



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 BIODIESEL 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 BIODIESEL 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 BIODIESEL

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 BIODIESEL 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 CO ₂ 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 CO ₂ 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

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

Lucidio Cristovão Fardelone*

Instituto de Química da Unicamp
Campinas – São Paulo

Taciani do Santos Bella de Jesus*

Faculdade de Engenharia Química da Unicamp,
DEPRO
Campinas - São Paulo

Leonardo Akira Kamimura Oura*

Faculdade de Engenharia Química da Unicamp,
DEPRO
Campinas - São Paulo

Gustavo Paim Valença

Faculdade de Engenharia Química da Unicamp,
DEPRO
Campinas - São Paulo

José Roberto Nunhez

Faculdade de Engenharia Química da Unicamp,
DEPRO
Campinas - São Paulo

José Augusto Rosário Rodrigues

Instituto de Química da Unicamp
Campinas - São Paulo

Paulo José Samenho Moran

Instituto de Química da Unicamp
Campinas - São Paulo

RESUMO: Para a imobilização das células de *Saccharomyces cerevisiae* foi utilizado alginato

de cálcio, seguido do revestimento das esferas com quitosana, sendo o biocatalizador utilizado para o desenvolvimento de processo de produção de bioetanol através de bateladas por 96 horas fornecendo rendimentos de 89-95%.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharomyces cerevisiae*, esferas de alginato de cálcio, quitosana, bioetanol.

ABSTRACT: For the immobilization of *Saccharomyces cerevisiae* cells, calcium alginate was used, followed by coating the beads obtained with chitosan, the biocatalyst being used for the production process of bioethanol by batching for 96 hours, yielding yields of 89-95%.

KEYWORDS: *Saccharomyces cerevisiae*, calcium alginate beads, chitosan, bioethanol.

1 | INTRODUÇÃO

O uso de células imobilizadas em processos de produção de bioetanol vem sendo estudado para obtenção de ganho de produção (LEE *et al.*, 2015; DUARTE *et al.*, 2013; GHORBANI *et al.*, 2011; NIKOLIC *et al.*, 2010; WENDHAUSEN *et al.*, 2000; TYAGI *et al.*, 1992).

Normalmente sistemas de fermentação que utilizam suportes celulares promovem

* Os autores Lucidio Cristovão Fardelone, Taciani dos Santos Bella de Jesus e Leonardo Akira Kamimura Oura contribuíram igualmente para este trabalho.

maior tempo de processo e conseqüentemente maior produtividade, pois simplificam a separação e purificação dos produtos, além dos biocatalisadores serem reutilizados em ciclos de produção consecutivos.

Na literatura estão descritas técnicas de produção de bioetanol utilizando suportes para imobilização celular com alginato de sódio (DUARTE *et al.*, 2013; CĂLINESCU *et al.*, 2012; NAJAFPOUR *et al.*, 2004).

No entanto, o maior problema ainda é a estabilização dos suportes e o seu reuso, bem como os custos, o que dificultam a sua implantação em determinados processos industriais (LEE *et al.*, 2015).

A utilização de alginato de sódio é extremamente importante devido a sua compatibilidade e a não toxicidade (CĂLINESCU *et al.*, 2012; NAJAFPOUR *et al.*, 2004; KUBOTA *et al.*, 2000), mas este tipo de matriz de suporte normalmente é utilizado em apenas um ciclo de processo, pois ao longo deste processo ocorre o rompimento das esferas, devido à lixiviação de cálcio, à agitação e à formação de gases que fazem com que haja deterioração do suporte, necessitando assim um maior desenvolvimento técnico.

Neste trabalho reportamos o processo de produção de bioetanol utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em esferas de alginato de cálcio recobertas com quitosana, utilizando ácido cítrico para solubilização quitosana e no recobrimento das esferas.

2 | METODOLOGIA

Foi utilizada a cepa JAY270 de *S. cerevisiae*, fornecida pelo Instituto de Biologia da Unicamp (IB), que possui alta resistência à alta concentração de açúcares e etanol, à temperatura elevadas, variação de pH, estresse oxidativo, alta produção de massa celular e de etanol (DUARTE *et al.* 2013; ARGUESO *et al.* 2009). Esta cepa de *S. cerevisiae* JAY270, encontra-se em nosso laboratório e armazenadas na forma de BCM (Banco de Células Mestre) e BCT (Banco de Células de Trabalho) e, foram preparadas de acordo com os preceitos internacionais para boas práticas de produção e de laboratório (COECKE *et al.*, 2005; STACEY, 2004; HEALTH PRODUCTS AND FOOD BRANCH INSPECTORATE, 2002).

Os reagentes ácido cítrico, cloreto de cálcio, alginato de sódio de viscosidade média e quitosana de peso molecular médio, com grau de desacetilação 75-85%, foram adquiridos da Sigma-Aldrich Co, glicose da Synth, extrato de levedura, extrato de malte e peptona da BD Bioscience.

Para a expansão celular da levedura *S. cerevisiae* foi utilizado meio de cultura com composição de 3,0 g/L de extrato de malte, 3,0 g/L de extrato de levedura, 5,0 g/L peptona e 10 g/L glicose, ajustado o pH para 6,0, mantendo os erlenmeyers com reentrâncias (*baffled flask*), para melhor mistura, com 180 rpm (0,54 g) em shaker por

18h. Após o crescimento da massa celular, esta foi centrifugada, 1844 g por 20 minutos, sob medidas de assepsia, sendo que as células obtidas (30 g) foram utilizadas para imobilização em alginato de cálcio, seguido de revestimento com quitosana, a qual foi solubilizada em solução de ácido acético (NAGASHIMA *et al.*, 1984) e em solução de ácido cítrico.

A técnica utilizada para imobilização das células foi por aprisionamento em matriz porosa, através do uso de uma suspensão de alginato de sódio 3% e de *S. cerevisiae*, gotejada em solução de cloreto de cálcio, CaCl_2 2%, formando esferas com diâmetro de aproximadamente 3-4 mm. As esferas foram mantidas em solução de CaCl_2 2%, por 1 hora para que ocorresse uma melhor distribuição do cálcio no gel da matriz de suporte celular. Seguido de 30 minutos em solução de quitosana com ácido cítrico para o revestimento.

Para que as esferas apresentassem uma melhor performance durante o processo fermentativo, e para que diminuísse a lixiviação do cálcio presente na rede polimérica das esferas, estas foram curadas de duas maneiras diferentes, após o recobrimento com quitosana solubilizada em solução de ácido cítrico, uma mantendo-se por 1 hora as esferas em solução de CaCl_2 2% e outra por 30 minutos. Em seguida, as esferas foram separadas por filtração, lavadas com água destilada e utilizadas nos processos fermentativos.

As fermentações foram conduzidas de 4 maneiras diferentes, uma como controle utilizando as esferas de alginato de cálcio revestidas com quitosana, tal qual, uma utilizando o as esferas que passaram por cura por 30 minutos em CaCl_2 2%, uma com a cura por 1 hora e a outra utilizando esferas de alginato de cálcio revestidas com quitosana (conforme o controle), mas com adição de 5 g de CaCl_2 ao meio fermentativo.

A concentração final de etanol e de glicose residual foram determinadas através de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) utilizando o equipamento Agilent Technologies 1200 Series, com sistema de injeção automático, detector com índice de refração, acoplado a coluna Aminex HPX-87H, 300 x 7,8 mm, mantida à temperatura de 50 °C, utilizando como fase móvel solução 0,005 mol/L de H_2SO_4 , sob fluxo de 0,6 mL/min. Foram utilizados padrões externos para a construção de curvas de calibração.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os processos fermentativos utilizando células imobilizadas de *S. cerevisiae* em alginato de cálcio revestidos com quitosana foram realizados nas mesmas condições utilizando 4,6 g de peso de células da levedura imobilizadas, 111 g/L de glicose inicial e adições a cada 24 horas de 90,0 g/L de glicose (concentrações determinadas por CLAE), pH 6, utilizando shaker a 120 rpm (0,54 g), 30 °C, por 96 h.

Na Figura 1, estão demonstrados os perfis de produtividades de bioetanol ao longo de 96 horas nos processos de bateladas alimentadas e na Tabela 1, estão

demonstrados os rendimentos, concentrações finais de bioetanol e de glicose residual.

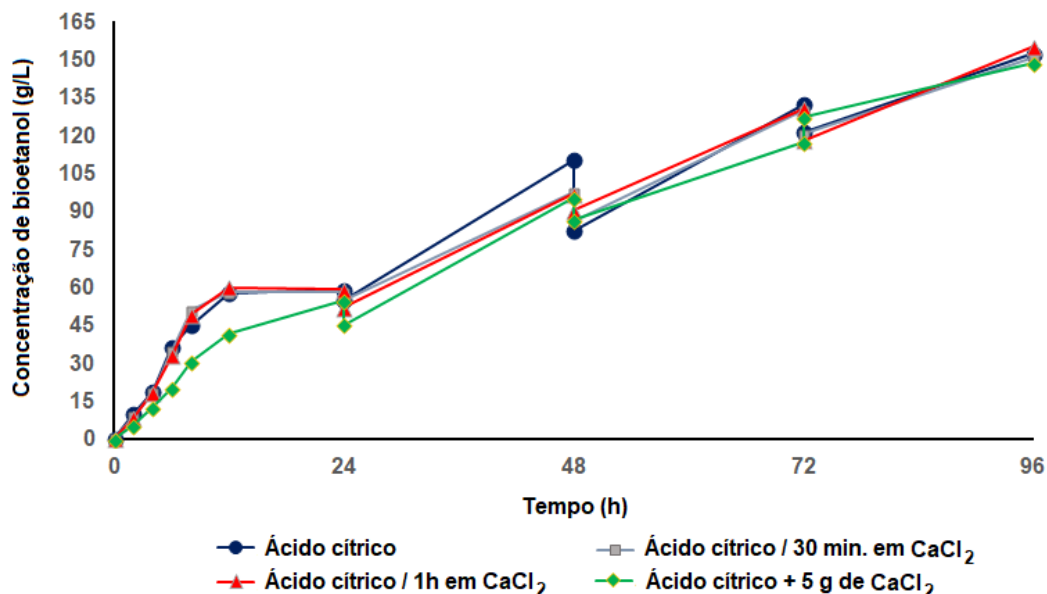


Figura 1 - Processos em batelada alimentada de produção de bioetanol combustível por *S. cerevisiae* suportados em esferas de alginato de cálcio revestido com quitosana solubilizada em solução de ácido cítrico.

Fermentação	Glicose residual (g/L) após 96 h	Etanol (g/L) após 96 h	Rendimento (%)
1 ^a	0	152,4	93
2 ^b	0	150,9	89
3 ^c	0	155,2	95
4 ^d	0,6	148,9	91,2

Tabela 1 - Resultados de produção de bioetanol combustível por *S. cerevisiae* suportados em esferas de alginato de cálcio revestido com quitosana.

^a Utilizando células de *S. cerevisiae* imobilizadas em alginato de cálcio revestida com quitosana solubilizada em solução de ácido cítrico; ^b Utilizando células de *S. cerevisiae* imobilizadas em alginato de cálcio revestida com quitosana solubilizada em solução de ácido cítrico, seguido de cura por 30 minutos com CaCl₂ 2%; ^c Utilizando células de *S. cerevisiae* imobilizadas em alginato de cálcio revestida com quitosana solubilizada em solução de ácido cítrico com cura por 1h em CaCl₂ 2%; ^d Utilizando células de *S. cerevisiae* imobilizadas em alginato de cálcio revestida com quitosana solubilizada em solução de ácido cítrico e com adição de 5g de CaCl₂ no caldo fermentativo.

O rendimento final foi definido através do etanol produzido em relação ao máximo de conversão da fonte de carbono, glicose, em bioetanol. Sendo observado alta conversão da fonte de carbono (glicose) ao final dos processos fermentativos, 89-95% de rendimento.

As inserções, 24 h, 48h, 72h são referentes as adições de glicose para que o processo mantivesse uma produção contínua de bioetanol combustível.

Na Figura 2 estão representadas imagens do início do processo e após 96 horas de produção de bioetanol combustível e é possível observar que poucas esferas estão rompidas, o que confere maior robustez ao processo.

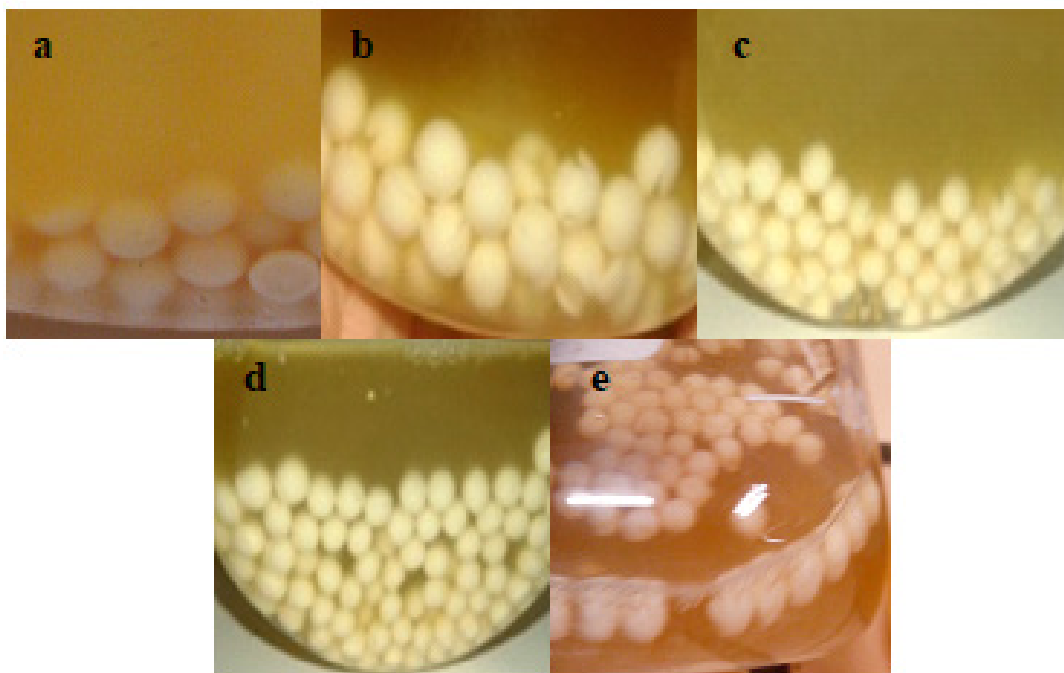


Figura 2 - **a** Esferas de alginato de cálcio como suporte para *S. cerevisiae* no início do processo fermentativo para produção de bioetanol combustível; **b** esferas de alginato de cálcio como suporte para *S. cerevisiae* após 96 h de processo fermentativo; **c** esferas de alginato de cálcio como suporte para *S. cerevisiae* curadas por 1 hora em CaCl_2 2%, após 96 horas de processo; **d** esferas de alginato de cálcio como suporte para *S. cerevisiae* curadas por 30 minutos em CaCl_2 , após 96 horas de processo; **e** esferas de alginato de cálcio como suporte para *S. cerevisiae* com adição de 5 g de CaCl_2 2% no processo fermentativo, após 96 horas de processo.

Esta nova técnica, utilizando ácido cítrico em substituição ao ácido acético, foi desenvolvida em nosso laboratório para melhorar o processo de recobrimento, fornecendo um recobrimento de tal forma que promove uma maior resistência mecânica frente ao tempo de processo fermentativo, bem como mantém homogeneidade das esferas frente a possibilidade de lixiviação do cálcio presente na rede polimérica das esferas. O uso de ácido cítrico no revestimento, também, diminui a fase lag, de 24 para 8 horas no processo de produção de etanol combustível, Figura 3, devido a sua atoxicidade para as células de *S. cerevisiae*.

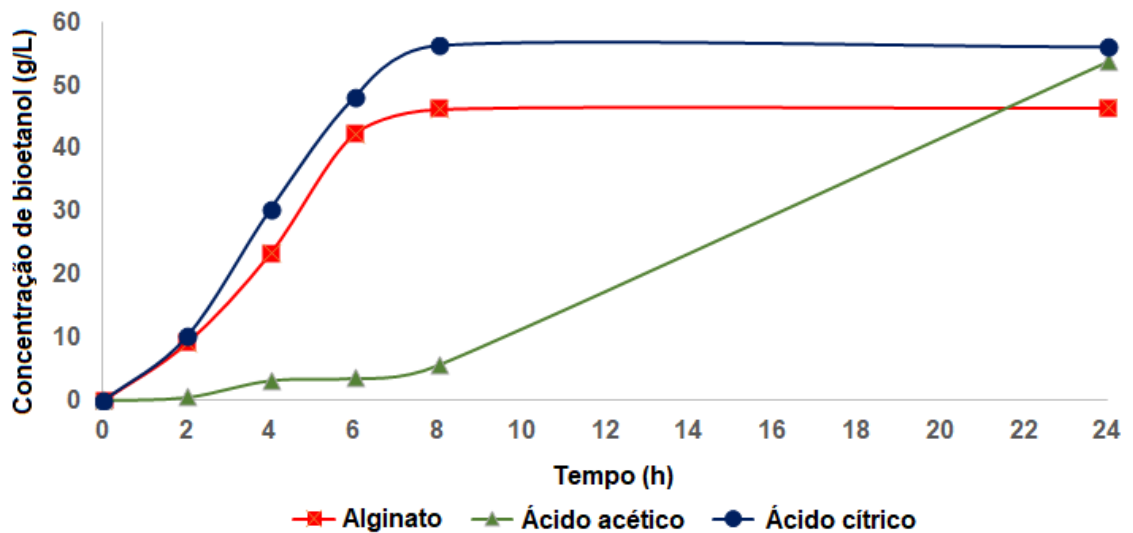


Figura 3 - Processos em batelada de produção de bioetanol combustível por *S. cerevisiae* suportados em esferas de alginato de cálcio e alginato de cálcio revestido com quitosana.

Na Figura 4, são mostradas as imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de células de *S. Cerevisiae* imobilizado em esferas de alginato de cálcio e esferas de alginato de cálcio recobertas com quitosana, preparadas utilizando ácido acético e ácido cítrico para o recobrimento, respectivamente, e é possível observar uma película de quitosana recobrindo as células de levedura, mantendo-as mais aderentes à superfície das esferas. Estas imagens MEV das esferas foram adquiridas antes da utilização nos processos fermentativos.

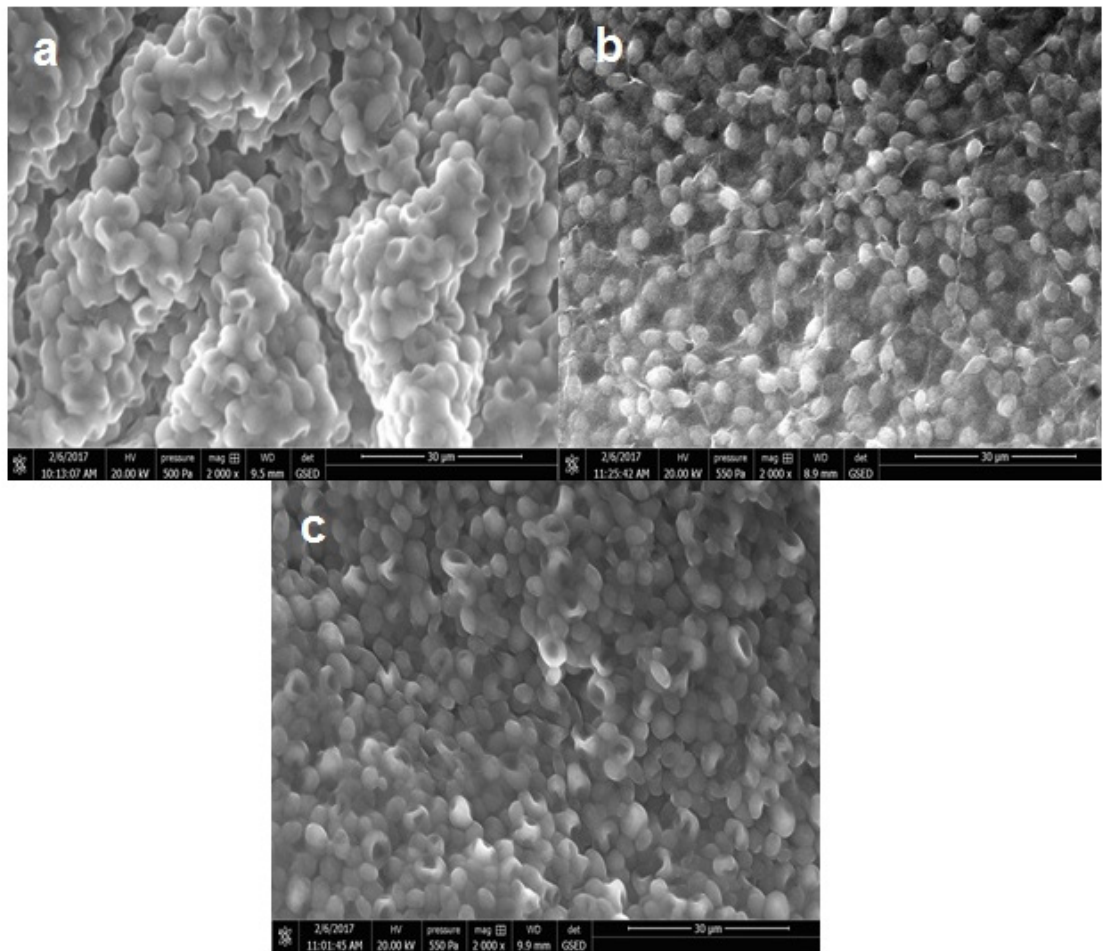


Figura 2. Imagens de MEV das células de *S. cerevisiae* immobilizadas em esferas de alginato de cálcio: **a** - em alginato de cálcio; **b** utilizando ácido acético no recobrimento; **c** utilizando ácido cítrico no recobrimento.

4 | CONCLUSÕES

O processo de produção de bioetanol utilizando células de *S. cerevisiae* immobilizadas em alginato de cálcio, utilizando ácido cítrico no processo de imobilização e curadas com cloreto de cálcio, bem como, com adição de cloreto de cálcio no meio de cultura, promoveram maior robustez ao processo, fornecendo maior resistência ao suporte utilizado, diminuindo a lixiviação do cálcio da matriz de imobilização, bem como maior produtividade de bioetanol. Este processo está sendo ampliado, bem como otimizado para biorreatores e os resultados serão reportados futuramente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os suportes financeiros do projeto: FAPESP -2016/12074-7, CAPES 1643936 e PNPd e CNPq.

REFERÊNCIAS

- ARGUESO J. L.; CARAZZOLLE, M. F.; MIECZKOWSKI, P. A.; DUARTE, F. M.; NETTO, O. V. C.; MISSAWA, S. K.; GALZERANI, F.; COSTA, G. G. L.; VIDAL, R. O.; NORONHA, M. F.; DOMINSKA, M.; ANDRIETTA, M. G.S.; ANDRIETTA, S. R.; CUNHA, A. F.; GOMES, L. H.; TAVARES, F. C. A.; ALCARDE, A. R.; DIETRICH, F. S.; MCCUSKER, J. H.; PEREIRA, G. A. G. Genome structure of a *Saccharomyces cerevisiae* strain widely used in bioethanol production. *Gen. Res.*, v. 19, p. 2258-2270, 2009.
- CĂLINESCU, I., CHIPURICI, P., TRIFAN, A., BĂDOIU, C. Immobilization of *Saccharomyces cerevisiae* for the production of bioethanol. *U.P.B. Sci. Bull., Series B* 74, 33-40, 2012.
- COECKE, S.; BALLS, M.; BOWE, G.; DAVIS, J.; GSTRAUNTHALER, G.; HARTUNG, T.; HAY, R.; MERTEN, O.-W.; PRICE, A.; SCHECHTMAN, L.; STACEY, G.; STOKES, W. Guidance on Good Cell Culture Practice. ATLA 33:261-287 (2005). Available in the Best Practices (GCCP) on the ESACT-UK. The UK Society for Cell Culture Biotechnology website at <http://www.esactuk.org.uk/>
- DUARTE, J. C.; RODRIGUES, J. A. R.; MORAN, P. J. S.; VALENÇA, G. P.; NUNHEZ, J. R. Effect of immobilized cells in calcium alginate beads in alcoholic fermentation. *ABM Express*, v. 31, p. 1-8, 2013.
- GHORBANI, F.; YOUNESI, H.; SARI, A. E.; NAJAFPOUR, G. Cane molasses fermentation for continuous ethanol production in an immobilized cells reactor by *Saccharomyces cerevisiae*. *Ren. Energy*, v. 36, p. 503-509, 2011.
- HEALTH PRODUCTS AND FOOD BRANCH INSPECTORATE - Annex 2 to the current edition of the good manufacturing practices guidelines schedule drugs (biological drugs) - GUI-0027, 2002.
- KUBOTA, N.; TATSUMOTO, N.; SANO, T.; TOYA, K. A. Simple preparation of half N-acetylated chitosan highly soluble in water and aqueous organic solvent. *Carb. Res.*, p. 268-274, 2000.
- LEE, H.; KIM, S.; YOON, J.; KIM, K. H.; SEO, J.; PARK, Y. Evolutionary engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for efficient conversion of red algal biosugars to bioethanol. *Bioresour. Technol.*, v. 191, p. 445-451, 2015.
- NAGASHIMA, M.; AZUMA, M.; NOGUCID, S.; INUZUKA, K.; SAMEJIMA, H. Continuous fermentation using immobilized yeast cells. *Biot. Bioeng.*, v. 26, p. 992-997, 1984.
- NAJAFPOUR, G.; YOUNESI, H.; SYAHIDAH KU ISMAIL, K. Ethanol fermentation in an immobilized cell reactor using *Saccharomyces cerevisiae*. *Biores. Technol.*, v. 92, p. 251-260, 2004.
- NIKOLIC, S.; MOJOVIC, L.; PEJIN, D.; RAKIN, M.; VUKASINOVIC, M. Production of bioethanol from corn meal hydrolizates by free and immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*. *Biomass Bioenerg.*, v. 34, p. 1449-1456, 2010.
- STACEY, G. Fundamental issues for cell-line banks in biotechnology and regulatory affairs. In *Life in the frozen state*. B. J. Fuller, N. Lane, and E. E. Benson; Eds., CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, p. 437-452, 2004.
- TYAGI, R. D.; GUPTA, S. K.; CHAND, S. Process engineering studies on continuous ethanol production by immobilized *S. cerevisiae*. *Proc. Bioch.*, v. 27, p. 23-32, 1992.
- WENDHAUSEN, R.; FREGONESI, A.; MORAN, P. J. S.; JOEKES, I.; RODRIGUES, J. A. R.; TONELLA, E.; ALTHOFF, K. Continuous Fermentation of Sugar Cane Syrup Using Immobilized Yeast Cells. *J. Bio. Bioeng.*, v. 91, p. 48-52, 2000.

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

