



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 Cecilia da Esperança Santos	
Sirlene Barbosa Lima	
Maria Luiza Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010436	
SOBRE A ORGANIZADORA	334

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

Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira

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

José Renato Guimarães

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

Brenda Sedlmaier Costa Coelho

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Engenharia Química
Ouro Branco, Minas Gerais

Camila Ceravolo de Carvalho

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Engenharia Química
Ouro Branco, Minas Gerais

Francine Silveira Vieira

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Engenharia Química
Ouro Branco, Minas Gerais

Luiza Moreira Santos

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Engenharia Química
Ouro Branco, Minas Gerais

Jorge David Alguiar Bellido

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Engenharia Química
Ouro Branco, Minas Gerais

denominadas *Higee*, permitem o aumento da capacidade e eficiência de um processo, comparado a uma coluna convencional. Neste contexto, a principal proposta deste trabalho foi desenvolver uma coluna rotativa com leito estruturado para a absorção de gás carbônico por uma solução de NaOH 1 M, utilizando a tecnologia *Higee*. A avaliação do novo sistema desenvolvido foi realizada através da eficiência de captura de CO₂, da área interfacial efetiva (a_e) e do coeficiente volumétrico de transferência de massa em fase gasosa ($k_G A$). Também foram avaliados a influência dos parâmetros operacionais de velocidade de rotação e das vazões de gás e líquido no processo de absorção. A quantidade de CO₂ absorvido na solução de NaOH foi determinada a partir da titulação com HNO₃ 1 M. As variáveis investigadas foram a velocidade de rotação (300; 1050 e 1800 rpm), vazão de CO₂ (4; 6 e 8 L min⁻¹) e vazão de NaOH (0,5; 0,75 e 1,0 L min⁻¹). O aumento da velocidade de rotação levou a um aumento da eficiência, a_e , e $k_G A$, e, conseqüentemente, o contato entre as fases. Foi verificada a proporção direta entre a vazão de gás e os valores de a_e e $k_G A$. As maiores eficiências foram obtidas nas menores vazões de CO₂ e NaOH, 4 L min⁻¹ e 0,5 L min⁻¹ respectivamente, e na maior velocidade de rotação, 1800 rpm.

RESUMO: As colunas de recheio rotativo,

PALAVRA-CHAVE: *Higee*; área interfacial

efetiva; coeficiente volumétrico de transferência de massa em fase gasosa; velocidade de rotação.

ABSTRACT: Rotating Packed Bed, called Hige, allow the increase of the capacity and efficiency of a process, compared to a conventional column. In this context, the main proposal of this work was to develop a rotating column with structured bed for the absorption of carbon dioxide by 1 M NaOH solution, using *Hige* technology. The evaluation of the new system was performed through the CO₂ capture efficiency, the effective interfacial area (a_e) and the volumetric gas-phase mass transfer coefficient ($k_G A$). The influence of the operating parameters of rotational velocity and gas and liquid flow rates on the absorption process were also evaluated. The amount of CO₂ absorbed in the NaOH solution was determined from titration with 1 M HNO₃. The variables investigated were the rotational speed (300, 1050 and 1800 rpm), CO₂ flow rate (4, 6 and 8 L min⁻¹) and NaOH flow rate (0.5, 0.75 and 1.0 L min⁻¹). Increasing the speed of rotation led to an increase of the efficiency, a_e , and $k_G A$, and, consequently, the contact between the phases. The direct proportion between the gas flow rate and the a_e and $k_G A$ values was verified. The highest efficiencies were obtained at the lowest CO₂ and NaOH flow rates, 4 L min⁻¹ and 0.5 L min⁻¹ respectively, and at the highest rotation speed, 1800 rpm.

KEYWORDS: *Hige*; effective interfacial area; volumetric gas-phase mass transfer coefficient; rotation speed.

1 | INTRODUÇÃO

O conceito de Intensificação de Processos surgiu da possibilidade de reduzir os custos totais de operação em uma planta industrial por meio da redução de seu tamanho, com isso tem-se o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos. Nesse contexto, associa-se a tecnologia *Hige*, oriunda do termo em inglês “*high g*”, que significa alta gravidade, desenvolvida por Ramshaw e Mallinson (1981). Ela utiliza a força centrífuga para intensificar a transferência de massa interfacial gás-líquido, reduzindo o volume do equipamento em até duas vezes em comparação com o modelo convencional (Joel *et al.*, 2014).

Durante as últimas três décadas, colunas de leito rotativa ou RPB (do inglês, *Rotating Packed Bed*) foram empregados para obter absorção (Zhang *et al.*, 2011), dessorção (Majeed *et al.*, 2007), destilação (Luo *et al.*, 2012), desvolatilização de polímeros (Chen *et al.*, 2010), precipitação reativa (Chen *et al.*, 2000), produção de nanopartículas (Sun *et al.*, 2011), entre outros.

A demanda de energia associada ao aumento do uso de combustíveis fósseis aumentou consideravelmente as concentrações de CO₂ na atmosfera. Muitos estudos avaliaram a viabilidade de captura de CO₂ utilizando o processo de absorção em colunas rotativas com soluções aquosas de MEA (Joel, 2014), etanolamina (Yeh e

Pennlie, 2001) ou NaOH (Liu, 2015), por exemplo.

De modo a trazer subsídios ao projeto de novas colunas de absorção ou de modificações de colunas já existentes, esse trabalho teve o objetivo de construir e analisar o desempenho da coluna de absorção com recheio estruturado e rotativo, atuando na mistura binária NaOH/CO₂. Para tanto, foram determinados o coeficiente de transferência de massa para a fase líquida, além da influência da velocidade de rotação, das vazões de gás e líquido na eficiência de remoção de CO₂.

2 | MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Montagem e operação da coluna rotativa

A unidade *Higee* foi constituída por um rotor com recheio estruturado e estruturas auxiliares, como descrito na Figura 1. A solução de NaOH 1 M é alimentada através de um distribuidor pelo interior da coluna e flui radialmente para fora, como gotículas ou filetes através do recheio, por meio da força centrífuga. Enquanto isso, a mistura gasosa (ar e 10% de CO₂) entra no interior do rotor, pelo lado externo, e flui radialmente para dentro por um gradiente de pressão. A coleta do líquido é feita pela parte de baixo.

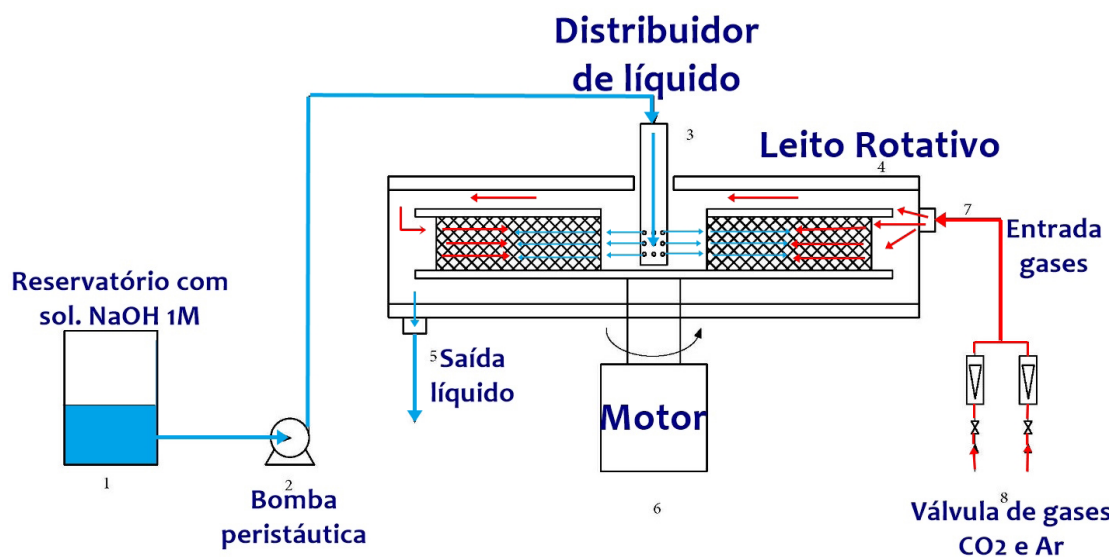


Figura 1. Representação esquemática do sistema experimental utilizando uma coluna de leito rotativo para a absorção de CO₂ com solução NaOH.

2.2 Planejamento Experimental

Utilizou-se o design de experimentos fracionado (Tabela 1) para avaliar a influência de três parâmetros no processo: vazão de solução de NaOH, rotação do motor e vazão da mistura gasosa, totalizando sete experimentos.

Níveis	Vazão de NaOH 1 M (L min ⁻¹)	Rotação do motor (rpm)	Vazão de CO ₂ (L min ⁻¹)
-1	0,50	300	4,0
0	0,75	1050	6,0
1	1,00	1800	8,0

Tabela 1. Variáveis e níveis de estudo.

2.3 Eficiência de captura de CO₂

A eficiência de captura do CO₂ foi calculada pela Equação 1. A concentração inicial de CO₂ (C_i) foi calculada por meio da vazão de mistura CO₂ e ar da alimentação. A concentração final (C_f) foi determinada indiretamente, por meio da titulação da solução de NaOH com HNO₃ 1 M, utilizando a fenolftaleína como indicador.

$$E(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \quad (1)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Principais efeitos das variáveis na eficiência

A Figura 2(a) apresenta o efeito da velocidade de rotação na eficiência de captura de CO₂, para cada vazão de CO₂ testada, na concentração de 10% v/v. Conforme esperado, o aumento da velocidade de rotação proporcionou um aumento na eficiência de captura de CO₂, pelo fato da aceleração centrífuga fornecer um filme estagnado de fina espessura junto à interface gás-líquido, conduzindo a uma maior transferência de massa, de acordo com a teoria da penetração, desenvolvida por Higbie (1935). Verificase também que na menor vazão de gás (4 L min⁻¹ de CO₂), obteve-se a maior eficiência na captura do CO₂. O aumento na vazão do gás resulta em um tempo menor de contato entre as fases gás-líquido, diminuindo assim a transferência de massa. Tendências semelhantes foram encontradas por Lin e Chen (2011) ao estudar a absorção de CO₂ pela solução de NaOH no RPB de fluxo cruzado com recheio estruturado.

Pela Figura 2(b), verificou-se que a melhor eficiência foi obtida trabalhando-se com a velocidade de rotação e vazão de NaOH inversamente proporcionais. É interessante prever, mesmo sem a realização dos testes, que é possível obter a mesma eficiência, para uma velocidade de rotação de aproximadamente 900 rpm, utilizando tanto a vazão 0,5 L min⁻¹ quanto de 1 L min⁻¹ de NaOH.

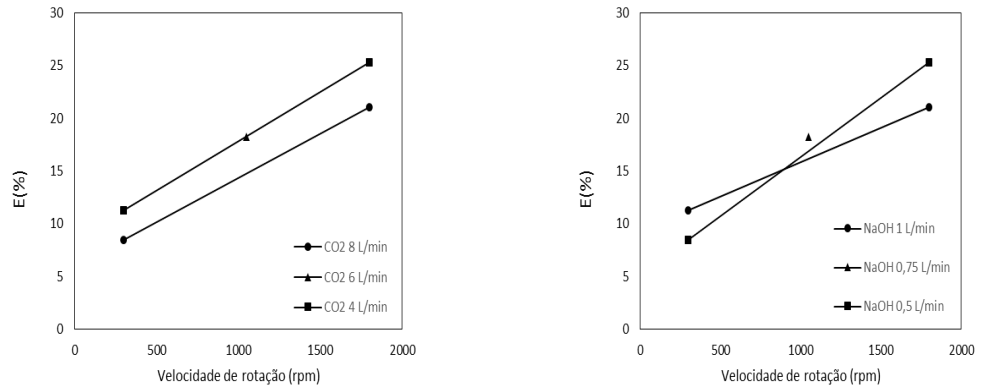


Figura 2. Efeito da velocidade de rotação na eficiência para cada vazão testada de: (a) CO₂ e (b) NaOH.

3.2 Efeito padronizado das variáveis na eficiência

A Figura 3 mostra o gráfico de Pareto para as variáveis de estudo. Através dos resultados, verifica-se que a rotação é a variável preditora mais significativa na eficiência da captura de CO₂ pela solução de NaOH 1 M, na coluna de leito rotativo.

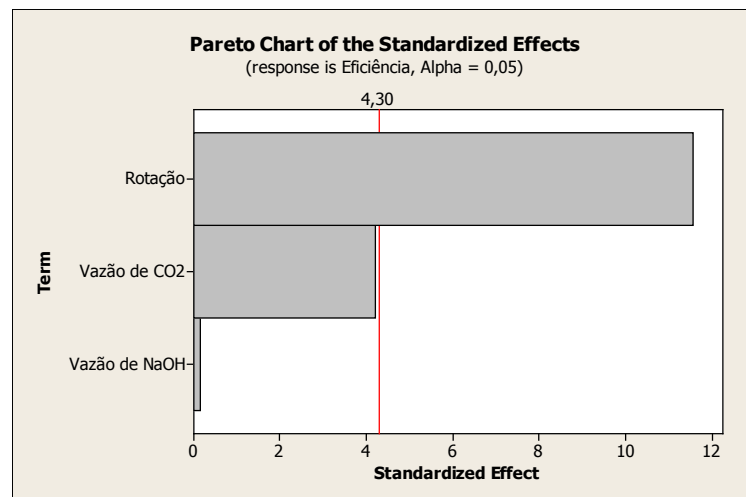


Figura 3. Efeito padronizado das variáveis na eficiência.

3.3 Efeito da velocidade de rotação e da vazão de CO₂ sobre o $k_G A$ e a_e

A Figura 4 mostra a relação entre a velocidade de rotação com a área interfacial efetiva (a_e) e o coeficiente volumétrico gasoso de transferência de massa ($k_G A$), variando-se a vazão de CO₂. Aumentando-se a velocidade de rotação, aumenta-se a força de cisalhamento do líquido pelo recheio, melhorando a dispersão do líquido e consequentemente aumentando a a_e e o $k_G A$. O aumento da vazão do CO₂ também provoca um aumento da a_e e do $k_G A$, devido ao aumento da velocidade radial do mesmo, conduzindo a uma maior perturbação das fases gás-líquido e com isso, uma melhor dispersão do líquido e um aumento da interface gás-líquido (Yang *et al.*, 2011).

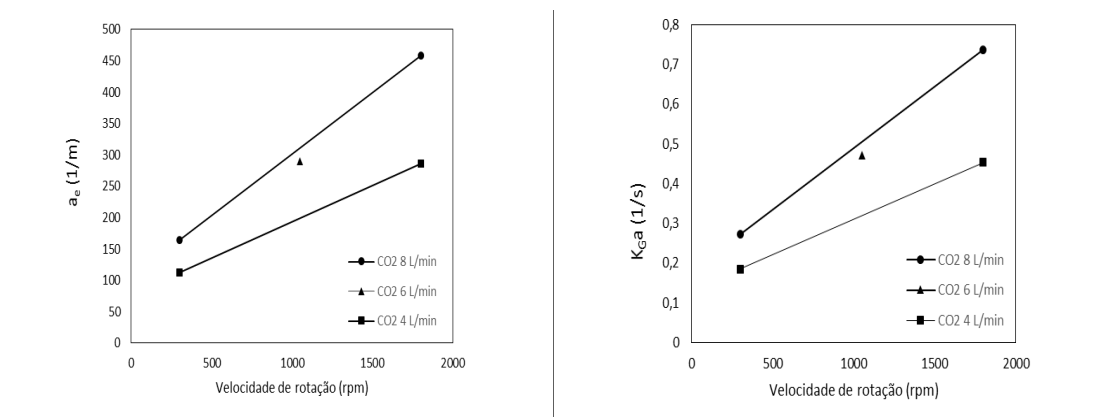


Figura 4. Efeito da velocidade de rotação (a) na a_e e (b) no k_{GA} , variando a vazão de CO₂.

A Figura 5 mostra a relação entre a velocidade de rotação com a a_e e o k_{GA} , variando-se a vazão de NaOH. Para a menor rotação são obtidos valores menores de a_e e k_{GA} , quando se utilizou a menor vazão de NaOH. Esse efeito pode ser explicado pela insuficiência da rotação em dispersar o líquido que entra no recheio, formando filmes líquidos mais espessos, dificultando a entrada do gás e diminuindo a interface gás-líquido. Já para a maior rotação, são obtidos valores maiores de a_e e k_{GA} , quando se tem a maior vazão de NaOH. Isso ocorre porque a velocidade de rotação consegue dispersar melhor o líquido e o aumento da velocidade do líquido promove a formação de filmes líquidos mais finos e a fração da embalagem molhada também aumenta (Rajan *et al.*, 2011).

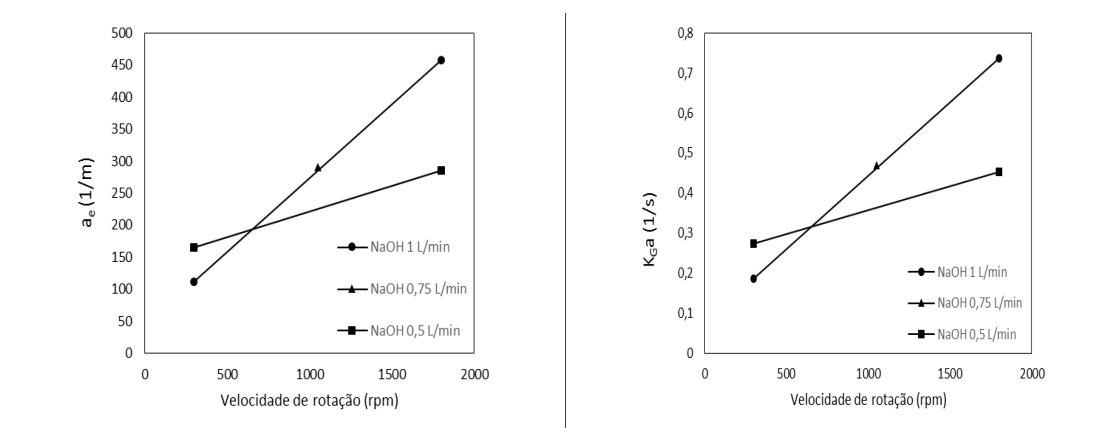


Figura 5. Efeito da velocidade de rotação (a) na a_e e (b) no k_{GA} , variando a vazão de CO₂, variando a vazão de NaOH.

4 | CONCLUSÃO

O uso da coluna rotativa com recheio estruturado mostra-se com uma importante aplicação industrial na redução do volume de equipamentos e a redução dos custos. Este trabalho propôs a construção e a avaliação de uma coluna de leito estruturado e rotativo para a absorção de gás carbônico por hidróxido de sódio. Os resultados foram avaliados em relação à eficiência de captura de CO₂, à área interfacial efetiva

(a_e), e ao coeficiente volumétrico gasoso de transferência de massa ($k_G A$), utilizando planejamento experimental. Os resultados indicaram que o aumento da velocidade de rotação acarretou no aumento da eficiência, da a_e e do $k_G A$. Além disso, houve uma proporcionalidade direta entre a vazão de gás e os valores de a_e e $k_G A$. As condições operacionais testadas que ofereceram a maior eficiência foram as menores vazões de CO_2 e NaOH , 4 L min^{-1} e $0,5 \text{ L min}^{-1}$, respectivamente, e a maior velocidade de rotação, 1800 rpm. Por isso, sugere-se modificações futuras no tipo de recheio visando aumentar a eficiência e possibilitando o uso de maiores vazões de CO_2 .

REFERÊNCIAS

CHEN, J. F.; GAO, H.; ZOU, H. K.; CHU, G. W.; ZHANG, L.; SHAO, L.; XIANG, Y.; WU, Y. X. **Cationic Polymerization in Rotating Packed Bed Reactor: Experimental and Modeling**. *AIChE Journal*. v. 56, p. 1053, 2010.

CHEN, J. F.; WANG, Y. H.; GUO, F.; WANG, X. M.; ZHENG, C. **Synthesis of Nanoparticles with Novel Technology: High-gravity Reactive Precipitation**. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 39, p. 948, 2000.

HIGBIE, R. **The rate of absorption of a pure gas into a still liquid during short periods of exposure**. *AIChE Journal*., v. 31, p. 365-390, 1935.

JOEL, A. S.; WANG, M.; RAMSHAW, C.; OKO, E. **Process analysis of intensified absorber for post-combustion CO_2 capture through modelling and simulation**. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v. 21, p. 91-100, 2014.

LIN, C. C.; CHEN, B. C. **Carbon dioxide absorption into NaOH solution in a cross-flow rotating packed bed**. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 13, p. 1083–1090, 2011.

LIU, Y.; GU, D.; XU, C.; QI, G.; JIAO, W. **Mass transfer characteristics in a rotating packed bed with split packing**. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 23, p. 868–872, 2015.

LUO, Y.; CHU, G. W.; ZOU, H. K.; XIANG, Y.; SHAO, L.; CHEN, J. F. **Characteristics of a two-stage counter-current rotating packed bed for continuous distillation**. *Journal of Chemical and Process Engineering*, v. 52, p. 55, 2012.

MAJEED, S. J.; ROCHELLE, G.; EIMER, D.; RAMSHAW, C. **Carbon Dioxide Absorption and Desorption in Aqueous Mono Ethanol Amine Solutions in a Rotating Packed Bed**. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 46, p. 2823, 2007.

RAJAN S.; KUMAR M.; ANSARI M. J.; RAO D. P.; KAISTHA N. **Limiting gas–liquid flows and mass transfer in a novel rotating packed bed (HiGee)**, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 50, p. 986–997, 2011.

RAMSHAW, C.; MALIINSON, R. H. **Mass transfer process**. U.S. Patent 4.283.255, 1981.

SUN, B. C.; WANG, X. M.; CHEN, J. M.; CHU, G. W.; CHEN, J. F.; SHAO, L. **Synthesis of Nano- CaCO_3 by Simultaneous Absorption of CO_2 and NH_3 into CaCl_2 Solution in a Rotating Packed Bed**. *Chemical Engineering Journal*, v. 168, p. 731, 2011.

YANG, K.; CHU, G. W.; ZOU, H. K.; SUN, B. C.; SHAO, L.; CHEN, J. F. **Determination of the effective interfacial area in rotating packed bed**. *Chemical Engineering Journal*, v. 168, p. 1377–1382, 2011.

YEH, J. T., PENNLIN, H. W. **Study of CO₂ Absorption and Desorption in a Packed Column.** U.S. DOE/ NETL, Kevin P. Resnik, Parsons Infrastructure and Technology Group, Inc., USA, 2001.

ZHANG, L. L.; WANG, J. X.; XIANG, Y.; ZENG, X. F.; CHEN, J. F. **Absorption of Carbon Dioxide with Ionic Liquid in a Rotating Packed Bed Contactor: Mass Transfer Study.** Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 50, p. 6957, 2011.

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

