



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 BODIESEL PELA TRANSESTERIFICAÇÃO SUPERCRÍTICA ETANÓLICA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Erich Potrich

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos – SP

Bruno Elias Suzart Chamas

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos – SP

Antonio José Gonçalves da Cruz

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos – SP

Roberto de Campos Giordano

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos – SP

utilizado para modelar e simular uma planta de produção de biodiesel que processa 25 t/h de óleo de soja. A planta simulada envolve as etapas de mistura do etanol com o óleo de soja, da reação de transesterificação, da recuperação do etanol e da separação do glicerol do biodiesel, como também das trocas térmicas necessárias. Os resultados obtidos forneceram os principais dados de massa e quantidade de calor requerida em cada um dos equipamentos do processo, sendo úteis como base para uma futura unidade industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel, Supercrítico, Etanol, Modelagem, Simulação.

ABSTRACT: Brazil produced 4.29 million cubic meters of biodiesel in 2017, being the second most produced biofuel in Brazil, losing only for ethanol. Despite the high production of ethanol, it is methanol, a non-renewable fuel that comes from natural gas, which actively participates in the production of biodiesel. Besides that, the use of traditional catalysts contributes to make the biodiesel less environmentally correct. With this, the objective was to analyze, through modeling and simulation, a new production route for biodiesel. This route is the supercritical ethanolic transesterification without the presence of a catalyst. The EMSO software (Environment for Modeling, Simulation and Optimization) was used to model and simulate

RESUMO: O Brasil produziu 4,29 milhões de m³ de biodiesel em 2017, sendo o segundo biocombustível mais produzido do Brasil, perdendo apenas para o etanol. Apesar da alta produção de etanol, é o metanol, um combustível não renovável que advém do gás natural, que participa ativamente na produção do biodiesel. Além de que, o uso de catalisadores tradicionais contribui para tornar o biodiesel menos ambientalmente correto. Com isso, teve-se como objetivo analisar, por meio da modelagem e simulação, uma nova rota de produção para o biodiesel. Essa rota é a transesterificação etanólica supercrítica sem a presença de catalisador. O software EMSO (Environment for Modeling, Simulation and Optimization) foi

a biodiesel production plant that processes 25 t/h of soybean oil. The simulated plant involves the steps of blending ethanol with soybean oil, transesterification reaction, ethanol recovery and the separation of glycerol from biodiesel, as well as the necessary thermal changes. The results obtained provided the main mass data and the amount of heat required in each of the process equipment, being useful as a basis for a future industrial unit.

KEYWORDS: Biodiesel, Supercritical, Ethanol, Modeling, Simulation.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial do agronegócio, sendo o segundo maior produtor tanto de etanol como de biodiesel, perdendo apenas para os Estados Unidos. Em 2017 a produção brasileira de biodiesel foi de 4,29 milhões de m³, sendo que 69,92% dessa produção utilizou óleo de soja como matéria-prima. Já a produção de etanol, no mesmo ano, foi de 28,61 milhões de m³, sendo em sua totalidade a cana-de-açúcar como matéria-prima. Atualmente, o óleo diesel tem 10% de mistura de biodiesel, enquanto a gasolina tem 27% de mistura de etanol (ANP, 2018).

O processo de produção de biodiesel pode ser por esterificação ou transesterificação. A esterificação consiste na reação reversível de uma molécula de ácido graxo com uma molécula de álcool, produzindo uma molécula de éster (biodiesel) e uma molécula de água. A transesterificação, que é o método mais utilizado, é uma reação química entre uma molécula de triglicerídeo (óleo graxo) e três moléculas de álcool, produzindo três moléculas de ésteres (biodiesel) e uma molécula de glicerol. Além do preço, outras vantagens da transesterificação são a produção de um éster de ácido graxo com características físicas muito mais próximas do diesel e o processo de produção é mais simples (Fukuda et al., 2001; Hoekman et al., 2012; Ma e Hanna, 1999).

Os álcoois mais usados para transesterificação são o metanol e o etanol. Enquanto o metanol é obtido principalmente pelo metano a partir do gás natural, o etanol no Brasil é obtido a partir da fermentação do caldo de cana. Além disso, é necessário a importação do metanol para atender a demanda interna, enquanto o etanol é produto de exportação brasileira. A reação com o etanol é mais complicada devido a reações paralelas com a água como a saponificação, sendo necessário trabalhar apenas com o etanol anidro (Geris et al., 2007). Contudo, a rota metila produz 33% a mais de gases de efeito estufa em comparação com a rota do etanol (Souza, 2010).

Uma maneira de usar o etanol com baixa probabilidade de ocorrer saponificação é por meio da transesterificação supercrítica sem catalisador. Essa forma de reação é realizada em elevados níveis de pressão e temperatura, em que o etanol está em estado supercrítico. Com isso, a transesterificação por etanol apresenta um elevado rendimento, tempo reduzido de reação e facilidade no processo de purificação do biodiesel (Farobie e Matsumura, 2015).

Como esse processo está atualmente apenas em escala laboratorial, a simulação vem como uma maneira rápida, eficiente e barata para avaliar o processo em escala industrial. O software, baseado em equações, EMSO (Environment for Modeling, Simulation and Optimization) se mostrou eficiente para esse propósito (Costa et al., 2016; Furlan et al., 2012; Soares e Secchi, 2003). Com isso, foi simulado no EMSO uma unidade industrial de produção de biodiesel por transesterificação supercrítica etanólica do óleo de soja sem o uso de catalisador.

MATERIAIS E MÉTODOS

A versão utilizada do software EMSO foi a academic beta version 0.10.9 no sistema operacional Windows 10 de 64 bits. Como componentes da simulação foi utilizado óleo de soja, etanol e biodiesel. Não foi considerado a presença de água no álcool. Os componentes óleo de soja e biodiesel são pseudocomponentes constituídos da mistura molar de outros quatro componentes, que foram baseados nos principais óleos graxos que os compõem (Kincs, 1985). O óleo de soja considerado nesse trabalho tem composição molar de 12,2% de tripalmitina ($C_{51}H_{98}O_6$), 4,00% de tristearina ($C_{57}H_{101}O_6$), 24,86% de trioleína ($C_{57}H_{104}O_6$) e 58,94% de trilinoleína ($C_{57}H_{98}O_6$). O biodiesel gerado tem composição molar de 12,2% de palmitato de etila ($C_{18}H_{36}O_2$), 4,0% de estearato de etila ($C_{20}H_{40}O_2$), 24,86% de oleato de etila ($C_{20}H_{38}O_2$) e 58,94% de linoleato de etila ($C_{20}H_{36}O_2$).

Para a simulação ser mais próxima da realidade, todos esses componentes tiveram seus dados termodinâmicas estimados por métodos de contribuição de grupos. O ponto de fusão, ponto de ebulição, propriedades críticas, entalpia e Gibbs de formação, além da capacidade calorífica do gás ideal foram estimadas pelo método de Contantinou e Gani (1994). O cálculo da capacidade calorífica foi feito a partir do método de Bondi (1966) e a pressão de vapor a partir de Riedel (1954). Foi utilizado o modelo termodinâmico UNIFAC para os desvios da idealidade da fase líquida na etapa de evaporação.

As condições de reação consideradas foram de uma conversão de 100%, a 400 °C, 20 MPa, 10 minutos de reação e relação molar óleo/etanol de 1/40 (FAROBIE e MATSUMURA, 2015). A quantidade processada de óleo de soja foi de 25 t/h. Essa quantidade é a capacidade de produção de uma indústria brasileira de médio/grande porte de extração de óleo de soja.

O processo simulado engloba primeiramente um misturador em que há mistura do óleo de soja com o etanol na proporção molar de 1/40. A maior parte desse etanol retornou do próprio processo. Não se considerou demanda elétrica ou energética pelo misturador. Após o misturador, a mistura tem sua pressão aumentada de 1 atm para 20 MPa por meio de uma bomba hidráulica de 65% de eficiência. Para se atingir a temperatura necessária de 400 °C utilizou-se de um aquecedor, cujo coeficiente de

troca térmica é de $0,69445 \text{ kW/m}^2/\text{K}$ e sem queda de pressão na corrente principal. O reator da reação é estequiométrico, com conversão de 100% e sem fornecimento ou retirada de calor. Após a etapa de reação há um tanque flash adiabático com que de pressão até 1 atm, fazendo toda a corrente de etanol que não reagiu evaporar. Essa corrente de etanol é condensada para líquido saturado num condensador, cujo coeficiente de troca térmica é de $0,69445 \text{ kW/m}^2/\text{K}$ e tem 100 m^2 de área de troca térmica. A corrente líquida que sai do flash é resfriada num resfriador até $25 \text{ }^\circ\text{C}$. O resfriador apresenta o mesmo coeficiente e área de troca térmica do condensador. Após o resfriamento, a corrente vai para um decantador para ocorrer a separação do biodiesel do glicerol. O decantador apresenta uma eficiência de 99%. Todos esses equipamentos estão descritos no fluxograma da Figura 1.

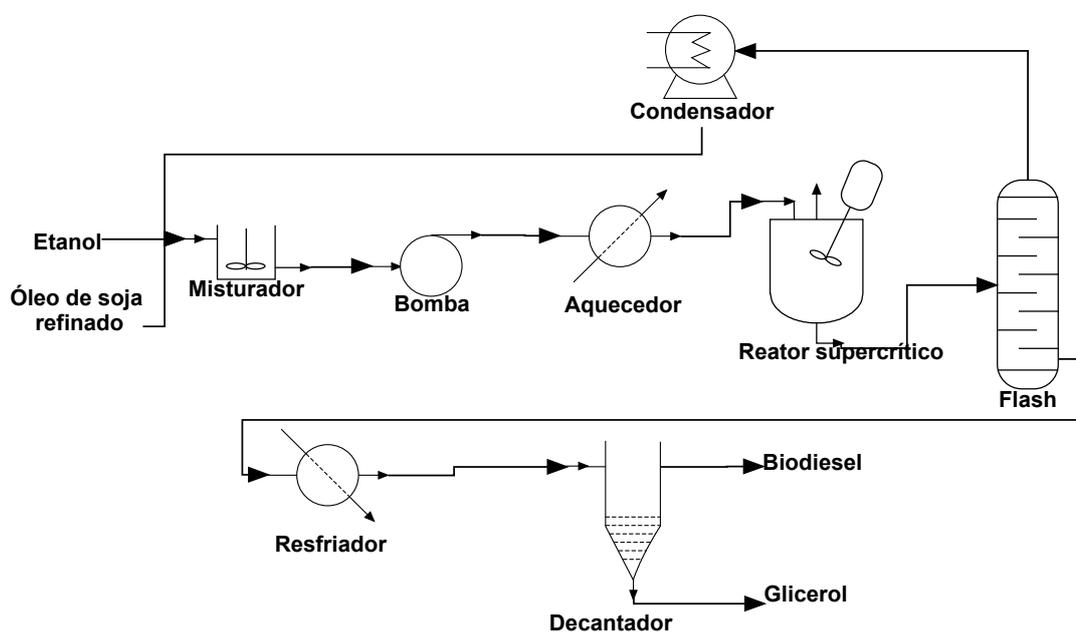


Figura 1. Fluxograma do processo de transesterificação supercrítica etanólica simulada no EMSO.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A simulação teve ao total 3237 variáveis, 3080 equações e 157 especificações, zerando o número de graus de liberdade. A Tabela 1 ilustra os principais dados obtidos do processo simulado.

Equipamento	Vazão (t/h)	Calor ou potência requerida (kW)
Misturador	Óleo de soja - 25 Etanol - 3,9597 Etanol reciclo - 48,8361	
Bomba	77,7958	661,552
Aquecedor	77,7958	24.780,1
Flash	Vapor - 48,8361 Líquido - 28,9597	
Condensador	48,8361	-19.016,0
Resfriador	28,9597	-5.442,64
Decantador	Biodiesel - 26,0853 Glicerol - 2,8744	

Tabela 1 – Valores das correntes dos principais equipamentos do processo simulado.

No aquecedor foi necessário 30,0192 t/h de vapor superaquecido para atender a demanda de calor necessária. Considerando um vapor superaquecido que entra no aquecedor a 67 bar e 490 °C e, após a troca térmica, sai como líquido saturado a 1 atm. A área de troca térmica do aquecedor foi de 439,754 m². Na saída do reator a solução ficou 3,92 °C mais quente que a solução de entrada, mostrando que a reação de transesterificação etanólica é endotérmica.

CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi alcançado, baseando-se em dados da literatura conseguiu-se modelar e simular uma planta industrial de produção de biodiesel por rota supercrítica etanólica sem catalisador. Com isso, o biodiesel utilizaria produtos totalmente nacionais e ambientalmente corretos. A simulação realizada no software EMSO estimou calores e potências necessárias para operar uma planta que produzisse 26,08 t/h de biodiesel.

REFERÊNCIAS

ANP – **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>>. Acesso em: outubro, 2018.

BONDI, A. **Estimation of the heat capacity of liquids**. Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals, v. 5, n. 4, p. 442-449, 1966.

CONSTANTINO, L.; GANI, R.T. **New Group Contribution Method for Estimating Properties of Pure Compounds**. Thermodynamics, v. 40, p. 1697-1720, 1994.

- COSTA, C. B. B.; POTRICH, E.; CRUZ, A. J. G. **Multiobjective optimization of a sugarcane biorefinery involving process and environmental aspects.** Renewable Energy, v. 96, Part B, p. 1142-1152, 2016.
- FAROBIE O.; MATSUMURA Y. **A comparative study of biodiesel production using methanol, ethanol, and tert-butyl methyl ether (MTBE) under supercritical conditions.** Bioresource Technology, v. 191, p. 306-311, 2015.
- FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. **Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils.** Journal Of Bioscience And Bioengineering, v. 92, n. 5, p. 405-416, 2001.
- FURLAN, F. F.; COSTA, C. B. B.; FONSECA, G. C.; SOARES, R. P.; SECCHI, A. R.; CRUZ, A. J. G.; GIORDANO, R. C. **Assessing the production of first and second generation bioethanol from sugarcane through the integration of global optimization and process detailed modeling.** Computers and Chemical Engineering, v.43, p. 1-9, 2012.
- GERIS, R.; SANTOS, N. A. C.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO J. R. M. **Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica.** Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1369-1373, 2007.
- KINCS, F. R. **Meat fat formulation.** Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 62, p. 815 – 818, 1985.
- HOEKMAN, S. K.; BROCH, A.; ROBBINS, C.; CENICEROS, E.; NATARAJAH, M. **Review of biodiesel composition, properties, and specifications.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, p. 143-169, 2012.
- MA, F.; HANNA, M. **A. Biodiesel production: a review.** Bioresource Technology, v. 70, n. 1, p. 1-15, 1999.
- RIEDEL, L. **Eine neue universelle Dampfdruckformel Untersuchungen über eine Erweiterung des Theorems der übereinstimmenden Zustände. Teil I.** Chemie Ingenieur Technik, v. 26, p. 83-89, 1954.
- SOARES R. P.; SECCHI A. R. **EMSO: A new environment for modelling, simulation and optimization.** Computer Aided Chemical Engineering, v. 14, p. 947-952, 2003.
- SOUZA S. P. **Produção Integrada de Biocombustíveis: Uma Proposta para Reduzir o Uso de Combustível Fóssil no Ciclo de Vida do Etanol de Cana-De-Açúcar.** Dissertação do curso de Ciências da Engenharia Ambiental da USP, 2010.

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

