GREENWELL et al., 2010).

Os métodos físicos mais estudados são a autoclavagem, homogeneização em alta pressão, ultrassonicação, moagem, liofilização, micro-ondas, prensagem e método *bead beating*. Enquanto os químicos incluem geralmente a lise celular com uso de ácidos, bases, enzimas ou choques osmóticos (HALIM; DANQUAH; WEBLEY, 2012). (HALIM et al., 2012b).

### 2.1.1 Autoclavagem

A autoclavagem é um processo também conhecido como termólise e consiste no aquecimento da biomassa em banho maria com controle de temperatura e injeção de vapor. O calor será difundido do ambiente para o interior das células, passando pela membrana celular (LEE; LEWIS; ASHMAN, 2012).

### 2.1.2 Homogeneização sob alta pressão

A homogeneização sob alta pressão consiste é um processo em que suspensões da biomassa é passada através de um pequeno orifício, à alta pressões, ligado a uma câmara com pressão atmosférica. Com a descompressão as células se rompem, e uma grande quantidade de calor é gerada, sendo assim o processo é realizado sob refrigeração. (TREVAN et al., 1990). A ruptura das células feita por esse método, gera um rompimento não específico, visto que apenas uma parte da parede celular é rompida.

### 2.1.3 Ultrassonicação

A ruptura celular por ultrassonicação se dará quando ondas ultrassônicas com elevada frequência e intensidade é aplicada na biomassa. Essas ondas causam a cavitação que resulta na liberação de ondas de choques altamente energéticas que causam tensões mecânicas e danos na superfície das células. Durante esse processo ocorre a formação de bolhas que são menores que a células das microalgas, e a colisão entre as bolhas e as células cria pequenas regiões de pressões muito altas que acabem por romper a parede celular desses micro-organismos (GREENLY & TESTER, 2015)

A maior parte da energia ultrassônica absorvida pela biomassa se transforma em calor, assim um controle de temperatura é necessário (MIDDELBERG, 1995). Além da

temperatura outros fatores podem influenciar no processo de ultrassonicação como: tempo do processo - maiores tempos, mais rompimento ocorrerá. Entretanto deve-se observar que uma maior quantidade de células rompidas pode inibir a propagação das ondas sonoras, diminuindo a eficiência de processo; Esferas de Vidro - a adição de esferas de vidro aumenta a moagem, e por consequência a eficiência do processo. Viscosidade da biomassa celular – baixas viscosidades permitem um colapso mais violento das bolhas e uma maior eficiência da ruptura das células. Porém, a viscosidade aumenta à medida que os produtos intracelulares são liberados no meio.

#### *2.1.4 Moagem*

O moinho de bolas é um método simples e efetivo para o rompimento da parede celular de diferentes tipos de micro-organismos. O moinho possui uma câmara de moagem encamisada com uma haste longitudinal rotatória no centro. Os agitadores de diferentes formatos estão presos na haste, e eles são responsáveis pela transmissão de energia cinética à pequenas esferas que existem na câmara, forçando-as a colidirem umas com as outras (MIDDELBERG, 1995). A seleção do diâmetro das esferas e da carga de partículas é de grande importância para uma maior eficiência no processo de ruptura celular, dependendo da localização do bioproduto na célula.

#### *2.1.5 Liofilização*

O processo de liofilização constitui no congelamento da biomassa que depois será enviada para uma câmara de vácuo e aumento gradativo da temperatura. Com o aumento da temperatura a pressão circunvizinha é reduzida, o que permite que a água congelada passe diretamente da fase sólida para a fase gasoso. No processo de congelamento as paredes das células ficam mais porosas devido a formação de cristais de gelo dentro das células e aumentam a extração de produtos intracelulares. (CAÑAVATE; FERNÁNDEZ-DÍAZ, 2001).

#### *2.1.6 Micro ondas*

As micro-ondas, são ondas eletromagnéticas, com comprimento de onda maiores que os raios infravermelhos e menores que as ondas de rádio, compreendendo frequências entre 300 e 300.000 MHz. (MAHESAR et al., 2008). A energia das micro-ondas atua como radiação não ionizante que provoca a rotação dos dipolos e o movimento das moléculas por migração dos íons. Esta rotação com fricção das moléculas gera calor que causa a ruptura celular. O calor, em combinação com o efeito de eletroporação, resulta numa maior abertura da membrana, otimizando a extração de metabólitos intracelulares (CAMEL, 2000).



### 2.1.7 Prensagem

A prensa expeller é considerada a forma mais antiga de extração de óleo de algas. Este processo usa uma prensa mecânica para quebrar as células e comprimir o óleo da biomassa seca ou úmida e pode extrair cerca de 75% de óleo. O princípio envolvido nesta técnica é que ao aplicar alta pressão o teor de óleo da biomassa é eliminado pela quebra das células. A aplicação da pressão não deve ser muito alta, caso contrário, a qualidade dos lipídios, bem como a quantidade, diminuem (HARA e RADIN, 1978). Mas, este método é bastante lento e requer uma grande quantidade de biomassa (NETO *et al.*, 2013).

### 2.1.8 Método bead beating

O *bead beating* é um método em que as células das algas são quebradas pela alta velocidade de agitação (KUMAR *et al.*, 2015). Este método consiste no uso de esferas de vidro muito pequenas (ou algum outro material) que são adicionados a biomassa algal e esta sofre agitação. O choque físico, provocado pela agitação, entre as contas (vibrando ou sacudindo) com as células resulta em uma ruptura da parede celular, expondo todo o material ao meio. A grande vantagem deste método é que pode ser operado em processos contínuos e em grande escala.

## 2.2 Ruptura Celular por Métodos Químicos

A parede celular de um micro-organismo pode ser permeabilizada por vários compostos químicos, que irão diferir na seletividade e eficiência dependendo da espécie microbiana. A ruptura química pode ser realizada por hidróxidos, ácidos, agentes oxidantes, antibióticos, agentes quelantes, detergentes, solventes, enzimas ou por e hipocloritos (GECIOVA, BURY; JELEN, 2002, Steriti *et al.* 2014, bioresoure technology).

Os álcalis mais utilizados para ruptura celular são a amônia e o hidróxido de sódio, pois inativam micro-organismos geneticamente modificados ou patógenos durante o rompimento. Entretanto, geram muitos poluentes, que são a principal desvantagem desse método.

Agentes oxidantes, como a  $H_2O_2$  e agente de Fenton ( $FeSO_4$ ), foram eficientes para a ruptura de biomassa algal. De acordo com Wu *et al.* (2010), a reação entre  $H_2O_2$  e íons  $Fe^{2+}$  pode produzir radicais hidroxila ( $OH\cdot$ ) que por sua vez podem atacar e degradar os compostos orgânicos que constituem a parede celular (ST RITI *et al.*, 2014). Provavelmente, essa reação ocorre preferencialmente em certas zonas da parede celular que contém compostos orgânicos que são facilmente oxidados por radicais  $OH\cdot$ . De fato, a ruptura ocorre em certas áreas da parede celular e leva à liberação do material intracelular, incluindo lipídios. Uma vez que os lipídeos são transferidos para a solução, eles são atacados por radicais hidroxila, gerando degradação de produtos como os peróxidos lipídicos. (González *et al.*, 2012). Até onde essa reação indesejada prossegue dependerá das concentrações residuais de  $H_2O_2$  e  $Fe^{2+}$ , bem como do tempo decorrido antes que

um solvente, como o etanol, seja adicionado na solução a fim de interrompê-la. Por esta razão, tanto a concentração de  $H_2O_2$  quanto o tempo de contato devem ser ajustados adequadamente.

Os compostos detergentes dissociam proteínas e lipoproteínas das paredes celulares, provocando a formação de poros e liberando a molécula-alvo. A eficiência do rompimento depende do pH e da temperatura e pode ser aumentado por um pré-tratamento à base de solventes orgânicos que iniciam e estimulam a autólise (WAGNER, SCENI; RAMBALA, 2008).

Os solventes orgânicos servem para romper muitos tipos de células e podem ser qualificados como um meio tradicional de ataque. Não são empregados para ruptura em escala industrial por diversas razões, entre elas o alto custo e a toxicidade (TREVAN *et al.*, 1990). As rupturas químicas mais utilizadas são as que empregam o dimetilsulfóxido (DMSO) ou o tolueno, sendo que ambos alteram a composição das membranas, aumentando a sua permeabilidade (WAGNER, SCENI; RAMBALA, 2008).

Os solventes orgânicos conseguem romper muitos tipos de células e podem ser qualificados como um meio tradicional de ataque. Em escala industrial não são empregados, devido ao alto custo e toxicidade. (TREVAN *et al.*, 1990). Entretanto, alguns solventes orgânicos são permitidos para uso nas indústrias, principalmente na de alimentos, sendo que o uso e suas concentrações dependem do tipo de alimento onde eles serão empregados (FOOD AND DRUG REGULATION, 2005). Os solventes mais utilizados nas rupturas celulares são o dimetilsulfóxido (DMSO) ou o tolueno, sendo que ambos alteram a composição das membranas, aumentando a sua permeabilidade (WAGNER, SCENI; RAMBALA, 2008).

Os ácidos clorídrico, acético e láctico, foram utilizados na ruptura celular alguns microorganismos (NI *et al.*, (008).

Enzimas líticas são enzimas envolvidas na quebra da parede celular de leveduras e fungos, podendo ser utilizadas para a obtenção de diferentes produtos intracelulares (FLEURI; SATO, 2010). O mecanismo de rompimento como o uso de enzimas é baseado no fato de que a pressão osmótica interna rompe a membrana, ou parte dela, permitindo que o conteúdo intracelular seja liberado para o meio externo. As vantagens desse mecanismo são: fácil controle do pH e da temperatura do meio, baixo investimento de capital, alta especificidade para degradação da parede celular e uso em associação com métodos mecânicos. As enzimas agem sinergicamente na lise da parede celular, mas somente duas são essenciais para o rompimento da célula: a protease lítica específica, que degrada a camada externa de mananaproteína; e a  $\beta$ -1,3-glucanase lítica, que degrada a camada interna de glucana, implicando no rompimento celular por diferença de pressão osmótica (FLEURI; SATO, 2005). A eficácia de enzimas na lise dos componentes da parede celular pode variar dependendo do estágio de crescimento celular, do gênero e da espécie do microorganismo.

## 3 | TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO LIPÍDICA DE ALGAS

### 3.1 Extração por solvente

A máxima “semelhante dissolve semelhante” descreve sucintamente o princípio básico que está por trás da extração lipídica de microalgas usando solventes (HALIM *et al.*, 2012), uma vez que prevê interações intermoleculares com polaridades semelhantes. Um solvente ideal requer altos níveis de especificidade para os lipídios, além de ser volátil o suficiente para garantir uma separação de baixa energia. A extração pode usar solventes não polares, como hexano, benzeno, tolueno, éter dietílico, clorofórmio e solventes polares como metanol, acetona, acetato de etila e etanol. Os solventes não polares interrompem as interações hidrofóbicas entre os lipídios não polares e neutros, disponíveis na biomassa das algas (MUBARAK *et al.*, 2015).

Um mecanismo de extração utilizando solventes orgânicos foi proposto por Halim *et al.* (2012) e é mostrado na Figura 1. Quando uma célula microalgal é exposta a um solvente orgânico apolar, como hexano ou clorofórmio, o solvente orgânico penetra através da membrana celular (etapa 1) e interage com os lipídios através de forças de van der Waals (etapa 2) para formar um complexo solvente orgânico-lipídio (etapa 3). Este complexo, impulsionado por um gradiente de concentração, se difunde através da membrana celular (etapa 4) e os lipídios são extraídos das células e permanecem dissolvidos no solvente orgânico (etapa 5). No entanto, alguns lipídios anfipáticos, encontrados no citoplasma, estão fortemente ligados a proteínas na membrana celular por ligações de hidrogênio. Interações de van der Waals formadas entre o solvente orgânico apolar e os lipídios anfipáticos no complexo são inadequados para interromper as associações lipídio-proteína. Assim, solventes orgânicos polares (metanol, por exemplo) são capazes de interromper essas associações formando ligações de hidrogênio com os lipídios no complexo (KATES 1972; MEDINA *et al.*, 1998). A metade inferior da Figura 3 mostra as cinco etapas pelas quais a mistura de solventes orgânicos (apolar/polar) passa, buscando facilitar a extração dos complexos lipídios que estão associados a proteínas.

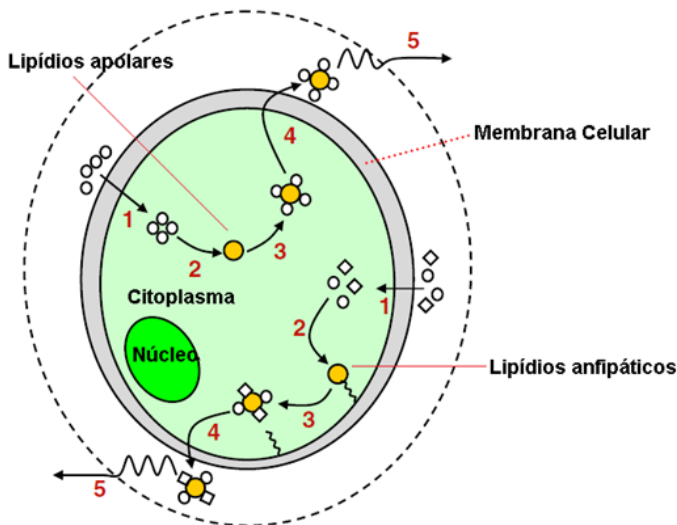


Figura 1 – Diagrama esquemático do mecanismo de extração lipídica por solvente orgânico, composto por cinco etapas. Onde: ○ solvente orgânico não polar, ◇ solvente orgânico polar

Na extração por solventes podemos citar o método de Folch *et al.* (1957) e o método de Bligh e Dyer (1959), que são métodos de extração a frio onde a qualidade da fração lipídica não é afetada. A combinação dos solventes utilizados na extração, para ambos os métodos, pode mudar com base na polaridade dos lipídios presentes nas espécies das algas.

O método de Folch *et al.* (1957) é a técnica de extração mais popular, em que vários solventes orgânicos ou mistura de diferentes solventes são utilizados para extrair seletivamente lipídios das microalgas. A combinação mais comum é clorofórmio e metanol na proporção de 2:1 por volume, seguida pela adição de uma solução de cloreto de potássio, visando uma melhor separação das fases. Após a adição da amostra na mistura de solventes, toda a mistura é agitada suavemente (cerca de 20-25 min) seguida por centrifugação (2000 rpm) ou filtração para recuperar a fase líquida. O manuseio rápido e fácil de grandes quantidades de amostras é a principal vantagem desse método.

O método de Bligh e Dyer (1959) é uma versão simplificada do método de Folch, propondo uma rápida extração e purificação de lipídios totais. Utiliza clorofórmio, metanol e água na proporção de 2:1:0,8 por volume, onde ocorre a formação de um sistema bifásico, a partir das proporções de solventes adicionados durante o processo de extração. Esta separação de fases está baseada na teoria do equilíbrio líquido-líquido desses três componentes (clorofórmio/metanol/água). Neste método, as proteínas da amostra são precipitadas entre as duas fases lipídicas, tanto a extração quanto a partição lipídica são realizadas simultaneamente. Vários trabalhos foram relatados na literatura usando o método de Bligh e Dyer para extração de lipídios (GRIFFITHS *et al.*, 2010; CHENG *et al.*,

2011; WIDJAJA *et al.*, 2009) e formas modificadas também foram usadas (LEE *et al.*, 2010; CHEN *et al.*, 2012). O uso de solventes tóxicos como hexano e clorofórmio causa riscos adversos a saúde e ao meio ambiente e é a principal desvantagem do método de extração por solvente do óleo de algas (ARESTA *et al.*, 2005).

Outro método químico inclui a extração por Soxhlet, no qual um solvente orgânico é usado para remover o óleo da alga através de repetidas lavagens. O aparelho Soxhlet consiste em três compartimentos principais: um balão de fundo redondo, continuamente aquecido, um extrator do tipo Soxhlet para conter a biomassa microalgal e um condensador para resfriamento contínuo. Considerando que, durante os ciclos de evaporação e condensação do solvente, o aparelho de Soxhlet realiza o processo continuamente e restabelece a biomassa com solventes orgânicos frescos, podemos pensar nesse método como uma forma de minimizar o consumo de produtos químicos (HALIM *et al.*, 2012). Embora essa técnica de extração reduza a quantidade de solventes tóxicos, o tempo de execução mais longo é a principal desvantagem. Além disso, procedimentos com refluxo de solvente por muitas horas devem ser evitados, já que favorecem as reações de peroxidação e de hidrólise, as quais podem comprometer a quantificação de certos componentes lipídicos (KATES, 1972).

### 3.2 Uso de Fluídos Supercríticos

Os fluidos supercríticos são considerados adequados como um método de extração por solvente. Neste método o dióxido de carbono líquido, solvente de baixa toxicidade, é aquecido e usado como solvente para a extração do óleo. O CO<sub>2</sub> supercrítico (SC-CO<sub>2</sub>) é comumente usado para a maioria das extrações de fluido supercrítico devido à sua pressão crítica moderada (7,4 MPa) e a baixa temperatura crítica (31,1 °C) (WANG e WELLER, 2006). As variáveis operacionais que influenciam o desempenho da extração de lipídios são pressão, temperatura e taxa de fluxo de fluido. As condições ideais dessas variáveis são importantes para reduzir a necessidade de energia e maximizar o rendimento lipídico na extração. Halim *et al.* (2011) avaliaram o desempenho da extração lipídica da *Chlorococcum sp.* utilizando SC-CO<sub>2</sub> e hexano, baseado nos rendimentos e na composição de ácidos graxos. O rendimento lipídico diminuiu com o aumento da temperatura e da pressão usando SC-CO<sub>2</sub>. Eles também relataram que a extração por Soxhlet, usando hexano, levou 5 a 6 vezes o tempo necessário para extração com SC-CO<sub>2</sub> para alcançar um rendimento lipídico comparável de 0,058 g de lipídio/g de microalga seca. Além disso, o uso de co-solventes, como o etanol, com SC-CO<sub>2</sub> pode aumentar o rendimento de extração lipídica. A técnica de extração de fluido supercrítico usa solventes menos tóxicos para extração lipídica, contudo o investimento de capital inicial em equipamento é muito alto.

## 4 | EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO NA EXTRAÇÃO LIPÍDICA

Dependendo do tipo de biomassa, é recomendado um pré-tratamento antes da extração lipídica. O pré-tratamento ajuda a promover a ruptura celular das microalgas induzindo a extração de lipídios, ou seja, liberando-os das estruturas celulares com maior facilidade (MUBARAK et al., 2015). Os métodos de pré-tratamento podem ser mecânicos ou não mecânicos.

Os métodos mecânicos incluem homogeneização em alta pressão, ultrassonicação, moagem, autoclave, liofilização e micro-ondas. Os métodos não mecânicos envolvem o tratamento das células com ácidos, álcalis, enzimas e choques osmóticos (HALIM et al., 2012).

McMillan et al. (2013) analisaram diferentes métodos de pré-tratamento, como micro-ondas, banho-maria, *blender*, ultrassom e laser para romper a parede celular da microalga *Nannochloropsis oculata*. O requisito da temperatura relativamente baixa tornou o método de ruptura celular por ultrassonicação a melhor escolha, quando comparado aos métodos de micro-ondas e autoclave. As condições necessárias para a sonicação foram importantes para reduzir a entrada de energia e melhorar a qualidade dos lipídios da biomassa das algas.

Assim, encontrar o método mais eficiente e as condições ideais para a extração lipídica são importantes para redução dos custos na produção de biodiesel a partir de óleo de microalgas. De acordo com Mubarak et al. (2015), a adoção de um único método de extração pode não ser suficiente para obter o rendimento máximo das algas. Portanto, métodos de pré-tratamento, como métodos assistidos por micro-ondas ou ultrassom, combinados com extração por solvente, podem render o máximo da quantidade de lipídios das algas.

## 5 | ESTUDO MULTIVARIADO DAS CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO LIPÍDICA

Os protocolos de extração lipídica foram realizados de acordo com a literatura, com algumas modificações (BLIGH e DYER, 1959). Em um procedimento típico, 2 g de biomassa de microalga seca foi suspensa em 30 mL de uma mistura de solventes (clorofórmio:metanol ou clorofórmio:etanol) e mantida em ultrassonicação ou agitação magnética sob condições específicas, as quais estão descritas na Tabela 1. Em seguida, o resíduo de biomassa foi separado da fase orgânica por filtração e o solvente foi evaporado sob pressão reduzida para obtenção do óleo. Todas as extrações foram realizadas em triplicata. (Dall'oglio et al. 2019). Um planejamento fatorial completo com quatro variáveis independentes ( $2^4$ ) foi usado para avaliar a significância dos efeitos e as interações das variáveis na extração dos lipídios. A biomassa algal obtida no processo de secagem foi submetida a diferentes técnicas de rompimento. As variáveis avaliadas para o planejamento experimental I foram: mistura de solventes, método de extração, tempo de extração e pré-tratamento, conforme a



Tabela 1. Os métodos de extração utilizados foram ultrassom a 60 °C e agitação magnética. Os 16 ensaios foram realizados aleatoriamente em 5 dias para evitar erros sistemáticos. A resposta foi analisada como a quantidade de lipídios obtidos em relação à massa de microalgas utilizada, expressa em porcentagem.

Variáveis	Símbolos	Nível Fatorial	
		-1	+1
Mistura de Solventes	X <sub>1</sub>	CHCl <sub>3</sub> :EtOH (2:1)	CHCl <sub>3</sub> :MeOH (2:1)
Método de Extração	X <sub>2</sub>	Ultrassonificação a 60 °C	Agitação Magnética a 60 °C
Tempo de Extração (h)	X <sub>3</sub>	1	2
Pré-tratamento	X <sub>4</sub>	Banho de Água	Forno

Tabela 1 – Planejamento fatorial completo 2<sup>4</sup> para a mistura de solventes, técnica de extração, tempo de extração e pré-tratamento (Planejamento Experimental I).

Com base nos resultados do planejamento experimental I, outro planejamento fatorial completo 2<sup>4</sup> (planejamento experimental II), que avaliaria qualquer outra interação possível, foi proposto. As variáveis avaliadas para o planejamento experimental II são apresentadas na Tabela 2.

Variáveis	Símbolos	Nível Fatorial	
		-1	+1
Mistura de Solventes	X <sub>1</sub>	CHCl <sub>3</sub> :EtOH (2:1)	CHCl <sub>3</sub> :MeOH (2:1)
Agitação Magnética / Temperatura (°C)	X <sub>2</sub>	60	150
Tempo de Extração (h)	X <sub>3</sub>	1	2
Pré-tratamento	X <sub>4</sub>	Banho de Água	Forno

Tabela 2 – Planejamento fatorial completo 2<sup>4</sup> para a mistura de solventes, temperatura de extração, tempo de extração e pré-tratamento (Planejamento Experimental II).

Para o planejamento experimental II, 16 experimentos foram realizados. Como última investigação, foi considerado o tempo de extração, com base no planejamento experimental I. Nesse contexto, as diferenças entre as respostas para 2, 4 e 6 h de tempo de extração (realizadas em triplicata), utilizando ultrassonificação a 60 °C como método de extração, CHCl<sub>3</sub>:MeOH (2:1) como solvente e banho-maria como pré-tratamento, foram avaliadas por meio da análise de variância unilateral (ANOVA unilateral).

A variável dependente corresponde a quantidade de lipídio obtida em relação a massa de microalga utilizada, expressa em porcentagem.

Para estratégia proposta, as variáveis independentes foram qualitativas e quantitativas, ou seja, o tempo de extração é o parâmetro quantitativo e os demais são os parâmetros qualitativos. A Tabela 3 mostra o resultado dos ensaios experimentais (16 execuções) para a extração lipídica, apresentando os níveis codificados das variáveis (conforme a Tabela 1). Os experimentos foram realizados de forma aleatória, em um período de 5 dias.

Experimentos	Variáveis <sup>1</sup>				Rendimento total de lipídios (%)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	
1	-1	-1	-1	-1	6,39
2	-1	-1	-1	+1	2,81
3	-1	-1	+1	-1	5,26
4	-1	-1	+1	+1	4,79
5	-1	+1	-1	-1	4,17
6	-1	+1	-1	+1	4,39
7	-1	+1	+1	-1	5,13
8	-1	+1	+1	+1	4,19
9	+1	-1	-1	-1	7,50
10	+1	-1	-1	+1	5,90
11	+1	-1	+1	-1	6,23
12	+1	-1	+1	+1	7,70
13	+1	+1	-1	-1	6,29
14	+1	+1	-1	+1	5,48
15	+1	+1	+1	-1	6,06
16	+1	+1	+1	+1	5,72

Tabela 3 – Planejamento Experimental I (planejamento fatorial completo 2<sup>4</sup>) e respostas (rendimento total de lipídios) obtidas para cada experimento.

<sup>1</sup> De acordo com as descrições da Tabela 1.

O gráfico de Pareto (Figura 2), resultante da estimativa de efeitos padronizados do planejamento experimental I para cada interação e fator, mostra a magnitude e a importância dos parâmetros. A linha tracejada horizontal corresponde ao valor da distribuição *t* de Student com 95% de confiança ( $p = 0,05$ ) e graus de liberdade adequados. Portanto, os efeitos individuais ou interações que ultrapassam a linha tracejada horizontal são significativos. Percebe-se que o único parâmetro significativo para a extração é a mistura de solventes. O valor positivo sugere que a maximização da resposta (aumento do rendimento total de lipídios) ocorre no nível mais alto, ou seja, com a proporção de CHCl<sub>3</sub>:MeOH de 2:1. Esses dados estão de acordo com a literatura, Cho et al. (2012), em uma abordagem univariada,

obteve esse parâmetro (mistura de solventes de  $\text{CHCl}_3:\text{MeOH}$  de 2:1) como o mais significativo também para a extração de lipídios da *Scenedesmus obliquus*. Abomohra et al. (2016) apresentam dados semelhantes. No entanto, é importante enfatizar que em análises univariadas a maximização da resposta só é encontrada em certas condições especiais, correspondentes aquelas cujas interações das variáveis tem pouca ou nenhuma influência no domínio experimental escolhido. Uma vez que a ausência de interações a priori nunca é conhecida, uma abordagem multivariada deve sempre ser feita. Os efeitos das outras variáveis, ou seja, método de extração, tempo e pré-tratamento não foram significativos, uma vez que não são estatisticamente diferentes da variação experimental.

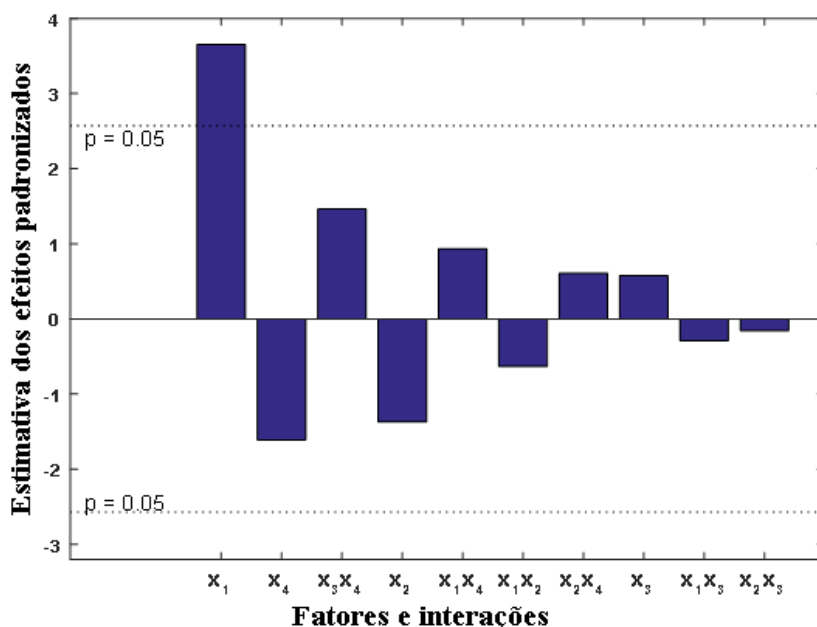


Figura 2 – Gráfico de Pareto para o planejamento experimental I com uma linha tracejada na horizontal correspondendo a um nível de significância de  $p = 0,05$ , que indica a significância da mistura de solventes para a extração lipídica. Os símbolos são apresentados na Tabela 1;  $X_iX_j$  representa a interação entre os fatores  $i$  e  $j$ .

É relevante notar que, apesar do gráfico de Pareto (Figura 5 - planejamento experimental I) revelar uma informação muito importante para a otimização da extração lipídica, diferentes níveis de temperatura não foram considerados. Anteriormente, as análises eram todas realizadas a  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , tanto para extrações assistidas por ultrassom como por agitação magnética. A extração assistida por ultrassonicação ocorre necessariamente na fase líquida, ou seja, o procedimento deve ser realizado sob o ponto de ebulição do solvente, onde a cavitação provoca a formação de microbolhas (ALBAHARI et al., 2018).

Alternativamente, o método assistido por agitação magnética pode ser aplicado sob diferentes temperaturas. Portanto, um segundo planejamento experimental (planejamento experimental II) foi proposto para investigar qualquer efeito estatístico significativo envolvendo a temperatura e/ou suas interações com outras variáveis na extração.

Os experimentos de extração foram realizados em planejamento fatorial completo  $2^4$ , e os resultados com 16 experimentações são mostrados na Tabela 4. Os níveis codificados das variáveis podem ser vistos na Tabela 2. Os experimentos foram realizados de forma aleatória em um período de 5 dias.

Experimentos	Variáveis <sup>1</sup>				Rendimento total de lipídios (%)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	
1	-1	-1	-1	-1	4,17
2	-1	-1	-1	+1	3,37
3	-1	-1	+1	-1	4,47
4	-1	-1	+1	+1	2,47
5	-1	+1	-1	-1	5,13
6	-1	+1	-1	+1	4,19
7	-1	+1	+1	-1	5,02
8	-1	+1	+1	+1	3,65
9	+1	-1	-1	-1	6,29
10	+1	-1	-1	+1	5,48
11	+1	-1	+1	-1	5,38
12	+1	-1	+1	+1	6,52
13	+1	+1	-1	-1	6,06
14	+1	+1	-1	+1	6,88
15	+1	+1	+1	-1	5,19
16	+1	+1	+1	+1	4,49

Tabela 4 – Planejamento Experimental II (Planejamento fatorial completo  $2^4$ ) e respostas (rendimento total de lipídios) obtidas para cada experimento.

<sup>1</sup> De acordo com as descrições da Tabela 2.

A Figura 3 apresenta o gráfico de Pareto, resultante do planejamento experimental II.

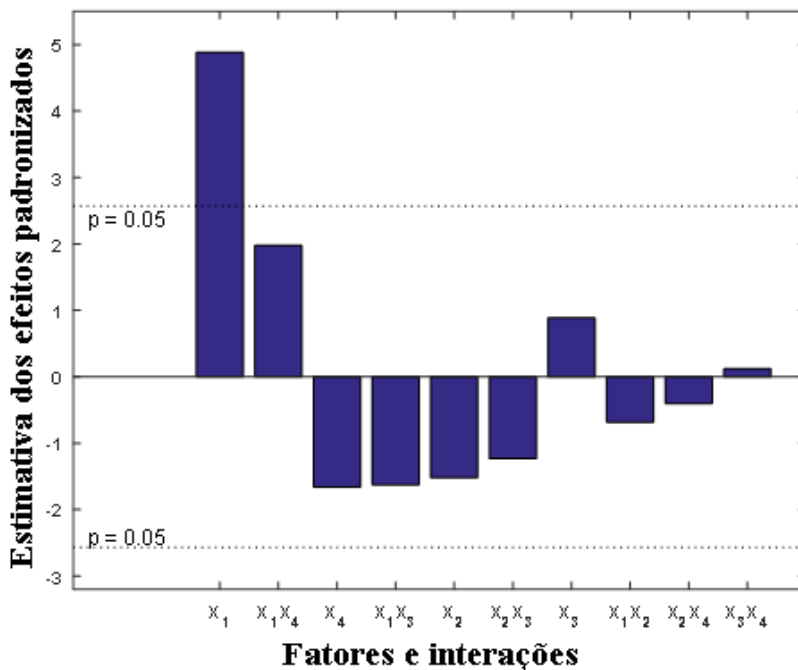


Figura 3 – Gráfico de Pareto para o planejamento experimental II com uma linha tracejada horizontal correspondendo a um nível de significância de  $p = 0,05$ , que indica a significância da mistura de solventes para a extração de lipídios. Os símbolos são apresentados na Tabela 3;  $X_iX_j$  representa a interação entre os fatores  $i$  e  $j$ .

A Figura 6 (gráfico de Pareto) mostra novamente que o único fator significativo é a mistura de solventes. Os demais fatores não apresentam interação significativa entre si para produzir a maximização das respostas. Ambos os planejamentos experimentais sugerem o seguinte:

1 – a proporção de 2:1 ( $\text{CHCl}_3$ :MeOH) foi a melhor para maximizar a extração de lipídios da microalga da espécie *Scenedesmus sp.*;

2 – a composição de solventes não interage significativamente com as técnicas de extração (ultrassonicação e agitação magnética) nem com os tempos de extração;

3 – também não há interação significativa com a temperatura entre os níveis de 60 e 150 °C, utilizando a agitação magnética como método de extração;

4 – os procedimentos de pré-tratamento não são significativos e não interagem com as demais variáveis e;

5 – tempos de 1 e 2 h não diferem significativamente no que diz respeito ao teor de lipídios extraídos.

Diante dos resultados, a última investigação foi realizada com relação ao tempo de extração, a fim de verificar se os tempos de 4 e 6 h aumentariam a extração lipídica já que antes eram considerados apenas 1 e 2 h.

Assim, com base no planejamento experimental I e no efeito dos parâmetros primários, o uso de banho-maria,  $\text{CHCl}_3:\text{MeOH}$  (2:1) e ultrassonicação a 60 °C foram mantidos como pré-tratamento, mistura de solventes e método de extração, respectivamente. Os efeitos do banho-maria e ultrassom apresentam sinais negativos de acordo com o planejamento experimental proposto anteriormente, sugerindo que a resposta aumenta nos níveis mais baixos. *One-way* ANOVA foi usada para avaliar o tempo de extração (2, 4 e 6 h). As análises foram realizadas em triplicata nas condições citadas acima e os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tempo de Extração	Rendimento total de lipídios (%)		
2	6,23	5,91	6,06
4	5,17	5,98	7,65
6	6,32	5,88	7,17

Tabela 5 – Rendimento total de lipídios obtido da *Scenedesmus sp.* para tempos de extração diferentes. Condições experimentais: banho-maria, extração por ultrassom a 60 °C e  $\text{CHCl}_3:\text{MeOH}$  (2:1).

A Análise de Variância, Tabela 6, mostra que o tempo de extração não foi significativo no rendimento total de lipídios ( $F = 3,04$ ,  $p = 0,1223$ ), indicando que nas condições estudadas a extração não melhora expressivamente devido ao aumento do tempo, ou seja, o tempo de 2 h é suficiente para promover a liberação dos lipídios das células da microalga. Nesse ponto, vale ressaltar que a ausência de interações significativas verificadas no planejamento experimental I e os conhecimentos aqui desenvolvidos estimulariam a realização de um estudo univariado, mesmo com a modificação dos níveis de tempo. Porém, de acordo com o que foi exposto até o momento, a abordagem multivariada proposta é vantajosa no que diz respeito a redução do número de experimentos, tempo e energia.

Fonte de Variação	ANOVA				
	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F	p
Entre o Grupo	2,18447	2	1,09223	3,04	0,1223
Dentro do Grupo	2,15353	6	0,35892		
Total	4,338	8			

Tabela 6 – ANOVA avaliando o efeito do tempo de extração (2, 4 e 6 h) na porcentagem de lipídios da microalga *Scenedesmus sp.*



Algumas espécies de microalgas pertencentes ao gênero *Scenedesmus* (*sp. obliquus*, *acutus*, *abundans*, *vacuolatus*, etc) são candidatas promissoras para produção de biodiesel. Numerosos estudos têm apontado à eficiência dessas microalgas na remoção de nutrientes de diferentes tipos de águas residuais, bem como apresentam informações a cerca da produtividade da biomassa dessas espécies. No entanto, poucos estudos comparam diferentes técnicas de ruptura celular para a extração de lipídios da *Scenedesmus sp.*

Guldhe et al. (2014) extraíram lipídios da biomassa seca da *Scenedesmus sp.* utilizando micro-ondas e sonicação para ruptura celular, na presença de clorofórmio e etanol (1:1). A extração assistida por micro-ondas rendeu 28,33% de lipídios bruto em comparação com 18,9% obtida por sonicação.

Jebali et al. (2015) isolaram *Scenedesmus sp.* do nordeste da Tunísia e cultivaram esta alga em águas residuais. Utilizaram o método descrito por Kochert para extração lipídica e obtiveram um conteúdo lipídico de 14,8%.

Ye et al. (2020) isolaram cepas da *Scenedesmus sp.* da região do Corredor de Hexi, China, a fim de produzir alto conteúdo de lipídios usando águas residuais como meio de cultura. Os lipídios foram extraídos usando o método de Bligh e Dyer (1959), obtendo um teor de lipídios de 15,56%.

Abomohra et al. (2018) selecionaram treze microalgas de água doce para produção de biodiesel, contudo os estudos não incluem a *Scenedesmus sp.* Porém, após comparações os autores sugerem que uma microalga do gênero *Scenedesmus* (a *S. obliquus*) é a mais promissora para produção de biodiesel em larga escala devido sua alta taxa de crescimento e por apresentar o maior teor de lipídios (19%) entre as espécies testadas. A extração de lipídios foi realizada pelo método Folch (1957), com modificações.

## 6 | CONCLUSÃO

O presente trabalho destaca o uso de técnicas de ruptura de células de algas bem como extração de lipídeos. As técnicas podem ser físicas ou químicas, entretanto, os melhores resultados são encontrados quando se faz o uso de duas técnicas concomitantemente. O estudo multivariado da extração de lipídios totais da *Scenedesmus sp.*, usando planejamento fatorial completo  $2^4$  e *One-way* ANOVA mostrou que a ultrassonicação por 2 horas em meio de  $\text{CHCl}_3$ :MeOH (2:1) foi a melhor escolha. Comprovou-se que o único parâmetro significativo foi a mistura de solventes e que essa variável não interage significativamente com as demais variáveis. O método de extração utilizado neste trabalho pode ser facilmente aplicado em outros laboratórios de pesquisa devido a necessidade de um equipamento de ultrassom de baixo custo. Embora este estudo incentive um análise univariado quando comparado com a literatura, a otimização multivariada aqui relatada é altamente vantajosa devido a redução do número de experimentos, o que promove a otimização do tempo,

gasto de energia e consumo de reagentes. Além disso, o perfil de ácidos graxos apresentou uma elevada quantidade de compostos saturados e monoinsaturados, o que indica seu caráter adequado para produção de biodiesel.

## REFERÊNCIAS

- ABOMOHR, A. E-F.; JIN, W.; SAGAR, V.; ISMAIL, G. A. Optimization of chemical flocculation of *Scenedesmus obliquus* grown on municipal wastewater for improved biodiesel recovery. **Renewable Energy**, v. 115, p. 880-886, 2018.
- ALBAHARI, P.; JUG, M.; RADIĆ, K.; JURMANOVIĆ, S.; BRNČIĆ, M.; BRNČIĆ, S. R.; VITALI ČEPO, D. Characterization of olive pomace extract obtained by cyclodextrin-enhanced pulsed ultrasound assisted extraction. **LWT - Food Sci. Technol.**, v. 92, p. 22-31 2018.
- ARESTA, M.; DIBENEDETTO, A.; CARONE, M.; COLONNA, T.; FRAGALE, C. Production of biodiesel from macroalgae by supercritical CO<sub>2</sub> extraction and thermochemical liquefaction. **Environ. Chem. Lett.**, v. 3 p. 136–139, 2005.
- BALAT, M. Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work. **Energy Convers. Manag.**, v. 52, p. 1479-1492, 2011.
- BAICHA, Z.; SALAR-GARCÍA, M.; ORTIZ-MARTÍNEZ, V.; HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, F.; DE LOS RÍOS, A.; LABJAR, N.; LOTFI, E.; ELMAHI, M. A critical review on microalgae as an alternative source for bioenergy production: A promising low cost substrate for microbial fuel cells. **Fuel Process. Technol.**, v. 154, p. 104-116, 2016.
- BARCLAY, W., MEAGER, K., ABRIL, J. Heterotrophic production of long chain omega-3 fatty acids utilizing algae and algae-like microorganisms, **J. Appl. Phycol.** v. 6, p. 123-129, 1994.
- BHARGAVI, G.; NAGESWARA RAO, P.; RENGANATHAN, S. Review on the Extraction Methods of Crude oil from all Generation Biofuels in last few Decades. **IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.**, v. 330, p. 1-19, 2018.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol.**, v. 37, p. 911-917, 1959.
- CAMEL, V. Microwave-assisted solvent extraction of environmental samples. **Trends in analytical chemistry**, v. 19, n. 4, p. 20, 2000.
- CAÑAVATE, J. P.; FERNÁNDEZ-DÍAZ, C. Pilot evaluation of freeze-dried microalgae in the mass rearing of gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. **Aquaculture**, v. 193, p. 257-269, 2001.
- CHENG, C.H.; DU, T.B.; PI, H.C.; JANG, S.M.; LIN, Y.H.; LEE, H.T. Comparative study of lipid extraction from microalgae by organic solvent and supercritical CO<sub>2</sub>. **Bioresour. Technol.**, v. 102, p. 10151–10153, 2011.
- CHEN, R.; QIN, Z.; HAN, J.; WANG, M.; TAHERIPOUR, F.; TYNER, W.; O’CONNOR, D.; DUFFIELD, J. Life cycle energy and greenhouse gas emission effects of biodiesel in the United States with induced land use change impacts. **Bioresour. Technol.**, v. 251, p. 249-258, 2018.

CHO, S.C.; CHOI, W.Y.; OH, S.H.; LEE, C.G.; SEO, Y.C.; KIM, J.S.; SONG, C.H.; KIM, G.V.; LEE, S.Y.; KANG, D.H.; LEE, H.Y. Enhancement of Lipid Extraction from Marine Microalga, *Scenedesmus* Associated with High-Pressure Homogenization Process. **J. Biomed. Biotechnol.**, 2012

DALL'OGGIO, D. F., SOUSA, L. C., SOUSA, S. A. A., GARCIA, M. A. S., SOUSA, E., LIMA, S. G., COSTA, P. S., GULDHE, A., BUX, F., MOURA, E. M., MOURA, C. V. R. Using a Multivariate Approach to Compare Lipid Extraction Protocols from Microalgae *Scenedesmus* sp. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 30, n° 3, p. 633-640, 2019.

FLEURI, L. F.; SATO, H. H. Produção, purificação, clonagem e aplicação de enzimas líticas. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 871-879, 2005.

FOLCH J.; LEES M.; SLOANE STANLEY G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **J Biol Chem.**, v. 226, p. 497-509, 1957.

FOOD AND DRUG REGULATION. Disponível em: <http://laws.justice.gc.ca/en/F-27/C.R.C.-c.870/124366.html#rid-12437>, Department of justice, Canada, 2005.

GECIOVA, J.; BURY, D.; JELEN, P. Methods for disruption of microbial cells for potential use in the dairy industry - a review. **International Dairy Journal**, v. 12, p. 541-553, 2002.

GHASEMI NAGHDI, F.; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, L. M.; CHAN, W.; SCHENK, P. M. Progress on lipid extraction from wet algal biomass for biodiesel production. **Microb. Biotechnol.**, v. 9, p. 718-726, 2016.

GONZÁLEZ, P.M., PILONI, N.E., PUNTARULO, S.,. In: Catala, Angel (Ed.), Iron Overload and Lipid Peroxidation in Biological Systems. Lipid Peroxidation. 2012. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/lipid-peroxidation/iron-overload-and-lipidperoxidation-in-biological-systems>

GREENLY, J. M., TESTER, J. W. Ultrasonic cavitation for disruption of microalgae. **Bioresource Technology**, v 184, p. 276-279, 2015.

GRIFFITHS, M.J.; VAN HILLE, R.P.; HARRISON, S.T. Selection of direct transesterification as the preferred method for assay of fatty acid content of microalgae, **Lipids**, v. 45 p. 1053-1060, 2010.

GULDHE, A.; SINGH, B.; RAWAT, I.; RAMLUCKAN, K.; BUX, F. Efficacy of drying and cell disruption techniques on lipid recovery from microalgae for biodiesel production. **Fuel**, v. 128, p. 46-52, 2014.

HALIM, R.; HARUN, R.; DANQUAH, M.K.; WEBLEY, P.A. Microalgal cell disruption for biofuel development, **Appl. Energy**, v. 91 p. 116-121, 2012.

HARA, A.; RADIN NS. Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. **Analytical Biochem.**, v. 90, p. 420-426, 1978.

HARUN, R., SINGH, M., FORDE, G.M., DANQUAH, M.K. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. **Renew. Sust. Energ. Rev.**, v 14, p. 1037-1047, 2010.

JEBALI, A.; ACIÉN, F. G.; GÓMEZ, C.; FERNÁNDEZ-SEVILLA, J. M.; MHIRI, N.; KARRAY, F.; DHOUB, A.; MOLINA-GRIMA, E.; SAYADI, S. Selection of native Tunisian microalgae for simultaneous wastewater treatment and biofuel production. **Bioresource Technology**, 2015.

KATES, M. Techniques of lipidology: isolation, analysis and identification of lipids. Elsevier Applied Science: London, 1972, cap. 2.

KHAN, S.A., RASHMI, HUSSAIN, M.Z., PRASAD, S., BANERJEE, U.C. Prospects of biodiesel production from microalgae in India. **Renew. Sust. Energ. Rev.** v. 13, p. 2361–2372, 2009.

KUMAR, R. R., RAO, P. H., ARUMUGAM, M., Lipid extraction methods from microalgae: a comprehensive review. *Frontiers in Energy Research*, v. 2, p. 61, 2015.

LEE, A. K.; LEWIS, D. M.; ASHMAN, P. J. Microbial flocculation, a potentially lowcost harvesting technique for marine microalgae for the production of biodiesel. **Journal of Applied Phycology**, v. 21, n. 5, p. 559-567, 2008. ISSN 0921-8971/1573-5176.

LEE, J.Y.; YOO, C.; JUN, S.Y.; AHN, C.Y.; OH, H.M. Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. **Bioresour. Technol.**, v. 101, p. S75-S77, 2010.

MAHESAR, S. A.; SHERAZI, S. T.; ABRO, K.; KANDHRO, A.; BHANGER, M. I.; VAN DE VOORT, F. R.; SEDMAN, J. Application of microwave heating for the fast extraction of fat content from the poultry feeds. **Talanta**, v. 75, n. 5, p. 1240-1244, 2008.

MATA, T.M., MARTINS, A.A., CAETANO, N.S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. **Renew. Sust. Energ. Rev.** v. 14, p. 217–232, 2010.

MCMILLAN, J.R.; WATSON, I.A.; ALI, M.; JAAFAR, W. Evaluation and comparison of algal cell disruption methods: microwave, waterbath, blender, ultrasonic and laser treatment. **Appl. Energy**, v. 103 p. 128–134, 2013.

MEDINA, A.R.; GRIMA, E.M.; GIMENEZ, A.G.; IBANEZ, MJ. Downstream processing of algal polyunsaturated fatty acids. **Biotechnology Advances**, v. 16, p. 517–80, 1998.

MIDDELBERG, A. P. J. Process-scale disruption of microorganism. **Biotechnology Advances**, v. 13, n. 3, p. 491-551, 1995.

MISHRA, V. K. & GOSWAMI, R. A review of production, properties and advantages of biodiesel. **Biofuels**, v. 9, n° 2, p. 273-289, 2018.

MOAZAMI, N.; ASHORI, A.; RANJBAR, R.; TANGESTANI, M.; EGHTESEADI, R.; NEJAD, A.S. Largescale biodiesel production using microalgae biomass of *Nannochloropsis*. **Biomass Bioenergy**, v. 39 p. 449–453, 2012.

MUBARAK, M.; SHAIJA, A.; SUCHITHARA, T.V. A review on the extraction of lipid from microalgae for biodiesel production. **Algal Research**, v. 7, p 117–123, 2015.

NETO, A.M.P.; SOTANA DE SOUZA, R.A.; LEON-NINO, A.D.; DA COSTA, J.D.A.; TIBURCIO, R.S.; NUNES, T.A.; SELLARE DE MELLO, T.C.; KANEMOTO, F.T.; SALDANHA-CORRÉA, F.M.P.; GIANESELLA, S.M.F. Improvement in microalgae lipid extraction using a sonication-assisted method. **Renew. Energy**, v. 55, p. 525–531, 2013.

NI, H.; CHEN, Q.; HE, G.; WU, G.; YANG, Y. Optimization of acidic extraction of astaxanthin from *Phaffia rhodozyma*. **Journal of Zhejiang University Science B**, v. 9, n. 1, p. 51-59, 2008.

OUANJI, F.; KHACHANI, M.; BOUALAG, M.; KACIMI, M.; ZIYAD, M. Large-scale biodiesel production from Moroccan used frying oil. **Int. J. Hydrogen Energy**, v. 41, p. 21022-21029, 2016.

RAMLUCKAN, K., MOODLEY, K. G., BUX, F. An evaluation of the efficacy of using selected solvents for the extraction of lipids from algal biomass by the soxhlet extraction method. **Fuel**, v. 116, p. 103–108, 2014.

RANDRIANARISON, G.; ASHRAF, M. A. Microalgae: a potential plant for energy production. **Geol. Ecol. Landscapes**, v. 1, p. 104-120, 2017.

SCOTT, S. A., DAVEY, M. P., DENNIS, J. S., HORST, I., HOWE, C. J., LE-SMITH, D. J., et al., Biodiesel from algae: challenges and prospects, **Curr. Opin. Biotechnol.** v. 21, p. 277-286, 2010.

SPOLAORE, P., JOANNIS-CASSAN, C., DURAN, E., ISAMBERT, A. Commercial applications of microalgae. **J. Biosci. Bioeng.** v. 101, p. 87–96, 2006.

STERITI, A., ROSSI, R., CONCAS, A., CAO, G. A novel cell disruption technique to enhance lipid extraction from microalgae, **Bioresource Technology**, v.164, 70–77. 2014.

TREVAN, M. D.; BOFFEY, S.; GOULDING, K. H.; STANBURY, P. **Biocología: principios biológicos**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1990. ISBN 10: 8420006718

ULLAH, K.; AHMAD, M.; SOFIA; SHARMA, V. K.; LU, P.; HARVEY, A.; ZAFAR, M.; SULTANA, S.; ANYANWU, C.N. Algal biomass as a global source of transport fuels: overview and development perspectives. **Prog. Nat. Sci. Mater. Int.**, v. 24, p. 329-339, 2014.

WAGNER, J. R.; SCENI, P.; RAMBALA, M. A. O. Ruptura celular y fraccionamiento de componentes de levadura. In: WAGNER, J. R.; RAMBALA, M. A. O.; LEGARRETA, I. G. **Las levaduras y sus productos como ingredientes en la industria de alimentos**. 1. ed. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes Editorial, p. 215-214, 2008.

WANG, L.; WELLER, C.L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 17 p. 300–312, 2006.

WIDJAJA, A.; CHIEN, C.-C.; JU, Y.-H. Study of increasing lipid production from fresh water microalgae *Chlorella vulgaris*. **J. Taiwan Inst. Chem. Eng.** v. 40 p. 13–20, 2009.

WIJFFLES, R. H., BARBOSA, M. J., EPPINK, M. H. Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels, **Biofuels Bioprod. Biorefin.** V. 4, p. 287-295, 2010.

YAP, B. H. J., CRAWFORD, S. A., DUMSDAY, G. J., SCALES, P. J., MARTIN, G. J. O. A mechanistic study of algal cell disruption and its effect on lipid recovery by solvent extraction. **Algal Research**, v. 5, p. 112–120, 2014.

YE, S.; GAO, L.; ZHAO, J.; AN, M.; WU, H.; LI, M. Simultaneous wastewater treatment and lipid production by *Scenedesmus sp.* HXY2. **Bioresource Technology**, v. 302, p. 1-7, 2020.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aditivo Alimentar 68, 84

Adsorção 43, 61, 62, 63, 64, 65

### B

Bioetanol 2, 3, 10, 11, 85

Bioincrustação 87, 88, 94, 95, 97

Bio-óleo 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59

### C

Chocolate 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 86

### D

Dynetica 10, 13, 14, 15, 18

### E

Extração de Lipídeos 20, 22, 37

### H

Hidrogéis 61, 62, 65, 66

Hidrólise Enzimática 1, 2, 5, 6

### J

Jaca 67, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86

### L

Licor Negro Kraft 43

### M

Microalgas 20, 21, 22, 23, 27, 28, 30, 31, 37

Microemulsões 53, 54, 58, 59

### P

Pirólise 53, 54

Produtos de Valor Agregado 1, 2, 3, 6

Proteólise 1

### R

Remoção de Contaminantes 61

Resina Biofenólica 43



## **S**

Software Livre 10, 13

Soro de Queijo 2, 3

Surfactantes Naturais 87, 90, 91, 92, 93, 97, 98

## **T**

Tanino 43

Técnicas Físicas e Químicas 20

# Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química

---

[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) 

# Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química

---

[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) 

Atena  
Editora

Ano 2020