

GERAÇÃO DE CONHECIMENTO E TECNOLOGIA VOLTADOS À APLICAÇÃO EM PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

Érica de Melo Azevedo
(Organizadora)



GERAÇÃO DE CONHECIMENTO E TECNOLOGIA VOLTADOS À APLICAÇÃO EM PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

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

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

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

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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 Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
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. 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^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. 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
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. 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. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira 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. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

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

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

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

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

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

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

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

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

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

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

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

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Geração de conhecimento e tecnologia voltados à aplicação em processos químicos e bioquímicos

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G354 Geração de conhecimento e tecnologia voltados à aplicação em processos químicos e bioquímicos / Organizadora Érica de Melo Azevedo. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-566-2

DOI 10.22533/at.ed.662201811

1. Bioquímica. 2. Conhecimento. 3. Tecnologia. 4. Aplicação. 5. Processos Químicos e Bioquímicos. I. Azevedo, Érica de Melo (Organizadora). II. Título.

CDD 572

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos.

APRESENTAÇÃO

O livro “Geração de Conhecimento e Tecnologia voltados à Aplicação em Processos Químicos e Bioquímicos” apresenta artigos na área de pesquisa na área de Tecnologia, Ensino e desenvolvimento de processos Químicos e Bioquímicos. A obra contém 10 capítulos, que abordam temas sobre aproveitamento de resíduos agroindustriais, ensino de bioquímica, fermentação, produção de enzimas, projetos e dimensionamento de equipamentos para processos bioquímicos industriais, adsorção de corantes, preparo de membranas poliméricas, estudo de efeitos tóxicos de xenobióticos, e síntese de materiais cerâmicos nanoestruturados.

Os objetivos principais do presente livro são apresentar aos leitores diferentes aspectos das aplicações e pesquisas em tecnologia e processos químicos e bioquímicos de forma prática e contextualizada.

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 tecnologia química, processos e ensino desses temas.

Após esta apresentação, convido os leitores a apreciarem e consultarem, sempre que necessário, a obra “Geração de Conhecimento e Tecnologia voltados à Aplicação em Processos Químicos e Bioquímicos”. Desejo uma excelente leitura!

Érica de Melo Azevedo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE ENZIMAS CELULOLÍTICAS POR *STREPTOMYCES CAPOAMUS*

Thaís Santiago do Amaral
Lucas de Souza Falcão
Victória Carolina Siqueira Mena Barreto
Sergio Duvoisin Junior
Patrícia Melchionna Albuquerque
Rafael Lopes e Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.6622018111

CAPÍTULO 2..... 9

ESTUDO DA PRODUÇÃO DE POLIGALACTURONASE POR *ASPERGILLUS BRASILIENSIS* UTILIZANDO CASCA DE CUPUAÇU COMO SUBSTRATO

Lucas de Souza Falcão
Patrícia Melchionna Albuquerque

DOI 10.22533/at.ed.6622018112

CAPÍTULO 3..... 21

ATIVIDADE DE EXTENSÃO COMO FERRAMENTA DE ENSINO E APRENDIZAGEM EM BIOQUÍMICA II

Marcia Mourão Ramos Azevedo
Alexander Silva Aguiar
Walter Lucas Corrêa Santana
Idelvina Souza da Silva
Jessyca Kelly Ferreira de Sousa
Pedro Lucas das Neves de Oliveira
Manusia da Mota Rocha
Francinelza Socorro Nogueira dos Santos
Cecila Leal de Sousa
Jéssica Tayanne Ramos Azevedo
Candria Taina de Sena Duarte
Milena Dias Dorabiato
Maria Vicencia Penaforte Maia

DOI 10.22533/at.ed.6622018113

CAPÍTULO 4..... 32

ESTUDO DO EMPREGO DE PINHÃO PROVENIENTE DA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze) PARA PRODUÇÃO DE VODCA

Victor Erpen Broering
Darlan Nardi
Sabrina de Bona Sartor

DOI 10.22533/at.ed.6622018114

CAPÍTULO 5..... 40

PROJETO DE INDÚSTRIA CERVEJEIRA: DA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ECONÔMICO

AO DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS

Carolina Smaniotto Fronza
Dinalva Schein
Gabriela Aline Kroetz Bremm
Enrique Chaves Peres
Andréia Monique Lermen
Naiara Jacinta Clerici
Júlia Cristina Diel

DOI 10.22533/at.ed.6622018115

CAPÍTULO 6..... 52

BIORREATORES DE LEITO EMPACOTADO PARA FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO: UM PANORAMA ATUAL DO ESTADO DA ARTE

Natalia Alvarez Rodrigues
Danielle Otani Marques de Sá
Fernanda Perpétua Casciatori

DOI 10.22533/at.ed.6622018116

CAPÍTULO 7..... 65

ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO EM ARGILA ORGANOFÍLICA COMERCIAL

Ramiro Picoli Nippes
Tháisa Frossard Coslop
Fernando Henrique da Silva
Gabriela Nascimento da Silva
Paula Derksen Macruz
Patricia Lacchi da Silva
Mara Heloísa Neves Olsen Scaliante

DOI 10.22533/at.ed.6622018117

CAPÍTULO 8..... 78

PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS DE POLIAMIDA 11 PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE REÚSO

Rayanne Penha Wandenkolken Lima
Eloi Alves da Silva Filho
Camila Alves Schimidel

DOI 10.22533/at.ed.6622018118

CAPÍTULO 9..... 89

EFEITOS TÓXICOS DE XENOBIÓTICOS ORIUNDOS DE COSMÉTICOS

Sara Gabrielle Moreira Barroso
Manuela Ferreira de Pinho
Ríndhala Jadão Rocha Falcão
Daniel Rocha Pereira
Ronildson Lima Luz
Monique Santos do Carmo

DOI 10.22533/at.ed.6622018119

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 10..... | 100 |
| SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE PSEDOBOEMITA (PB) ESTRUTURADA COM NANOCARGA CONTENDO ÓXIDO DE GRAFENO (GO) | |
| Fábio Jesus Moreira de Almeida | |
| Antonio Hortencio Munhoz Jr | |
| Bruno Luís Soares de Lima | |
| Igor José Dester Ladeira | |
| Karina Laura Fernandes Cardoso | |
| Leila Figueiredo de Miranda | |
| Nei Carlos Oliveira Souza | |
| DOI 10.22533/at.ed.66220181110 | |
| SOBRE A ORGANIZADORA..... | 132 |
| ÍNDICE REMISSIVO..... | 133 |

BIORREATORES DE LEITO EMPACOTADO PARA FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO: UM PANORAMÁ ATUAL DO ESTADO DA ARTE

Data de aceite: 01/11/2020

Data de submissão: 05/08/2020

Natalia Alvarez Rodrigues

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP

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

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

Danielle Otani Marques de Sá

Departamento de Engenharia Química,
Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP

Fernanda Perpétua Casciatori

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP

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

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

RESUMO: A fermentação em estado sólido (FES), definida como bioprocesso de cultivo de microrganismos em meio sólido, permite o aproveitamento de diversos resíduos agroindustriais como substratos ou como matriz porosa. Nos últimos anos, tem-se observado aumento progressivo de estudos nessa área, o que se acredita estar atrelado ao atual contexto de desenvolvimento industrial alinhado à crescente preocupação ambiental, demonstrando o quão promissor pode ser esse tipo de bioprocessos. No entanto, um dos principais obstáculos para sua implementação industrial reside na falta

de equipamentos otimizados para aumento de escala. Diante disso, o presente capítulo reúne e apresenta, de forma consolidada, avanços recentes no desenvolvimento e na aplicação de biorreatores de leito empacotado (BLEs) para FES. Esse tipo de biorreator, que tem baixo custo de construção, operação e manutenção, adequa-se bem a este bioprocessos devido à ausência de movimentação das partículas, que poderia ser prejudicial ao desenvolvimento de fungos filamentosos, que são a principal classe de microrganismos cultivados em meio sólido. Assim, são apresentadas aqui várias estratégias desenvolvidas com o intuito de evitar ou contornar os principais problemas operacionais esperados neste tipo de biorreator, que são o sobreaquecimento do leito e a secagem do substrato, que podem prejudicar o rendimento e a produtividade do bioprocessos.

PALAVRAS-CHAVE: Estado sólido, biorreator, resíduo agrícola, bioprocessos.

PACKED-BED BIOREACTORS FOR SOLID-STATE FERMENTATION: AN OVERVIEW ON THE CURRENT STATE-OF-THE-ART

ABSTRACT: Solid state fermentation (SSF), defined as a kind of bioprocess of cultivating microorganisms in solid media, allows the use of several agro-industrial residues as substrates or as porous matrix. In recent years, there has been a progressive increase in studies in this area, which is believed to be linked to the current context of industrial development in line with the growing environmental concern, demonstrating how promising this type of bioprocess can be.

However, one of the main obstacles to its industrial implementation lies in the lack of equipment optimized for scaling up. Therefore, this chapter brings together and presents, in consolidated way, recent advances in development and application of packed bed bioreactors (PBBs) for SSF. This type of bioreactor, which has a low cost of construction, operation and maintenance, is well suited to this bioprocess due to the lack of movement of the particles, that could be harmful to the development of filamentous fungi, the main class of microorganisms grown in solid medium. Thus, there are presented here several strategies developed in order to avoid or circumvent the main operational problems expected in this type of bioreactor, which are overheating of the bed and substrate drying, that can harm yields and productivities of the bioprocess.

KEYWORDS: Solid-state, bioreactors, agricultural residue, bioprocess.

1 | FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO (FES)

Entende-se a fermentação em estado sólido (FES) como um bioprocesso no qual microrganismos se desenvolvem sobre um meio sólido sem a presença de água visível no sistema. A água encontra-se ligada à fase sólida, absorvida ou formando uma fina camada ou pequenas gotículas aderidas por tensão superficial sobre a superfície, havendo uma fase gasosa nos espaços entre partículas (PINTO et al., 2005), tal como ilustrado na Figura 1.

Considerando a definição clássica de substrato como a fonte de carbono requerida para o crescimento microbiano, o meio sólido pode atuar como sendo o próprio substrato, situação na qual o microrganismo se utiliza de fontes de carbono naturalmente contidas na matriz sólida, assim como também pode ser empregado apenas como matriz inerte. Neste último caso, a matriz deve ser impregnada com um líquido que supra essa necessidade de fonte de carbono, tais como soluções açucaradas, por exemplo, mas sem exceder a capacidade de retenção de líquido da matriz sólida (CASCIATORI, 2015).

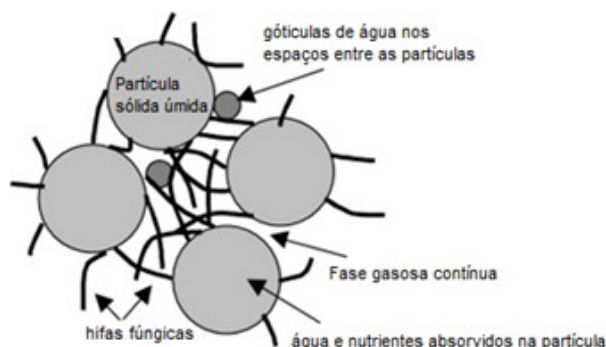


Figura 1 – Arranjo de partículas num sistema de FES.

Extraído e adaptado de Mitchell et al. (2006).

Dada a possibilidade de aproveitamento de diversos resíduos sólidos agroindustriais como matrizes ou como substratos para FES, este bioprocesso tem sido visto de forma promissora. Isso é evidenciado pelo aumento do número de patentes desenvolvidas nessa área nos últimos anos, como visto na Figura 2. Cabe mencionar que a maioria dessas patentes foi desenvolvida no âmbito da indústria de alimentos.

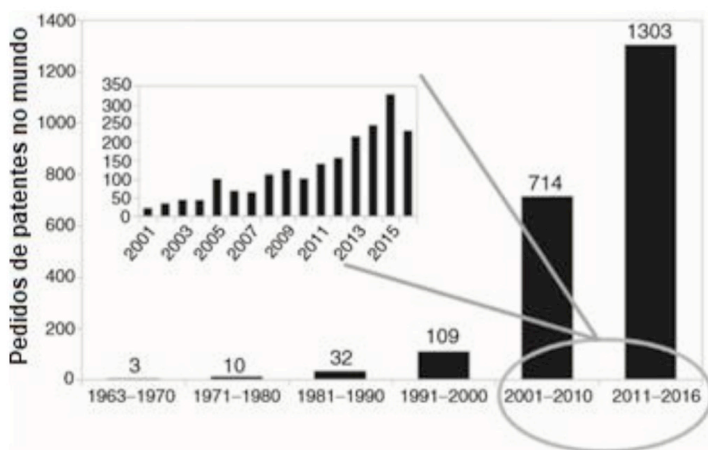


Figura 2 – Evolução do histórico de patentes desenvolvidas para FES.

Extraído e adaptado de Soccol et al. (2017).

O Oriente ainda lidera na quantidade de patentes, tendo como destaque a China, que já detinha 54% delas em 2017 (SOCCOL et al., 2017). Essa movimentação já era esperada e é extremamente importante para avanços nas tecnologias de aumento de escala de biorreatores de FES. O Brasil não aparece no ranking mundial dos países com maiores números de patentes, mas tem um crescimento considerável na área, com 173 patentes registradas em 2017, provavelmente como reflexo de seu enorme potencial agrícola.

2 | BIORREADORES PARA FES

Assim como para outros tipos de bioprocessos, o biorreator de FES tem como principais funções sustentar a estrutura do substrato, prover uma barreira contra a dispersão de microrganismos, proteger o sistema contra possíveis contaminações, além de proporcionar condições adequadas de temperatura e atividade da água para o desenvolvimento microbiano e síntese do bioproduto de interesse (MITCHELL et al., 2006). Assim, biorreatores de FES podem ser encamisados ou não, ou ainda podem ser dotados de outros sistemas de arrefecimento (uma vez que comumente há geração de calor em decorrência das atividades metabólicas dos microrganismos); também podem ser

misturados ou o material pode permanecer estático durante todo o bioprocessos; e ainda podem ou não ser dotados de sistemas de controle e monitoramento e de aeração forçada.

Dada a diversidade de características possíveis dos biorreatores para FES, Mitchell et al. (2006) propuseram a classificação desses equipamentos em quatro grandes grupos, a saber:

- Grupo 1: sem agitação e com aeração superficial ou no contorno do leito de partículas. Representado pelos biorreatores de bandeja ou similares.
- Grupo 2: sem agitação, mas com aeração forçada através do leito de partículas. São os biorreatores de leito empacotado.
- Grupo 3: com agitação contínua ou intermitente, sem aeração forçada através do leito de partículas. São os tambores rotativos e agitados.
- Grupo 4: com agitação contínua ou intermitente e com aeração forçada através do leito. Compreende biorreatores de leito fluidizado ou agitado.

A escolha da configuração mais adequada deve levar em consideração, por exemplo, o nível em que o microrganismo é afetado pela agitação, quão rápido ele se desenvolve, quão sensível ele é ao aumento de temperatura e, finalmente, quais são os requerimentos de aeração do sistema. Características do meio sólido como composição, forma e tamanho das partículas, resistência à deformação, possibilidade de aglomeração e porosidade do leito também são fatores importantes (SOCCOL et al., 2017).

2.1 Biorreatores de leito empacotado (BLEs) para FES

O biorreator de leito empacotado (BLE) tem sido o tipo mais comumente empregado para FES. Além de sua estrutura ser normalmente de menor custo, sua operação estática favorece o desenvolvimento de organismos sensíveis à agitação, como é o caso dos fungos filamentosos, que representam a classe de microrganismos que melhor se adapta aos bioprocessos de FES (SOCCOL et al., 2017). Além disso, a chance de contaminação nesse biorreator é muito baixa, dado que ele é fechado, e sua estrutura pode ser utilizada para o cultivo e a extração do produto final (SOCCOL et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2020).

Por outro lado, há dificuldades operacionais importantes relacionadas à utilização desse biorreator em maior escala. A principal delas é a formação de gradientes de temperatura, em decorrência do sobreaquecimento causado pela geração de calor metabólico ao longo do cultivo (CASCIATORI, 2015). Além disso, também podem se estabelecer gradientes de oxigênio e de umidade no leito (ZANELATO et al., 2012; CASCIATORI et al., 2016). Por isso, estudos recentes são aqui reunidos de forma a apresentar as diferentes estratégias de design e operação desenvolvidas com objetivo de contornar essas dificuldades.

No que diz respeito ao design dos BLEs para FES, de maneira geral, as variáveis que podem ser ajustadas nos estudos buscando otimizações são a dimensão e a inclinação do leito (tendo em vista evitar a compactação do substrato, o que dificultaria as transferências

de calor e de massa), a direção da aeração (que geralmente é feita na forma unidirecional a partir da base em direção ao topo do leito, favorecendo o surgimento de gradientes) e a presença de trocadores de calor, desde camisas ou jaquetas e bobinas resfriadoras até trocadores internos. Em relação aos parâmetros operacionais, são comumente ajustados taxa de aeração, temperatura e umidade relativa do ar percolante.

A Figura 3 apresenta um diagrama esquemático de um BLE tradicional. Observa-se uma configuração simples, na qual um leito de substrato, inoculado com microrganismo, é sustentado sobre uma base e percolado por ar.

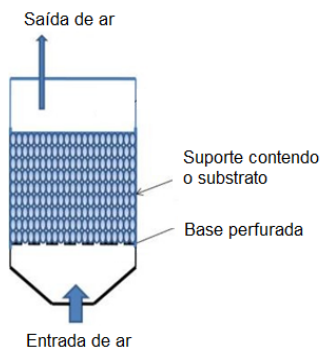


Figura 3 – Representação esquemática de um BLE tradicional.

Extraído e adaptado de Arora et al. (2018).

Nos países orientais, esse tipo de biorreator já é tradicionalmente usado para FES para a produção koji, precursor do molho de soja. O substrato utilizado no processo é o grão de soja ou outros cereais como trigo e arroz; o microrganismo cultivado é o *Aspergillus oryzae* ou outros fungos filamentosos do mesmo gênero (SOCCOL et al, 2017). Não há muita literatura sobre essa aplicação, mas sabe-se que a operação é robusta e não requer muitas técnicas de controle, permitindo produzir toneladas de koji.

2.2 Desenvolvimentos recentes de BLEs para FES

Um dos avanços de maior destaque é conhecido como biorreator Zymotis (MITCHELL et al., 2000), um BLE dotado de placas resfriadoras paralelas internas (Figura 4), alocadas próximas umas das outras, o que proporciona boa homogeneidade térmica no sistema.

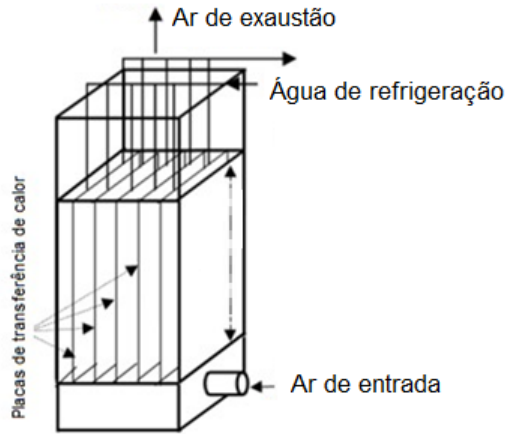


Figura 4 – Design básico de um BLE tipo Zymotis.

Extraído e adaptado de Mitchell et al. (2006).

Na mesma linha do Zymotis, duas outras configurações de BLE dotado de placas resfriadoras foram propostas. Estes biorreatores foram denominados Prophyta (LÜTH; EIBEN, 1999) e PlaFactor (SURYANARAYAN, 2003), que têm design e operação semelhantes. Em seu interior, são alocadas placas finas acopladas aos leitos, com orientação perpendicular ao fluxo de ar. As estruturas são representadas na Figura 5. Em cinza claro, representa-se o leito de substrato; em cinza escuro, as placas de transferência de calor; as linhas contínuas representam fluxo de fluido refrigerante e as pontilhadas de ar.

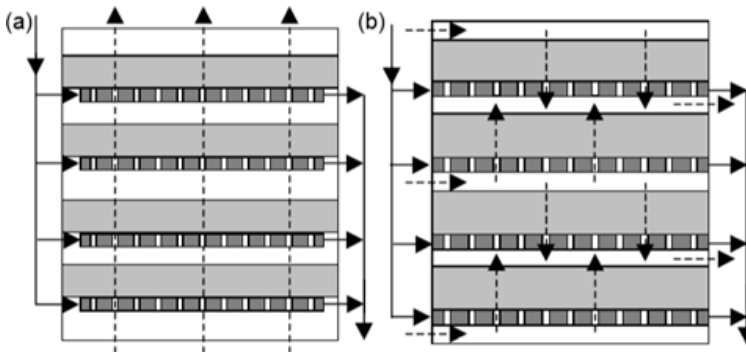


Figura 5 – Representação esquemática dos biorreatores (a) Prophyta e (b) PlaFactor.

Extraído e adaptado de Mitchell et al. (2006).

Como visto na Figura 5, no biorreator Prophyta, o ar passa direto e de forma perpendicular a cada placa e leite, enquanto no biorreator PlaFactor o ar é introduzido separadamente em cada estação. O PlaFactor é especialmente interessante por tratar-se de um design modular, que possibilita combinar todas as operações da fermentação numa única unidade, desde a esterilização até a extração (ARORA et al., 2018).

Além de mudanças na estrutura do biorreator, diversos estudos foram desenvolvidos para avaliar como os parâmetros do processo responderiam ao aumento de escala em diferentes condições experimentais. Um desses estudos foi conduzido por Mazutti et al. (2010a), tendo como estudo de caso a produção de inulinase. Os autores avaliaram a cinética de produção da enzima pelo fungo leveduriforme *Kluyveromyces marxianus*, de conhecida sensibilidade a tensões e agitação, em um BLE com capacidade para 3 kg de substrato. O estudo demonstrou a viabilidade de aplicação deste biorreator para a produção da enzima, mas reforçou a necessidade de desenvolver técnicas de remoção do calor gerado, dado que a temperatura na saída de ar chegou próximo a 50 °C na fase de maior taxa de reação, quando a temperatura ideal era de 30 °C.

Continuando seu trabalho, Mazutti et al. (2010b) avaliaram o efeito da temperatura e vazão de entrada do ar no BLE com capacidade para 2 kg de bagaço de cana seco. Observaram que o aumento na vazão volumétrica não contribuía de forma tão significativa na redução da temperatura do sistema, o que é justificado pela baixa capacidade calorífica do ar. Por outro lado, o resfriamento evaporativo teve forte efeito na remoção do calor gerado. Por isso, propuseram adotar a estratégia de injetar ar seco em determinados períodos do cultivo, tendo em vista otimizar o resfriamento evaporativo por meio de ajuste da vazão e da temperatura do ar de entrada. No entanto, salientaram que tal estratégia poderia provocar secagem do leite, se não fosse controlada.

Mais adiante, Astolfi et al. (2011) propuseram o modo de operação em batelada alimentada para produção de inulinase por FES em BLE em escala de laboratório e em escala piloto (34 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento). Na etapa laboratorial do experimento, os autores compararam as operações em batelada simples ou convencional e em batelada alimentada. Em batelada simples, alimentou-se 100% do substrato no início do processo. Em batelada alimentada, três estratégias foram avaliadas: adição de substrato em duas (50%), três (33%) e quatro (25%) etapas. Atividades enzimáticas até 15% maiores foram obtidas no regime de batelada alimentada. Na batelada simples, os autores observaram que a atividade enzimática começava baixa, aumentava até atingir o máximo após 24 h de cultivo, após o que começava a decrescer. Para os processos alimentados, a atividade começava em um nível maior e crescia acentuadamente a cada inserção de substrato, também atingindo o pico em 24 h, o que demonstrava esgotamento da fonte de carbono disponível.

Na escala piloto, Astolfi et al. (2011) testaram a adição de substrato em duas etapas (50%) e avaliaram diferentes condições do ar de entrada, variando sua temperatura e

umidade relativa para verificar o efeito na remoção de calor do sistema. A entrada de ar saturado (100% de umidade relativa) proporcionou maiores atividades enzimáticas, embora tenha levado a um maior aumento da temperatura interna no biorreator. Para entrada de ar abaixo da saturação, a temperatura no interior do reator permanecia menor do que a do ar de entrada, devido ao efeito de resfriamento evaporativo. No entanto, a evaporação leva a secagem do substrato, que parece ter sido mais prejudicial ao metabolismo do microrganismo do que o sobreaquecimento.

Mais recentemente, Pitol et al. (2016) estudaram o aumento de escala na produção de pectinase com *Aspergillus niger* a partir de um experimento de 12 g para um biorreator de 30 kg de massa seca de substrato (mistura de farelo de trigo e bagaço de cana). Uma importante constatação do experimento foi o efeito da compactação na formação de gradientes de temperatura. Quando houve compactação, a temperatura atingiu 47°C; evitando compactação, a temperatura não ultrapassou 32°C. Os autores concluíram, dada alta atividade enzimática obtida, que a ampliação de escala do processo poderia ser bem sucedida por meio de aumento da largura do leito e otimização da velocidade superficial de ar no sistema.

Nesse sentido, Biz et al. (2016) centraram seu estudo na composição do substrato. Os autores propuseram uma mistura de 51,6% de polpa cítrica e 48,4% de bagaço de cana, cuja estrutura fibrosa é capaz de conferir ao meio melhores propriedades mecânicas, evitando a formação de canais ou caminhos preferenciais de passagem de ar, que poderiam acarretar em gradientes de calor no biorreator. Nos projetos pilotos trabalhados, houve um bom controle de temperatura do leito, tal como se esperava ser proporcionado pela adequada estrutura e porosidade do leito de substrato, que não sofreu aglomeração nem compactação. Concluiu-se novamente que o processo pode ser aumentado de escala, mantendo uma altura baixa e aumentando-se a largura do leito, desde que ajustada a velocidade superficial do ar. O resultado foi interessante por possibilitar a aplicação do processo em uma biorrefinaria de resíduos cítricos para a obtenção de produtos químicos de interesse comercial.

Finkler et al. (2017) também estudaram meios para evitar a formação de aglomerações de substrato no leito empacotado. Foram propostos três regimes de agitação intermitente: uma agitação após 10 h desde o início do cultivo; três eventos de agitação, após 8, 10 e 12 h; e cinco agitações, a cada 2 h, a partir de 8 h desde o início do cultivo. O diagrama esquemático do equipamento é apresentado na Figura 6, onde a entrada de ar se dá em (1) e este percola o leito de substrato que fica sustentado pela placa perfurada. Termopares foram alocados nas posições (2), (3), (4) e (5). Os autores reportaram uniformidade de atividade enzimática no leito, permitindo concluir que a estratégia de realizar agitações intermitentes é promissora para homogeneizar a temperatura e a concentração do produto de interesse no biorreator.

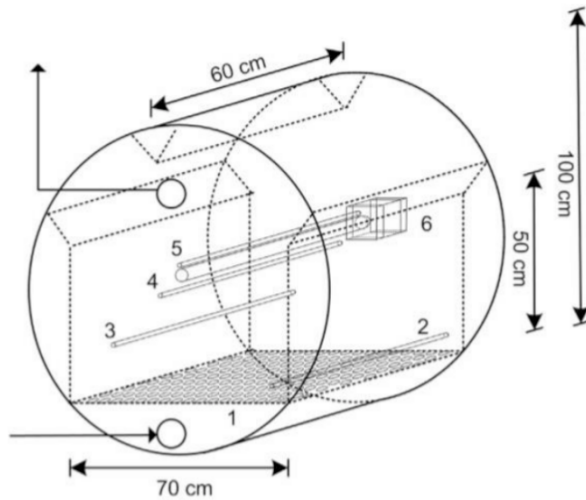


Figura 6 – Diagrama esquemático de BLE adaptado para agitação intermitente.

Extraído e adaptado de Finkler et al. (2017).

Shojaosadati e Babaeipour (2002) foram pioneiros em empregar um BLE multicamadas para produção de ácido cítrico por FES, tendo bagaço de maçã como substrato. Os autores propuseram o projeto de um leito fracionado em várias camadas, a fim de otimizar a relação entre as variáveis do processo, chegando à conclusão de que a taxa de aeração e o tamanho das partículas eram as mais influentes delas. Melhores resultados foram obtidos com baixa taxa de aeração, indicando que esta deve ser suficiente para suprimento de oxigênio, sem comprometer o desenvolvimento do fungo. Maiores tamanhos de partícula se mostraram favoráveis, uma vez que partículas pequenas são mais suscetíveis à compactação, podendo comprometer a difusão do ar.

Mitchell et al. (2010) propuseram um estudo baseado em simulação para avaliar o potencial do design de BLEs multicamadas para FES, aplicando um modelo matemático desenvolvido para tanques em série (SAHIR et al., 2007). Esse trabalho denota como modelos compostos por balanços de massa e de energia e por expressões cinéticas do bioprocessamento podem ser muito úteis como ferramentas para prever o desempenho de biorreatores em escala ampliada, reduzindo o número de experimentos necessários e aumentando a chance de sucesso nos ensaios em maior escala. Foram simuladas duas configurações de operação, representadas na Figura 7: (a) com movimentação das camadas de forma cíclica; (b) remoção de camadas inferiores cultivadas e adição de novas camadas no topo do leito. As predições indicaram que a movimentação contínua das camadas (Fig. 7b) seria capaz de reduzir o sobreaquecimento do sistema, em relação à operação tradicional.

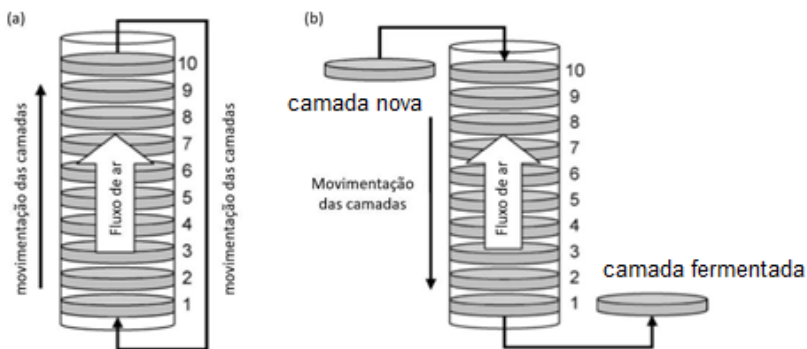


Figura 7 – Modos de operação de BLE multicamadas simulados por Mitchell et al. (2010):
 (a) movimentação cíclica das camadas; (b) modo semicontínuo.

Extraído e adaptado de Mitchell et al. (2010).

Essa nova estratégia de operação do BLE em modo semicontínuo, além de proporcionar maior homogeneidade térmica e evitar gradientes de umidade, por operar de forma similar a um reator *plug flow*, permite o estabelecimento do estado estacionário ou regime permanente numa dada posição da coluna. Deste modo, todo o material fermentado que é retirado do sistema apresenta qualidade uniforme, já que todas as camadas do leito foram submetidas às mesmas condições. No entanto, a aplicação experimental dessa estratégia de operação só foi realizada anos mais tarde, como se verá adiante.

Casciotori (2015) combinou modelagem e simulação a experimentação, em seus estudos de produção de celulase em BLE. A autora propôs um modelo de duas fases para transferência de calor e umidade em um BLE em batelada, empregando propriedades físicas, térmicas e cinéticas específicas para seu bioprocessamento (CASCIATORI et al., 2016). Os fungos *Myceliophthora thermophila* I-1D3b e *Trichoderma reesei* QM9414 foram cultivados em mistura de bagaço de cana e farelo de trigo. Resultados experimentais e preditos por simulação confirmaram que o processo era viável e que a remoção de calor pela parede era efetiva em leitos estreitos. Sendo assim, o aumento de escala através do aumento do comprimento, mantendo diâmetro de 3 polegadas, não causou sobreaquecimento do sistema. Já para leitos com 20 cm de diâmetro, variações radiais significativas de temperatura foram observadas, indicando a necessidade de aprimoramento de estratégias de projeto e operação.

Perez et al. (2019) também combinaram experimentos a simulação para BLEs. Foram empregados dois modelos da literatura: o modelo de duas fases bidimensional de Casciotori et al. (2016) e o número de Damköhler modificado, proposto por Mitchell et al. (2009). Ambos os modelos auxiliaram na predição de valores máximos de altura de leito, considerando a temperatura e diferentes fluxos de entrada de ar, visando uma produção

enzimática satisfatória. O modelo bidimensional proporcionou estimativas mais realistas de temperatura que o modelo baseado em Damköhler modificado.

Oliveira et al. (2020), inspirados pela proposta de Mitchell et al. (2010), conduziram experimentos de FES em BLE operado em modo semicontínuo. A análise térmica do sistema demonstrou maior estabilidade de temperatura em determinada posição axial do leito quando operado em regime semicontínuo, em comparação à batelada convencional. A repetição cíclica do perfil temporal de temperaturas indicou alcance do regime estacionário no sistema, fazendo com que cada módulo pudesse ser considerado como uma unidade individual, deslocando-se ao longo da coluna de forma intermitente. Vantagens adicionais foram a redução do tempo morto do sistema e a distribuição das etapas de downstream por mais longo período, o que foi particularmente interessante ao sistema de extração de enzimas desenvolvido pelos mesmos autores, que consistia em fazer percolação de líquido através do módulo contendo o material fermentado.

Finalmente, Cerda et al. (2016) realizaram um trabalho experimental de produção de amilase empregando resíduos de soja como substrato para cultivo do fungo *Thermomyces* sp. em BLEs operados em batelada em série, a fim de estabelecer um processo de longo termo. Os resultados foram promissores, sobretudo devido ao emprego da estratégia de inoculação em série, onde o fermentado de um biorreator era utilizado no seguinte, garantindo facilidades também na etapa de preparação de inóculo. Com essa configuração, atingiu-se 500% de aumento da produtividade do sistema, aliando vantagens econômicas e operacionais, tornando cada vez mais plausível a utilização desse tipo de biorreator em larga escala.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Bioprocessos de FES têm sido cada vez mais estudados como forma de agregar valor a uma vasta gama de resíduos agroindustriais, abundantes e de baixo custo. Conseqüentemente, estudos de ampliação de escala e otimização desse bioprocessos também vêm aumentando em número e diversidade.

Essa revisão, ao ter elencado desenvolvimentos e aplicações recentes de biorreatores de leito empacotado para FES, demonstrou avanços frente aos principais problemas operacionais inerentes a essa classe de equipamentos. Configurações com placas resfriadoras, de arranjo em série, de multicamadas e operação em batelada alimentada mostraram-se estratégias promissoras para aumento de escala. Espera-se, assim, que este capítulo possa servir como referencial do estado da arte para projetos e abordagens futuras.

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, respectivamente).

REFERÊNCIAS

ARORA, S.; RANI, R.; GHOSH, S. Bioreactors in solid state fermentation technology: Design, applications and engineering aspects. **Journal of Biotechnology**, v. 269, p. 16-34, 2018.

ASTOLFI, V.; JORIS, J.; VERLINDO, R.; OLIVEIRA, J. V.; MAUGERI, F.; MAZUTTI M. A.; OLIVEIRA, D.; TREICHEL, H. Operation of a fixed-bed bioreactor in batch and fed-batch modes for production of inulinase by solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 58, p. 39-49, 2011.

BIZ, A.; FINKLER, A. T. J.; PITOL, L. O.; MEDINA, B. S.; KRIEGER, N.; MITCHELL, D. A. Production of pectinases by solid-state fermentation of a mixture of citrus waste and sugarcane bagasse in a pilot-scale packed-bed bioreactor. **Biochemical Engineering Journal**, v. 111, p. 54-62, 2016.

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. 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.

CERDA, A.; EL-BAKRY, M.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. Long term enhanced solid-state fermentation: Inoculation strategies for amylase production from soy and bread wastes by *Thermomyces* sp. in a sequential batch operation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, p. 2394 – 2401, 2016.

FINKLER, A. T. J.; BIZ, A.; PITOL, L. O.; MEDINA, B. S.; LUITHARDT, H.; LUZ JR, L. F. de L.; KRIEGER, N.; MITCHELL, D. A. Intermittent agitation contributes to uniformity across the bed during pectinase production by *Aspergillus niger* grown in solid state fermentation in a pilot-scale packed-bed bioreactor. **Biochemical Engineering Journal**, v. 121, p. 1-12, 2017.

LÜTH, P.; EIBEN, U. Solid-state-fermenter und verfahren zur solid-state-fermentation. Deutsches Patent und Markenamt, Offenlegungsschrift DE 199 20 020 A1. 1999.

MAZUTTI, M. A.; ZABOT, G.; BONI, G.; SKOVRONSKI, A.; OLIVEIRA, D. de; DI LUCCIO, M.; RODRIGUES, M. I.; TREICHEL, H.; MAUGERI, F. Kinetics of inulinase production by solid-state fermentation in a packed-bed bioreactor. **Food Chemistry**, V. 120, p. 163-173, 2010a.

MAZUTTI, M. A.; ZABOT, G.; BONI, G.; SKOVRONSKI, A.; OLIVEIRA, D. de; DI LUCCIO, M.; RODRIGUES, M. I.; TREICHEL, H.; MAUGERI, F. Optimization of inulinase production by solid-state fermentation in a packed-bed bioreactor. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 85, p. 109-114, 2010b.

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.

MITCHELL, D. A.; KRIEGER, N.; STUART, D. M.; PANDEY, A. New developments in solid-state fermentation II. Rational approaches to the design, operation and scale-up of bioreactors. **Process Biochemistry**, v. 35, p. 1211-1225, 2000.

MITCHELL, D. A.; PANDEY, A.; SANGSURASAK, P.; KRIEGER, N. Scale-up strategies for packed-bed bioreactors for solid-state fermentation. **Process Biochemistry**, v. 35, p. 167-178, 1999.

OLIVEIRA, S. P. de; RODRIGUES, N. A.; CASCIATORI-FRASSATTO, P. A.; CASCIATORI, F. P. Solid-liquid extraction of cellulases from fungal solid-state cultivation in a packed bed bioreactor. **Korean Journal of Chemical Engineering**, 2020. Aceito para publicação.

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.

PINTO, G. A. S.; BRITO, E. S. de; ANDRADE, A. M. R.; FRAGA, S. L. P.; TEIXEIRA, R. B. Fermentação em Estado Sólido: uma alternativa para o aproveitamento e valorização de resíduos agroindustriais tropicais. Comunicado Técnico 102 online, Fortaleza: EMBRAPA, 2005.

PITOL, L. O.; BIZ, A.; MALLMANN, E.; KRIEGER, N.; MITCHELL, D. A. Production of pectinases by solid-state fermentation in a pilot-scale packed-bed. **Chemical Engineering Journal**, v. 283, p. 1009-1018, 2016.

SAHIR, A. H.; KUMAR, S.; KUMAR, S. Modelling of a packed bed solid-state fermentation bioreactor using the N-tanks in series approach. **Biochemical Engineering Journal**, v. 35, p. 20-28, 2007.

SHOJAOSADATI, S. A.; BABAEIPOUR, V. Citric acid production from apple pomace in multi-layer packed bed solid-state bioreactor. **Process Biochemistry**, v. 37, p. 909-914, 2002.

SOCCOL, C. R.; COSTA, E. S. F. da; LETTI, L. A. J.; KARP, S. G.; WOICIECHOWSKI, A. L.; VANDENBERGHE, L. P. de S. Recent developments and innovations in solid state fermentation. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 1, p. 52-71, 2017.

SURYANARAYAN S. Current industrial practice in solid state fermentations for secondary metabolite production: the Biocon India experience. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, p. 189-195, 2003.

ZANELATO, A. I.; SHIOTA, V. M.; GOMES, E.; DA SILVA, R.; THOMÉO, J. C. Endoglucanase production with the newly isolated *Myceliophthora* sp. 11D3b in a packed bed solid state fermentor". **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 43, p. 1536-1544, 2012.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Actinobactéria 1, 3, 4, 5, 6

Adsorção 65, 66, 67, 68, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 101, 123

Amido 32, 34, 35, 36

Araucaria Angustifolia 32, 34, 38

Argila Organofílica 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 76

Azul de Metileno 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 75, 76

B

Bagaço de Malte 1, 3, 4, 5, 42

Bioprocesso 7, 9, 10, 11, 19, 52, 53, 54, 55, 60, 61, 62

Biorreator de Leito Empacotado 55

C

Cascas de Cupuaçu 9, 11

Celulases 1, 3, 6, 7, 8, 63

Cerâmica 76

Cervejaria 41, 50

Conhecimento 2, 22, 23, 26, 28, 29, 81

Corante 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 75, 76

Cosméticos 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96

Cristalização 78, 84, 85, 100, 105

D

Dimensionamento de Equipamentos 40, 41, 43, 44, 49, 50

E

Ensino e Aprendizagem 21, 22, 23

Experiência 22, 26, 28, 29, 30, 31

F

Fermentação 7, 35, 48, 49, 64

Fermentação em Estado Sólido 2, 7, 52, 53, 63, 64

M

Membranas Poliméricas 78, 80

Metodologias 22, 23, 27, 80, 81

Morfologia 78, 81, 82, 83, 84

N

Nanomateriais 101

O

Óxido de Grafeno 100, 101, 102, 103, 104, 106, 113, 114, 115, 130

P

Parâmetros Termodinâmicos 65, 74, 75, 82, 83

Pectinases 9, 11, 12, 63, 64

Pinhão 32, 34, 35, 36, 37, 38

Processo sol-gel 100

Projeto de Indústria 40, 41

Pseudoemita 100, 101, 102, 104, 109, 112, 125, 127, 129

R

Resíduo Agrícola 52

Resíduo de Abacaxi 1, 6

Resíduos Agroindustriais 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 52, 62, 64

Retorno sobre investimento 40, 43, 45, 50

Revisão de Literatura 22, 24, 91


Riscos 89, 92, 94, 96

V

Vodca 32, 34, 36, 37

X

Xenobióticos 89, 90, 91, 93, 96, 99





www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

GERAÇÃO DE CONHECIMENTO E TECNOLOGIA VOLTADOS À APLICAÇÃO EM PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

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

GERAÇÃO DE CONHECIMENTO E TECNOLOGIA VOLTADOS À APLICAÇÃO EM PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS