

# Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química 2

Jéssica Verger Nardeli  
(Organizadora)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

# Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química 2

Jéssica Verger Nardeli  
(Organizadora)

Atena  
Editora  
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

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

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

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. 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
 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  
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás  
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 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. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
 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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian 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. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A946 Avanços das pesquisas e inovações na engenharia química 2  
[recurso eletrônico] / Organizadora Jéssica Verger Nardeli. –  
Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-51-5

DOI 10.22533/at.ed.515202403

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Nardeli, Jéssica  
Verger.

CDD 660.76

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná - Brasil

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

contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A coleção “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 2” é uma obra que tem como foco principal a discussão e divulgação científica por meio de trabalhos com diferentes funcionalidades que compõe seus capítulos. O volume abordará em especial trabalhos que contribuem a nível educacional e aplicado tanto na área de engenharia química, química e tecnologias.

O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos correlacionados a energias renováveis, aproveitamento de resíduo agroindustrial, desenvolvimento de simulador de processos, simulação de custos de produção, e em especial estudos correlacionados a nível educacional por meio de jogos didáticos, quiz educativo com foco na aprendizagem de reações químicas e tabela periódica. Em todos esses trabalhos a linha condutora foi o aspecto relacionado à aproveitamento de resíduos, disseminação de conhecimento, otimização de procedimentos e metodologias, dentre outras abordagens importantes na área de exatas e engenharia. O avanço das pesquisas e divulgação dos resultados tem sido um fator importante para o desenvolvimento da ciência e estímulo de inovação.

Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área de exatas e engenharia química aplicada e educacional. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes metodologias, abordagens, otimização de processos, caracterização com técnicas substanciais, reutilização de resíduos de regiões específicas do país é muito relevante, assim como abordar temas atuais e de interesse tanto no meio acadêmico como social.

Deste modo a obra “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 2” apresenta estudos fundamentados nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores explorarem e divulgarem seus resultados.

Jéssica Verger Nardeli

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO DE ÓLEO DE BARU ASSISTIDA POR ENERGIA SOLAR	
Caroline Santos Silva Lucas Rodrigo Custódio Kássia Graciele dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024031</b>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>12</b>
APROVEITAMENTO DO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DO CAFÉ NA PRODUÇÃO DE BIOCHAR PARA IMOBILIZAÇÃO DE LIPASE <i>RHIZOPUS ORYZAE</i> E SÍNTESE DE PALMITATO DE CETILA	
Danyelle Andrade Mota Jefferson Cleriston Barros dos Santos Lays Carvalho de Almeida Álvaro Silva Lima Laiza Canielas Krause Cleide Mara Faria Soares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024032</b>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>26</b>
ANÁLISE DA PERDA AO FOGO DE CORPOS DE PROVA CERÂMICOS FORMULADOS COM CINZA LEVE PROVENIENTE DA GASEIFICAÇÃO DO CARVÃO MINERAL PULVERIZADO	
Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira Flávio André Pavan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024033</b>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>34</b>
ESTABILIDADE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPA DE CUPUAÇU ( <i>Theobroma grandiniflorum</i> ) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E TEMPERATURAS	
Simara Ferreira Borges Harvey Alexander Villa Vélez Romildo Martins Sampaio Valkerline Pinto Pires Audirene Amorim Santana	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024034</b>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>44</b>
ESTIMATIVA DE VARIÁVEIS DE ESTADO EM MODELO DE HIDRÓLISE DE MATÉRIAS GRAXAS	
Camila Santana Dias Leandro Santos Monteiro Bruno Marques Viegas Diego Cardoso Estumano Nielson Fernando da Paixão Ribeiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024035</b>	
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>59</b>
APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MONTE CARLO VIA CADEIA DE MARKOV PARA ESTIMATIVA DE PARÂMETROS DE MODELOS DE BALANÇO POPULACIONAL PARA SISTEMAS PARTICULADOS	
Carlos Henrique Rodrigues de Moura Diego Cardoso Estumano João Nazareno Nonato Quaresma	

Emanuel Negrão Macêdo  
Bruno Marques Viegas  
Leandro Santos Monteiro  
Diego Sousa Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.5152024036**

**CAPÍTULO 7 ..... 73**

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MONTE CARLO VIA CADEIA DE MARKOV PARA ESTIMATIVA DE  
PARAMÉTRIOS EM MODELO DE BALANÇO POPULACIONAL DE CRISTALIZAÇÃO DE GIBBSITA  
COM CINÉTICA CONSTANTE

Carlos Henrique Rodrigues de Moura  
Diego Cardoso Estumano  
João Nazareno Nonato Quaresma  
Emanuel Negrão Macêdo  
Bruno Marques Viegas  
Leandro Santos Monteiro  
Diego Sousa Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.5152024037**

**CAPÍTULO 8 ..... 85**

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO VIA CADEIA DE MARKOV PARA ESTIMATIVA DE  
PARÂMETROS EM MODELOS DE CURVAS DE RUPTURA

João Paulo de Souza Coutinho  
Ianka Cristine Benicio Amador  
Bruno Marques Viegas  
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro  
Diego Cardoso Estumano

**DOI 10.22533/at.ed.5152024038**

**CAPÍTULO 9 ..... 100**

DESCRIÇÃO FÍSICA DE FIBRAS DE COCO (*COCO NUCIFERA L.*) SUBMETIDAS A TRATAMENTO  
EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE MACERAÇÃO

Nayara Maria Monteiro da Silva  
Carla Arnaud de Azevedo  
Alefhe Bernard Cordovil Mascarenhas  
Raíssa Cristine Santos de Araújo  
Gabriela Nascimento Vasconcelos  
Rafael Maia de Oliveira  
Elza Brandão Santana  
Lênio José Guerreiro de Faria

**DOI 10.22533/at.ed.5152024039**

**CAPÍTULO 10 ..... 116**

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE PROCESSOS USANDO LINGUAGEM VISUAL BASIC  
FOR APPLICATIONS (VBA) PARA A OXIDAÇÃO DO TOLUENO

Herbert Senzano Lopes  
Vanja Maria de Franca Bezerra  
Matheus Henrique Antonio Aboukalam da Cruz  
Osvaldo Chiavone-Filho  
Carlson Pereira de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.51520240310**

**CAPÍTULO 11 ..... 123**

O USO DA EXPERIMENTAÇÃO COMO FERRAMENTA FACILITADORA PARA O ENSINO DE REAÇÃO DE DUPLA TROCA

Luciane Neves Ribeiro  
Charles Garcia da Cunha  
Joseane Cunha da Conceição  
Layze Maria da Silva e Silva  
Lindsey Bianca Araújo Fialho  
Suzianne Saldanha da Silva  
Vitor dos Santos de Carvalho  
Miracleide de Araújo Batista Carneiro  
Kelly das Graças Fernandes Dantas  
Patrícia Santana Barbosa Marinho

**DOI 10.22533/at.ed.51520240311**

**CAPÍTULO 12 ..... 130**

O LÚDICO ATRAVÉS DE JOGOS DIDÁTICOS COMO AUXÍLIO EM AULAS DE TABELA PERIÓDICA PARA ALUNOS DO 9º ANO

Manoel Leão Lopes Junior  
Lourivaldo Silva Santos  
Marivaldo José Costa Corrêa  
Raílda Neyva Moreira Araújo  
Haroldo da Silva Ripardo Filho  
Luely Oliveira da Silva  
Catarina Estumano Bandeira  
Lucio Flavio Pires Santos  
Jéssica de Souza Viana  
Felipe Augusto da Silva Bezerra

**DOI 10.22533/at.ed.51520240312**

**CAPÍTULO 13 ..... 140**

SIMULAÇÃO EM SUPERPRO DESIGNER DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DO FUNGO *Metarhizium anisopliae* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SOLIDO

Antonio Dheyson da Silva Oliveira  
Rodrigo Silva Dutra  
Sebastian Ospina Corral  
Cristian Orlando Avila  
Carlos Eduardo Orrego  
Lina María Grajales

**DOI 10.22533/at.ed.51520240313**

**CAPÍTULO 14 ..... 152**

O PROCESSO DE FISCALIZAÇÃO DO CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA 6ª REGIÃO PA/AP

Denise de Mello Lima  
Dionis Rogério Costa Peixoto  
Cristiane Maria Leal Costa  
Célio Augusto Gomes de Souza  
Antonio Claudio Lima Moreira Bastos  
Allysson Bruno Almeida Ramos

**DOI 10.22533/at.ed.51520240314**

**CAPÍTULO 15 ..... 159**

QUIZ EDUCATIVO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O ENSINO DE TABELA PERIÓDICA

Layze Maria da Silva e Silva

Luciane Neves Ribeiro  
Joseane Cunha Da Conceição  
Vitor Dos Santos De Carvalho  
Suzianne Saldanha Da Silva  
Lindsey Bianca Araujo Fialho  
Charles Gracia da Cunha  
Miracleide De Araújo Batista Carneiro  
Kelly Das Graças Fernandes Dantas  
Patrícia Santana Barbosa Marinho

**DOI 10.22533/at.ed.51520240315**

**CAPÍTULO 16 ..... 164**

ATIVIDADE ALELOPÁTICA DA BIOMASSA DO FUNGO *ASPERGILLUS SP*, ISOLADO COMO ENDOFÍTICO DA ESPÉCIE *Paspalum maritimum* TRIN

Manoel Leão Lopes Junior  
Lourivaldo Silva Santos  
Marivaldo José Costa Corrêa  
Raílida Neyva Moreira Araújo  
Haroldo da Silva Ripardo Filho  
Luely Oliveira da Silva  
Lucio Flavio Pires Santos  
Jéssica de Souza Viana  
Felipe Augusto da Silva Bezerra

**DOI 10.22533/at.ed.51520240316**

**CAPÍTULO 17 ..... 173**

ATIVIDADE FITOTÓXICA DA BIOMASSA PRODUZIDA PELO FUNGO ENDOFÍTICO *Glomerella cingulata*

Manoel Leão Lopes Junior  
Lourivaldo Silva Santos  
Marivaldo José Costa Corrêa  
Raílida Neyva Moreira Araújo  
Haroldo da Silva Ripardo Filho  
Luely Oliveira da Silva  
Lucio Flavio Pires Santos  
Jéssica de Souza Viana  
Felipe Augusto da Silva Bezerra

**DOI 10.22533/at.ed.51520240317**

**CAPÍTULO 18 ..... 181**

CHEMICAL CONSTITUENTS AND LARVICIDAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL FROM *Murraya koenigii* (L.) Spreng. (RUTACEAE) AGAINST *Aedes aegypti* (DIPTERA: CULICIDAE)

Camila Aline Romano  
Matheus Gabriel de Oliveira  
Matheus de Sousa Melo Morais  
Andressa Tuane de Santana Paz  
Liliane de Sousa Silva  
Heloisa Helena Garcia da Silva  
Ionizete Garcia da Silva  
Adelair Helena dos Santos  
José Realino de Paula

**DOI 10.22533/at.ed.51520240318**

**CAPÍTULO 19 ..... 192**

ESTIMATIVA DA CURVA DE RUPTURA DO PROCESSO DE ADSORÇÃO ATRAVÉS DO ALGORITMO

DE REAMOSTRAGEM POR IMPORTÂNCIA

Ianka Cristine Benicio Amador  
Bruno Marques Viegas  
Diego Cardoso Estumano  
Emanuel Negrão Macêdo  
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.51520240319**

**CAPÍTULO 20 ..... 205**

DETERMINAÇÃO DO PERFIL ÓTIMO DE TEMPERATURA PARA UM BIOPROCESSO EM BATELADA DE PRODUÇÃO DE PENICILINA REPRESENTADO POR UM MODELO MATEMÁTICO

Samuel Conceição de Oliveira  
Angel Gustavo Tolaba

**DOI 10.22533/at.ed.51520240320**

**CAPÍTULO 21 ..... 218**

AVANÇOS RECENTES E PERSPECTIVAS FUTURAS NA MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROCESSO DE REMOÇÃO DE SULFATO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS INDUSTRIAIS EM BIORREATOR ANAERÓBIO DE LEITO FIXO OPERADO EM BATELADAS SEQUENCIAIS

Samuel Conceição de Oliveira  
Arnaldo Sarti

**DOI 10.22533/at.ed.51520240321**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 228**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 229**

## APROVEITAMENTO DO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DO CAFÉ NA PRODUÇÃO DE BIOCHAR PARA IMOBILIZAÇÃO DE LIPASE *Rhizopus oryzae* E SÍNTESE DE PALMITATO DE CETILA

Data de aceite: 16/03/2020

### **Danyelle Andrade Mota**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Industrial  
Aracaju – Sergipe

### **Jefferson Cleriston Barros dos Santos**

Universidade Tiradentes  
Instituto de Tecnologia e Pesquisa  
Aracaju – Sergipe

### **Lays Carvalho de Almeida**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos  
Instituto de Tecnologia e Pesquisa  
Aracaju – Sergipe

### **Álvaro Silva Lima**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos  
Instituto de Tecnologia e Pesquisa  
Aracaju – Sergipe

### **Laiza Canielas Krause**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Industrial  
Instituto de Tecnologia e Pesquisa  
Aracaju – Sergipe

### **Cleide Mara Faria Soares**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Industrial  
Instituto de Tecnologia e Pesquisa  
Aracaju – Sergipe

**RESUMO:** O silverskin do café (SC) é o principal subproduto das indústrias de torrefação de café e uma das alternativas para o uso desse resíduo é a termodegradação por pirólise, que gera como subprodutos o bio-óleo, bio-gás e biochar. O objetivo deste estudo foi utilizar o biochar, oriundo da pirólise do silverskin do café, como suporte para imobilização de lipase de *Rhizopus oryzae* (ROL) e avaliar o biocatalisador imobilizado em reação de esterificação para a síntese de palmitato de cetila. O biochar produzido na pirólise com taxa de aquecimento de 10 ° C/min (BIO 10) apresentou melhor atividade hidrolítica (156 U/g) e conversão de 77,8% para síntese de éster. O potencial de aplicação em reações de esterificação com biocatalisadores imobilizados no biochar foi verificado, sendo uma alternativa para o uso de resíduo do silverskin do café. Estudos devem ser realizados com o objetivo de otimizar as condições de imobilização de enzimas no biochar e aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Silverskin do café; Pirólise; Biochar; Imobilização de lipase.

**ABSTRACT:** Coffee silverskin (CS) is the main by-product of coffee-roasting industries and one of the alternatives for the use of this residue is thermodegradation through pyrolysis, that generates as a by-products bio-oil, bio-gas and biochar. The purpose of this study was biochar,

derived from coffee silverskin pyrolysis, as a support for *Rhizopus oryzae* lipase (ROL) immobilization and to evaluate the immobilized biocatalizer in esterification reaction for cetyl palmitate synthesis. The biochar from the pyrolysis produced with heating rate of 10 °C.min<sup>-1</sup> (BIO 10) presented better hydrolytic activity (156 U/g) and with a conversion of 77,8 % for ester synthesis. The potential for application in esterification reactions with biochars immobilized on biochar was verified as an alternative for the use of coffee silverskin residue. Studies should be performed with the objective of optimizing the immobilization conditions of enzymes in biochar and application.

**KEYWORDS:** Coffee silverskin; Pyrolysis; Biochar; Immobilization of lipase.

## 1 | INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas populares mais consumidas em todo o mundo e a segunda maior mercadoria comercializada depois do petróleo. O consumo mundial de café entre 2018-2019, tanto de países produtores como exportadores, estima-se um volume de 165,19 milhões de sacas consumidas, que representaram aumento de 2,1% em relação ao período anterior, que foi de 161,71 milhões de sacas [1]. Porém, o processamento do grão de café gera uma grande quantidade de resíduos como cascas, grãos defeituosos, borra e o silverskin do café [2,3].

O silverskin do café (SC), tegumento fino da camada externa de grãos de café, é o único subproduto gerado durante o processo de torrefação. No entanto, atualmente, esse material não possui valor comercial, sendo principalmente descartado como resíduo industrial e conseqüentemente torna-se passivo ambiental para as empresas de beneficiamento [3]. Atualmente busca-se aproveitar os resíduos de maneira a gerar produtos com alto valor agregado, desta forma o resíduo SC pode ser convertido em produtos com valor agregado por diferentes processos: biológicos, mecânicos ou termoquímicos. Dentre estes, os processos termoquímicos são os mais utilizados, tais como: gaseificação, pirólise e combustão [2]. A pirólise da biomassa residual é uma das estratégias mais promissoras. Esse tratamento é realizado sob ausência de oxigênio originando três subprodutos: bio-óleo, bio-gás e biochar (biocarvão) [2,4].

Estudos indicam o biochar como um material multifuncional devido à sua ampla variedade de aplicações, como: adsorvente alternativo para remoção de metais pesados a partir de solução aquosa, correção do pH dos solos para agricultura [5] e na imobilização de enzimas [4,6–8]. Baseando-se na perspectiva da biocatálise, como alternativa para condições reacionais mais brandas, o uso de resíduos da indústria para produção do biochar poderá ser usado como novo suporte para imobilização de enzimas tem-se tornado uma alternativa promissora. Até o momento existem poucos estudos utilizando o biochar como suporte para imobilização de enzimas. A lipase de *Candida Rugosa* (LCR), lipase *Burkholderia cepacia* (LBC) e lipase pancreática foram imobilizadas em biochar oriundo da pirólise de casca de aveia, semente de goiaba

e resíduo da mandioca, respectivamente [4,6–8]. Entretanto, ainda não foi testado o biochar oriundo da pirólise do silverskin do café.

As lipases (triacilglicerol acilhidrolases E.C. 3.1.1.3) são enzimas que atuam na interface orgânica-aquosa demonstrando níveis consideráveis de atividade e estabilidade em ambientes aquosos e não-aquosos [9]. Diferentes reações são catalisadas por lipases como hidrólise e esterificação. A lipase de *Rhizopus oryzae* (ROL) é uma enzima de origem fúngica e catalisa apenas os ácidos graxos localizados nas posições sn-1 e sn-3 dos triacilgliceróis, classificada assim como uma lipase 1,3 específica [10]. Esta lipase apresenta alto potencial na indústria alimentícia [10,11] Weinheim. Low calorie triacylglycerols (TAG, química fina [12], cosméticos[13], entre outras. Afim de se reutilizar estes biocatalisadores em processos industriais tem-se avaliado diferentes técnicas de imobilização e novos tipos de suportes onde as enzimas são fisicamente confinadas ou localizadas em uma região definida do espaço com retenção de suas atividades catalíticas [14,15]. Dentre as técnicas de imobilização utilizadas para a lipase de *Rhizopus oryzae* (ROL) pode-se citar: adsorção física, ligação covalente e reticulação covalente (Tabela 1.1). A técnica de imobilização e o tipo de suporte pode influenciar nas propriedades físico-químicas do biocatalisador, como difusão e eficiência catalítica em cada sistema de reação específico [9,14].

Tipos de Imobilização	Suportes	Referências
Adsorção	CaCO <sub>3</sub>	[13]
	Resina Eupergit® C	[16]
	Accurel MP 1000	[17]
	Polimetacrilato	[18]
	Polipropileno poroso	[11]
	Osso bovino	[19]
	Resina Relizyme OD/403M	[20,21]
	Lifetech™ AP1090M e Lifetech™ ECR1030M	[12]
	PVA-Alginato	[22]
	Ligação Covalente	Polimetacrilato amino-epóxi
Resinas: Accurel® MP 1000; Eupergit® C; Lewatit® VP OC 1600		[24]
Sepiolite modificada		[25]
Sílica e nanopartículas de sílica		[26]
Epóxi		[27]
Reticulação Covalente	Nanopartículas magnéticas	[28]
	Resina Amberlite™ IRA 96	[10]

Tabela 1.1: Técnicas de imobilização utilizadas para a ROL em diferentes suportes.

A maioria dos suportes utilizados para a imobilização da lipase de *Rhizopus oryzae* (ROL) possuem custo elevado ou são oriundos de síntese inorgânica, ainda existem poucos estudos aproveitando resíduo como por exemplo osso bovino [19] indicando assim a perspectiva do aproveitamento do resíduo agroindustrial com intuito

de se obter suportes de baixo custo e que possam estabilizar as enzimas, como o biochar [4,6–8].

Diante do exposto, o objetivo do trabalho é avaliar o biochar oriundo da pirólise do silverskin do café como suporte para imobilização da ROL em meio aquoso e analisar o potencial deste biocatalisador imobilizado na reação de hidrólise e na síntese de palmitato de cetila. Tendo em vista que, a imobilização da ROL em um suporte de baixo custo constitui uma área sob o ponto de vista econômico e ambiental de interesse.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

O silverskin do café (SC) foi cedido gentilmente por indústria do estado de Sergipe após torrefação dos grãos. A lipase *Rhizopus oryzae* (ROL) foi adquirida comercialmente da Sigma Aldrich (Co, St. Louis, MO, EUA) e armazenada entre 2-8 °C. Outros reagentes a serem utilizados: hexano P.A., 99% (Synth, Brasil), hidróxido de amônio P.A., 27% (Synth, Brasil), etanol comercial, 99,5% (Synth, Brasil), solução de Karl Fisher isenta de piridina (Merck, Alemanha), carbonato de cálcio (Synth, Brasil), Fenolftaleína (Isofar-Duque de Caxias, RJ), hidróxido de sódio (Synth, Brasil), álcool etílico (Dinâmica-Diadema, SP), acetona (Sigma Aldrich - EUA), ácido palmítico (Sigma Aldrich - EUA), álcool cetílico (Sigma Aldrich - EUA) e goma arábica em pó (Sigma Aldrich - EUA). Gás nitrogênio da White Martins (Aracaju, SE, Brasil). O substrato utilizado para as reações de hidrólise foi o azeite de oliva comercial extra virgem com baixa acidez adquirido em mercado local. Demais reagentes químicos foram de grau analítico.

### 2.2 MÉTODOS

#### 2.2.1 Análise Termogravimétrica da Biomassa Estudada (TG) do Silverskin

A análise por termogravimetria (TG) do silverskin foi realizada pelo equipamento DTG-60H simultâneo com o DTA-TG Shimadzu e analisados no software Thermogravimetric Analyser para analisar o perfil de degradação da biomassa. As seguintes condições operacionais foram utilizadas: razão de aquecimento de 20 °C/min, na faixa de temperatura ambiente a 1000 °C, com aproximadamente uma massa de 10 mg de amostra e fluxo de nitrogênio de 50 mL/min.

#### 2.2.2 Pirólise: Produção de Biochar

As pirólises do SC foram realizadas em escala de bancada, utilizando-se um reator de leito fixo com forno vertical após extração do óleo residual via Soxhlet com hexano. Conforme pode ser visualizado na Figura 2.2.2.1, os compostos voláteis (bio-óleo) foram recolhidos em coletores de vidro acoplados na base de cada condensador

e o biochar (biocarvão) mantém-se no interior do reator. Foram utilizadas 50 g de silverskin em três condições de taxa de aquecimento: 10, 30 e 50 °C/min. A vazão do gás inerte nitrogênio foi controlada com fluxo de 100 mL/min. O forno foi aquecido e variou-se apenas a taxa de aquecimento, partindo da temperatura ambiente até temperatura final de pirólise de 550 °C, para possível observação da influência deste parâmetro no rendimento em biochar. As três condições de pirólise foram realizadas em triplicata.

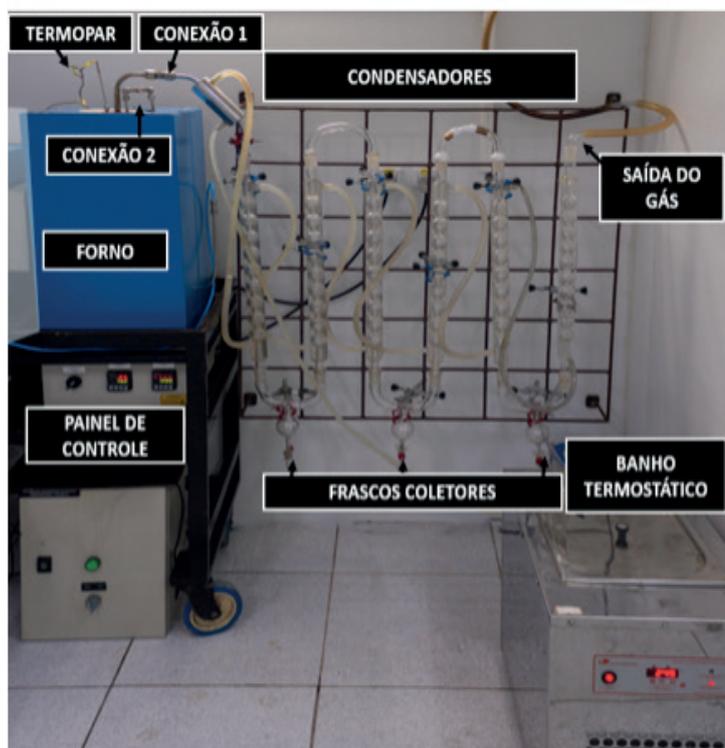


Figura 2.2.2.1: Sistema de pirólise.

Ao término do processo pirolítico, após o arrefecimento do reator, o produto sólido (biochar) foi removido e sua massa medida em balança analítica visando cálculos de rendimento, mediante a Equação 2.2.3.1:

$$\text{Rendimento em biochar (\%)} = \frac{m \times 100}{mA} \quad (2.2.2.1)$$

onde,  $m$  é a massa do biochar resultante da pirólise e  $mA$  é massa da amostra.

### 2.2.3 Atividade Hidrolítica

A atividade enzimática das lipases nas formas livre e imobilizadas foi determinada pelo método de hidrólise do azeite de oliva de acordo com o procedimento descrito por Soares et al. [29]. Uma unidade de atividade foi definida como a quantidade de enzima que libera 1  $\mu\text{mol}$  de ácido graxo por minuto de reação, nas condições do ensaio. As

atividades foram expressas em  $1 \text{ U/g} = 1 \mu\text{mol/mg}\cdot\text{min}$ . Os cálculos foram realizados pela Equação 2.2.3.1:

$$\text{Atividade (U/g)} = \frac{(V_A - V_B) \times N \times 10^3}{t \times m} \quad (2.2.3.1)$$

onde  $V_A$  é o volume de KOH gasto na titulação da amostra (mL),  $V_B$  é o volume do KOH gasto na titulação do branco (mL),  $N$  é a normalidade da solução de KOH,  $t$  é o tempo de reação em minutos e  $m$  é a massa de enzima livre ou imobilizada (g).

## 2.2.4 Imobilização da ROL por Adsorção Física em Meio Aquoso

### 2.2.4.1 Protocolo I

Inicialmente, 10 g de biochar (oriundos das três condições de pirólise) foram embebidas em 50 mL de etanol por 30 min em temperatura ambiente. Após, o excesso de etanol foi removido e os suportes foram então lavadas com 50 mL de tampão fosfato de sódio 5 mM a pH 7 sob filtração a vácuo. A adsorção de ROL nos suportes em um sistema em batelada foi realizada de acordo com estudos anteriores com modificações [30] ionic strength, temperature, initial protein loading, and contact time on the adsorption process and catalytic properties of the biocatalysts was systematically investigated. The catalytic properties of the biocatalysts were determined in the hydrolysis of olive oil emulsion and immobilized protein concentration. Maximum adsorption capacity of  $133.9 \pm 1.3$  mg of protein/g of support using initial protein loading of 150 mg/g was observed after 900 min of incubation at 5 mM buffer sodium acetate pH 5.0 and 25 °C. This biocatalyst presented hydrolytic activity of  $443.0 \pm 25.2$  IU/g of support. Moreover, high esterification activity and operational stability in cetyl linoleate (wax ester. A imobilização consistiu na solução enzimática previamente preparada em solução tampão e o suporte na proporção de 1:20 (m/v). Na solução enzimática foi usada 0,25 g e ROL a partir de testes preliminares. A suspensão foi mantida sob agitação contínua num agitador orbital a 200 rpm. O biocatalisador foi então filtrado e lavados com água destilada. Depois, os biocatalisadores preparados foram secos em dessecador à temperatura ambiente durante 24 h.

### 2.2.4.2 Protocolo II

A metodologia utilizada para a imobilização da ROL biochar (oriundos das três condições de pirólise) baseia-se no método descrito por Costa et al. [10], com modificações. Inicialmente, adicionaram-se 5 g de biochar em 50 mL de água desionizada, sob agitação magnética, durante 30 minutos, a 50 °C. Em seguida, fizeram-se três lavagens sucessivas do suporte, alternadamente, com 25 mL de

solução aquosa de NaOH 1M e 25 mL de solução aquosa de HCl 1M. No fim, o suporte foi imerso em 100 mL de solução de tampão de fosfato de sódio (0,2 M; pH 7,5). Depois o suporte foi colocado a secar durante 24h no dessecador. Para cada 1 g de biochar adicionou-se 0,25 g de lipase dissolvida em 10 mL de solução tampão de fosfato de sódio (0,2 M; pH 7,5). O sistema foi colocado a 28 °C, sob agitação suave. Depois, os biocatalisadores preparados foram secos em dessecador à temperatura ambiente durante 24 h.

### 2.2.5 Esterificação para Síntese de Palmitato de Cetila

As reações de esterificação foram conduzidas em reatores fechados em agitador orbital a 41 °C, onde o ácido palmítico e o álcool cetílico (1:1,3) foram diluído em hexano (3 mL do meio reacional). Foram coletadas alíquotas de 100  $\mu$ L do meio reacional e foram diluídas em 10 mL de acetona:etanol (1:1). A conversão do éster foi calculada medindo a concentração de ácido residual na mistura reacional, que foi determinada por titulação com NaOH 0,04 N, utilizando como indicador fenolftaleína. A coleta da alíquota do meio reacional foi realizada antes e após a adição do biocatalisador (0,44 g) imobilizado em biochar, com tempo reacional de 15 h [31]. Sendo assim, a porcentagem de esterificação foi calculada como descrito pela Equação 2.2.5.1:

$$\text{Esterificação (\%)} = \frac{V_0 - V_E}{V_0} \quad (2.2.5.1)$$

onde  $V_0$  é o volume gasto de NaOH na titulação do branco e  $V_E$  é o volume gasto de NaOH na titulação na amostra com enzima.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análise Termogravimétrica da Biomassa Estudada (TG) do Silverskin

A Figura 3.1.1 apresenta o resultado da análise termogravimétrica, na qual é possível observar a decomposição dos principais constituintes das biomassas em função da temperatura. A análise térmica revelou ser uma ferramenta importante para investigar a pirólise do resíduo já que o perfil de degradação depende da composição de cada biomassa lignocelulósica. Os termogramas foram divididos em três regiões: Região I (25-200 °C), Região II (200-600 °C) e Região III (600-1000 °C).

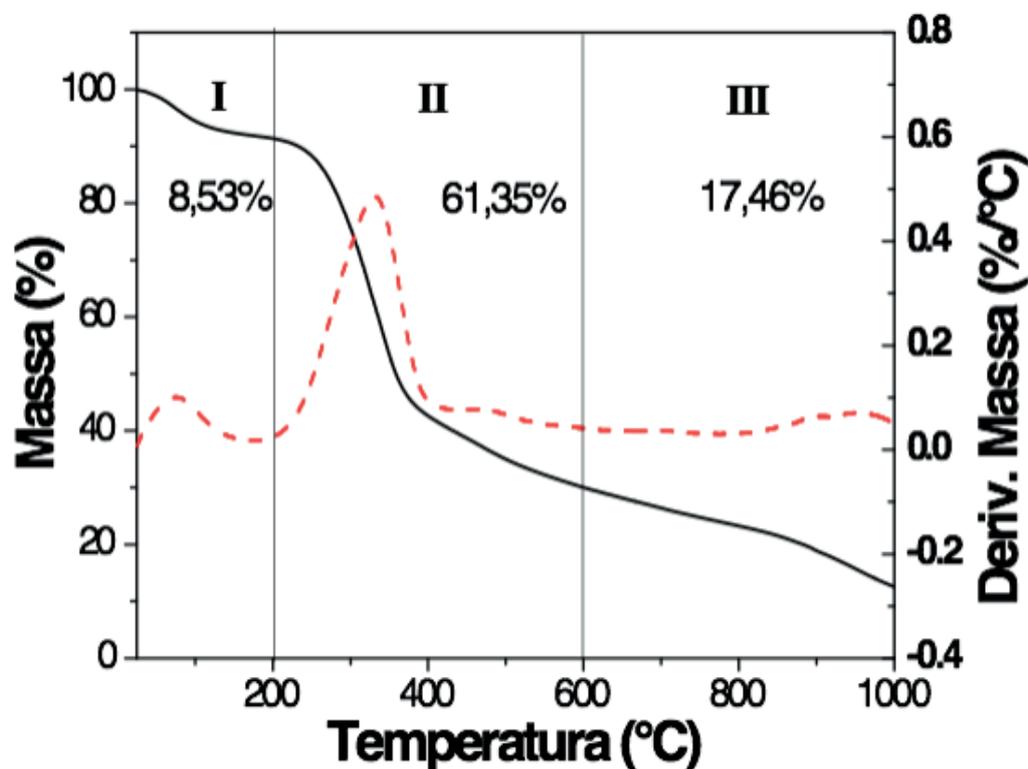


Figura 3.1.1: Resultado da análise de TG (curva em preto) e DTG (curva em vermelho) da biomassa de silverskin de café.

De forma geral a região I na qual temperatura chega até aproximadamente 200 °C ocorre perda de massa associada principalmente à desidratação. A Região II, que compreende entre 200 e 600 °C está vinculada à decomposição de compostos orgânicos. Na região III, ocorre a perda de massa, a qual está associada com as reações completa do material ou sua estabilidade térmica [29].

A biomassa originária do silverskin do café apresentou um perfil de degradação termogravimétrica compatível com a literatura sobre materiais lignocelulósicos, que relata a presença de três eventos relacionados à degradação dos biopolímeros constituintes da biomassa. O primeiro destes eventos refere-se à degradação da hemicelulose, visto que ela é um polímero amorfo e apresenta uma estrutura química que pode ser decomposta em temperaturas mais baixas, na faixa de 200 a 260 °C [2]. Em um segundo momento ocorre à degradação da celulose, que é um homopolímero cristalino constituído de unidades de glicose e, portanto, possui uma maior estabilidade estrutural, demandando maior temperatura para degradá-la, o que acontece entre 240-350 °C [32]. Por fim, dá-se a degradação da lignina, que se decompõe num amplo intervalo de temperatura, entre 280-550 °C, em razão de possuir em sua estrutura diversas ramificações e tamanhos de cadeia [2]. Tendo em vista esses resultados, foi definida a temperatura final de pirólise, devido a essa variação em torno da faixa de temperatura na qual cessaram as perdas de massa significativas por degradação térmica.

### 3.2 Produção de Biochar

A pirólise com taxa de aquecimento de 10 °C/min apresentou maior rendimento (39,9% ± 0,7) para o biochar, apresentando um desvio padrão de 0,7. As pirólises com taxa de aquecimento de 30 °C/min e 50 °C/min apresentaram um rendimento de 33,9% ± 0,2 e 32% 0,2 em biochar, respectivamente. A partir da análise dos resultados conclui-se que para otimização do processo em maior rendimento de biochar a pirólise realizada a 550 °C com taxa de aquecimento de 10 °C mostrou-se mais viável. A taxa de aquecimento, como parâmetro operacional crítico durante o estágio de pirólise, influencia a natureza e a composição dos produtos finais. A variação da mesma pode influenciar as reações primárias e secundárias, alterando a massa e a transferência de calor. Em baixas taxas de aquecimento, a possibilidade de reações secundárias ocorrerem é mínima, enquanto que em taxas de aquecimento rápida, as reações secundárias tornam-se dominante [33].

Neste estudo foi avaliado o potencial de imobilização em cada biochar oriundo das pirólises do silverskin (produzidos em diferentes taxas de aquecimento) por dois protocolos de adsorção física em meio aquoso. Características como a porosidade, elevada área superficial e baixo teor de toxidade faz do biochar um material promissor para utilização como suporte de imobilização de enzimas [4,6].

### 3.3 Imobilização da ROL por Adsorção Física em Meio Aquoso

Os perfis de atividades hidrolíticas da ROL imobilizada utilizando o protocolo I nos diferentes biochars, obtidos nas taxas de aquecimento 10°C/min (BIO10), 30 °C/min (BIO30) e 50 °C/min (BIO50), são apresentados na Figura 3.3.1. A atividade hidrolítica máxima foi obtida com o uso de ROL imobilizada no biochar oriundo da pirólise com taxa de aquecimento 10 °C/min (BIO10) com 87 U/g. As imobilizações de ROL nos biochars oriundos da pirólise com taxa de aquecimento 30 °C/min e 50 °C/min apresentaram atividades hidrolíticas similares: 86 U/g (BIO30) e 86 U/g (BIO50), respectivamente.

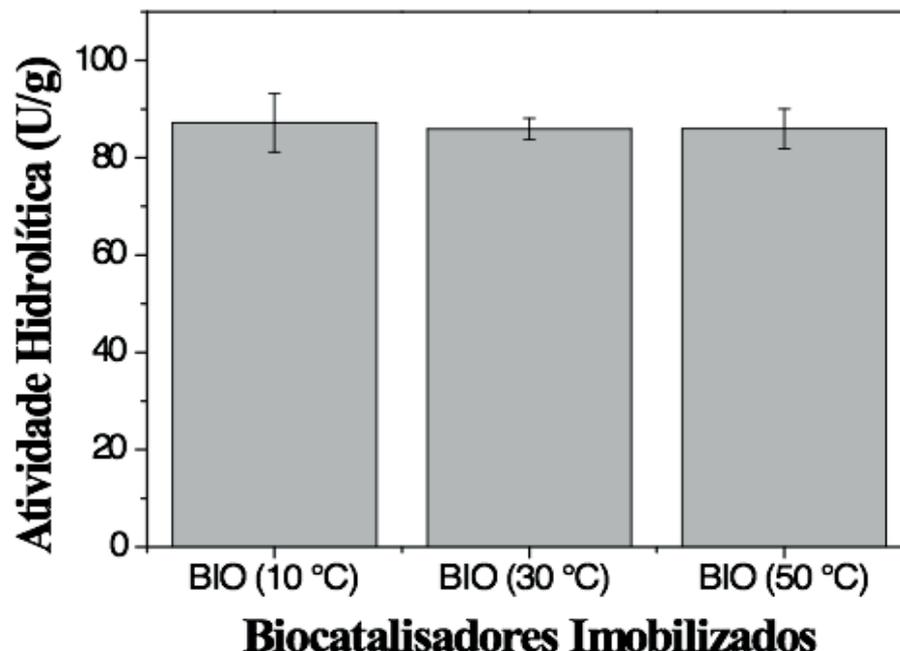


Figura 3.3.1: Atividade hidrolítica da ROL imobilizada nos biochars oriundos da pirólises do silverskin.

De acordo com o suporte e a técnica utilizada, o processo de imobilização pode alterar as propriedades catalíticas da enzima como: atividade, especificidade e seletividade. Logo a redução da atividade catalítica da enzima devido a efeitos difusionais, conformacionais, microambientes e a dessorção das enzimas com o uso, são algumas desvantagens significativas que podem surgir com o procedimento de imobilização [34]. Entretanto, mesmo com os resultados obtidos é interessante a otimização de metodologias para imobilização de ROL em biochar, já que é uma alternativa promissora de suporte para a imobilização de enzimas e pouco discutido na área de biocatálise. González *et al.* [4] relatam a imobilização lipase de *Cândida Rugosa* (LCR) em biochar oriundo da pirólise da casca de aveia e Almeida *et al.* estudaram a imobilização de lipase *Burkholderia cepacia* (LBC) em biochar oriundo da pirólise da semente das goiaba, porém nos estudos citados as imobilizações foram realizadas por adsorção física em meio com solvente orgânico. Dessa forma, foi investigado um novo protocolo para os biochars para que aumente a atividade hidrolítica da ROL imobilizada sem uso de solvente orgânico.

Em relação ao protocolo II de imobilização os perfis de atividades hidrolíticas nos diferentes biochars são apresentadas na Figura 3.3.2. A atividade hidrolítica máxima foi obtida com o uso de ROL imobilizada no biochar oriundo da pirólise com taxa de aquecimento 10 °C/min (BIO10) na reação de hidrólise do óleo de azeite de oliva, com 156 U/g. As imobilizações de ROL nos biochars oriundos da pirólise com taxa de aquecimento 30 °C/min e 50 °C/min apresentaram menores atividades hidrolíticas: 90 U/g (BIO30) e 85 U/g (BIO50), respectivamente.

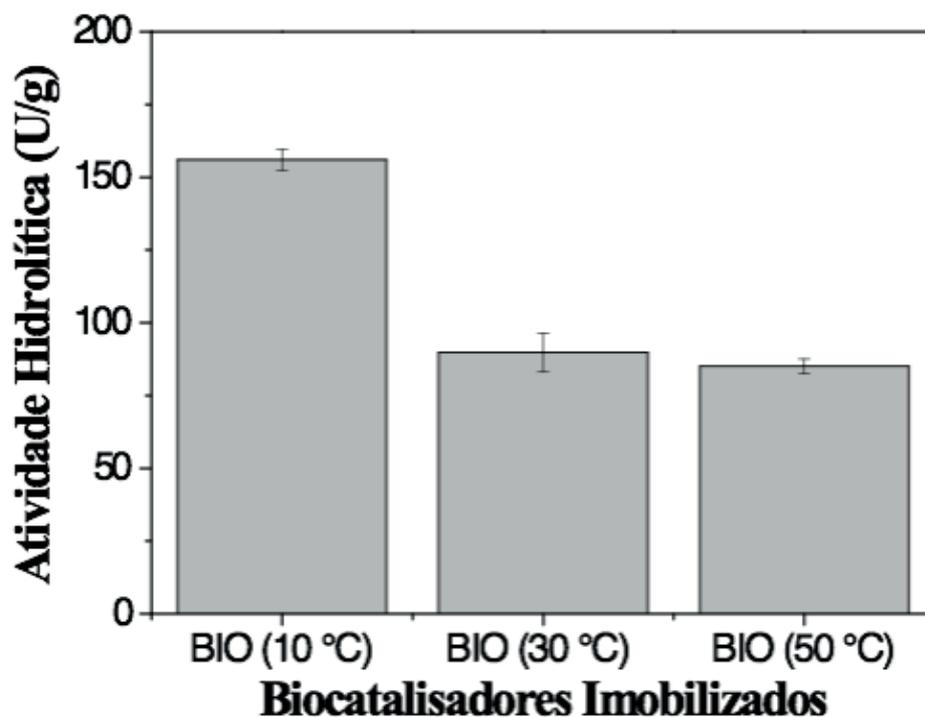


Figura 3.3.2: Atividade hidrolítica da ROL imobilizada nos biochars oriundos das pirólises do silverskin.

A partir dos resultados obteve-se um aumento em 38% da atividade hidrolítica da ROL imobilizada no BIO 10 pelo protocolo II. A atividade hidrolítica máxima em ambos os protocolos ocorreu no biochar produzido na menor taxa de aquecimento, que provavelmente está relacionado a presença de grupos funcionais que não foram degradados no processo de pirólise [4].

Almeida *et al* [6] e González *et al.* [4] imobilizaram LBC e LCR, respectivamente, mas vale ressaltar que a LCR e LBC são lipases não-específicas e apresentaram o maior percentual de hidrólise com maior atividade hidrolítica em óleos vegetais [15]. Logo, devemos levar em consideração as características da enzima e do suporte.

Importante observar que as atividades hidrolíticas das preparações de ROL nos diferentes suportes utilizados neste estudo foram determinadas apenas para avaliar os protocolos de imobilização, mas não indicam qual a preparação possui a maior atividade catalítica em outras reações como a esterificação [10].

### 3.4 Esterificação para Síntese de Palmitato de Cetila

A reação de esterificação foi realizada com o biocatalisador imobilizado que apresentou melhor atividade hidrolítica do protocolo II: ROL imobilizada em BIO10. A síntese de palmitato de cetila catalisada pelo biocatalisador imobilizado apresentou 77,8 % de taxa de conversão. Na literatura não há relatos de síntese de palmitato de cetila usando o biochar como suporte para a ROL. Guncheva *et al.* [35] utilizou poliuretano na imobilização da LCR por adsorção física e obteve uma conversão de palmitato de cetila de 75 – 97,3% . Logo, os resultados, obtidos pelo novo suporte

(biochar) desenvolvido neste estudo, mostrou-se satisfatório levando em consideração o aproveitamento do resíduo e a conversão obtida comparada com a literatura.

## 4 | CONCLUSÕES

No presente trabalho constatou-se que a melhor taxa de aquecimento para a produção do biochar foi a de 10 °C/min e o mesmo apresentou-se como melhor suporte para imobilização da ROL por adsorção física em meio aquoso e sua aplicação na síntese de palmitato de cetilia apresentou resultados satisfatórios. O trabalho configurou-se como interessante meio de aproveitamento do resíduo silverskin do café. E o biochar mostrou-se como um subproduto da pirólise ideal para o desenvolvimento suporte para imobilização de lipase. Mais estudos devem ser realizados com o objetivo de otimizar as condições de imobilização e aplicação desses sistemas imobilizados.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. T. Ferreira, J. Santos, Consumo mundial de café atinge 165 milhões de sacas no ano cafeeiro 2018-2019 - Portal Embrapa, Consum. Mund. Café Atinge 165 Milhões Sacas No Ano Cafe. 2018-2019. (2019). <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/40814481/consumo-mundial-de-cafe-atinge-165-milhoes-de-sacas-no-ano-cafeeiro-2018-2019>.
- [2] S. Polidoro, E. Scapin, E. Lazzari, A. Nunes, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Valorization of coffee silverskin industrial waste by pyrolysis : From optimization of bio-oil production to chemical characterization by GC × GC / qMS, J. Anal. Appl. Pyrolysis. 129 (2018) 43–52. doi:10.1016/j.jaap.2017.12.005.
- [3] Y. Narita, K. Inouye, Review on utilization and composition of coffee silverskin, Food Res. Int. 61 (2014) 16–22. doi:10.1016/j.foodres.2014.01.023.
- [4] M.E. González, M. Cea, N. Sangaletti, A. González, C. Toro, M.C. Diez, N. Moreno, X. Querol, R. Navia, Biochar Derived from Agricultural and Forestry Residual Biomass : Characterization and Potential Application for Enzymes Immobilization, (2013) 724–732. doi:10.1166/jbmb.2013.1373.
- [5] A. El-Naggar, S.S. Lee, J. Rinklebe, M. Farooq, H. Song, A.K. Sarmah, A.R. Zimmerman, M. Ahmad, S.M. Shaheen, Y.S. Ok, Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects, Geoderma. 337 (2019) 536–554. doi:10.1016/j.geoderma.2018.09.034.
- [6] L.C. Almeida, A.S. Barbosa, A.T. Fricks, L.S. Freitas, Á.S. Lima, C.M.F. Soares, Use of conventional or non-conventional treatments of biochar for lipase immobilization, Process Biochem. 61 (2017) 124–129. doi:10.1016/j.procbio.2017.06.020.
- [7] M. Cea, M.E. González, M. Abarzúa, R. Navia, Enzymatic esterification of oleic acid by Candida rugosa lipase immobilized onto biochar, J. Environ. Manage. 242 (2019) 171–177. doi:10.1016/j.jenvman.2019.04.013.
- [8] L.M.O. Ribeiro, L. Meili, G.N.S.B. Gois, R.M. Almeida, J.L. da S. Duarte, Immobilization of lipase in biochar obtained from Manihot esculenta Crantz, Rev. Ion. (2019) 7–13. doi:10.18273/revion.v32n2-2019001.
- [9] F. Hasan, A.A. Shah, A. Hameed, Industrial applications of microbial lipases, Enzyme Microb. Technol. 39 (2006) 235–251. doi:10.1016/j.enzmictec.2005.10.016.

- [10] C.M. Costa, N.M. Osório, A. Canet, I. Rivera, G. Sandoval, F. Valero, S. Ferreira-Dias, Production of MLM Type Structured Lipids From Grapeseed Oil Catalyzed by Non-Commercial Lipases, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 120 (2018) 1–8. doi:10.1002/ejlt.201700320.
- [11] X. Cao, J. Mangas-Sánchez, F. Feng, P. Adlercreutz, Acyl migration in enzymatic interesterification of triacylglycerols: Effects of lipases from *Thermomyces lanuginosus* and *Rhizopus oryzae*, support material, and water activity, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 118 (2016) 1579–1587. doi:10.1002/ejlt.201500485.
- [12] M. Koutinas, C. Yiangou, N.M. Osório, K. Ioannou, A. Canet, F. Valero, S. Ferreira-Dias, Application of commercial and non-commercial immobilized lipases for biocatalytic production of ethyl lactate in organic solvents, *Bioresour. Technol.* 247 (2018) 496–503. doi:10.1016/j.biortech.2017.09.130.
- [13] M. Sellami, I. Aissa, F. Frikha, Y. Gargouri, N. Miled, Immobilized *Rhizopus oryzae* lipase catalyzed synthesis of palm stearin and cetyl alcohol wax esters: Optimization by Response Surface Methodology, *BMC Biotechnol.* 11 (2011). doi:10.1186/1472-6750-11-68.
- [14] X. Zhao, F. Qi, C. Yuan, W. Du, D. Liu, Lipase-catalyzed process for biodiesel production: Enzyme immobilization, process simulation and optimization, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44 (2015) 182–197. doi:10.1016/j.rser.2014.12.021.
- [15] D.A. Sánchez, G.M. Tonetto, M.L. Ferreira, *Burkholderia cepacia* lipase: A versatile catalyst in synthesis reactions, *Biotechnol. Bioeng.* 115 (2018) 6–24. doi:10.1002/bit.26458.
- [16] P.A. Nunes, P. Pires-Cabral, M. Guillén, F. Valero, S. Ferreira-Dias, Batch operational stability of immobilized heterologous *Rhizopus oryzae* lipase during acidolysis of virgin olive oil with medium-chain fatty acids, *Biochem. Eng. J.* 67 (2012) 265–268. doi:10.1016/j.bej.2012.06.004.
- [17] A. Dutra Madalozzo, L. Sanvido Muniz, A.M. Baron, L. Piován, D. Alexander Mitchell, N. Krieger, Characterization of an immobilized recombinant lipase from *Rhizopus oryzae*: Synthesis of ethyl-oleate, *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 3 (2014) 13–19. doi:10.1016/j.bcab.2013.12.005.
- [18] S.H. Duarte, G.L. del Peso Hernández, A. Canet, M.D. Benaiges, F. Maugeri, F. Valero, Enzymatic biodiesel synthesis from yeast oil using immobilized recombinant *Rhizopus oryzae* lipase, *Bioresour. Technol.* 183 (2015) 175–180. doi:10.1016/j.biortech.2015.01.133.
- [19] A.L. Clementz, G. Del Peso, A. Canet, J.C. Yori, F. Valero, Utilization of discard bovine bone as a support for immobilization of recombinant *Rhizopus oryzae* lipase expressed in *Pichia pastoris*, *Biotechnol. Prog.* 32 (2016) 1246–1253. doi:10.1002/btpr.2321.
- [20] A. Canet, K. Bonet-ragel, M.D. Benaiges, F. Valero, A. Canet, K. Bonet-ragel, M.D. Benaiges, F. Valero, A. Canet, F. Valero, Biodiesel synthesis in a solvent-free system by recombinant *Rhizopus oryzae* : comparative study between a stirred tank and a packed-bed batch reactor, *Biocatal. Biotransformation.* 0 (2017) 000. doi:10.1080/10242422.2016.1278211.
- [21] A. Canet, M.D. Benaiges, F. Valero, P. Adlercreutz, Exploring substrate specificities of a recombinant *Rhizopus oryzae* lipase in biodiesel synthesis, *N. Biotechnol.* 39 (2017) 59–67. doi:10.1016/j.nbt.2017.07.003.
- [22] P. Muanruksa, P. Kaewkannetra, Combination of fatty acids extraction and enzymatic esterification for biodiesel production using sludge palm oil as a low-cost substrate, *Renew. Energy.* 146 (2020) 901–906. doi:10.1016/j.renene.2019.07.027.
- [23] K. Bonet-ragel, A. Canet, M.D. Benaiges, F. Valero, Effect of acyl-acceptor stepwise addition strategy using alperujo oil as a substrate in enzymatic biodiesel synthesis, (2017). doi:10.1002/jctb.5399.

- [24] C. Tecelão, M. Guillén, F. Valero, S. Ferreira-Dias, Immobilized heterologous *Rhizopus oryzae* lipase: A feasible biocatalyst for the production of human milk fat substitutes, *Biochem. Eng. J.* 67 (2012) 104–110. doi:10.1016/j.bej.2012.06.001.
- [25] P.A. Nunes, P. Pires-Cabral, M. Guillén, F. Valero, D. Luna, S. Ferreira-Dias, Production of MLM-type structured lipids catalyzed by immobilized heterologous *Rhizopus oryzae* lipase, *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.* 88 (2011) 473–480. doi:10.1007/s11746-010-1702-y.
- [26] M. Ashjari, M. Mohammadi, R. Badri, Selective concentration of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid from fish oil with immobilized/stabilized preparations of *Rhizopus oryzae* lipase, *J. Mol. Catal. B Enzym.* 122 (2015) 147–155. doi:10.1016/j.molcatb.2015.08.017.
- [27] M. Ashjari, M. Mohammadi, R. Badri, Chemical amination of *Rhizopus oryzae* lipase for multipoint covalent immobilization on epoxy-functionalized supports: Modulation of stability and selectivity, *J. Mol. Catal. B Enzym.* 115 (2015) 128–134. doi:10.1016/j.molcatb.2015.02.011.
- [28] J. feng Zhao, J. ping Lin, L. rong Yang, M. bin Wu, Enhanced Performance of *Rhizopus oryzae* Lipase by Reasonable Immobilization on Magnetic Nanoparticles and Its Application in Synthesis 1,3-Diacylglycerol, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 188 (2019) 677–689. doi:10.1007/s12010-018-02947-2.
- [29] C.M.F. Soares, O.A. DOS Santos, H.F. DE Castro, F.F. DE Moraes, G.M. Zanin, Studies on Immobilized Lipase in Hydrophobic Sol-Gel, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 113–116 (2004) 307–319.
- [30] M.D. Alves, F.M. Aracri, É.C. Cren, A.A. Mendes, Isotherm, kinetic, mechanism and thermodynamic studies of adsorption of a microbial lipase on a mesoporous and hydrophobic resin, *Chem. Eng. J.* 311 (2017) 1–12. doi:10.1016/j.cej.2016.11.069.
- [31] M.C. LISBOA, C.A. RODRIGUES, D.O. GAMA, A.S. BARBOSA, S. MATTEDI, A.A. MENDES, C. DARIVA, E. FRANCESCHI, Á.S. LIMA, C.F.M. SOARES, OTIMIZAÇÃO DA SÍNTESE DE PALMITATO DE CETILA UTILIZANDO LIPASE DE *Burkholderia cepacia* IMOBILIZADA EM AEROGEL MODIFICADO COM LÍQUIDO IÔNICO PRÓTICO, in: COBEQ 2018, 2018: pp. 2231–2234. doi:10.5151/cobeq2018-pt.0589.
- [32] N. Lavoine, I. Desloges, A. Dufresne, J. Bras, Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials : A review, *Carbohydr. Polym.* 90 (2012) 735–764. doi:10.1016/j.carbpol.2012.05.026.
- [33] Z. Xiong, Y. Wang, S.S.A. Syed-hassan, X. Hu, H. Han, S. Su, Effects of heating rate on the evolution of bio-oil during its pyrolysis, *Energy Convers. Manag.* 163 (2018) 420–427. doi:10.1016/j.enconman.2018.02.078.
- [34] N.R. Mohamad, N.H.C. Marzuki, N.A. Buang, F. Huyop, R.A. Wahab, An overview of technologies for immobilization of enzymes and surface analysis techniques for immobilized enzymes, *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 29 (2015) 205–220. doi:10.1080/13102818.2015.1008192.
- [35] M. Guncheva, E. Tashev, D. Zhiryakova, T. Tosheva, N. Tzokova, Immobilization of lipase from *Candida rugosa* on novel phosphorous- containing polyurethanes: Application in wax ester synthesis, *Process Biochem.* 46 (2011) 923–930. doi:10.1016/j.procbio.2011.01.002.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aedes aegypti 181, 182, 189, 190, 191  
Algoritmo 37, 49, 64, 65, 69, 76, 77, 78, 90, 92, 192, 197, 199, 201, 210  
Análise do coeficiente de sensibilidade 66, 67, 78, 83, 91, 93  
Atividade alelopática 164, 165, 166, 171  
Atividade fitotóxica 173, 174

### B

Balanço Populacional 59, 60, 61, 62, 63, 70, 73, 74, 75, 83, 84

### C

Carvão mineral 26, 28, 32, 33, 220  
Coeficiente de aglomeração 62, 63, 65, 66  
Comportamento reológico 34, 36, 38, 40, 41, 42, 43  
Concentrador solar 1, 3, 4, 5, 9, 11  
Concentrador solar biangular 1, 3, 4, 11  
Conselho Regional de Química 152, 153  
Curva de ruptura 85, 86, 87, 89, 96, 97, 192, 194, 201, 202  
Custos de produção 140, 141, 142, 143, 144, 145, 148, 150

### E

Energia solar 1, 3, 5, 6, 10, 11  
Energias renováveis 1, 2  
Ensino 32, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 159, 160, 161, 162, 164, 173  
Extração sólido-líquido 1, 2, 3, 4

### F

Fibras de coco 100, 102, 103, 105, 106, 107, 109, 112, 113, 114, 115  
Fiscalização do CRQ 152, 153

### G

Gaseificação do carvão 26, 32

### H

Hidrólise de matérias graxas 44, 45, 46, 56

### I

Imobilização de lipase 12, 21, 23

### J

Jogos didáticos 130, 131, 133, 134, 138

## L

Larvicidal activity 181, 183, 186, 187, 190

Lixiviação 1, 2, 3, 5, 6

Lixiviação assistida por energia solar 5, 6

## M

Maceração 40, 100, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 168

Modelo de balanço populacional 62, 63, 73, 83

Monte Carlo via Cadeia de Markov 59, 60, 64, 67, 70, 73, 74, 76, 79, 83, 85, 89, 97

## O

Óleo de Baru 1, 6, 9, 10

Oxidação do tolueno 116, 121

## P

Perda ao fogo 26, 27, 29, 30, 31, 32

Polpa de cupuaçu 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42

Processo de adsorção 85, 86, 87, 89, 97, 192, 194

## Q

Quiz educativo 159, 160, 161, 162

## R

Reação de dupla troca 123, 125

Reamostragem por importância 192

Resíduo agroindustrial 12, 14

Resíduo agroindustrial do café 12

## S

Simulador de processos 116, 117

Sistemas particulados 10, 59, 60, 65, 70, 151

Superpro Designer 140, 141, 143, 144, 148, 150

Sustentabilidade 1, 114

## T

Tabela Periódica 130, 131, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 159, 160, 161, 163

Taxa de crescimento por coagulação 66

## U

Unidade experimental de extração sólido-líquido 4

## V

Variáveis de estado 44, 45, 47, 51, 54, 55, 56, 57, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 192, 194, 196, 202, 203, 206, 210, 218, 224, 225, 227

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**