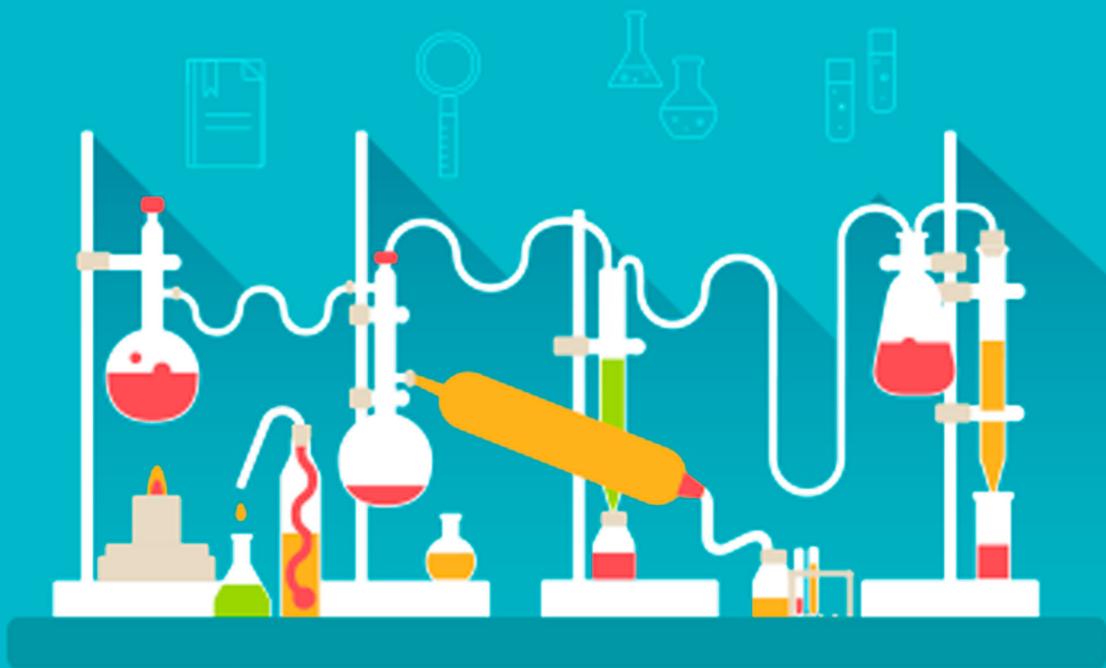


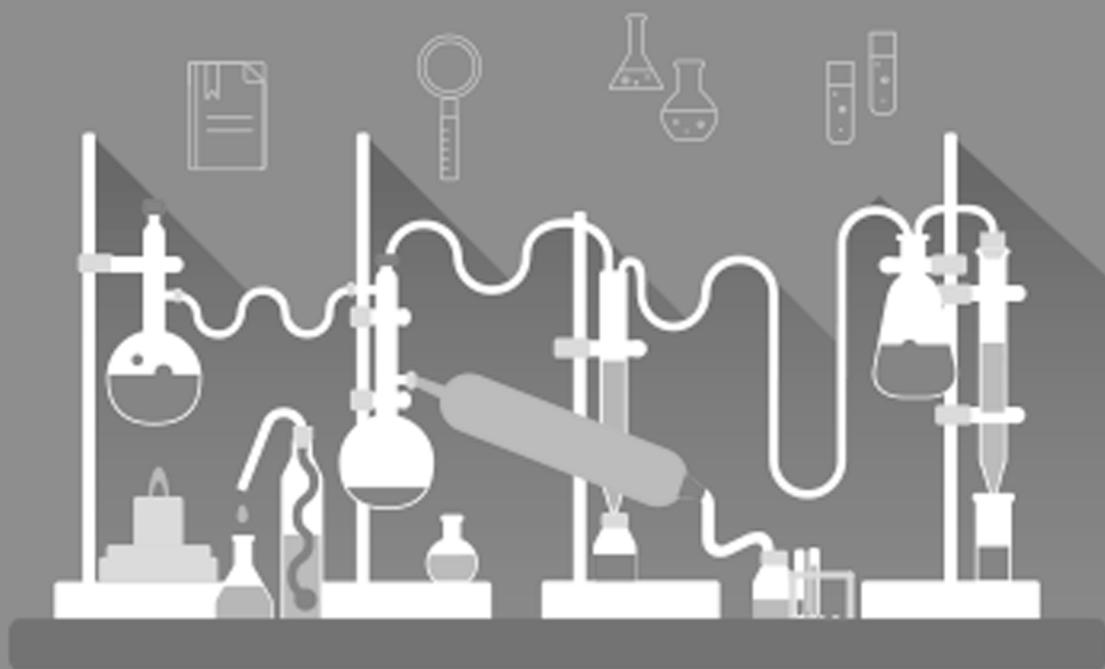
A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



Érica de Melo Azevedo
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2020

A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



Érica de Melo Azevedo
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

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 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, 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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

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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
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. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
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 Cagliari – 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. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
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. 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 Albornoz – 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

A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Érica de Melo Azevedo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
Q6	A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável 1 [recurso eletrônico] / Organizadora Érica de Melo Azevedo. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. Formato: PDF Requisitos de sistemas: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-385-9 DOI 10.22533/at.ed.859201709 1. Química – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. 3. Sustentabilidade. I. Azevedo, Érica de Melo.
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Coleção “A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável” apresenta artigos de pesquisa na área de química e que envolvem conceitos de sustentabilidade, tecnologia, ensino e ciências naturais. A obra contém 69 artigos, que estão distribuídos em 3 volumes. No volume 1 são apresentados 29 capítulos sobre aplicações e desenvolvimentos de materiais adsorventes sustentáveis e polímeros biodegradáveis; o volume 2 reúne 20 capítulos sobre o desenvolvimento de materiais alternativos para tratamento de água e efluentes e propostas didáticas para ensino das temáticas em questão. No volume 3 estão compilados 20 capítulos que incluem artigos sobre óleos essenciais, produtos naturais e diferentes tipos de combustíveis.

Os objetivos principais da presente coleção são apresentar aos leitores diferentes aspectos das aplicações e pesquisas de química e de suas áreas correlatas no desenvolvimento de tecnologias e materiais que promovam a sustentabilidade e o ensino de química de forma transversal e lúdica.

Os artigos constituintes 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 adsorventes, polímeros, análise e tratamento de água e efluentes, propostas didáticas para ensino de química, óleos essenciais, produtos naturais e combustíveis.

Após esta apresentação, convido os leitores a apreciarem e consultarem, sempre que necessário, a coleção “A Química nas áreas natural, tecnológica e Sustentável”. Desejo uma excelente leitura!

Érica de Melo Azevedo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EMPREGANDO BAGAÇO DE UVA (*VITIS LABRUSCA*) IN NATURA E MODIFICADO COMO ADSORVENTE

Júlia Cristina Diel
Isaac dos Santos Nunes
Dinalva Schein
Joseane Sarmento Lazarotto
Vitória de Lima Brombilla
Carolina Smaniotto Fronza

DOI 10.22533/at.ed.8592017091

CAPÍTULO 2..... 14

ADSORÇÃO DE CONTAMINANTE ORGÂNICO EM ÁGUA POR RESÍDUO AGROINDUSTRIAL TRATADO SIMULTANEAMENTE COM ÁCIDO E ULTRASSOM

Matias Schadeck Netto
Carlos Heitor Fernandez Cervo
Jivago Schumacher de Oliveira
Edson Luiz Foletto
Evandro Stoffels Mallmann
Osvaldo Chiavone-Filho
Guilherme Luiz Dotto

DOI 10.22533/at.ed.8592017092

CAPÍTULO 3..... 24

ADSORÇÃO DE ÍONS CÁDMIO POR DERIVADOS CARBOXIMETILADOS E SULFATADOS DE QUITOSANA

João Lucas Isidio de Oliveira Almeida
Micaele Ferreira Lima
Shirley Abel Barboza Coelho
Emanuela Feitoza da Costa
Flavia Oliveira Monteiro da Silva Abreu
Carlos Emanuel de Carvalho Magalhães

DOI 10.22533/at.ed.8592017093

CAPÍTULO 4..... 32

AGGLOMERATED BOARDS EVALUATION WITH WASTE OF POLYURETHANE SKIN AND NON-HALOGENATED FLAME RETARDANTS

Aguinaldo Oliveira Machado
Jocelei Duarte
Maria Fernanda de Oliveira
Ana Maria Coulon Grisa
Mara Zeni Andrade

DOI 10.22533/at.ed.8592017094

CAPÍTULO 5..... 43

POLIURETANOS BIODEGRADÁVEIS: UMA ABORDAGEM DOS ELEMENTOS

ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE SÍNTESE

Amanda Furtado Luna
Andressa Lima Delfino
Glenda Kélvia Ferreira Bezerra
Domingos Rodrigues da Silva Filho
Fernando da Silva Reis
José Milton Elias de Matos

DOI 10.22533/at.ed.8592017095

CAPÍTULO 6..... 56

CARACTERIZAÇÃO DA *PHORMIUM TENAX* PARA USO COMO REFORÇO EM COMPOSITO DE POLIPROPILENO

Fábio Furtado
Thais Helena Sydenstricker Flores-Sahagun
Talita Szlapak Franco
Harrison Lourenço Corrêa

DOI 10.22533/at.ed.8592017096

CAPÍTULO 7..... 67

CARACTERIZAÇÃO DO HIDROGEL À BASE DE POLIACRILATO DE AMÔNIO E A SUA UTILIZAÇÃO NA ADUBAÇÃO POTÁSSICA DO TOMATEIRO

Ivonete Oliveira Barcellos
Raíssa dos Santos Conceição
Ana Lúcia Bertarello Zeni

DOI 10.22533/at.ed.8592017097

CAPÍTULO 8..... 80

PREPARAÇÃO E MEDIÇÃO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DO COMPOSITO EPÓXI - PZT

Victor Ciro Solano Reynoso
Edinilton Moraes Cavalcante

DOI 10.22533/at.ed.8592017098

CAPÍTULO 9..... 91

CULTIVO DE *Aspergillus niger* EM ESTADO SÓLIDO EM BIORREATOR DE LEITO EMPACOTADO SEGUIDO DE EXTRAÇÃO DE ENZIMAS POR PERCOLAÇÃO

Fernanda Perpétua Casciatori
Natalia Alvarez Rodrigues
Samuel Pratavieira de Oliveira
Eric Takashi Katayama

DOI 10.22533/at.ed.8592017099

CAPÍTULO 10..... 104

EFEITO DA TEMPERATURA NA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO USANDO BAGAÇO DE MALTE *IN NATURA*

Renata Cândido Araújo de Lima
Kevyn Zapelão
Andréia Anschau

DOI 10.22533/at.ed.85920170910

CAPÍTULO 11.....113

EFEITO DAS CONDIÇÕES DE REPROCESSAMENTO NA DEGRADAÇÃO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE

Lisete Cristine Scienza
Amanda Vecila Cheffer de Araújo
Hariel Marçal Kops Hubert
Vinícius Martins
Luis Henrique Alves Cândido
Ademir José Zattera

DOI 10.22533/at.ed.85920170911

CAPÍTULO 12..... 124

ENCAPSULAMENTO DE ZEÓLITA FERTILIZANTE UTILIZANDO BIOPOLÍMERO

Suzana Frighetto Ferrarini
Beatriz Bonetti
Marta Eliza Hammerschmitt
Camila Fensterseifer Galli
Marçal José Rodrigues Pires

DOI 10.22533/at.ed.85920170912

CAPÍTULO 13..... 135

ENVELHECIMENTO NATURAL: COMPARAÇÃO DE TECIDOS DE POLIETILENO DE ULTRA ALTA MASSA MOLAR APLICADOS EM PROTEÇÃO BALÍSTICA

Vitor Hugo Cordeiro Konarzewski
Ruth Marlene Campomanes Santana
Edson Luiz Fancisquetti

DOI 10.22533/at.ed.85920170913

CAPÍTULO 14..... 149

ESTUDO DA PRODUÇÃO DE PISOS DE BORRACHA SBR, E DE SILICONE, UTILIZANDO A BORRACHA DE SILICONE RECICLADA COMO CARGA

Miriam Lucia Chiquetto Machado
Blenda de Assunção Cardoso Gaspar
Nilson Casimiro Pereira
Max Filipe Silva Gonçalves
Cícera Soares Pereira

DOI 10.22533/at.ed.85920170914

CAPÍTULO 15..... 162

SUORTE HÍBRIDO CONTENDO Fe₃O₄ E QUITOSANA PARA IMOBILIZAÇÃO DA PAPAÍNA

Aurileide Maria Bispo Frazão Soares
Lizia Maria Oliveira Gonçalves
Samuel de Macêdo Rocha
Wallonilson Veras Rodrigues
Anderson Fernando Magalhães dos Santos

Anderson Nogueira Mendes
Welter Cantanhêde da Silva
DOI 10.22533/at.ed.85920170915

CAPÍTULO 16..... 177

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE PÓS-CURA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO COMPOSITO POLIMÉRICO NANOESTRUTURADO REFORÇADO COM ÓXIDO DE GRAFENO

Marivaldo Batista dos Santos Junior
Erica Cristina Almeida
Alan Santos Oliveira
Vaneide Gomes

DOI 10.22533/at.ed.85920170916

CAPÍTULO 17..... 184

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO UTILIZANDO FIBRA DO MESOCARPO DO COCO *IN NATURA* E PRÉ-TRATADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO ALCALINO

Isabela Nogueira Marques Ribeiro
Geovanna Miranda Teixeira
Emanuel Souza e Souza
Êmile dos Santos Araujo
Luciene Santos de Carvalho
Luiz Antônio Magalhães Pontes
Leila Maria Aguilera Campos

DOI 10.22533/at.ed.85920170917

CAPÍTULO 18..... 197

MÉTODOS DE SÍNTESE E A CLASSIFICAÇÃO DOS POLIANIDRIDOS BIODEGRADÁVEIS

Jairo dos Santos Trindade
Vanessa Karen Ferreira dos Santos Guimarães
José Milton Elias de Matos

DOI 10.22533/at.ed.85920170918

CAPÍTULO 19..... 209

O USO DA BORRACHA DE PNEUS EM LIGANTES ASFÁLTICOS

Matheus Borges Lopes

DOI 10.22533/at.ed.85920170919

CAPÍTULO 20..... 212

OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE SOJA E APLICAÇÕES EM PROCESSOS DE ADSORÇÃO

Roberta Sorhaia Samayara Sousa Rocha de França
Letícia Pinto
Andréia Anschau

DOI 10.22533/at.ed.85920170920

CAPÍTULO 21	224
PARTÍCULAS DE P(BA-CO-MMA)/PMMA CONTENDO ÁCIDO ITACÔNICO OBTIDAS ATRAVÉS DA COPOLIMERIZAÇÃO EM EMULSÃO	
Leonardo Zborowski	
Daniela Beirão Porto	
Jesus Roberto Taparelli	
Lucia Helena Innocentini Mei	
Diego de Holanda Saboya Souza	
DOI 10.22533/at.ed.85920170921	
CAPÍTULO 22	236
PECTINA: UM SUBPRODUTO VALIOSO DA INDÚSTRIA CITRÍCOLA	
Camila Souza da Mata Losque	
Patrícia Reis Pinto	
DOI 10.22533/at.ed.85920170922	
CAPÍTULO 23	247
PROJETO DE CERTIFICAÇÃO PARA PLÁSTICOS RECICLADOS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: DE REFUGO A RECURSO	
Ormene Carvalho Coutinho Dorneles	
Daniel Coutinho Dorneles	
DOI 10.22533/at.ed.85920170923	
CAPÍTULO 24	258
PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS FABRICADOS COM RESÍDUO INDUSTRIAL, PROJETO E PROSPECÇÃO DE CUSTO DE PRODUÇÃO DE MOBILIÁRIO URBANO COM CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR	
Fernanda Pereira de Castro Negreiros	
Paula Bertolino Sanvezzo	
Marcia Cristina Branciforti	
DOI 10.22533/at.ed.85920170924	
CAPÍTULO 25	277
PROPRIEDADES DE ESPUMAS DE POLI(URETANO-CO-ISOCIANURATO) BASEADAS EM DIFERENTES DIÓIS	
Thiago do Carmo Rufino	
José Giaretta	
DOI 10.22533/at.ed.85920170925	
CAPÍTULO 26	292
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE SÍLICA MESOPOROSA E SEU POTENCIAL USO COMO ADSORVENTE NA DESCONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES	
Cezar Augusto Moreira	
Matheus Devanir Custódio	
Jéssica de Lara Andrade	
Angélica Gonçalves Oliveira	
Edgardo Alfonso Gómez Pineda	
Ana Adelina Winkler Hechenleitner	

Daniela Martins Fernandes de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.85920170926

CAPÍTULO 27..... 307

**USO DOS POLÍMEROS NA LIBERAÇÃO CONTROLADA DE MEDICAMENTOS
PARA O TRATAMENTO DO CÂNCER**

Ingrid Ribeiro

Wanyr Romero Ferreira

Aline Pereira Leite Nunes

DOI 10.22533/at.ed.85920170927

CAPÍTULO 28..... 315

**INFLUÊNCIA DO HÍBRIDO NANOARGILA COM ÓLEOS ESSENCIAIS NA BLEND
DE PEBD/ATP**

Marília Cheis Farina

Rafaela Reis Ferreira

Anderson Maia

Rondes Ferreira da Silva Torin

DOI 10.22533/at.ed.85920170928

CAPÍTULO 29..... 322

**EFEITO DA HOMOGENEIZAÇÃO À ALTA PRESSÃO NA ESTABILIZAÇÃO DE
EMULSÕES OBTIDAS POR SISTEMAS DE BIOPOLÍMEROS WPC:ALG**

Kívia Mislaine Albano

Vania Regina Nicoletti

DOI 10.22533/at.ed.85920170929

SOBRE A ORGANIZADORA..... 333

ÍNDICE REMISSIVO..... 334

CAPÍTULO 9

CULTIVO DE *Aspergillus niger* EM ESTADO SÓLIDO EM BIORREATOR DE LEITO EMPACOTADO SEGUIDO DE EXTRAÇÃO DE ENZIMAS POR PERCOLAÇÃO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 27/03/2020

Fernanda Perpétua Casciatori

Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP

<http://lattes.cnpq.br/1269950652196294>

<https://orcid.org/0000-0001-9274-1241>

Natalia Alvarez Rodrigues

Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP

<http://lattes.cnpq.br/8928436632437953>

<https://orcid.org/0000-0003-0073-6520>

Samuel Pratavieira de Oliveira

Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP

<http://lattes.cnpq.br/2084147482279381>

Eric Takashi Katayama

Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP

<http://lattes.cnpq.br/6107424631716712>

RESUMO: No presente trabalho, é apresentado um estudo do cultivo de um fungo num biorreator de leito empacotado construído de forma modular para fermentação em estado sólido, seguido da extração de enzimas por percolação. O reator foi operado em batelada com três módulos fermentativos. O microrganismo cultivado foi o fungo *Aspergillus niger*, usando como substrato bagaço de cana-de-açúcar e farelo de trigo. A extração foi realizada em dois dos três módulos

fermentativos mediante a lixiviação com água destilada, sob vazões de 60 e 2400 L/h. Em seguida, também foi realizada extração em tanque das proteínas remanescentes. A análise térmica demonstrou que os módulos superiores apresentaram as maiores temperaturas durante todo o cultivo, todavia esse aumento não prejudicou o processo, uma vez que a diferença de proteínas totais e com atividade de endoglucanase entre os módulos não foi significativa. Com respeito à vazão, foi verificado que a percolação a 2400 L/h extraiu maior quantidade de proteínas do que a 60/L. O sistema de extração demonstrou que a lixiviação foi eficiente para extração de proteínas com atividade de endoglucanase, contudo ainda precisa de melhorias para extração de proteínas totais, que podem ser outras enzimas de interesse.

PALAVRAS-CHAVE: Cultivo sólido, biorreatores, downstream, enzimas.

Aspergillus niger CULTIVATION IN SOLID STATE IN PACKED BED BIOREACTOR FOLLOWED OF ENZYMES EXTRACTION BY PERCOLATION

ABSTRACT: The current paper presents a study of a fungus cultivation in a packed-bed bioreactor built in modules for solid-state fermentation, followed of enzymes extraction by percolation. The reactor has been operated in batch-mode with three fermentative modules. The microorganism cultivated was fungus *Aspergillus niger*, using sugarcane bagasse and wheat bran as substrate. Extraction was performed for two of the three fermentative modules by leaching with distilled water at flowrates 60 and 2400

L/h. Further, tank extraction of remaining proteins was performed. Thermal analysis showed that upper modules experienced higher temperatures along the cultivation, but the mild temperature increase did not harm the process, once total proteins and endoglucanase activity between both modules did not differ significantly. Concerning flowrate for extraction, percolation with 2400 L/h extract higher amount of proteins than with 60/L. The system for extraction demonstrate that leaching was efficient for extraction enzymes with endoglucanase activity, but still needs improvements for extraction of total proteins, that may comprise other interesting enzymes.

KEYWORDS: Solid-state cultivation, bioreactors, downstream, enzymes.

1 | INTRODUÇÃO

A fermentação em estado sólido (FES) pode ser definida como o crescimento ou cultivo de microrganismos sobre partículas sólidas úmidas, em situações nas quais o espaço entre as partículas contém uma fase gasosa contínua e a água está impregnada nas partículas ou forma um fino filme sobre elas. Entretanto, o conteúdo de água da matriz porosa deve ser suficientemente alto para assegurar adequadas condições para o desenvolvimento microbiano (Mitchell et al., 2006).

Devido às atividades de água mais baixas nos sistemas de FES em comparação aos de fermentação submersa (FSm), os microrganismos que mais se adaptam a esse cultivo são os fungos filamentosos. Nesse contexto, o gênero *Aspergillus*, que se trata de um gênero de fungo filamentoso mesófilico, se destaca como importante produtor de enzimas celulolíticas, ácidos orgânicos e outros produtos com alto valor agregado através de FES (Castro, 2006). Diversas exigências para produção comercial de enzimas são atendidas por esse gênero, como capacidade de crescer em substratos de baixo custo e produção de enzimas estáveis a variações de temperatura e pH em uma velocidade relativamente elevada (Dhingra; Sinclair, 1995).

Em comparação aos tradicionais processos de fermentação submersa (FSm), os processos de FES são particularmente atrativos, especialmente pela possibilidade de minimizar o problema da disposição inadequada e desperdício dos rejeitos sólidos agroindustriais, que podem ser utilizados como substratos de baixo custo com pouca adição de nutrientes, além de minimizar os riscos de contaminação devido à baixa umidade do meio (Pandey, 2003).

No entanto, apesar de seu excelente potencial de aplicação, a FES ainda não está plenamente estabelecida como alternativa industrial bem-sucedida, principalmente devido à falta de equipamentos industriais disponíveis e otimizados. Fundamentalmente, a solução desse impasse depende de estudos de engenharia, incluindo modelagem, simulação e experimentação, envolvendo ensaios em escala de bancada e piloto.

Pensando na ampliação de escala de bioprocessos de FES, tornam-se necessários biorreatores apropriados para condução do processo. Neste contexto, cabe lembrar dos leitos empacotados, amplamente aplicados em importantes operações unitárias nas indústrias químicas, de alimentos e de bioprocessos. Alguns exemplos de aplicação incluem seus usos como filtros, separadores, absorvedores, secadores, trocadores de calor e reatores químicos e bioquímicos (Thomé et al., 2004; Wen; Ding, 2006). Um caso particular de sua aplicação como reatores bioquímicos é a própria FES.

Biorreatores de FES de leito empacotado consistem em uma coluna de seção transversal cilíndrica encamisada, orientada verticalmente e com uma placa perfurada no fundo para suportar o leito de substrato, com ar sendo continuamente soprado através da base e percolando através do leito. Vários estudos vêm sendo conduzidos para produção de biocompostos microbianos nestes biorreatores, com destaque para enzimas (Casciotori; Thomé, 2015).

Todavia, apesar do ótimo potencial de aplicação demonstrado em estudos prévios por Zanelato et al. (2012), Casciotori (2015) e Perez et al. (2019), biorreatores de FES de leito empacotado são raramente operados em larga escala ao longo de todo o período de cultivo. Para o projeto e desenvolvimento destes biorreatores, é necessário um grande conjunto de informações a respeito do microrganismo, do meio e das variáveis operacionais.

Um dos principais problemas na operação desta classe de biorreatores é a remoção deficiente do calor metabólico gerado, em decorrência de fatores associados ao substrato, ao microrganismo e à operação do sistema. Normalmente, resíduos agroindustriais são materiais orgânicos e, portanto, possuem condutividades térmicas baixas, o que, associado às pequenas vazões de escoamento, torna baixas as condutividades térmicas efetivas estática e dinâmica, dificultando a dispersão do calor (Casciotori et al., 2013).

Outra dificuldade na operação de biorreatores de leito empacotado é a secagem do meio poroso ao longo da fermentação (Zanelato et al., 2012; Casciotori et al., 2016), o que tem consequências diretas sobre o crescimento fúngico e produção de metabólitos. A redução de umidade do meio é decorrente do não-equilíbrio termodinâmico entre o ar e o substrato.

Ademais, a definição de critérios de ampliação de escala para biorreatores de FES em leito empacotado não é trivial. Quando da ampliação de escala de reatores químicos de leito catalítico heterogêneo, recomenda-se que o aumento da vazão de operação seja proporcional ao aumento do volume do reator, de modo a manter constante o gradiente longitudinal de temperatura (Nauman, 2002). No entanto, para FES há a limitação de se empregar baixas vazões de ar para não ressecar o meio de cultivo, de modo que gradientes axiais de temperatura são praticamente inevitáveis e

as temperaturas podem atingir valores críticos. Além disso, enquanto nos processos de FSm o desenvolvimento do microrganismo é limitado apenas pela transferência de oxigênio na interface gás-líquido, nos processos de FES o crescimento pode ser limitado por transferência de calor, oxigênio, nutrientes, metabólitos e água. Como resultado, não há critérios fixos para ampliação de escala desses sistemas e fica evidente a necessidade da ampliação dos estudos nessa área.

A extração dos subprodutos originados na FES também carece de otimização, todavia ela é favorecida pelo fato de os produtos se encontrarem em concentrações elevadas (Pandey, 2003). Trata-se de uma extração sólido-líquido que pode ser realizada por lixiviação ou em tanque de mistura. Nesse contexto, a lixiviação se mostra como alternativa interessante, visto que pode ser realizada tanto em leitos fixos como em leitos móveis (Richardson; Harker; Backhurst, 2002). Alguns fatores influenciam a eficiência da extração, como a vazão, tempo, tipo de solvente, volume de solvente e temperatura. Desse modo, é necessário que tais fatores sejam ajustados de acordo com a molécula de interesse a ser extraída, bem como sistemas de extração precisam ser projetados de acordo com as especificidades do biorreator.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil térmico do cultivo de *A. niger* em biorreator de FES em leito empacotado e analisar a influência da vazão na extração por lixiviação das proteínas produzidas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Microrganismo e substrato

Como estudo de caso, foi realizado o cultivo do fungo *Aspergillus niger* C, mesma espécie utilizada na simulação feita por Mitchell et al. (2010). O isolado utilizado pertence à coleção do Laboratório de Agroenergia da Embrapa Instrumentação (São Carlos – SP). Para ativação da cepa, o fungo foi repicado em meio nutriente líquido. O frasco foi mantido em incubadora com agitação de 220 rpm, a 30°C por 48 h. Então, foi preparada uma solução estoque do fungo em tubo criogênico com glicerol a 20 % a – 80°C. Para utilização, a cultura foi repicada em frascos de Erlenmeyer contendo 50 mL de meio Agar-Sabouraud-Dextrose inclinado. Esses frascos foram mantidos em câmara DBO por 7 dias a 30 °C, para crescimento do inóculo, após o que foram adicionados 100 mL de solução nutriente para remoção dos esporos crescidos na superfície. Uma alíquota de 1 mL foi retirada da suspensão para contagem de esporos em câmara de Neubauer, sendo a concentração final da suspensão ajustada para se ter padronização da concentração do inóculo.

Como substratos, foram empregados bagaço de cana-de-açúcar e farelo de

trigo na proporção 7:3 (m/m). O bagaço foi doado pela Usina Santa Cruz, situada em Américo Brasiliense – SP, empresa do Grupo São Martinho. O farelo de trigo foi comprado no comércio de São Carlos – SP. O bagaço foi seco em estufa a 60 °C e peneirado para uniformização de tamanho das fibras.

2.2 Etapas *upstream*

A esterilização dos módulos previamente aos cultivos foi feita por limpeza com etanol 70 %. A esterilização do substrato foi feita por calor úmido em autoclave (121 °C, 1,1 atm, 20 minutos), em sacos plásticos já contendo a quantidade suficiente de substrato seco para empacotar um módulo. A umidificação do material até o conteúdo de umidade de 75 % em base úmida (b.u.) foi feita com solução salina (Zanelato et al., 2012) e a inoculação do material foi feita com a suspensão de esporos.

A solução e a suspensão foram acrescentadas ao substrato no próprio saco plástico em que o mesmo foi esterilizado, sendo essas duas etapas realizadas dentro de câmara de fluxo laminar, seguidas de mistura manual. Depois disso, o material foi empacotado nos módulos segundo a técnica simples descrita por Casciatori et al. (2014).

2.3 Biorreator de FES em leito empacotado

A configuração de biorreator proposta neste trabalho foi muito similar à já empregada nos estudos de Casciatori (2015) e Perez et al. (2019). O ar foi fornecido por compressor e filtrado para retirada de impurezas grosseiras, passou por válvula de agulha e medidor de vazão, após o que foi umidificado em coluna encamisada, recheada de esferas de vidro e preenchida de água.

Os módulos empregados na estrutura do biorreator foram feitos em aço inoxidável, com comprimento de 10 cm cada e diâmetros interno e externo de 13 e 15 cm, respectivamente, sendo o espaço anular usado como camisa para circulação de água na temperatura ideal de processo. O biorreator foi orientado verticalmente e operado em batelada, sendo composto por 1 módulo de entrada (módulo 1 na Figura 1) e 1 de saída (módulo 7 na Figura 1), 2 módulos acessórios (módulos 2 e 6) e 3 módulos fermentativos (módulos 3 a 5). Na base de cada módulo, foi fixada uma tela para sustentação da matriz sólida.

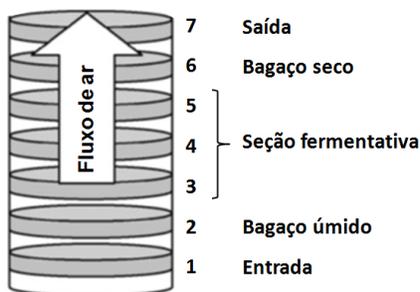


Figura 1: Diagrama esquemático da estrutura do biorreator.

A velocidade superficial do ar foi mantida constante em 0,7 cm/s. As temperaturas do ar percolante (saturado de umidade) e da camisa do biorreator foram 30 °C, ideal para crescimento da cepa utilizada do fungo *A. niger*. Os módulos de entrada e de saída também foram encamisados e possuíam as mesmas dimensões dos intermediários, mas com interior cônico. O módulo de entrada foi preenchido com esferas de vidro para estabelecimento do perfil de escoamento do ar e o de saída foi mantido vazio. Os módulos acessórios, localizados após a entrada e antes da saída, foram preenchidos com material inerte úmido e seco, respectivamente. O módulo acessório úmido protege o primeiro módulo inoculado da secagem, já o módulo seco é necessário para absorver gotículas de água condensadas nas paredes do módulo de saída devido ao contato com ambiente externo a temperatura mais baixa.

Termopares tipo T foram instalados em várias posições longitudinais do fermentador, sendo inseridos radialmente através de flanges de acoplamento entre os módulos, permitindo acompanhar a temperatura ao longo do processo. Os sinais foram registrados por sistema de aquisição de dados da *National Instruments COMPAQ-DAQ*, gerenciado por uma rotina do *software Labview (National Instruments, Austin, USA)*.

2.4 Etapas downstream

Para a extração das proteínas secretadas, foi construído um sistema utilizando os mesmos módulos dos experimentos de cultivo em biorreator, o qual consistiu em um módulo de entrada, um módulo intermediário contendo o material a ser extraído e um módulo de saída. A entrada foi preenchida com esferas de vidro a fim de dispersar a passagem de líquido no leito. A flange de separação entre os módulos de entrada e o intermediário foi modificada com a colagem de uma tela de nylon, além do acoplamento de uma placa perfurada de metal para evitar a passagem das esferas de vidro. A placa e a tela também foram adicionadas à flange

de saída para evitar arraste do substrato.

Foram comparadas duas vazões de percolação 60 e 2400 L/h, aplicadas nos módulos 3 e 5 da Figura 1, respectivamente. Em seguida, foi realizada a extração convencional em tanque, conforme Perez et al. (2019), empregando-se 10 mL de água destilada por grama de substrato sólido seco inicial, com objetivo de recuperar as proteínas remanescentes e avaliar a eficiência da extração por lixiviação. Para facilitar a identificação de cada extração foi utilizada a seguinte nomenclatura: M3L, M3B, M5L e M5B, que correspondem a extração do módulo 3 por lixiviação, extração do remanescente do módulo 3 em tanque, extração de 5 por lixiviação e de 5 em tanque, respectivamente.

A concentração de proteínas foi analisada pelo método de Bradford (20 μ L da amostra, 1 mL do reagente de Bradford, 5 min a temperatura ambiente) e a absorbância foi lida a 595 nm. A atividade de endoglucanase foi determinada de acordo com Ghose (1987), na qual 0,1 mL de amostra e 0,9 mL de solução 4 % (m/v) de carboximetilcelulose em tampão acetato 0,1 M pH 5,0 reagiram por 10 minutos a 60 °C. A quantificação de açúcares redutores liberados foi determinada segundo Miller (1959), com leitura de absorbância a 540 nm. Com os valores de absorbância lidos nos testes de Bradford e na quantificação de açúcares redutores, foram calculadas a concentração de proteínas, a atividade de endoglucanase e a atividade enzimática específica das amostras.

Para obtenção da concentração de proteínas, foi utilizada curva padrão de soro-albumina bovina, já para a obtenção da atividade de endoglucanase, uma curva padrão do reagente DNS foi construída, a partir de soluções com diferentes concentrações de glicose. Os valores de absorbância foram, então, convertidos em concentração de glicose em μ mol/mL. Tal valor foi dividido pelo volume de extrato enzimático utilizado e pelo tempo de reação. A unidade foi convertida para U/gss (gss: gramas de substrato seco inicial) multiplicando-se o valor em U/mL pela razão de volume de água por massa de substrato seco na extração. Para cálculo da atividade específica, os valores em U/mL foram divididos pela concentração de proteínas (mg/mL), resultando em U/mg de proteína. Quanto maior a atividade específica, maior pureza de endoglucanase.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perfil térmico do biorreator

A Figura 2 apresenta o perfil térmico do biorreator operado em batelada, na qual é possível verificar que houve um pico de geração de calor por volta de 20 horas de cultivo. O valor máximo registrado foi de 32,6 °C alcançado na saída do módulo 4. Após esse pico, houve uma queda nas temperaturas, que pode ter ocorrido

devido ao ar ter ficado abaixo da saturação (devido ao aquecimento) nesse intervalo de tempo, desse modo tendo adquirido capacidade para remover calor evaporativo, fazendo com que as temperaturas diminuíssem. Além disso, a atividade metabólica do fungo tende a decair em função da curva de crescimento microbiano típica.

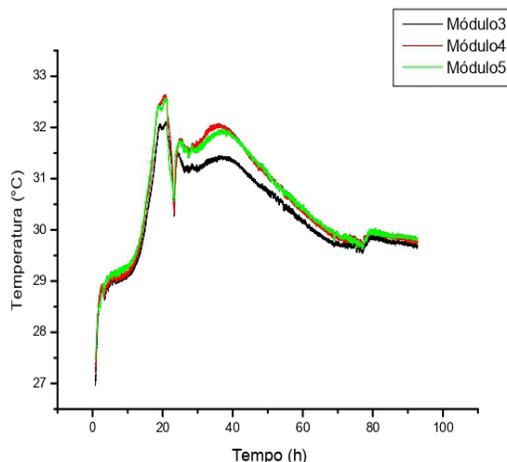


Figura 2: Temperatura dos módulos fermentativos do biorreator em função do tempo de cultivo.

Durante todo o cultivo, os módulos fermentativos mais distantes da entrada (módulos 4 e 5) apresentaram temperaturas superiores em relação ao módulo 3, o que já era esperado devido ao efeito advectivo da aeração ascendente e à dificuldade de remoção do calor metabólico gerado, uma vez que a condutividade térmica do substrato e o coeficiente convectivo de transferência de calor são baixos. No entanto, o aumento de temperatura não foi tão elevado quanto o que é reportado na literatura, o que pode ser decorrente da alta porosidade do substrato, proporcionada pelo bagaço de cana, o que favorece a remoção de calor metabólico (Casciadori et al., 2014). Além disso, o diâmetro do leito é tal que ainda proporciona significativa remoção de calor por condução radial (Casciadori et al., 2016). Ao final do cultivo, todos os módulos tenderam para a temperatura de circulação de água na camisa (30 °C), indicando redução da taxa de geração de calor.

Tendo em vista que a quantidade de módulos fermentativos foi baixa, a não homogeneidade térmica do biorreator foi pouco expressiva. Contudo, para um número maior de módulos, a temperatura pode aumentar até um ponto que comprometa o desempenho do biorreator. Uma das formas de minimizar esse problema, em leitos mais longos, é através da movimentação periódica dos módulos durante o cultivo, conforme proposto e mostrado como promissor no trabalho de

simulação realizado por Mitchell et al. (2010).

3.2 Extração de proteínas totais e com atividade de endoglucanase

Os resultados de massa total de proteínas solúveis extraídas, atividade de endoglucanase total recuperada e atividade enzimática específica dos módulos 3 e 5 são apresentadas na Tabela 1. Apesar de o módulo 5 ter apresentado a maior massa total de proteínas recuperadas e maior atividade de endoglucanase, este módulo não apresentou maior atividade enzimática específica, indicando que no módulo 3 a pureza do extrato enzimático em proteínas com atividade de endoglucanase foi maior. A diferença dos resultados entre os dois módulos não foi significativa ($\alpha = 5\%$), todavia os maiores valores de proteínas totais e com atividade de endoglucanase foram observados no módulo 5, que estava a uma temperatura ligeiramente superior. Isso sugere que o aumento de temperatura não prejudicou o processo, podendo inclusive ter acelerado o crescimento e conseqüentemente a produção de proteínas totais, embora a seletividade pela síntese de enzimas com atividade de endoglucanase tenha diminuído, refletindo-se na menor atividade específica total. A Figura 3 apresenta os dados, respectivamente, da massa de proteínas totais extraídas (a), da atividade de endoglucanase por grama de substrato (b) e da atividade específica (c) dos módulos fermentativos 3 e 5, de acordo com o método de extração utilizado.

	Módulo 3	Módulo 5
Massa de proteínas extraídas (mg)	247 ± 51	332 ± 19
Atividade de endoglucanase (U/gss)	148 ± 29	211 ± 84
Atividade específica (U/mg)	225 ± 39	209 ± 57

Tabela 1: Proteínas totais, atividade endoglucanase e atividade específica dos módulos 3 e 5.

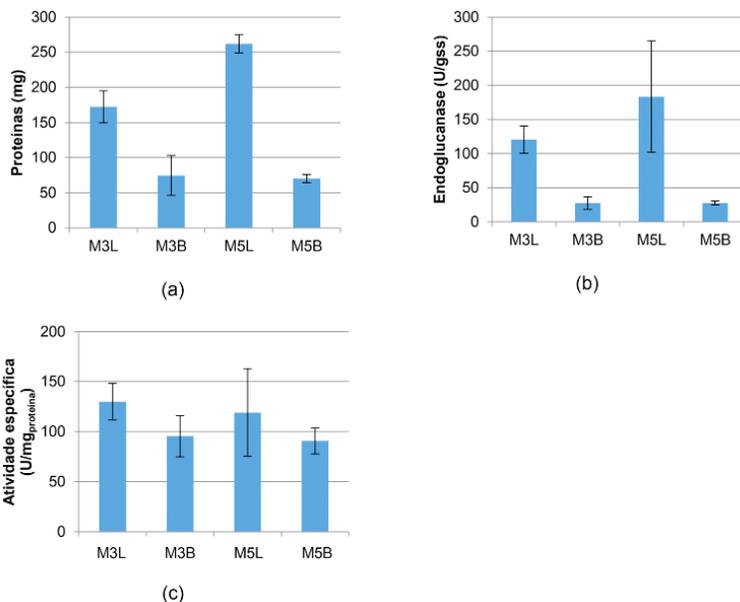


Figura 3: Dados da etapa *downstream* dos módulos 3 e 5 (a) massa de proteínas recuperada (mg); (b) atividade de endoglucanase recuperada (U/gss); (c) atividade específica do extrato (U/mg_{proteína}).

De acordo com a Figura 3a, a lixiviação foi mais efetiva que o método convencional em batelada para extração de proteínas em ambos os módulos. No entanto, no módulo 3, 70 % da massa total de proteínas recuperadas foi extraída por percolação a 60 L/h, enquanto que no módulo 5 obteve-se 79 % da massa total de proteínas recuperada por percolação a 2400 L/h. Tal diferença foi estatisticamente significativa ($\alpha = 5\%$), o que denota que a mais alta vazão de percolação foi mais eficiente para recuperar as proteínas solúveis totais secretadas para o meio de cultivo.

Em termos de atividades absoluta (Figura 3b) e específica (Figura 3c) de endoglucanase, foi observada maior recuperação por lixiviação nos dois módulos em relação à extração em batelada, contudo não houve diferença significativa entre as vazões de percolação para estas variáveis respostas ($\alpha = 5\%$). No caso da atividade de endoglucanase, o resultado não significativo pode estar relacionado ao grande desvio padrão observado no módulo 5, o que é inerente ao método de determinação da atividade. Com respeito à comparação entre os valores médios de atividades entre as duas vazões, pode-se afirmar que a maior vazão foi mais favorável à extração proteínas com atividade de endoglucanase, o que pode estar associado ao fato de estas enzimas estarem fortemente adsorvidas à superfície das partículas de bagaço, ricas em celulose, que é o substrato da enzima.

Além disso, pode-se inferir que a maior vazão não causou a desnaturação das enzimas, uma vez que a análise de variância ($\alpha = 5\%$) mostrou não haver diferença significativa entre as atividades específicas entre M3L e M5L, entre M3L e M3B e entre M5L e M5B, indicando que a atividade de endoglucanase foi preservada dentro do total de proteínas recuperadas pelos diferentes métodos.

4 | CONCLUSÕES

O biorreator de leite empacotado não apresentou homogeneidade térmica ao longo de seu comprimento, visto que os módulos mais distantes da entrada atingiram temperaturas mais elevadas, mas o aumento de temperatura não foi expressivo. Além disso, a maior produção de proteínas e maior atividade de endoglucanase no módulo superior indicam que o ligeiro aumento da temperatura não prejudicou o processo, podendo inclusive ter acelerado a reação bioquímica.

Quanto às etapas de *downstream*, tem-se que o sistema de extração sólido-líquido desenvolvido para extração de celulasas produzidas por FES em biorreator de leite empacotado é viável e promissor, uma vez que a quantidade de proteínas com atividade de endoglucanase remanescentes após a extração por percolação foi baixa. Contudo, o sistema ainda pode ser otimizado, visto que o conteúdo de proteínas totais remanescentes ainda é elevado. Com respeito à vazão de percolação, a maior vazão melhorou o desempenho da extração e não causou desnaturação enzimática por cisalhamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Proc. 2018/00996-2), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Proc. 430786/2018-2) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Código de Financiamento 001).

Também agradecem à FAPESP pelas bolsas de Iniciação Científica e de Mestrado (FAPESP Proc. 2018/26097-4 e 2018/16689-1), ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica (430786/2018-2) e à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SESu/MEC) pela bolsa do Programa de Educação Tutorial (PET).

Agradem, finalmente, ao XXXIX Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (ENEMP 2019), que permitiu a apresentação deste trabalho completo e a publicação do mesmo nos anais eletrônicos do evento, disponíveis em <<https://proceedings.science/enemp-2019>>.

REFERÊNCIAS

CASCIATORI, F. P. **Produção de celulases fúngicas por fermentação em estado sólido: ampliação de escala de biorreatores de leito fixo**. São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Tese (Doutorado), 2015.

CASCIATORI, F. P.; BÜCK, A.; THOMÉO, J. C.; TSOTSAS, E. Two-phase and two-dimensional model describing heat and water transfer during solid-state fermentation within a packed-bed bioreactor. **Chemical Engineering Journal**, v. 287, p. 103 – 116, 2016.

CASCIATORI, F. P.; LAURENTINO, C. L.; LOPES, K. C. M.; SOUZA, A. G.; THOMÉO, J. C. Stagnant effective thermal conductivity of agro-industrial residues for solid state fermentation. **International Journal of Food Properties**, v. 16, n. 7, p. 1578-1593, 2013.

CASCIATORI, F. P.; LAURENTINO, C. L.; TABOGA, S. R.; CASCIATORI, P. A.; THOMÉO, J. C. Structural properties of beds packed with agroindustrial solid by-products applicable for solid-state fermentation: Experimental data and effects on process performance. **Chemical Engineering Journal**, v. 255, p. 214-224, 2014.

CASCIATORI, F. P.; THOMÉO, J. C. Utilização de resíduos agro-industriais para a produção de enzimas por fermentação em estado sólido. In: FREIRE, F.B.; FREIRE, F.B.; FREIRE, J.T. **Tópicos em tratamento de resíduos e meio ambiente**. Saarbruecken: Novas Edições Acadêmicas, p. 99-128, 2015.

CASTRO, A. M. **Produção e propriedades de celulases de fungos filamentosos, obtidas a partir de celulignina de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro Dissertação (Mestrado), 2006.

DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. **Basic plant pathology methods**. Boca Raton: CRC Press, 1995.

GHOSE, T.K. Measurement of Cellulase Activities. **Pure and Applied Chemistry**, v. 59, p. 257–268, 1987.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, p. 426-428, 1959.

MITCHELL, D. A.; CUNHA, L. E. N.; MACHADO, A. V. L.; LUZ Jr., L. F. de L.; KRIEGER, N. A model based investigation of the potential advantages of multi-layer packed beds in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 48, p. 195-203, 2010.

MITCHELL, D.A.; KRIEGER, N.; BEROVIC, M. **Solid-state fermentation bioreactors: fundamentals, design and operation**. Berlim: Springer, 2006.

NAUMAN, E. B. **Chemical reactor design, optimization and scale-up**. Nova York: McGraw-Hill, 2002.

PANDEY, A. Solid-State Fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, p. 81-84, 2003.

PEREZ, C.L.; CASCIATORI, F.P.; THOMÉO, J. C. Strategies for scaling-up packed-bed bioreactors for solid-state fermentation: The case of cellulolytic enzymes production by a thermophilic fungus. **Chemical Engineering Journal**, v. 361, p. 1142-1151, 2019.

RICHARDSON, J.F.; HARKER, J.H.; BACKHURST, J.R. **Chemical Engineering Volume 2: Particle Technology and Separation Processes**. Oxford: Butter Worth Heinemann, 2002.

THOMÉO, J. C.; ROUILLER, C. O.; FREIRE, J. T. Experimental analysis of heat transfer in packed beds with air flow. **Industrial Engineering Chemical Research**, v. 43, p. 4140-4148, 2004.

WEN, D.; DING, Y. Heat transfer of gas flow through a packed bed. **Chemical Engineering Science**, v. 61, p. 3532-3542, 2006.

ZANELATO, A. I.; SHIOTA, V. M.; GOMES, E.; DA SILVA, R.; THOMÉO, J. C. Endoglucanase production with the newly isolated *Myceliophthora* sp. I1D3b in a packed bed solid state fermentor". **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 43, p. 1536-1544, 2012.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 174, 184, 185, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 195, 196, 212, 213, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 292, 293, 294, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303

Alginato de sódio 322, 323, 324, 325

Asfalto-borracha 209

Ativação química 14, 15, 19, 212, 214, 215, 223

Azul de metileno 1, 4, 12, 13, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 184, 185, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 215, 217, 218, 220, 221, 222, 223, 295, 299

B

Bagaço de uva 1, 3, 4, 6, 11, 12

Biodegradável 24, 25, 43, 44, 46, 49, 110, 114, 126, 198, 202, 203, 206, 236, 310, 315

Biomassa lignocelulósica 184, 186

Biorreator de leito empacotado 91, 101

Biossorção 24, 104, 110, 111, 186, 212, 223

Borracha de silicone 149, 151, 152, 153, 157, 158, 159, 160, 161

Borracha SBR 149, 153

C

Câncer 203, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313

Cápsulas de zeólita fertilizante 124

Caracterização térmica 90, 282

Carboximetilação 24, 25, 26, 28, 30

Chitosan 13, 24, 125, 134, 162, 163, 174, 175, 176, 195, 312, 313

Coacervação complexa 322

Comportamento reológico de emulsões 322, 329, 332

Compósito 41, 56, 64, 80, 81, 82, 83, 87, 90, 124, 129, 132, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 203, 260, 261, 272, 273

Corante 1, 4, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 21, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 217, 218, 221, 222, 223, 292, 295, 296, 298, 299, 300, 301, 302, 303

E

Economia circular 45, 247, 251, 254, 255, 256, 258, 260, 261, 263, 270, 274, 275

Efluente têxtil 104

Envelhecimento natural 135, 138, 143, 144, 145, 258, 262, 265, 266, 267, 268, 269, 274

Enzymatic Immobilization 163

Epóxi-PZT 80, 82

Eugenol 315, 316, 320, 321

Extração de enzimas 91

Extrusão 113, 115, 116, 118, 119, 261, 263, 272, 273

G

Geleificantes 236

H

Hidrofilicidade 56, 64

Hidrogéis 67, 68, 69

I

Insumo agrícola 67

L

Liberação controlada de medicamentos 198, 307, 309

Ligantes asfálticos 209

M

Montmorilonita 127, 315, 316

O

Óxido de grafeno 177, 178, 179, 182

P

Papain 162, 163, 175, 176

Partículas core-shell 224, 225

PEAD 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122

Pectina 214, 236, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 328

PEUAM 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Poliacrilatos 67, 73, 78

Poliisocianurato 277, 278

Polimerização em emulsão 224, 225, 228, 235
Poliol 43, 45, 46, 47, 49, 50, 279, 280, 281, 283, 287
Poliuretano 32, 33, 40, 41, 42, 45, 47, 48, 50, 51, 277
Prospecção de custo de produção 258

R

Resíduo agroindustrial 11, 14, 16, 21, 213
Resíduos 1, 3, 4, 12, 14, 15, 17, 21, 32, 33, 40, 41, 44, 52, 78, 93, 102, 106, 111, 113, 125, 134, 150, 151, 152, 153, 156, 157, 158, 159, 160, 184, 186, 187, 195, 212, 219, 223, 227, 240, 241, 246, 251, 256, 258, 259, 260, 261, 275, 321, 333
Retardante de chamas 33

S

Sílica mesoporosa 292, 293, 294, 295, 303
Sulfatação 24, 25, 26

U

Ultrassom 14, 16, 17, 19, 20, 21, 179, 180, 308, 324, 326, 332
Uso de Biopolímero 124

A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



www.arenaeditora.com.br



contato@arenaeditora.com.br



[@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)



www.facebook.com/arenaeditora.com.br