



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

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

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 di 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. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
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 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
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. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P964 A produção do conhecimento na engenharia química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-976-9

DOI 10.22533/at.ed.769203001

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia.

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

Neste segundo volume, sobre a Produção do Conhecimento na Engenharia Química, apresentamos diversos trabalhos desenvolvidos com pesquisas relacionadas às áreas de energias renováveis, abordando diferentes biomassas, produção de bioetanol, biodiesel e também utilização de energia solar nos processos.

Com intuito de reduzir os impactos gerados pelos combustíveis fósseis, os trabalhos apresentados mostram, por exemplo, o farelo de arroz como suplemento no meio fermentativo para produção de etanol, obtenção de biodiesel a partir de óleo de mamona comparada ao simulador, estudo da biomassa do capim elefante, energia solar para destilação de etanol, entre outros.

Além disto, este volume trás para você pesquisas voltadas à área de bebidas fermentadas, sendo o foco destes estudos a melhoria dos produtos e dos processos de fabricação. Os trabalhos abordam, entre outras coisas, efeitos de produtos adicionados na fermentação, como trub, e no mosto, como chá verde; avaliação microbiológica e melhoria na produção de cerveja artesanal; bem como desenvolvimento de procedimentos para determinação de metais em cachaça de alambique de cobre.

Também é possível visualizar trabalhos com diferentes tipos de métodos empregados com a finalidade de proporcionar melhores processos produtivos e gerar maiores cuidados com o meio ambiente, relacionados à prevenção e remoção de poluentes. Nestes trabalhos verificam-se métodos de adsorção, secagem, caracterização, separação, assim como simulação computacional de processos.

Portanto, os trabalhos selecionados possibilitam conhecimento de novos materiais, técnicas e processos, como também cuidados com meio ambiente e desenvolvimento tecnológico, expondo a produção de conhecimento na Engenharia Química, de grande importância para ciência e para a sociedade.

Fundamentado nestes trabalhos, que você possa aperfeiçoar seus saberes nesta área.

Bom estudo.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL POR <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> SUPLEMENTADO COM FARELO DE ARROZ	
Mariane Almeida Gonçalves Grazieli Tavares Amoglia Daniel Elvis Basílio da Silva Fernanda Palladino	
DOI 10.22533/at.ed.7692030011	
CAPÍTULO 2	8
ESTUDO COMPARATIVO DA OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE MAMONA EM LABORATÓRIO E NO SIMULADOR DE PROCESSOS QUÍMICOS DWSIM	
Anna Luiza Araújo Baptista Clara de Castro Amaral Marcos Vinicius Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.7692030012	
CAPÍTULO 3	16
ESTUDO CINÉTICO DE DIFERENTES CULTIVARES DA BIOMASSA DO CAPIM ELEFANTE (<i>PENNISETUM PURPUREUM</i> SCHUM.)	
Mayara de Oliveira Lessa Renata Martins Braga Emerson Moreira de Aguiar Marcus Antônio de Freitas Melo	
DOI 10.22533/at.ed.7692030013	
CAPÍTULO 4	30
USO DA ENERGIA SOLAR NA DESTILAÇÃO DO ETANOL APLICADO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE COCO	
Lucas Rodrigo Custódio Silva Marina Barbosa Maluf Ribeiro Amanda Dornelas Oliveira Caroline Santos Silva Érica Victor de Faria Kássia Graciele dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.7692030014	
CAPÍTULO 5	44
AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE CARVÃO ATIVADO	
Ana Cláudia Rodrigues De Barros Riann de Queiroz Nóbrega Lorena Lucena De Medeiros Flávio Luiz Honorato Da Silva Joelma Morais Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.7692030015	
CAPÍTULO 6	54
AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE CERVEJA TIPO PILSEN ADICIONADA DE CHÁ VERDE NA ETAPA DE FERVURA DO MOSTO	
Natália Pinto Guedes de Moraes Thaís Cardozo Almeida	

João Vitor Cabral Gonçalves
Luana Tashima
Ligia Marcondes Rodrigues dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.7692030017

CAPÍTULO 7 63

PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL COM ADIÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE FRUTO AMAZÔNICO

Catherinne Édi Muniz Pimentel
Igor Lins Santiago
Syra Kelly Murabac Silva Oliveira
Ricardo Lima Serudo

DOI 10.22533/at.ed.7692030018

CAPÍTULO 8 71

DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTO DETERMINATIVO PARA ANÁLISE QUANTITATIVA DE NÍQUEL EM CACHAÇAS DE ALAMBIQUE DE COBRE EMPREGANDO ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Alexandre Mendes Muchon
Karina Moraes Lima
Alex Magalhães de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.7692030019

CAPÍTULO 9 77

PRODUÇÃO DE LIPASES POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO: UMA ANÁLISE PRELIMINAR DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Enylson Xavier Ramalho
Pedro Henrique Barbosa Fernandes
Cristian Orlando Avila
Rodrigo Silva Dutra
Lina María Grajales

DOI 10.22533/at.ed.76920300110

CAPÍTULO 10 85

SECAGEM DOS FRUTOS DE AÇAIRANA (*MICONIA CILIATA* (RICH.) DC) EM DIFERENTES LEITOS

Letícia Bahia Vieira
Ingrid Layanne dos Santos Pereira
Juliana Ferreira Costa
Lidiane Diniz do Nascimento
Elisangela Lima Andrade
Lorena Gomes Corumbá
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.76920300111

CAPÍTULO 11 97

COMPORTAMENTO COLORIMÉTRICO DE EXTRATOS DE AÇAIRANA (*MICONIA CILIATA*)

Ingrid Layanne dos Santos Pereira
Leticia Bahia Vieira
Paulo César Souza de Moraes Júnior
Wandson Braamcamp de Souza Pinheiro

Samara de Paula Pinheiro Menezes Marques
Hellen Carvalho Barros
Davi do Socorro Barros Brasil
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.76920300112

CAPÍTULO 12 108

HIDROCARBONIZAÇÃO DE EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

Larissa Yukie Pianho
Fernanda Carla Camilo Lima
Thiago Peixoto de Araújo
Maria Angélica Simões Dornellas de Barros

DOI 10.22533/at.ed.76920300113

CAPÍTULO 13 115

MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES TEXTURAS DA PENEIRA MOLECULAR DO TIPO MCM-41 POR DEPOSIÇÃO DE CARBONO

Diogo Pimentel de Sá da Silva
Raul César da Silva Nascimento
Ivo da Silva
Julyane da Rocha Santos
Antonio Osimar Sousa da Silva

DOI 10.22533/at.ed.76920300114

CAPÍTULO 14 123

ESTUDO COM TROCADORES DE ÍONS PARA A DETERMINAÇÃO DE FERRO DISPONÍVEL PARA PLANTAS EM SOLOS DA REGIÃO DE FORMIGA-MG

Luana Cristina Camargos Gomes
Alex Magalhães de Almeida
Anísio Cláudio Rios Fonseca
Alexandre Mendes Muchon

DOI 10.22533/at.ed.76920300115

CAPÍTULO 15 128

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA TROCA TÉRMICA EM UNIDADE PILOTO DE UM SISTEMA COILED TUBING

Lorena Rodrigues Justino
Caroline Eulino Gonçalves Pereira
Beatriz Rosas Oliveira
Eduardo Cunha Hora Paraíso
Luís Américo Calçada
Cláudia Míriam Scheid

DOI 10.22533/at.ed.76920300116

CAPÍTULO 16 136

SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA DE LEITO JORRO RETANGULAR USANDO CFD - COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Ana Paula Silva Artur
Elaine Cristina Batista da Silva
Tuane Tayrine Mendes Cardozo
Welberth Santos Laizo

Aderjane Ferreira Lacerda
Reimar de Oliveira Lourenço
DOI 10.22533/at.ed.76920300117

CAPÍTULO 17 150

SIMULAÇÃO DO CARREGAMENTO DE FERTILIZANTE EM TAMBORES ROTATIVOS COM SUSPENSORES USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

Gabrielle Ferreira Gravena
José Luiz Vieira Neto
Kassia Graciele dos Santos
Beatriz Cristina Silvério

DOI 10.22533/at.ed.76920300118

CAPÍTULO 18 160

SEPARATION OF ACETONA-CHLOROPHORM MAXIMUM BOULATING AZEOTROPE USING METHYL SULPHOXIDE THROUGH PROSIMPLUS SIMULATOR

Guilherme Ferreira da silva
Kerilen Paola Teixeira de Castro

DOI 10.22533/at.ed.76920300119

CAPÍTULO 19 172

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SABONETES LÍQUIDOS E EM BARRA

Vanessa Mendes Santos
Amanda Dias Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.76920300120

CAPÍTULO 20 183

MODELAGEM CINÉTICA DA CLORAÇÃO DO TA_2O_5 COM C_2CL_4

Rogério Navarro Correia de Siqueira
Taiane Zocatelli
Eduardo de Albuquerque Brocchi

DOI 10.22533/at.ed.76920300121

SOBRE A ORGANIZADORA 201

ÍNDICE REMISSIVO 202

AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE CARVÃO ATIVADO

Data de submissão: 04/11/2019

Data de aceite: 21/01/2020

Ana Cláudia Rodrigues De Barros

Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa- Paraíba

<http://lattes.cnpq.br/2203466436802929>

Riann de Queiroz Nóbrega

Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa- Paraíba

<http://lattes.cnpq.br/4547141140242470>

Lorena Lucena De Medeiros

Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa- Paraíba

<http://lattes.cnpq.br/8905109816060016>

Flávio Luiz Honorato Da Silva

Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa- Paraíba

<http://lattes.cnpq.br/2082780006180637>

Joelma Morais Ferreira

Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa- Paraíba

<http://lattes.cnpq.br/1966216398901568>

RESUMO: Com o aumento da necessidade de utilização de energia limpa, a fim de reduzir os níveis de poluição do planeta, volta-se a atenção para adoção de novas tecnologias utilizando matérias-primas sustentáveis. O

presente trabalho objetivou avaliar a adsorção do inibidor furfural através do carvão ativado, para viabilização da produção de bioetanol a partir de biomassa lignocelulósica. Os ensaios ocorreram em batelada e para simular o processo foram usadas soluções sintéticas do furfural. Os resultados indicaram que a adsorção de furfural pelo carvão ativado é viável proporcionando um percentual de adsorção de aproximadamente $91 \pm 1,6\%$. Conforme o estudo cinético, um tempo de 25 minutos é suficiente para o processo alcançar o equilíbrio e o modelo cinético utilizado para ajustar os dados experimentais foi o de pseudo segunda ordem. A avaliação da adsorção realizada no licor pré-hidrolisado apresentou um percentual de $91,3 \pm 8,0\%$ de adsorção do furfural.

PALAVRAS-CHAVE: Bioetanol; furfural, Inibidor, cinética de adsorção

EVALUATION OF THE FURURAL ADSORPTION KINETICS BY ACTIVATED COAL ADSORBENT

ABSTRACT: With the increasing need for clean energy use in order to reduce the planet's pollution levels, attention is turning to the adoption of new technologies using sustainable raw materials. The present work had as objective to evaluate the adsorption of the furfural inhibitor through activated carbon, to enable the production of bioethanol from lignocellulosic

biomass. The tests occurred in batch and to simulate the process of furfural were used synthetic solutions. The results indicated that the adsorption of activated carbon by furfural is feasible by providing a percentage adsorption approximately $91,0 \pm 1,6$ %. As the kinetic study, 25 minutes is a great time for the process to reach equilibrium and the kinetic model used to adjust the experimental data was the pseudo second order. The evaluation of the adsorption performed without pre-hydrolysed liquor presented a percentage of $91,3 \pm 8,0$ % of furfural adsorption.

KEYWORDS: Bioethanol; furfural; inhibitor; adsorption kinetics

1 | INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado dos países em desenvolvimento trouxe consigo o agravamento dos problemas ambientais, como o comprometimento da biodiversidade e a elevação das cotações de petróleo, entrando em contradição com a diminuição das reservas de petróleo e a crescente necessidade de preservação do meio ambiente (SILVA, 2010).

Com o aumento dos níveis da poluição no planeta, busca-se cada vez mais a utilização de fontes mais limpas de energia, como por exemplo, a produção e uso de biocombustíveis.

A biomassa é uma matéria-prima alternativa que possui enorme potencial entre as matrizes brasileiras (ANEEL, 2008). Como maior exemplo, temos o etanol obtido a partir da cana-de-açúcar, que atualmente satisfaz 40% do uso de combustível para automóveis no Brasil, sendo competitivo com a gasolina (UNICA, 2007).

Antes da fermentação das biomassas utilizando leveduras, para a obtenção de bioetanol, um pré-tratamento na matéria prima é necessário a fim de alterar a estrutura da biomassa para facilitar o processo. De acordo com Lu et al. (2009), neste pré-tratamento, utilizam-se ácidos diluídos (catalisadores), como sulfúrico, nítrico, acético e clorídrico, que geram vários subprodutos inibidores da fermentação, como por exemplo, o fufural e o hidroximetilfurfural.

O furfural é um aldeído heterocíclico e aromático formado pela desidratação da pentose (D-xilose), sendo esta uma espécie de monossacarídeo obtido pela quebra das ligações glicosídicas dos polissacarídeos da biomassa. Sua estrutura molecular está representada pela Figura 1.

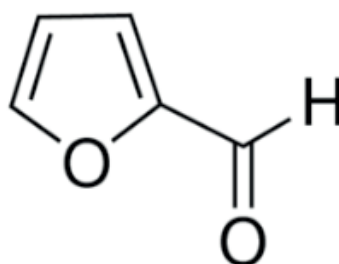


Figura 1- Estrutura molecular do furfural

Os furanos (furfural e 5-hidroximetilfurfural) são compostos que afetam os microorganismos, pois reduzem suas atividades enzimáticas e biológicas, desintegram o DNA e inibem a síntese de RNA e proteínas (MODING et al., 2002; ANDRADE 2014).

Geralmente, as leveduras são suscetíveis ao “ataque” de furfurais derivados do pré-tratamento ácido, que atuam como inibidores do seu crescimento. Assim, para diminuir os efeitos dos inibidores, alguns tratamentos adicionais são utilizados, como a destoxificação por adsorção (LU et al., 2009).

Torna-se, então, necessário o estudo desses inibidores fermentativos objetivando a melhoria do pré-tratamento, para que se obtenha licores que serão fermentados e gerem baixos índices de inibidores e maior rendimento na produção de bioetanol.

Lima et al. (2014) observou que a presença de concentrações acima 3 g/L de ácido acético, 1,5 g/L de HMF e 1 g/L de furfural, tem efeito tóxicos à fermentação, suficientes para inibir a ação dos microrganismo no processo e sendo o furfural o mais significativo na inibição da levedura na fermentação de licores gerados na hidrólise ácida de materiais lignocelulósicos.

A adsorção é uma operação de transferência de massa do tipo sólido fluido na qual se explora a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos demais componentes dessas soluções (GOMIDE, 1987).

O carvão ativado é largamente utilizado nos tratamentos de água residencial e de efluentes industriais, além de servirem como catalisadores e suporte de catalisadores (SCHNEIDER, 2008). Na área de tratamento de efluentes é usado na adsorção em fase líquida, por exemplo, na adsorção de moléculas orgânicas que causam sabor, odor e toxicidade (LETTERMAN, 1999).

A presente pesquisa teve como objetivo estudar a viabilização do processo de adsorção do furfural por carvão ativado como adsorvente, para obtenção de melhorias no processo fermentativo do licor pré-hidrolisado, que tragam maiores rendimentos da produção e menores custos da produção de bioetanol.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados neste estudo, soluções sintéticas de furfural com 0,1% de concentração e pH=4,3 em álcool etílico 50%, para simular uma condição do licor pré-hidrolisado do bagaço do pedúnculo de caju (*Anacardium Occidentale L.*) através dos hidrolisados ácidos e enzimáticos proveniente da produção de etanol e da produção de xilitol.

2.1 Preparo das Soluções Sintéticas

A solução utilizada foi preparada utilizando como base a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). Diluiu-se 1g de furfural (0,87 mL) a 100 mL de álcool etílico puro, e desta, a solução sintética foi preparada utilizando 1ml da solução anterior para cada

1000 mL de álcool etílico 50%. (0,01mg/mL).

2.2 Determinação da concentração de furfural

As concentrações de furfural nos ensaios de dsorção foram determinadas pela metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), citada no item anterior, utilizando análise por espectrofotometria, partindo de uma curva padrão para o cálculo das concentrações a partir das absorbâncias de furfural medidas. O comprimento de onda utilizado para a análise do furfural é de 520 nm. As amostras analisadas eram previamente preparadas com a adição de ácido acético glacial e anilina pura neón, agitadas e colocadas em banho à 15 °C por 15 minutos.

2.3 Ensaios de Adsorção

O carvão ativado foi, inicialmente, o adsorvente utilizado nos ensaios de adsorção. Os estudos do processo de adsorção do inibidor furfural foram realizados em batelada, sob condições de temperatura controlada a 30°C, conduzidos em frascos Erlenmeyers de 500 mL contendo 200 mL da solução mãe preparada a 0,1% de concentração e pH 4,3.

2.3.1 Efeito da Variação da Massa de Adsorvente

Com o objetivo de se analisar a capacidade de adsorção do adsorvente em função de diferentes massas para uma concentração fixa do inibidor, foram realizados ensaios em que se fez variar a massa de carvão ativado em: 0,5g, 1,0g, 2,0g, 3,0g, 4,0g e 5,0g. As amostras foram colocadas em erlenmeyers, sob 30°C sem agitação, retirando alíquotas de 6ml em tubos Falcon a cada 5 minutos, até completar o tempo de 30 minutos do processo. A cada alíquota retirada, as amostras eram centrifugadas por 5 minutos à 3600 rpm, onde foram retirados os sobrenadantes e centrifugadas mais uma vez sob as mesmas condições, para que o sólido (adsorvente + inibidor adsorvido) fossem separados da parte líquida. O sobrenadante obtido da centrifugação era levado para ser analisado no espectrofotômetro, a fim de se detectar a concentração final de furfural na solução. Todos os ensaios foram realizados em duplicatas. A quantidade adsorvida de furfural pela massa do carvão ativado foi calculada de acordo com a Equação 1:

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

Onde q corresponde à capacidade de adsorção, ou seja é a quantidade do inibidor furfural por uma determinada massa de adsorvente ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), V é o volume da solução em contato com o adsorvente (carvão) (mL), C0 é a concentração inicial do furfural na solução (mg mL^{-1}), Ce é a concentração final do furfural na solução (mg

mL-1) e m é a quantidade de adsorvente (carvão) usada (g).

A percentagem remoção/adsorção de furfural foi calculada de acordo com a Equação 2:

$$\eta = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

onde η corresponde à eficiência de remoção do furfural (%), C_0 e C_e têm o mesmo significado e unidades que foram indicados para a Equação 1.

2.3.2 Efeito da Variação do Tempo de Contato – Estudo cinético

Para o estudo da cinética de adsorção, fez-se variar o tempo de contato entre a solução mãe de furfural e o carvão ativado, conduzidos estaticamente sob temperatura controlada a 30°C.

Variou-se o tempo num intervalo de 0 a 30 minutos, retirando amostras a cada 5 minutos. Assim, sob as mesmas condições da primeira etapa, os ensaios realizados em duplicatas, alíquotas de 6 mL foram retiradas em tubos Falcon nos intervalos: 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e centrifugadas duas vezes a 3600 rpm. Em seguida analisadas no espectrofotômetro para determinação final da concentração do furfural.

2.3.3 Modelos Cinéticos

É de grande importância estudar o equilíbrio de adsorção para determinar a sua eficácia. Porém, se faz necessário o estudo do tipo de mecanismo para o processo de adsorção que será estudado, para que se investigue o mecanismo e as etapas controladoras do processo, que incluem transferência de massa e possíveis reações químicas.

Os parâmetros cinéticos permitem avaliar a natureza das etapas determinantes da velocidade. Calcular e entender os parâmetros cinéticos são importantes em processos de adsorção, pois permite calcular a velocidade de adsorção, além de descrever o tempo necessário para remover os contaminantes, além da quantidade adsorvida do adsorbato e do tempo de residência do mesmo na superfície do sólido.

A partir dos resultados da etapa anterior, a cinética de adsorção foi avaliada através de modelos cinéticos teóricos, para verificar em qual modelo melhor se aplica o processo de adsorção. Foi testado o modelo cinético de pseudo-segunda ordem (Equação 3):

$$q = \frac{t}{Q_e} + \left(\frac{1}{K \times Q_e^2} \right) \quad (3)$$

Onde Q_e é a capacidade de adsorção no equilíbrio (mg.g^{-1}); q a quantidade de

furfural adsorvida no tempo t (min); K ($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) é a constante de velocidade.

Em alguns casos, o modelo de pseudo-primeira ordem não se ajusta à toda faixa de tempo de contato (geralmente aplicado em tempos acima de 20 a 30 minutos iniciais do processo de adsorção). Considerando também que, muitas vezes o Q_e é desconhecido (processo lento), torna-se necessário obter a real capacidade de adsorção do equilíbrio, Q_e . O modelo cinético de pseudo-segunda ordem também é baseado na capacidade de adsorção da fase sólida de uma solução, descrevendo o comportamento do processo em toda a faixa de tempo de contato.

Os valores dos parâmetros Q_e e K foram ajustados através da modelagem da cinética de pseudo-segunda ordem realizada com o auxílio do software Excel 2013.

2.4 Adsorção do inibidor furfural no licor pré- hidrolisado (validação do estudo em solução sintética)

Pelos ensaios de adsorção, foi utilizada a massa que obteve maior percentual de adsorção dos adsorventes remoção do furfural no licor pré-hidrolisado. Com isso, a massa dos adsorvente foi pesada e colocada em erlenmeyer de 500 mL contendo 200 mL do licor negro. Em seguida, o erlenmeyer foram colocadas em um shaker rotativo a 30°C com 200 rpm, utilizando um tempo de adsorção de 5 horas. Por fim, a amostra foi centrifugada por 10 minutos a 3600 rpm e colocada em tubos falcon de 15 mL para futuras análises por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito da variação da massa de adsorvente

Os resultados obtidos da variação da quantidade de massa do adsorvente (carvão ativado) no processo de adsorção do furfural permitem avaliar em qual massa se obtém a maior capacidade adsortiva do carvão ativado e o percentual de furfural que foi adsorvido por cada quantidade de massa de carvão para a solução 0,1% de furfural.

A Figura 2 apresenta como a capacidade de adsorção varia com a variação de massa de adsorvente, onde cada cor representa um tempo de adsorção analisado. Observa-se, pela Figura 2, que os valores da capacidade de adsorção (q) do furfural pelo carvão ativado variaram de maneira inversamente proporcional ao aumento de massa. Os valores de maior capacidade de adsorção foram obtidos com as menores massas de carvão ativado.

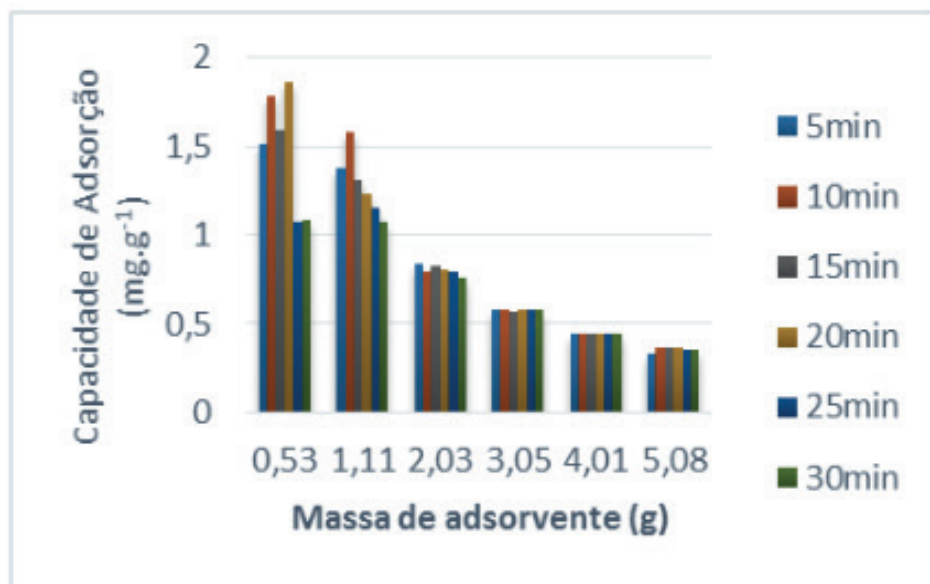


Figura 2- Capacidade de adsorção de furfural pelo carvão ativado em relação à variação de massa do adsorvente

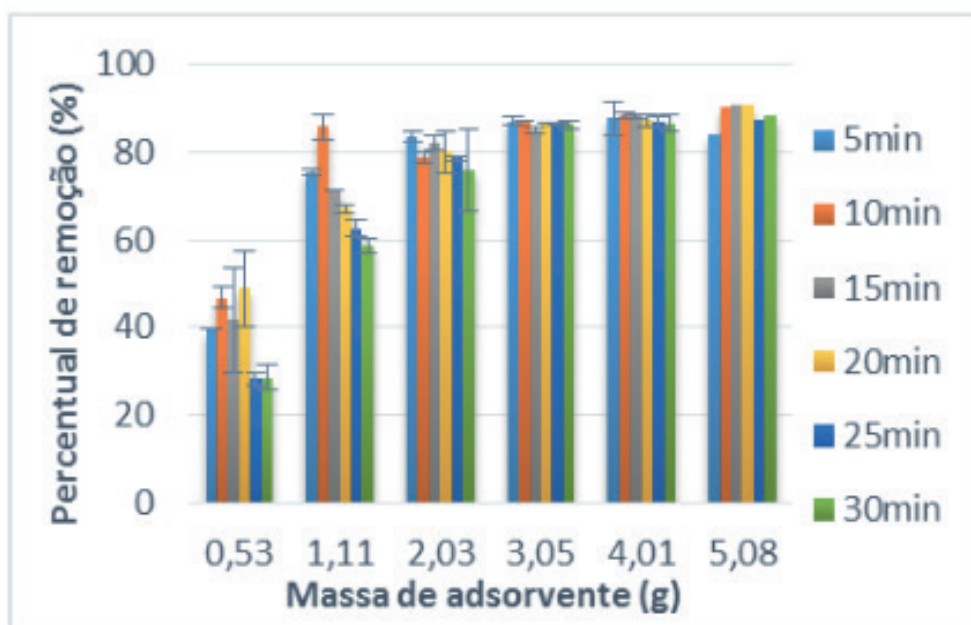


Figura 3- Percentual de remoção do furfural pelo carvão ativado em relação à variação de massa do adsorvente

Em contrapartida, os resultados da Figura 3 mostram o percentual de remoção de furfural da solução pelo carvão ativado, onde maiores percentuais de remoção do furfural foram observados para maiores massas do adsorvente, obtendo-se a percentagem máxima de remoção aproximadamente $91 \pm 1,6\%$ ao utilizar 4 e 5 g de carvão ativado.

3.2 Cinética de Adsorção

Os dados experimentais da cinética de adsorção do furfural pelo carvão ativado são apresentados na Figura 4.

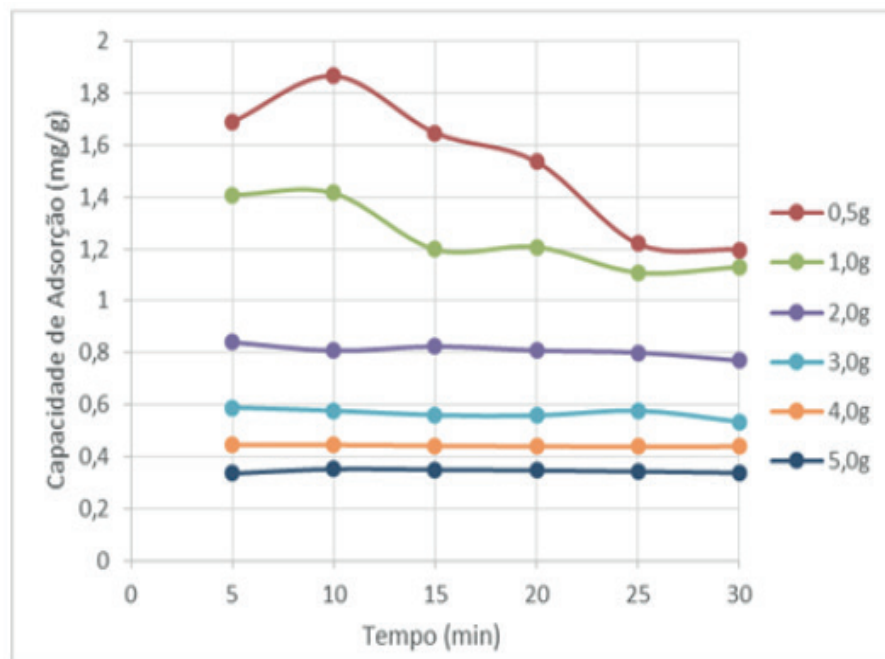


Figura 4 – Cinética de adsorção do furfural pelo carvão ativado

A Figura 4 mostra o perfil em que variou-se a capacidade de adsorção com o tempo de contato do adsorvato com o adsorvente, para todas as massas testadas. Analisando os resultados obtidos para cada 5 minutos de tempo de reação, pode-se perceber que o equilíbrio ocorre em aproximadamente 25 minutos de contato.

Para descrever a cinética de adsorção do inibidor furfural, foi utilizado o modelo de pseudo segunda ordem para cada massa de adsorvente. Os parâmetros cinéticos do processo de adsorção foram obtidos pelas regressões não lineares dos dados experimentais (Tabela 1).

Modelos Cinéticos	Parâmetros
Pseudo-segunda ordem	R ² = 0,996 q _e = 1,217 mg.g ⁻¹ K = 1,304 g.mg ⁻¹ .min ⁻¹

Tabela 1 – Parâmetros cinéticos obtidos para adsorção do inibidor Furfural pelo Carvão Ativado

Verifica-se pela Tabela 1 que o modelo de pseudo-segunda ordem apresenta um coeficiente de determinação (R²) alto.

3.4 Adsorção do inibidor furfural no licor pré- hidrolisado (validação do estudo em solução sintética)

Após os testes de adsorção na solução sintética, foi realizado o experimento em uma amostra de licor pré-hidrolisado do bagaço do pedúnculo de caju, previamente caracterizado, afim de se obter respostas sobre a atuação do carvão ativado sobre o furfural presente no licor.

Para este experimento, utilizou-se uma massa de 5,0 g de carvão ativado, escolhida a partir dos testes anteriores, que resultaram em maiores percentuais de adsorção para a maior massa de adsorvente.

As análises foram feitas em cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), e os resultados obtidos mostraram que o carvão ativado adsorveu aproximadamente $91,3 \pm 8,0\%$ do furfural presente no licor in natura. O carvão apresentou um percentual de remoção de furfural alto, pois comparando com os outros componentes presentes no licor (glicose e xilose, por exemplo), o furfural foi o composto que mais foi adsorvido, atingindo o objetivo do presente trabalho.

4 | CONCLUSÃO

O estudo da variação das quantidades de massa do adsorvente utilizada, apresentou uma taxa de remoção do furfural pelo carvão ativado de aproximadamente $91 \pm 1,6\%$ utilizando uma massa de 5,0 g de adsorvente.

Os dados cinéticos mostraram que 25 minutos é o tempo necessário para alcançar o equilíbrio no processo de adsorção do furfural pelo carvão ativado.

O estudo da validação utilizando o licor pré-hidrolisado resultou em uma adsorção de $91,3 \pm 8,0\%$ de furfural, um pouco acima do estudo com a solução simulada.

Os resultados apresentados permitem concluir que o carvão ativado adsorve bem o inibidor furfural nas condições investigadas, já que os valores dos percentuais apresentaram um bom desempenho para adsorção do inibidor indesejado no processo de fermentação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de energia elétrica do Brasil 3ª ed.* – Brasília: Aneel, 2008.

ANDRADE, L.F. *Produção de etanol de segunda geração.* Belo Horizonte: UFMG, 2014.

BRASIL. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos* /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea, São Paulo, SP: INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008.

GOMIDE, R. *Operações unitárias: operações de transferência de massa. 1ª ed.* São Paulo: Dag Gráfica e Editora Ltda., 1988 v. 4, p. 311 – 315.

LETTERMAN, R. D. *Water Quality and Treatment.* 5th Edition, Mcgraw-Hill, Inc., Toronto, 1999.

MODING, T., LIDEN, G.; TAHERZADEH, M.J. *Inhibition effects of furfural on alcohol dehydrogenase, aldehyde dehydrogenase and pyruvate dehydrogenase.* *Biochemistry Journal*, v.363, p.769–776, 2002.

SCHNEIDER, EDUARDO LUIZ. *Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado.* Toledo, PR: Unioeste, 2008.

SILVA, N. CONCEIÇÃO, L. *Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa*

residual da indústria de celulose. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇUCAR (UNICA). ***Produção e uso de etanol combustível no Brasil.*** São Paulo, 2007.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Açairana 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 112, 116

Ácido ascórbico 74, 76, 78, 79, 80

Análise estatística 5, 97, 111, 162, 167, 168

B

Bioetanol 44, 45, 46, 52

C

Camu-camu 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) 16, 17

Cerveja 54, 55, 57, 58, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

Cerveja artesanal 64, 73, 74, 76, 77, 78, 81

Chá verde 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Cimentação 140

Cinética 7, 18, 23, 27, 44, 48, 49, 50, 51, 97, 98, 103, 104, 105, 106, 153, 154, 160, 194, 196, 204, 209, 210

Cinética de adsorção 44, 48, 50, 51

Colorimetria 109

Corante natural 109

Custos de produção 75, 88, 89, 90, 91, 93

D

Deposição de carbono 126, 127, 203

Destilação Solar 30, 31, 32, 43

E

Efluente 119, 120, 121, 123, 124, 125

Energia Solar 30, 31, 32, 42, 43

Enzimas lipolíticas 89, 92, 94, 95

Espectrofotometria UV-VIS 134

Estatística 1, 5, 72, 97, 111, 115, 162, 167, 168

Etanol 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 16, 17, 30, 31, 32, 43, 45, 46, 52, 53, 70, 91, 92, 109, 110, 114, 115, 116, 128

F

Farelo de Arroz 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Fermentação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 45, 46, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 71, 72, 79, 88, 89, 90, 92, 94, 95, 163

Fermentação em Estado Sólido 88, 89, 90, 94

Flexitubos 140

Furfural 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52

H

Hidrocarbonização 119, 120, 123, 124, 125

I

Inibidor 44, 47, 49, 51, 52

L

Lavanderia 119, 121, 124, 125

Leveduras 6, 7, 45, 46, 54, 58, 61, 63

Lúpulo 55, 57, 65, 67, 68, 71, 72, 75, 76

M

MCM-41 18, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133

Métodos não isotérmicos 16, 19, 27

Miconia ciliata 96, 97, 98, 100, 103, 106, 107, 108, 109, 110, 117

Modelagem 10, 11, 12, 27, 49, 94, 97, 145, 152, 153, 159, 194, 204

Modificação 42, 126

O

Ortofenantrolina 134, 136

P

Parâmetros cinéticos 16, 19, 20, 27, 28, 48, 51

R

Resíduos agroindustriais 89, 90, 95

Resina de troca iônica 134, 136, 138

S

Saccharomyces cerevisiae 1, 2, 3, 6, 61, 63, 64, 68

Sustentabilidade 30

T

Troca térmica 139, 140, 142, 144, 146

Trub 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64

 **Atena**
Editora
2 0 2 0