



Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química 3

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
134	Impactos das tecnologias na engenharia química 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-231-9 DOI 10.22533/at.ed.319190104 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

2019

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O acentuado crescimento da população mundial, bem como a ânsia de melhor nível de vida, têm criado elevadas pressões sobre os recursos naturais, matérias-primas, o solo, a água, o ar e os ecossistemas em geral. A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas tem gerado um acelerado aumento na produção de resíduos sólidos urbanos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas.

A indústria química tem contribuído para a geração de efluentes líquidos e gasosos contendo substâncias tóxicas, bem como de resíduos sólidos perigosos que, lançados diretamente ou indiretamente sem qualquer tratamento no meio ambiente, podem provocar grandes desequilíbrios ecológicos. O uso intensivo de produtos químicos, se por um lado trouxe elevados benefícios aos padrões de vida, por outro lado, os níveis de poluição que estão associados à sua produção são por vezes muito elevados.

As novas tecnologias na Engenharia Química auxiliam nos processos de recuperação e reutilização de resíduos, assim como conversão em novas fontes de energia. Além das diversas formas de obtenção de energia renovável já existente, cada vez mais vem surgindo uma maior procura por outras formas de energia não poluentes. Essas razões são as mais motivacionais: a ideia de uma possível escassez de recursos fósseis, a tentativa de reduzir as emissões de gases nocivos para a atmosfera e que causam o efeito estufa, e, além disso, almeja se alcançar certa independência em relação petróleo.

As questões energéticas são extremamente importantes para a sustentabilidade das sociedades modernas, uma vez que a sobrevivência humana depende do fornecimento contínuo de energia. Esse cenário faz com que seja preciso realizar buscas por alternativas energéticas que sustentem a necessidade humana e que não prejudiquem o ambiente.

Para empresas, além da questão ambiental, um excessivo gasto de energia (advinda de recursos não renováveis) é sinônimo de prejuízo. Eis então uma grande oportunidade para engenheiros químicos intervirem na melhoria da eficiência energética dos processos, ajudar a desenvolver tecnologias limpas e promover a utilização de energias alternativas nas indústrias. Com isso, ocorrerá uma redução de custos e será uma contribuição válida ao meio ambiente o que hoje em dia vem gerando maior competitividade para as empresas. O uso de resíduos agrícolas como fonte de bioenergia tem despertado crescente interesse no setor de agroenergia.

Neste terceiro volume, apresentamos trabalhos com impactos tecnológicos relacionados à indústria, focando na reutilização de produtos e conversão em energia renovável, bem como avanço nos processos para redução da poluição atmosférica e em efluentes. Com isso, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos da Engenharia Química voltada para a área ambiental trazendo benefícios para toda a sociedade.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira Pedro Henrique Trindade Dias Cabral Roberta Resende Maciel da Silva Carla Torres Dias José Renato Guimarães Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901041	
CAPÍTULO 2	8
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO COMO MATÉRIA PRIMA DO ETANOL 2G: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS	
Caroline Müller Letícia Mara Milani Anderson Giehl Évelyn Taize Barrilli Letícia Deoti Ana Carolina Lucaroni Viviani Tadioto Helen Treichel Sérgio Luiz Alves Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3191901042	
CAPÍTULO 3	23
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM BIORREATOR EM BATELADA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS POR ALGORITMO GENÉTICO	
Júlia do Nascimento Pereira Nogueira Ana Luiza Bandeira de Mello de Albuquerque Campos Brunno Ferreira dos Santos Filipe Alves Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3191901043	
CAPÍTULO 4	29
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DO FUNGO ENTOMOPATOGÊNICO <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> POR PROCESSOS DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	
Eloane Daize Gomes Dallastra Enylson Xavier Ramalho Lina María Grajales Agudelo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901044	
CAPÍTULO 5	40
DESENVOLVIMENTO DE UM COSMÉTICO A PARTIR DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL	
Ana Paula Olivo Kátya Regina de Freitas Zara Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901045	

CAPÍTULO 6	51
INFLUÊNCIA DA GORDURA RESIDUAL DE UNIDADES INDUSTRIAIS DE AVES NA FABRICAÇÃO DE BASE PARA CREME HIDRATANTE	
Jacqueline Hahn Bernardi Cristina Helena Bruno Andreia Cristina Furtado Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901046	
CAPÍTULO 7	58
ANÁLISE DA COMPRESSÃO AXIAL E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CONCRETO PRODUZIDO COM CAROÇO RESIDUAL DE AZEITONA	
Manoela Silva Lima Mariotini Carotta Alan Carlos de Almeida Ana Paula de Carvalho Faria Luiz Felipe Lima Panizzi Jonas dos Santos Pacheco Cristiane de Souza Siqueira Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901047	
CAPÍTULO 8	63
INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO NA FIBRA DE COCO PARA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO	
Wenderson Gomes dos Santos Gilmar Alves Borges Lauro Henrique Hamoy Guerreiro Dilson Nazareno Pereira Cardoso Douglas Alberto Rocha de Castro Emerson Cardoso Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.3191901048	
CAPÍTULO 9	68
INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS ORGANOSOLV E HIDROTÉRMICO APLICADOS AO BAGAÇO DE CANA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM PEAD	
Bruno Chaboli Gambarato Tatiana Raposo de Paiva Cury Sérgio Teodoro de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901049	
CAPÍTULO 10	74
PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA	
Bruno Chaboli Gambarato Gilson Carlos Rodrigues Paulino Amanda Santos Leopoldino Lucas Bruno de Paiva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010410	

CAPÍTULO 11 79

BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA INTEGRADO DE BIO-COMBUSTÃO

Ihana Aguiar Severo
Yuri Naidon Favero
Mariany Costa Deprá
Rodrigo Stefanello Bizello Barrios
Rosangela Rodrigues Dias
Mariane Bittencourt Fagundes
Roger Wager
Leila Queiroz Zepka
Eduardo Jacob-Lopes

DOI 10.22533/at.ed.31919010411

CAPÍTULO 12 85

CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA PARA BIOENERGIA

Maria Lúcia Ferreira Simeone
Patrícia Abraão de Oliveira
Kirley Marques Canuto
Rafael Augusto da Costa Parrella
Cynthia Maria Borges Damasceno
Robert Eugene Schaffert

DOI 10.22533/at.ed.31919010412

CAPÍTULO 13 90

DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTOR E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO

Flávia Souza Pio
Letícia Tamara Santana
Lorena Kelly Corrêia
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010413

CAPÍTULO 14 97

RESOLUÇÃO DE PROBLEMA DE VALOR NO CONTORNO ASSOCIADO À MODELAGEM DE BIORREATORES TUBULARES DE FLUXO DISPERSO E CINÉTICA DE MICHAELIS-MENTEN LINEARIZADA

Samuel Conceição Oliveira
Felipe Coelho Morilla

DOI 10.22533/at.ed.31919010414

CAPÍTULO 15 104

SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CICLOS A VAPOR PARA COGERAÇÃO DE BIOENERGIA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

Welban Ricardo Ursino
Samuel Conceição Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.31919010415

CAPÍTULO 16 114

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS DE SOJA COM DIFERENTES ORIGENS NA PRODUÇÃO DO BODIESEL VIA ROTA METÁLICA

Melissa Rafaela Wolf
Isabela Silveira Tobias Perassi
Nadine de Assis
Fulvy Antonella Venturi Pereira

DOI 10.22533/at.ed.31919010416

CAPÍTULO 17 123

PRODUÇÃO DE BODIESEL PELA TRANSESTERIFICAÇÃO SUPERCRÍTICA ETANÓLICA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Erich Potrich
Bruno Elias Suzart Chamas
Antonio José Gonçalves da Cruz
Roberto de Campos Giordano

DOI 10.22533/at.ed.31919010417

CAPÍTULO 18 129

PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO CÉLULAS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE IMOBILIZADAS EM ESFERAS DE ALGINATO DE CÁLCIO REVESTIDAS COM QUITOSANA

Lucidio Cristovão Fardelone
Taciani do Santos Bella de Jesus
Leonardo Akira Kamimura Oura
Gustavo Paim Valença
José Roberto Nunhez
José Augusto Rosário Rodrigues
Paulo José Samenho Moran

DOI 10.22533/at.ed.31919010418

CAPÍTULO 19 137

AUTOMAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES APLICADOS NA PLANTA DE TRATAMENTO DA PRODUÇÃO DO BODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes
Dinilton Pessoa de Albuquerque Neto
Gerônimo Barbosa Alexandre
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.31919010419

CAPÍTULO 20 157

ESTUDO CINÉTICO DA REAÇÃO DE FENTON COM PÓ DE MINÉRIO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE BODIESEL E AVALIAÇÃO DA LIXIVIABILIDADE DO RESÍDUO

Jamyla Soares Anício Oliveira Félix
Aline Givisiez de Souza
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010420

CAPÍTULO 21 173

APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO CALCINADO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Leonardo Henrique de Oliveira
Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza
Antônio Augusto Ulson de Souza

DOI 10.22533/at.ed.31919010421

CAPÍTULO 22 178

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM

Roque Machado de Senna
Thais Santos
Henrique Senna
Marcelo Linardi

DOI 10.22533/at.ed.31919010422

CAPÍTULO 23 187

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA INDIVIDUAL DE COLETA E GLOBAL NA SEPARAÇÃO DE PARTICULADOS DE MAGNESITA EM CICLONE LAPPLE

Polyana Gomes de Aguiar
Daiane Ribeiro Dias
Annanda Alkmim Alves
Mariana Oliveira Marques
João Carlos Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.31919010423

CAPÍTULO 24 194

ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH) NO AR ATMOSFÉRICO USANDO SISTEMA PASSIVO DE AMOSTRAGEM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Aldo Muro Júnior
Nicola Pittet Muro
Nelson Roberto Antoniosi Filho
Maria Isabel Ribeiro Alves

DOI 10.22533/at.ed.31919010424

CAPÍTULO 25 213

CAPTURA DE CO₂ UTILIZANDO O PROCESSO CALCIUM-LOOPING

Juliana Alves da Silva
Ricardo José Chimentão
João Batista Oliveira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.31919010425

CAPÍTULO 26 224

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO DE CAPTURA DE CO₂ UTILIZANDO A TECNOLOGIA HIGEE NA INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS

Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira
José Renato Guimarães
Brenda Sedlmaier Costa Coelho
Camila Ceravolo de Carvalho
Francine Silveira Vieira
Luiza Moreira Santos
Jorge David Alguiar Bellido

DOI 10.22533/at.ed.31919010426

CAPÍTULO 27 232

Zn-ZIF EM TECIDO APLICADO NO PROCESSO DE CAPTURA DE CH₄

Guilherme Andreoli Gil
Guilherme Otávio Lima
Lucas Mendes Pedro
Bianca Bastos Caruzi
Fabrício Maestá Bezerra
Murilo Pereira Moisés

DOI 10.22533/at.ed.31919010427

CAPÍTULO 28 239

INIBIDOR DE CORROÇÃO OBTIDO POR LIXIVIAÇÃO DE CIGARRO APÓS SEU CONSUMO

Lauren Marcilene Maciel Machado
Luciana Rodrigues Machado

DOI 10.22533/at.ed.31919010428

CAPÍTULO 29 249

ENRIQUECIMENTO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO AUTÓCTONES E SUA ADESÃO EM ESPUMA DE POLIURETANO EM REATOR ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

Alessandra Giordani
Renata Piacentini Rodriguez
Leonardo Henrique Soares Damasceno
Gunther Brucha

DOI 10.22533/at.ed.31919010429

CAPÍTULO 30 255

BIODEGRADAÇÃO DO SURFACTANTE LINEAR ALQUILBENZENO SULFONATO DE SÓDIO EM DOIS DETERGENTES LIQUIDOS COMERCIAIS UTILIZANDO FUNGO FILAMENTOSO *Penicillium crustosum*

Sulamita Aparecida Ambrosia dos santos
Luiza Maria Amaral Frossard de Paula
Mayara Costa Franco
Karen Sartori Jeunon Gontijo
Ana Maria de Oliveira
Enio Nazaré de Oliveira Junior

DOI 10.22533/at.ed.31919010430

CAPÍTULO 31 272

DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO LAFeO₃ COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON SOLAR

Patrícia Grassi
Fernanda Caroline Drumm
Siara Silvestri
Sérgio Luiz Jahn
Edson Luiz Foletto

DOI 10.22533/at.ed.31919010431

CAPÍTULO 32	281
DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DE RODAMINA B COM UM CATALISADOR À BASE DA BIOMASSA PORONGO: EFEITO DA DOPAGEM COM FERRO	
William Leonardo da Silva	
Mariéle Schaedler Nascimento	
Matheus Severo Schalenberger	
Joana Bratz Lourenço	
DOI 10.22533/at.ed.31919010432	
CAPÍTULO 33	287
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO TiO_2 E ZNO, DO ANTIBIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA	
Luiza Barbosa Petersen Mendes	
Luciane Pimentel Costa Monteiro	
Leandro Vahia Pontual	
DOI 10.22533/at.ed.31919010433	
CAPÍTULO 34	303
CARACTERIZAÇÃO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PÓS CONSUMO VISANDO A RECICLAGEM NA INDÚSTRIA TÊXTIL	
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro	
Priscilla Sayuri Nakazawa	
Ana Maria Ferrari	
Ana Claudia Ueda	
DOI 10.22533/at.ed.31919010434	
CAPÍTULO 35	315
APPLICATION OF THE MARKOV CHAIN MONTE CARLO METHOD TO ESTIMATION OF PARAMETERS IN A MODEL OF ADSORPTION-ENHANCED REACTION PROCESS FOR MERCURY REMOVAL FROM NATURAL GAS	
Josiel Lobato Ferreira	
Diego Cardoso Estumano	
Mariana de Mattos Vieira Mello Souza	
Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.31919010435	
CAPÍTULO 36	322
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO SUPOSTADOS EM CARVÃO ATIVADO DERIVADO DA CASCA DO COCO VERDE	
Natália Matos Silva Pereira	
Marta Cecília da Esperança Santos	
Sirlene Barbosa Lima	
Maria Luiza Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010436	
SOBRE A ORGANIZADORA	334

MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE BIODERIVADO A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM BIORREATOR EM BATELADA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS POR ALGORITMO GENÉTICO

Júlia do Nascimento Pereira Nogueira

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Engenharia Química e Materiais (DEQM)
Rio de Janeiro – RJ

Ana Luiza Bandeira de Mello de Albuquerque Campos

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Engenharia Química e Materiais (DEQM)
Rio de Janeiro – RJ

Brunno Ferreira dos Santos

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Engenharia Química e Materiais (DEQM)
Rio de Janeiro – RJ

Filipe Alves Coelho

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos (DESQ)
Campinas - SP

RESUMO: A cinética de produção de biossurfactantes é pouco explorada, principalmente em meio de cultivo renovável. Assim, a modelagem matemática do sistema torna-se complexa. Visa-se descrever o comportamento do sistema e estimar os parâmetros envolvidos na produção de biossurfactantes a partir de resíduos agroindustriais usando *Bacillus subtilis*. Para

isso, é utilizado o Algoritmo Genético, um método eficaz de busca global. Dois modelos cinéticos foram propostos e a técnica foi avaliada através do somatório do erro quadrático (SSE) e coeficiente de determinação (R^2). O modelo que melhor descreve o sistema obteve SSE menor que 1 e R^2 maior que 0,97 para quase todas as variáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Biossurfactantes; Algoritmo Genético; Otimização; Cinética; Resíduos Agroindustriais.

ABSTRACT: Biosurfactant production kinetics is little explored, especially in renewable medium. Thus, the mathematical modeling of the system becomes complex. This work aims to describe the behavior of the system and to estimate the parameters involved in the production of biosurfactants from agro-industrial waste using *Bacillus subtilis*. For this, the Genetic Algorithm is used, an effective method of global search. Two kinetic models were proposed and the technique was evaluated through the sum of the quadratic error (SSE) and coefficient of determination (R^2). The model that best describes the system obtained SSE lower than 1 and R^2 greater than 0.97 for almost all variables.

KEYWORDS: Biosurfactants; Genetic Algorithm; Optimization; Kinetics; Agro-industrial Waste.

1 | INTRODUÇÃO

Biossurfactantes são moléculas anfipáticas tensoativas, que podem ser produzidas por uma grande variedade de microrganismos. Eles apresentam importantes aplicações em indústrias cosméticas, alimentícias e de higiene, além de serem usados no controle de derramamento de óleos e na biorremediação (KHOPADE et al., 2012). Entretanto, a síntese destes tensoativos em escala industrial é muito cara. Fontes renováveis, como resíduos agroindustriais, vem indicando uma boa perspectiva como substratos, barateando os custos de produção (MENESES et al., 2016).

Contudo, importantes informações para a otimização do sistema, como conhecimento da cinética de formação dos biossurfactantes e consumo de substratos renováveis, são escassas. Por lidar com um organismo vivo, a modelagem matemática torna-se ainda mais complicada; e o sistema, pouco previsível. Para otimização de sistemas de alta complexidade, como processos bioquímicos, é recomendado o uso da Inteligência Artificial. Destacam-se os métodos estocásticos, como Algoritmo Genético (GA), que, por serem baseados em regras de probabilidade, exibem alta eficácia para este propósito (CHOWDHURY; GARAI, 2017).

Portanto, foi proposto modelar o comportamento das concentrações de substrato, produto, biomassa e oxigênio dissolvido durante a produção de biossurfactante por *Bacillus subtilis* em meio de cultura renovável através da otimização dos parâmetros cinéticos por GA.

2 | METODOLOGIA

O procedimento experimental foi realizado por Santos (2015) em um biorreator agitado e aerado, encamisado, com 7L de capacidade. A fermentação foi conduzida pela bactéria *Bacillus subtilis* em meio líquido contendo glicerina e casca de beterraba. Os dados foram utilizados para simulação do processo e otimização dos parâmetros através do GA no software MATLAB® R2017a. A função objetivo busca minimizar o somatório do erro quadrático (SSE) entre as concentrações experimentais e simuladas. Foram propostos dois modelos cinéticos: Megee (1972) e Levenspiel (1999). Ao final do programa, são exibidos os parâmetros otimizados, o SSE, R^2 e os gráficos dinâmicos de cada variável. O balanço de massa no biorreator permite escrever as equações diferenciais para produção/consumo de biomassa (X), substrato (S), oxigênio dissolvido (O_2) e sacarose (Sc), conforme a Tabela 1. A dinâmica de formação de biossurfactante (P), assim como os parâmetros μ , K_s e K_p , presentes nas equações, são definidos na Tabela 2.

dX/dt	dS/dt	dC_{O_2}/dt	dS_C/dt
$\mu_X X$	$-\mu_S X + \frac{1}{2} k_1 S_C^k - \mu_{mO_2} S P^n$	$k_L a (C_{O_2s} - C_{O_2}) - Q_{O_2} X$	$-k_1 S_C^k$

Tabela 1 – Equações diferenciais das variáveis.

	dP/dt	μ_x	μ_s	μ_{O_2}	Q_{O_2}
Levenspiel	$\mu_{O_2} k_3 e^{-m_S X} - k_2 S P^n$	$\mu_m \frac{S}{(S + K_S)} \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right)$	$\frac{Y_{XS} \mu_{O_2} S}{m_S + S}$	$\frac{C_{O_2}}{(K_{O_2} + C_{O_2})}$	$m_0 + \frac{\mu_X}{Y_0}$
Megee	$\mu_{O_2} k_3 e^{-m_S X} - k_2 S P^n$	$\mu_m \frac{S P}{(K_S + S)(K_P + P)}$	$\frac{\mu_X}{Y_{XS}} + m_s$		

Tabela 2 – Equações dos parâmetros envolvidos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho dos modelos cinéticos apresentados foi avaliado através do coeficiente de determinação (R^2) para cada variável e do somatório do erro quadrático (SSE). Os valores relativos a estes os critérios de decisão são anunciados na Tabela 3.

	R^2				SSE
	Glicose	Biossurfactante	Biomassa	Oxigênio Dissolvido	
Levenspiel	0,9312	0,4953	0,9504	0,9210	0,7892
Megee	0,9718	0,4162	0,9941	0,9705	0,6059

Tabela 3 – R^2 e SSE calculados para cada modelo.

A concentração de glicose revela uma queda ao longo das 24 h de experimento, comprovando que é consumida como substrato. A quantidade de células no biorreator apresenta um comportamento sigmoidal, típico das fases de crescimento do microrganismo. Já para o oxigênio, foi observado um decaimento da concentração dissolvida no meio, uma vez que a produção de biossurfactante é um processo aeróbio. Ambos os modelos testados foram capazes de prever a dinâmica destas variáveis, exibindo R^2 próximos de 1. Entretanto, o modelo Megee atingiu valores mais altos, tornando-se o que melhor descreve a conduta das concentrações de glicose, biomassa e oxigênio dissolvido.

A modelagem da produção de biossurfactante é um procedimento complexo devido à falta de conhecimento sobre sua cinética aliada à imprevisibilidade do metabolismo do microrganismo. Além disso, este trabalho considera a utilização de resíduos agroindustriais como substrato. As fontes renováveis frequentemente são

heterogêneas, isto é, raramente sabe-se quais são seus componentes e a proporção entre eles, dificultando ainda mais a modelagem e otimização. Todavia, os modelos propostos obtiveram resultados satisfatórios: tanto Megee quanto Levenspiel exibiram um crescimento, seguido por uma redução e estabilização da concentração de biossurfactante. Os dois modelos atingiram o ponto máximo no mesmo momento em que os dados experimentais. A Figura 1 exibe a concentração de biossurfactante ao longo do tempo, onde os asteriscos são as medidas experimentais e a curva representa o comportamento simulado.

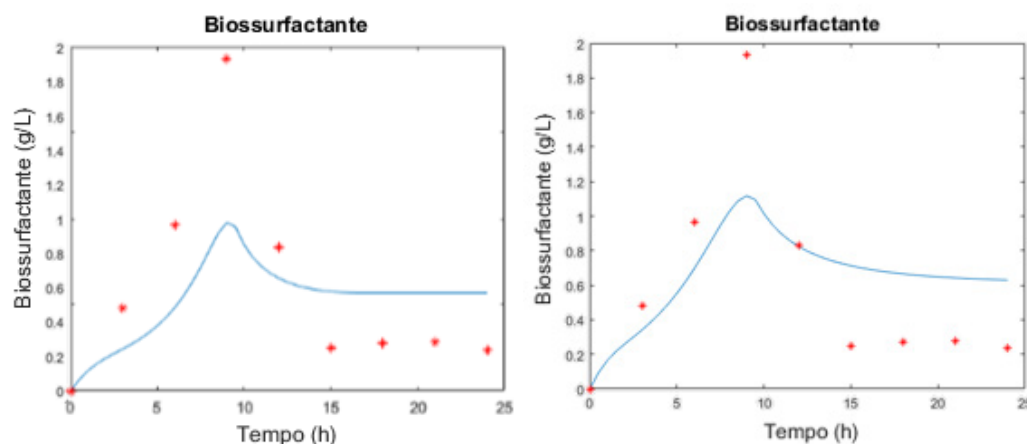


Figura 1 – Concentração de biossurfactante calculada pelos modelos Megee e Levenspiel.

Para a concentração de biossurfactante, a curva desenhada pelo modelo Levenspiel manteve-se mais próxima dos valores esperados, alcançando um resultado ligeiramente melhor que o Megee. Contudo, ao abranger todas as variáveis, é possível afirmar que o modelo Megee é mais adequado para descrever o comportamento do sistema. Apesar de ambos apresentarem resultados promissores, com SSEs inferiores a 1, Megee foi o modelo que expressou seu menor valor. Os parâmetros otimizados relativos a esse modelo podem ser visualizados na Tabela 4.

k_1	$k_L a$	Y_{xs}	m_S	K_S	K_{O_2}	k_3
0	0,9151	6,75	0,0528	0,2695	0,4179	43,90
m_o	Y_o	n	k	k_2	K_o	m
0,0083	32,96	0,7828	17,67	0,2651	23,07	0,1625

Tabela 4 – Parâmetros cinéticos otimizados pelo Algoritmo Genético para o modelo Megee.

4 | CONCLUSÃO

Para compreender a cinética de produção de biossurfactante em meio renovável foram propostos dois modelos: Megee e Levenspiel. Apesar da alta complexidade do sistema, ambos apresentam resultados satisfatórios, sendo capazes de prever corretamente o comportamento das variáveis estudadas. Embora a equação de

Levenspiel tenha obtido o melhor R^2 para produção de biossurfactante, Megee apresentou valores de R^2 maiores que 0,97 para as outras variáveis. Além disso, o último atingiu o menor SSE. Assim, afirma-se que este é o modelo que melhor descreve a tendência do sistema. Ainda que estudos posteriores tenham que ser realizados para aprimorar as equações e entender o metabolismo do microrganismo em meio de cultura renovável, o uso do GA como algoritmo de busca global foi satisfatório.

5 | LISTA DE VARIÁVEIS

- Co_{2s} - Concentração saturada de O_2 ($g L^{-1}$)
- k, n, N, m - Parâmetros cinéticos (adimensionais)
- k_1, k_2, k_3 - Constantes cinéticas (unidades variáveis)
- k_{La} - Coeficiente volumétrico de transferência de (h^{-1})
- Ko_2 - Constante de saturação de O_2 ($g L^{-1}$)
- k_p - Constante de inibição por produto ($g L^{-1}$)
- k_s - Constante de saturação ($g L^{-1}$)
- m_o - Coeficiente de manutenção para o O_2 ($g_o_2 g^{-1}_{células} h^{-1}$)
- m_s - Coeficiente de manutenção para o substrato (unidade variável)
- P_{max} - Concentração máxima de produto
- Qo_2 - Velocidade específica de respiração (h^{-1})
- t - Tempo (h)
- X, P, S, S_C, Co_2 - Concentração de biomassa, produto, glicose, sacarose e dissolvido ($g L^{-1}$)
- Y_o - Fator de conversão de para células ($g_o_2 g^{-1}_{células}$)
- Y_{xs} - Rendimento teórico em biomassa (adimensional)
- μ_m, μ_{mo_2} - Velocidades específicas máximas de crescimento microbiano e de respiração (h^{-1})
- μ_s, μ_x, μ_{o_2} - Velocidades específicas de consumo de substrato, de crescimento microbiano e de respiração (h^{-1})

REFERÊNCIAS

- CHOWDHURY, B., GARAI, G. **A Review on Multiple Sequence Alignment from the Perspective of Genetic Algorithm**. Genomics, v. 109, p. 419-431, 2017.
- KHOPADE, A., REN, B., LIU, X., MAHADIK, K., ZHANG, L., KOKARE, C. **Production and Characterization of Biosurfactant from Marine *Streptomyces* species B3**. Journal of Colloid and Interface Science, v. 367, p. 311-318, 2012.
- LEVENSPIEL, O. **Chemical Reaction Engineering**. Oregon: Editora John Wiley & Sons, 1999.
- MEGEE R. D., DRAKE J. F., FREDICKSON A. G., TSUCHIYA, H. M. **Studies in Intermicrobial Symbiosis *S. cerevisiae* and *L. casei***. Canadian J. Microbiology, v. 18, p. 1733-1742, 1972.

MENESES, D. P., GUDIÑA, E., RODRIGUES, A. I., FERNANDES, F., RODRIGUES, L., RODRIGUES, S. **Produção de Biossurfactante por *Aureobasidium thailandense* Utilizando Resíduos Agroindustriais**. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza, 2016.

SANTOS, B. F. **Estudo da Produção de Biossurfactante Usando Resíduos Agroindustriais, com Desenvolvimento de Modelos Estatísticos e Sensor Virtual por Modelagem Neural**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-231-9

