

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química 2

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

 **Atena**
Editora
Ano 2020

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química 2

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

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

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

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

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

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

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

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

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

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

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

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

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

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice

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

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

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

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

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

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

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

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

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

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

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

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

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

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

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.
 Modo de acesso: World Wide Web.
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-51-5
 DOI 10.22533/at.ed.515202403

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

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

Jéssica Verger Nardeli

SUMÁRIO

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

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

DOI 10.22533/at.ed.5152024036

CAPÍTULO 7 73

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

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

DOI 10.22533/at.ed.5152024037

CAPÍTULO 8 85

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

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

DOI 10.22533/at.ed.5152024038

CAPÍTULO 9 100

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

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

DOI 10.22533/at.ed.5152024039

CAPÍTULO 10 116

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

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240310

CAPÍTULO 11 123

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

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240311

CAPÍTULO 12 130

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

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240312

CAPÍTULO 13 140

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

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240313

CAPÍTULO 14 152

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

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240314

CAPÍTULO 15 159

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

Layze Maria da Silva e Silva

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240315

CAPÍTULO 16 164

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

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240316

CAPÍTULO 17 173

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

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240317

CAPÍTULO 18 181

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

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240318

CAPÍTULO 19 192

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

DE REAMOSTRAGEM POR IMPORTÂNCIA

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

DOI 10.22533/at.ed.51520240319

CAPÍTULO 20 205

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

Samuel Conceição de Oliveira
Angel Gustavo Tolaba

DOI 10.22533/at.ed.51520240320

CAPÍTULO 21 218

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

Samuel Conceição de Oliveira
Arnaldo Sarti

DOI 10.22533/at.ed.51520240321

SOBRE A ORGANIZADORA..... 228

ÍNDICE REMISSIVO 229

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

Data de aceite: 16/03/2020

Samuel Conceição de Oliveira

<http://lattes.cnpq.br/2041303049625571>

UNESP – Universidade Estadual Paulista, FCF –
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, PPG-EBB
– Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Biomateriais e Bioprocessos
Araraquara – SP

Angel Gustavo Tolaba

<http://lattes.cnpq.br/6754400954468158>

UNSa – Universidad Nacional de Salta, Facultad
de Ciencias Exactas,
PPG-EBB – Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos
Araraquara – SP

RESUMO: Neste trabalho, aplicou-se o Princípio do Máximo de Pontryagin para resolver o problema de valor no contorno associado à otimização de um bioprocessamento em batelada não isotérmico de produção de penicilina, o qual foi representado por um modelo matemático fenomenológico, compreendendo as dinâmicas de crescimento celular e formação de produto. Em uma primeira resolução do problema, devido aos parâmetros cinéticos serem dependentes da temperatura, a variável concentração celular exibiu um comportamento incoerente em relação ao pressuposto do modelo de crescimento logístico para a biomassa fúngica,

apresentando uma fase de declínio no período final do bioprocessamento. Esta inconsistência do modelo foi corrigida impondo-se uma fase estacionária à dinâmica de crescimento celular. Assim, foi possível determinar corretamente o perfil ótimo de temperatura que maximiza a concentração de penicilina ao final do bioprocessamento.

PALAVRAS-CHAVE: otimização, Princípio do Máximo de Pontryagin, modelo matemático, bioprocessamento em batelada, produção de penicilina

DETERMINATION OF THE OPTIMUM TEMPERATURE PROFILE FOR A BATCH PENICILLIN PRODUCTION BIOPROCESS REPRESENTED BY A MATHEMATICAL MODEL

ABSTRACT: In this work, the Pontryagin's Maximum Principle was applied to solve the boundary value problem associated with the optimization of a nonisothermal batch penicillin production bioprocess, which was represented by a phenomenological mathematical model, comprising both the cell growth and product formation dynamics. In a first resolution of the problem, due to the kinetic parameters being dependent on the temperature, the cell concentration variable exhibited an incoherent behavior regarding the model assumption of

logistic growth for the fungal biomass, presenting a decline phase at the final period of the bioprocess. This model inconsistency was corrected by imposing a stationary phase on the cell growth dynamics. Thus, it was possible to correctly determine the optimal profile of temperature that maximizes the penicillin concentration at the end of the bioprocess.

KEYWORDS: optimization, Pontryagin's Maximum Principle, mathematical model, batch bioprocess, penicillin production

1 | INTRODUÇÃO

Durante os bioprocessos em batelada, as variáveis de estado mudam significativamente, dos valores iniciais até os valores finais. Esse comportamento dinâmico incentivou o desenvolvimento de métodos de otimização para determinar os perfis temporais ótimos das variáveis de controle visando aumentar a produtividade dos bioprocessos (OLIVEIRA, 2018).

A busca pelos perfis ótimos de pH, temperatura e taxa de alimentação em fermentações antibióticas em batelada e batelada alimentada é um problema típico de otimização e operações evolutivas para as quais o uso de modelos cinéticos e técnicas matemáticas poderosas é essencial para sua solução (OLIVEIRA, 2018).

Várias abordagens baseadas em modelos matemáticos e cálculo variacional têm sido reportadas na literatura para a determinação de perfis temporais ótimos para variáveis de controle de bioprocessos. O problema de otimização é geralmente formulado com base no Princípio do Máximo de Pontryagin em conjunto com um modelo matemático representativo do bioprocessos, geralmente fenomenológico (OLIVEIRA, 2018). Para modelos matemáticos simples, o problema pode ser resolvido analiticamente, a partir do Hamiltoniano do sistema, aplicando um esquema iterativo na variável de controle para determinar o perfil de controle ótimo (OLIVEIRA, 2018).

Sabe-se que a temperatura e o pH exercem forte influência sobre o conjunto da atividade microbiana, existindo intervalos estreitos de valores destas variáveis para os quais a atividade celular é máxima. Em bioprocessos de produção de antibióticos, as condições de temperatura e pH que favorecem a produção de bioproducto são diferentes daquelas favoráveis ao crescimento celular. Assim, a implementação de perfis temporais ótimos de temperatura e pH durante a produção em batelada de antibióticos pode resultar em significativos acréscimos na produtividade do bioprocessos (OLIVEIRA, 2018).

Neste trabalho, um estudo de caso sobre a otimização de uma variável de controle em um bioprocessos batelada de produção de antibiótico é revisitado e resultados adicionais são obtidos e apresentados. O caso revisitado é aquele reportado por Constantinides e Mostouffi (1999) sobre a determinação do perfil ótimo de temperatura para um bioprocessos em batelada de produção de penicilina.

2 | MÉTODOS

2.1 Modelo Matemático

O modelo matemático utilizado neste trabalho para representar o bioprocessamento é aquele apresentado por Constantinides e Mostoufi (1999) para o crescimento de *Penicillium chrysogenum*, um microrganismo produtor de penicilina. Este modelo é baseado na lei logística, sendo a limitação do crescimento microbiano não descrita explicitamente em função da dinâmica de variação da concentração do substrato limitante, mas sim, implicitamente pela introdução do termo $(1-X/X_m)$ na equação da taxa de crescimento (r_x), a qual diminui ao longo do tempo e se torna nula quando X atinge o valor máximo X_m , condição em que o crescimento celular é encerrado. A produção de penicilina é também modelada, ao considerar que a cinética de formação de antibiótico é dada pela equação de Luedeking e Piret ($r_p = ar_x + \beta X$), com $a=0$ e $\beta \neq 0$ ($\beta > 0$), uma vez que o antibiótico é um metabólito secundário produzido majoritariamente após a fase de crescimento (BAILLEY; OLLIS, 1986; SINCLAIR; KRISTIANSEN, 1987). Considera-se também o fato comumente observado em fermentações penicilínicas de que o produto é degradado por hidrólise a uma taxa proporcional à sua própria concentração, sendo este processo descrito por uma cinética de primeira ordem. Como a dinâmica de variação da concentração de O_2 dissolvido não é descrita no modelo, admite-se que o processo não é limitado por oxigênio. Da mesma forma, condições isotérmicas são implicitamente assumidas, uma vez que a temperatura também não é modelada. O modelo completo, constituído por duas equações diferenciais ordinárias correspondentes aos balanços de massa de células e de produto em um biorreator batelada, é dado a seguir:

$$\frac{dX}{dt} = r_X = \mu_m X \left(1 - \frac{X}{X_m} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dP}{dt} = r_P - r_h = \beta X - k_h P \quad (2)$$

onde t é o tempo, X é a concentração celular (% ms, ms = massa seca), P é a concentração de antibiótico ($U\ mL^{-1}$), r_x é a taxa de crescimento celular (% ms h^{-1}), r_p é a taxa de produção de antibiótico ($U\ mL^{-1}\ h^{-1}$), r_h é a taxa de hidrólise do produto ($U\ mL^{-1}\ h^{-1}$) e μ_m , X_m , β e k_h são os parâmetros do modelo, os quais possuem os seguintes significados: μ_m é a velocidade específica máxima de crescimento (h^{-1}), X_m é a máxima concentração celular possível de ser atingida (% ms), β é a constante de formação de produto não associada ao crescimento ($U\ mL^{-1}\ h^{-1}\ \%\ ms^{-1}$) e k_h é a constante cinética da reação de hidrólise do antibiótico (h^{-1}).

As variáveis do modelo foram então adimensionalizadas e expressões

complementares, descrevendo os parâmetros cinéticos (b_i) em função da temperatura (θ), foram incorporadas ao modelo com o objetivo de ampliar a faixa de validade para condições não isotérmicas. Na versão adimensionalizada do modelo, a hidrólise do antibiótico foi desconsiderada, sendo essa versão representada pelas seguintes equações:

$$\frac{d y_1}{d \tau} = b_1 y_1 - \frac{b_1}{b_2} y_1^2 \quad (3)$$

$$\frac{d y_2}{d \tau} = b_3 y_1 \quad (4)$$

onde:

$$b_1 = w_1 \left[\frac{1.0 - w_2 (\theta - w_3)^2}{1.0 - w_2 (25 - w_3)^2} \right]; b_2 = w_4 \left[\frac{1.0 - w_2 (\theta - w_3)^2}{1.0 - w_2 (25 - w_3)^2} \right]; b_3 = w_5 \left[\frac{1.0 - w_2 (\theta - w_6)^2}{1.0 - w_2 (25 - w_6)^2} \right] \quad (5)$$

$$w_1 = 13.1; w_2 = 0.005; w_3 = 30 \text{ }^\circ\text{C}; w_4 = 0.94; w_5 = 1.71; w_6 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6)$$

2.2 Determinação do Perfil Ótimo de Temperatura em um Bioprocesso Batelada de Produção de Penicilina

Para este estudo de caso, o processo de produção de penicilina foi representado pelo modelo matemático proposto por Constantinides e Mostoufi (1999) em sua versão adimensionalizada, com parâmetros cinéticos (b_i) dados em função da temperatura (θ), conforme as Equações (3) a (6).

As equações de balanço de massa de células e produto do modelo adimensionalizado podem ser escritas na seguinte forma matricial:

$$\frac{d \underline{X}}{dt} = \underline{f}(\underline{X}) \quad (7)$$

Na Equação (7):

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}; \underline{f}(\underline{X}) = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 y_1 - \frac{b_1}{b_2} y_1^2 \\ b_3 y_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

O Hamiltoniano (H) para esse sistema é dado por (CONSTANTINIDES;

MOSTOUFI,1999):

$$H = \underline{\lambda}^T \underline{f}(\underline{X}) \quad (9)$$

onde:

$$\underline{\lambda}^T = [\lambda_1 \quad \lambda_2] \quad (10)$$

Assim:

$$H = [\lambda_1 \quad \lambda_2] \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} = \lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2 = \lambda_1 \left(b_1 y_1 - \frac{b_1}{b_2} y_1^2 \right) + \lambda_2 (b_3 y_1) \quad (11)$$

As taxas de variação temporal das variáveis adjuntas λ_1 e λ_2 são dadas por:

$$\frac{d\underline{\lambda}}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial \underline{X}} \Rightarrow \frac{d}{d\tau} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda_1 b_1 + 2 \frac{b_1}{b_2} y_1 - \lambda_2 b_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

A partir da Equação (12), as seguintes equações podem ser obtidas:

$$\frac{d\lambda_1}{d\tau} = -b_1 \lambda_1 + 2 \frac{b_1}{b_2} y_1 \lambda_1 - b_3 \lambda_2 \quad (13)$$

$$\frac{d\lambda_2}{d\tau} = 0 \quad (14)$$

A condição necessária para a otimização do bioprocesso é dada por:

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = 0 \Rightarrow \frac{\partial H}{\partial \theta} = \lambda_1 \left(y_1 \left(\frac{\partial b_1}{\partial \theta} \right) - y_1^2 \frac{\partial (b_1/b_2)}{\partial \theta} \right) + \lambda_2 \left(y_1 \frac{\partial b_3}{\partial \theta} \right) = 0 \quad (15)$$

A partir das expressões dos b_i em função da temperatura, obtém-se:

$$\frac{\partial b_1}{\partial \theta} = - \left[\frac{2w_1 w_2 (\theta - w_3)}{1.0 - w_2 (25 - w_3)^2} \right]; \quad \frac{\partial (b_1/b_2)}{\partial \theta} = 0; \quad \frac{\partial b_3}{\partial \theta} = - \left[\frac{2w_5 w_2 (\theta - w_6)}{1.0 - w_2 (25 - w_6)^2} \right] \quad (16)$$

Substituindo os resultados anteriores na expressão de $\partial H/\partial \theta=0$, obtém-se a expressão do perfil ótimo de temperatura θ :

$$\theta = \left[\frac{2\lambda_1 y_1 w_1 w_2 w_3}{1.0 - w_2 (25 - w_3)^2} + \frac{2\lambda_2 y_1 w_5 w_2 w_6}{1.0 - w_2 (25 - w_6)^2} \right] / \left[\frac{2\lambda_1 y_1 w_1 w_2}{1.0 - w_2 (25 - w_3)^2} + \frac{2y_1 w_5 w_2}{1.0 - w_2 (25 - w_6)^2} \right] \quad (17)$$

Quando o objetivo é maximizar a concentração de antibiótico ao final do bioprocessamento é necessário que $\lambda_1(1) = 0$ e $\lambda_2(1) = 1.0$. Sendo $d\lambda_2/dt = 0$, a segunda condição impõe que λ_2 seja constante e igual a 1,0 em todo o domínio do tempo, isto é, $\lambda_2 = 1.0$ para $0 \leq \tau \leq 1$.

Assim, o algoritmo para a resolução do problema consistiu dos seguintes passos:

- 1) Atribuição de um valor inicial para $\lambda_1(0)$;
- 2) Integração do sistema de EDOs desde $\tau = 0$ até $\tau = 1$ e verificação se $\lambda_1(1) = 0$. Caso não, atribuição de novo valor a $\lambda_1(0)$ até a condição final ser satisfeita.

Para tornar o algoritmo computacional autônomo para a determinação de $\lambda_1(0)$, acoplou-se o método de Newton-Raphson (Constantinides e Mostoufi, 1999) ao método de integração, resolvendo-se a seguinte equação algébrica não linear:

$$f(\lambda_1(0)) = [\lambda_1(1)]_{\text{calculado}} - \underbrace{[\lambda_1(1)]_{\text{especificado}}}_0 = 0 \Rightarrow f(\lambda_1(0)) = [\lambda_1(1)]_{\text{calculado}} = 0 \quad (18)$$

Para o cálculo das derivadas necessárias no método de Newton-Raphson, utilizou-se a fórmula de diferenças finitas à frente. Para a integração numérica das EDOs, utilizou-se o método de Runge-Kutta-Gill de 4ª ordem de passo variável (RAMIREZ, 1989; BEQUETTE, 1998; CONSTANTINIDES; MOSTOUFI, 1999).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O algoritmo proposto foi implementado em linguagem de programação FORTRAN e os perfis das variáveis de estado (y_1 , y_2 e θ) e da variável adjunta λ_1 estão apresentados nas Figuras 1 a 4, respectivamente. Tais perfis estão em estrita concordância com aqueles obtidos por Constantinides e Mostoufi (1999) ao utilizarem o método da colocação ortogonal para resolução do problema de valor no contorno aqui analisado.

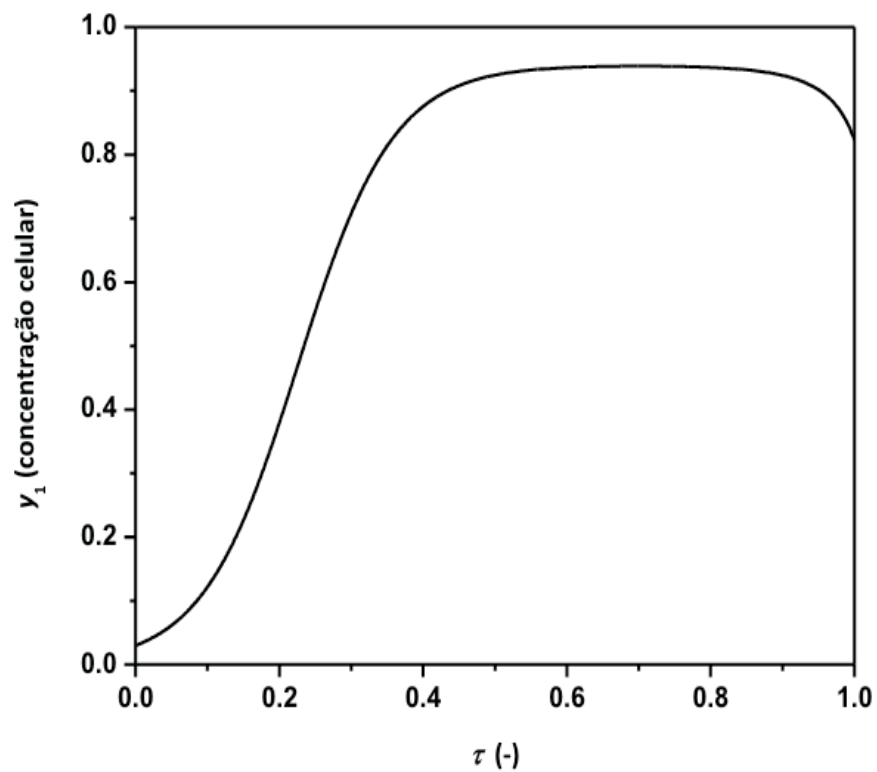


Figura 1 - Perfil de concentração adimensional de células durante uma fermentação penicilínica não isotérmica

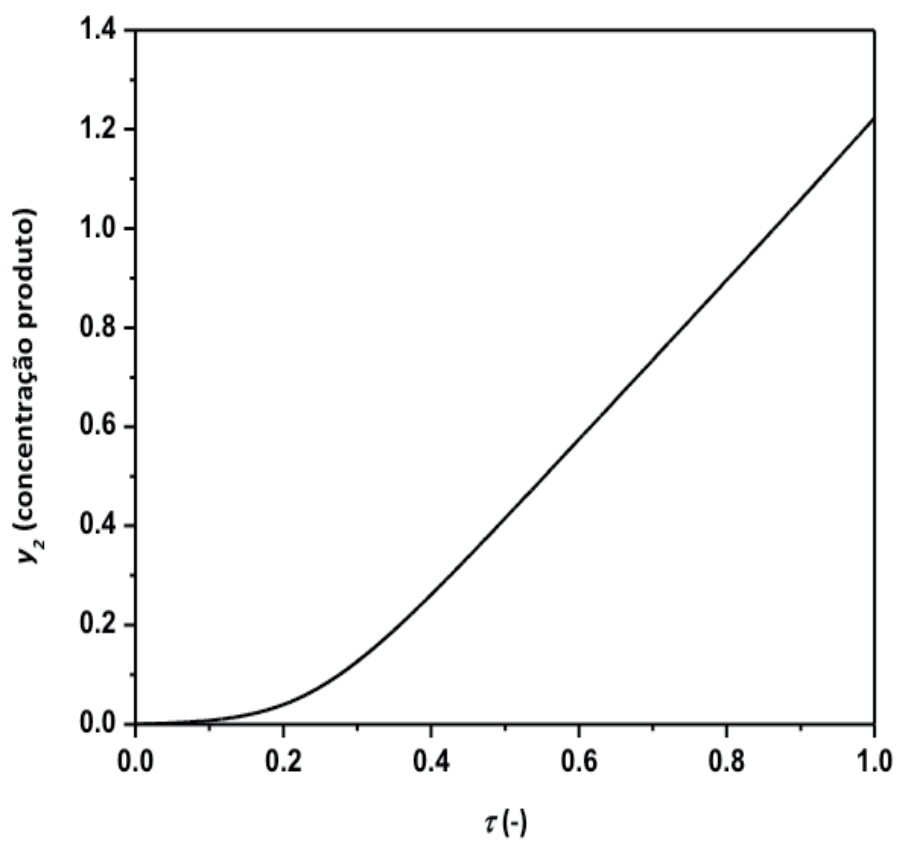


Figura 2: Perfil de concentração adimensional de produto durante uma fermentação penicilínica não isotérmica

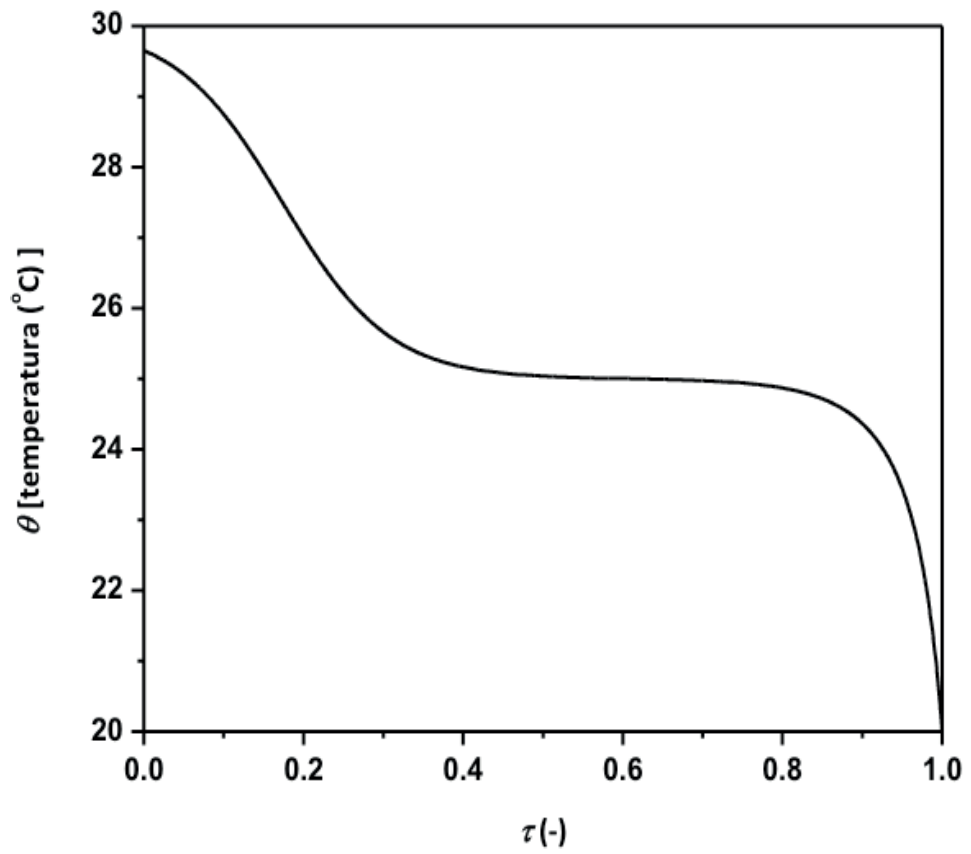


Figura 3 - Perfil de temperatura ótimo durante uma fermentação penicilínica não isotérmica

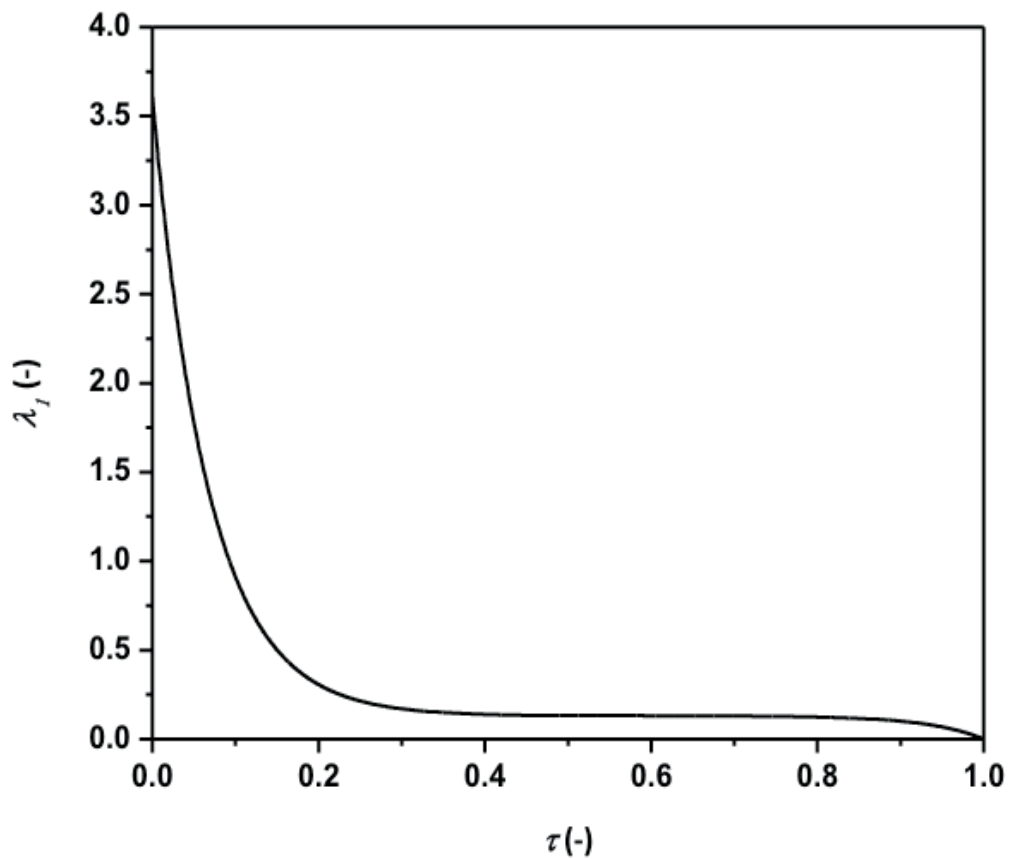


Figura 4 - Perfil da variável adjunta λ_1 durante uma fermentação penicilínica não isotérmica

Analisando-se a Figura 1, observa-se um comportamento anômalo da curva de crescimento microbiano que é o declínio da concentração de células no período final do bioprocessamento, assemelhando-se a um processo de morte celular, não considerado no modelo matemático. A explicação para esse comportamento é que o valor de b_2 representa a máxima concentração celular que pode ser atingida em um tempo infinito, à temperatura constante. Quando se controla o valor de b_2 com a equação $b_2=b_2(\theta)$, sob temperatura variável, poderá existir um ponto no domínio temporal no qual b_2 possa se tornar menor que a concentração celular (y_1) nesse instante, resultando em $dy_1/dt < 0$ e conseqüente declínio da concentração celular (y_1). Este comportamento matemático não é incoerente com eventos reais que podem ocorrer durante o bioprocessamento tais como morte ou autólise celular, os quais provocam decréscimo na concentração de células. Analisando-se o arquivo de dados que gerou a Figura 1, verifica-se que tal declínio inicia-se no instante $\tau = 0.7$.

Se o declínio na concentração celular não for permitido durante a solução do problema, então a restrição $y_1 - b_2 \leq 0$ deve ser incluída na formulação do modelo matemático visando torná-lo coerente com a curva logística postulada para o crescimento fúngico.

Quando a restrição é alcançada em um dado ponto da curva de crescimento, a concentração celular atinge seu valor máximo, devendo a partir deste ponto manter-se constante neste valor e não assumir valores inferiores a este sob pena de ocorrer um declínio na concentração celular em instantes posteriores do bioprocessamento, tal como observado na Figura 1. Durante esta fase estacionária, a equação de estado referente à concentração celular (y_1) torna-se:

$$\frac{dy_1}{dt} = 0 \quad (19)$$

Em decorrência da Equação (19), tem-se que $f_1=0$. Assim, o Hamiltoniano do sistema (H) e a equação de estado para a variável adjunta λ_1 reduzem-se às Equações (20) e (21), respectivamente.

$$H = \lambda_2 b_3 y_1 \quad (20)$$

$$\frac{d\lambda_1}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \lambda_1} = -\lambda_2 b_3 \quad (21)$$

A condição necessária para a otimização do bioprocessamento fica então dada por:

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = \lambda_2 y_1 \frac{\partial b_3}{\partial \theta} = 0 \quad (22)$$

Substituindo-se na Equação (22) a expressão de $\partial b_3/\partial \theta$, obtém-se:

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = \lambda_2 y_1 \left[-\frac{2w_5 w_2 (\theta - w_6)}{(1 - w_2 (25 - w_6)^2)} \right] = 0 \quad (23)$$

Decorre da Equação (23) que o perfil ótimo de temperatura durante a fase estacionária de crescimento será dado por:

$$\theta = w_6 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \quad (24)$$

Do ponto de vista computacional, haverá então dois conjuntos de equações, um válido para o período em que o modelo não está restrito e o outro válido para o período em que ele está, iniciando-se esse segundo período quando a restrição é atingida. Nas Figuras 5 a 8 estão apresentados os perfis temporais referentes à resolução do problema de valor no contorno incorporando a restrição sobre a concentração celular.

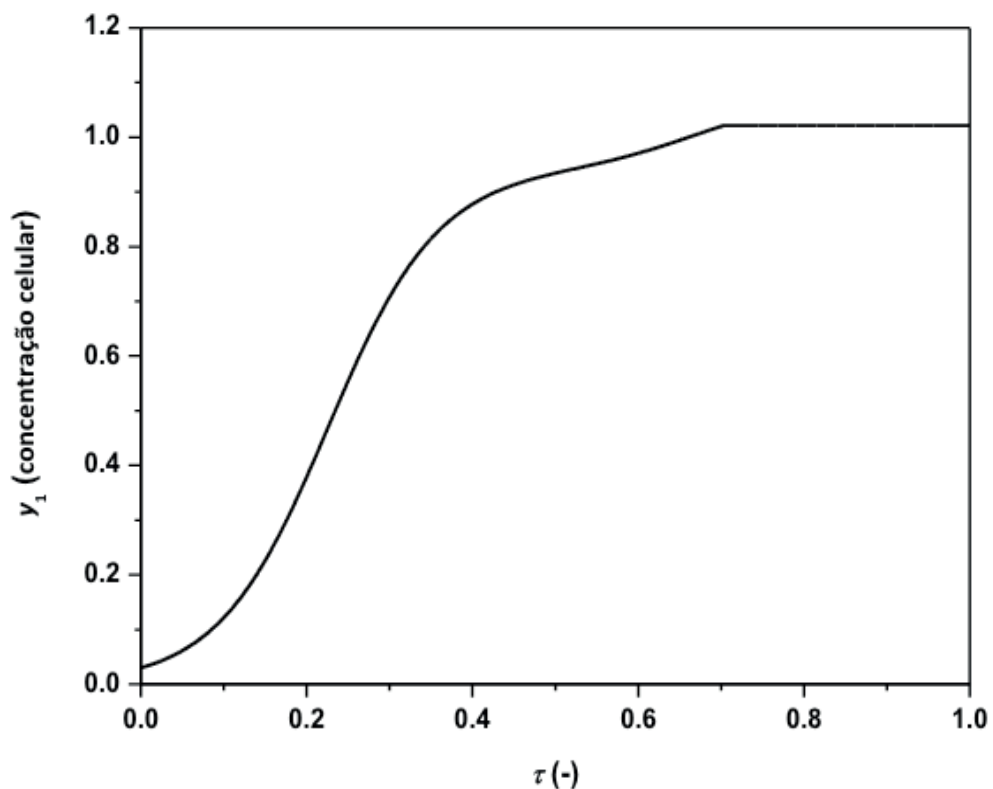


Figura 5 - Perfil de concentração adimensional de células durante uma fermentação penicilínica não isotérmica – modelo incorporando restrição sobre a concentração celular

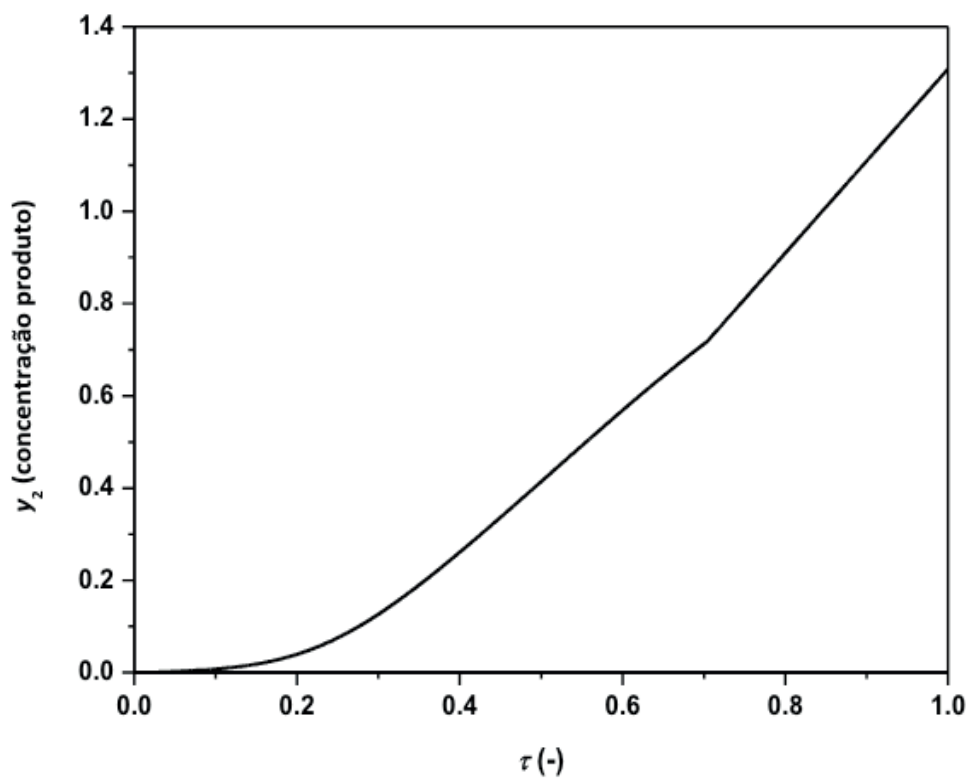


Figura 6 - Perfil de concentração adimensional de produto durante uma fermentação penicilínica não isotérmica – modelo incorporando restrição sobre a concentração celular

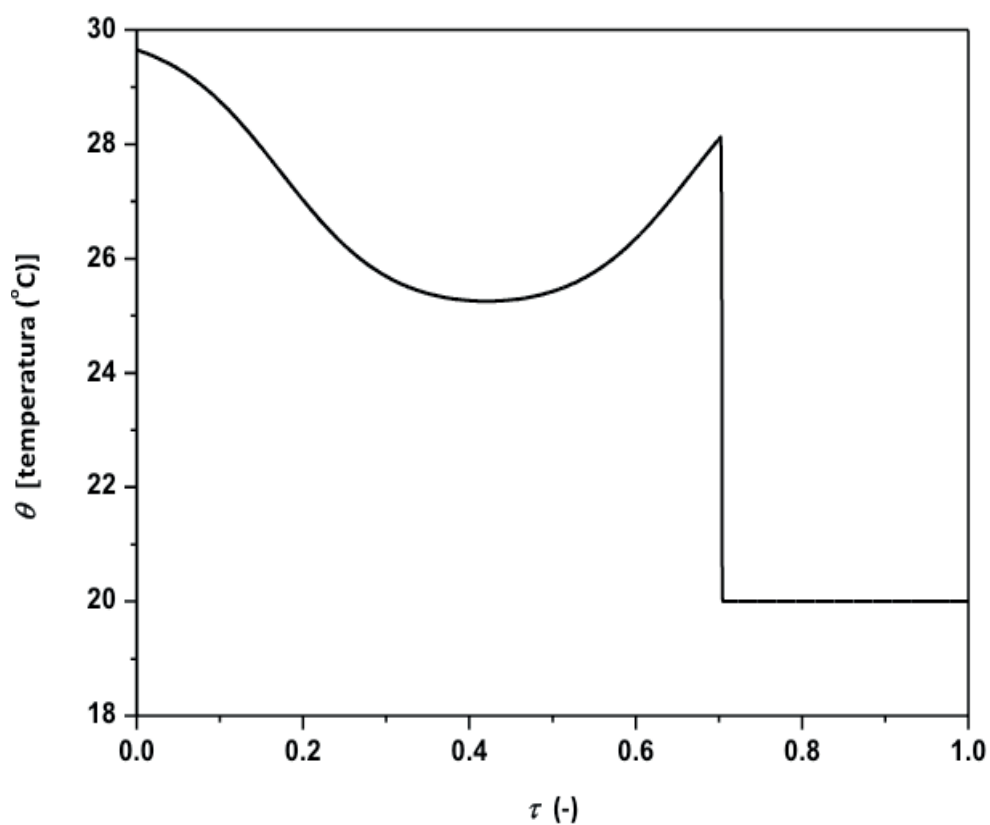


Figura 7 - Perfil de temperatura durante uma fermentação penicilínica não isotérmica – modelo incorporando restrição sobre a concentração celular

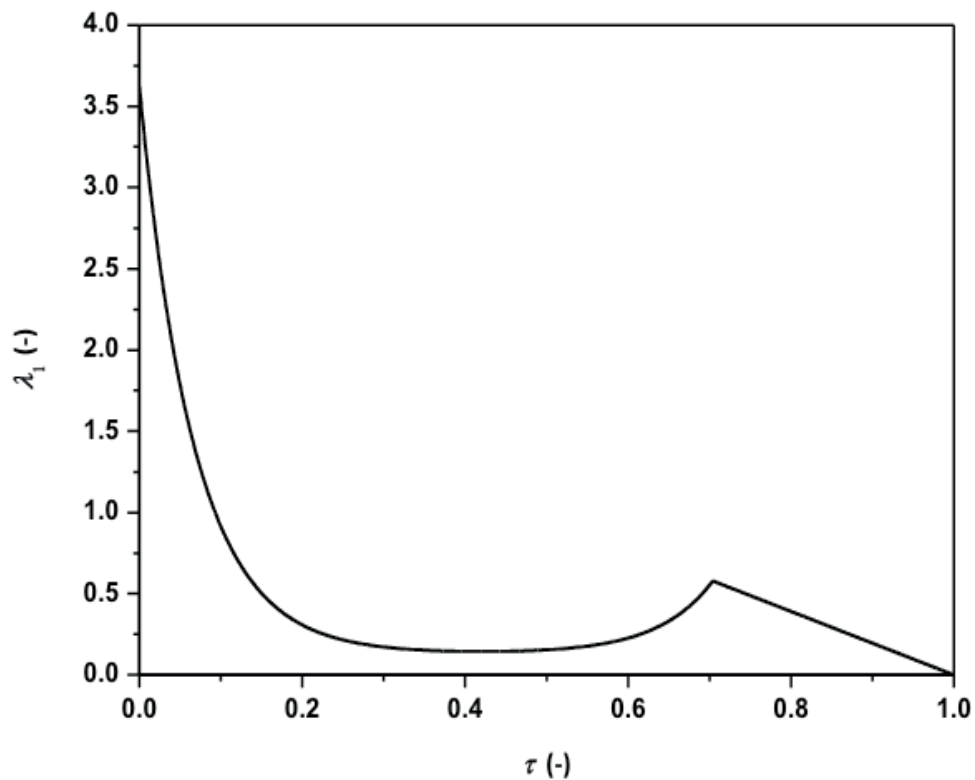


Figura 8 - Perfil da variável adjunta λ_1 durante uma fermentação penicilínica não isotérmica – modelo incorporando restrição sobre a concentração celular

Analisando-se a Figura 5, observa-se que a incorporação da restrição ao conjunto de equações resolveu o problema anteriormente detectado de declínio da concentração celular Figura 1, gerando uma nova curva de crescimento que é coerente com aquela preconizada pelo modelo matemático.

Com relação ao perfil de concentração de produto (Figura 6), este apresentou comportamento similar ao obtido anteriormente (Figura 2) com a diferença de que a partir do instante no qual a restrição é alcançada, em torno de $\tau = 0.7$, a concentração de produto aumenta linearmente com o tempo até o final do bioprocessamento em $\tau = 1.0$.

Quanto ao perfil ótimo de temperatura (Figura 7), observa-se a ocorrência de dois períodos distintos. Um primeiro período no qual a temperatura se mantém relativamente alta para favorecer o crescimento celular em detrimento da produção de antibiótico, estendendo-se este período até a restrição de crescimento nulo ser alcançada em $\tau = 0.7$, quando então a temperatura ótima sofre um degrau negativo, decrescendo abruptamente a 20 °C e dando início ao segundo período no qual a temperatura é mantida constante neste valor relativamente baixo de 20 °C até o final do processo para favorecer a biossíntese do antibiótico.

Analisando-se a Figura 8, verifica-se que ao final do bioprocessamento ($\tau=1.0$), a condição de contorno imposta à variável adjunta λ_1 é cumprida, isto é, $\lambda_1(1)=0$.

4 | CONCLUSÃO

Neste estudo, demonstrou-se a utilidade do Princípio do Máximo de Pontryagin para a otimização de bioprocessos complexos de produção de antibióticos tais como aqueles conduzidos em modo batelada sob condições não isotérmicas.

A partir da aplicação deste princípio foi possível determinar, utilizando-se métodos numéricos simples tais como os de Runge-Kutta-Gill e de Newton-Raphson, o perfil ótimo de temperatura em cultivos em batelada que maximiza a concentração de antibiótico ao final do processo.

O Princípio do Máximo de Pontryagin mostrou ser uma poderosa e adequada ferramenta para a otimização e o controle de bioprocessos visando à máxima produtividade de bioprodutos. Entretanto, para a aplicação deste princípio é necessário dispor de um modelo matemático, preferencialmente fenomenológico e representativo do bioprocessos, que permita avaliar a factibilidade da solução encontrada para o problema. No presente trabalho, um modelo fenomenológico clássico de um bioprocessos de produção de penicilina foi utilizado, juntamente com o Princípio do Máximo de Pontryagin, para determinar o perfil ótimo de temperatura a ser executado durante a produção em batelada desse antibiótico e a solução encontrada é considerada factível, podendo ser implementada na prática industrial sem grandes dificuldades.

REFERÊNCIAS

BAILEY, J.E.; OLLIS D.F. **Biochemical Engineering Fundamentals**. 2 ed. New York: McGraw- Hill, 1986.

BEQUETTE, B. W. **Process dynamics: modeling, analysis, and simulation**. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1998.

CONSTANTINIDES, A.; MOSTOUFI, N., 1999. **Numerical methods for chemical engineers with MATLAB applications**. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR.

OLIVEIRA, S. C. Model-based evolutionary operation design for batch and fed-batch antibiotic production bioprocess. In: **Statistical Approaches With Emphasis on Design of Experiments Applied to Chemical Processes**. INTECH. 2018.

RAMIREZ, W. F. **Computational methods for process simulation**. Stoneham: Butterworth Publishers, 1989.

SINCLAIR, C.G.; KRISTIANSEN, B. **Fermentation Kinetics and Modelling**. New York: Open University Press, 1987. (Biotechnology series)

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

B

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

C

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

E

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

F

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

G

Gaseificação do carvão 26, 32

H

Hidrólise de matérias graxas 44, 45, 46, 56

I

Imobilização de lipase 12, 21, 23

J

Jogos didáticos 130, 131, 133, 134, 138

L

Larvicidal activity 181, 183, 186, 187, 190

Lixiviação 1, 2, 3, 5, 6

Lixiviação assistida por energia solar 5, 6

M

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

Modelo de balanço populacional 62, 63, 73, 83

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

O

Óleo de Baru 1, 6, 9, 10

Oxidação do tolueno 116, 121

P

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

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

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

Q

Quiz educativo 159, 160, 161, 162

R

Reação de dupla troca 123, 125

Reamostragem por importância 192

Resíduo agroindustrial 12, 14

Resíduo agroindustrial do café 12

S

Simulador de processos 116, 117

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

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

Sustentabilidade 1, 114

T

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

Taxa de crescimento por coagulação 66

U

Unidade experimental de extração sólido-líquido 4

V

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

 **Atena**
Editora

2 0 2 0