



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

BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA INTEGRADO DE BIO-COMBUSTÃO

Ihana Aguiar Severo

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

Yuri Naidon Favero

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

Mariany Costa Deprá

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

Rodrigo Stefanello Bizello Barrios

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

Rosangela Rodrigues Dias

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

Mariane Bittencourt Fagundes

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

Roger Wager

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),

Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

Leila Queiroz Zepka

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

Eduardo Jacob-Lopes

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
Centro de Ciências Rurais, Departamento de
Tecnologia e Ciência de Alimentos
Santa Maria – RS

RESUMO: O objetivo do presente trabalho foi estabelecer o balanço energético do sistema integrado de bio-combustão. Os experimentos foram realizados em um fotobiorreator de coluna de bolhas com volume de trabalho de 2L, intensidade luminosa de $15\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, aeração de 1VVM com injeção de ar enriquecido com 15% de CO_2 . O fotobiorreator foi integrado à um forno de bio-combustão projetado em escala laboratorial. O balanço de energia foi determinado através do equacionamento que relaciona a energia renovável de saída pela energia fóssil de entrada, estimado em termos de MJ. Os resultados obtidos indicaram que o balanço energético do processo de bio-combustão melhorou em 69,5% ao integrar os

gases de exaustão do fotobiorreator.

PALAVRAS-CHAVE: microalga, captura de carbono e utilização biológica, fotobiorreator, integração de processos, análise de ciclo de vida.

ABSTRACT: The objective of the work was to establish the energy balance of the integrated bio-combustion system. The experiments were performed in a bubble column photobioreactor with a working volume of 2L, a luminous intensity of $15\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, aeration of 1VVM with air injection enriched with 15% CO_2 . The photobioreactor was integrated into a bio-combustion furnace designed on a laboratory scale. The energy balance was determined by the equation that relates the output renewable energy by the input fossil energy, estimated in terms of MJ. The results obtained indicated that the energy balance of the bio-combustion process improved 69.5% when the photobioreactor exhaust gases were integrated.

KEYWORDS: microalgae, biological carbon capture and utilization, photobioreactor, process integration, life cycle assessment.

1 | INTRODUÇÃO

As emissões de dióxido de carbono (CO_2), relacionadas ao uso de energia não renovável, têm direcionado os esforços científicos para desenvolver tecnologias sustentáveis e mitigar as mudanças climáticas. As tecnologias de captura de carbono tradicionais, por exemplo, são apropriadas para reduzir as emissões, contudo, tais abordagens não apresentam plenas vantagens técnicas, econômicas e ambientais que um processo industrial requer (Cuéllar-Franca & Azapagic, 2015).

Assim, a captura de carbono e utilização biológica (BCCU) tem sido considerada como uma potencial estratégia de engenharia para melhorar processos consolidados. Esta nova rota tecnológica está baseada em sistemas mediados por microalgas, os quais são desenvolvidos em fotobiorreatores. Estes equipamentos, entretanto, devem ser projetados para alcançar uma eficiente biotransformação do CO_2 em produtos metabólicos de interesse comercial (Jacob-Lopes et al., 2017).

Recentemente, Severo et al. (2018) desenvolveram um processo de BCCU aplicado à um sistema de bio-combustão. A tecnologia integra os gases de exaustão do fotobiorreator, contendo compostos orgânicos voláteis (COVs), O_2 e CO_2 não convertido, em um forno de combustão, os quais são reutilizados como biocombustíveis gasosos, comburente e diluente de nitrogênio, respectivamente. Embora os resultados tenham demonstrado um aumento na eficiência térmica, existem algumas operações ao longo do processo que podem apresentar impactos ambientais desfavoráveis.

Dessa forma, surge a necessidade de abordar questões energéticas para melhorar a sustentabilidade dos sistemas de produção. Para isso, a análise de ciclo vida (ACV) é uma ferramenta que ajuda a identificar os fluxos de massa e energia e as emissões ao longo de um processo, possibilitando avaliar o uso de recursos e proporcionar

oportunidades de melhorias (Deprá et al., 2018). Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi estabelecer o balanço energético do sistema integrado de bio-combustão através da ACV.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Definição do objetivo e escopo

A ferramenta de ACV foi utilizada de acordo com as normas da Organização Internacional de Padronização (ISO, 2006). A ACV neste estudo foi baseada a partir de dados experimentais em escala laboratorial obtidos em Severo et al. (2018). Considerando que os processos baseados em microalgas ainda não são tecnologias consolidadas, os dados foram padronizados para uma unidade funcional de 1 MJ de energia e 1 kg de massa para comparação com uma futura escala industrial. A Figura 1 mostra o escopo resumido do processo integrado com os fluxos de energia em cada etapa durante o seu ciclo de vida.

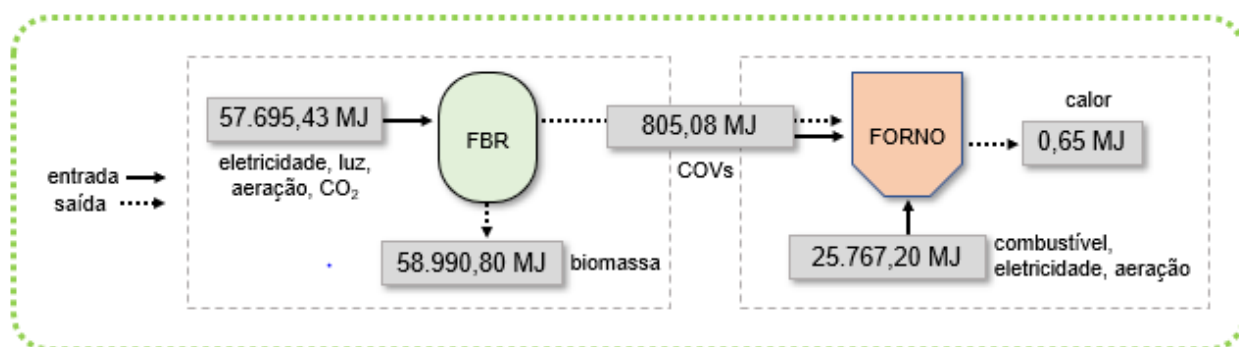


Figura 1 – Escopo do processo integrado de bio-combustão e fluxos de energia.

2.2 Análise de inventário

A coleta de dados foi baseada no consumo e produção de energia, tanto para o fotobiorreator quanto para o forno, quantificando e compilando informações para todos os fluxos de entrada e saída de energia durante cada etapa do processo (Figura 1).

2.3 Microrganismo e condições de cultivo

A microalga utilizada foi a *Scenedesmus obliquus* (UTCC5) obtida da Coleção de Culturas de Algas e Cianobactérias da Universidade de Toronto, Canadá. As culturas estoque foram propagadas e mantidas em meio sintético BG11 (Rippka et al., 1979) e pH 7,6. As condições de incubação usadas foram: temperatura de 30°C, intensidade luminosa de 15 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, fotoperíodo de 12h e agitação constante de 1VVM (volume de ar por volume de cultura por minuto).

2.4 Descrição do processo integrado de bio-combustão

As análises foram feitas em um fotobiorreator de coluna de bolhas (Maroneze et al., 2016), iluminado com 45 lâmpadas de LED (consumo total de 0,01125 kWh), localizadas em uma câmara de fotoperíodo. As condições experimentais foram: concentração celular inicial de 100mg/L, temperatura de 25°C, luminosidade de 150 μ mol/m²/s e aeração de 1VVM com ar enriquecido com 15% de CO₂. O fotobiorreator foi mantido em regime intermitente, alimentado com 2L de meio de cultura. Os testes foram realizados em triplicata.

O forno de bio-combustão integrado ao fotobiorreator foi projetado em escala laboratorial e os experimentos foram conduzidos de acordo com a metodologia descrita em Severo et al. (2018). Os gases de exaustão de fotobiorreator, contendo COVs, O₂ e CO₂, foram encaminhados para a câmara de combustão. O combustível utilizado foi o coque de petróleo. As condições experimentais foram: massa inicial de coque de 1,0 g, tempo total de combustão de 20 min e vazão de ar de 1,0 L/min.

2.5 Balanço de energia

De acordo com os limites do sistema, o balanço de energia, expresso em termos de megajoules (MJ), foi calculado a partir do somatório de todos os fluxos de energia do processo, através da Eq. 1 (Jorquera et al., 2010):

$$EB = \sum_{\text{entrada}} - \sum_{\text{saída}} \quad (1)$$

Adicionalmente, a taxa de energia líquida, denominada de “*net energy ratio*” (NER), a qual é definida como a razão da energia total produzida e requerida para as operações, foi calculada de acordo com a Eq. 2:

$$NER = \sum E_{\text{saída}} / \sum E_{\text{entrada}} \quad (2)$$

A energia de saída do forno de bio-combustão foi definida pela Segunda lei da Termodinâmica, calculada a partir da Eq. 3 e suas variáveis:

$$Q = m_F \times C_F \times (T_{\text{saída}} - T_{\text{entrada}}) \quad (3)$$

onde Q é a quantidade de calor perdido nos gases de exaustão, m_F é a massa total de combustível, C_F é o calor específico médio do combustível, T_{saída} é a temperatura dos gases de exaustão e T_{entrada} é a temperatura antes da combustão.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o balanço energético do processo integrado de bio-combustão, os fluxos de entrada e de saída de energia das operações foram quantificados e os valores do NER foram determinados (Tabela 1).

Energia	NER
Fotobiorreator	1,03
Forno de bio-combustão	$2,5 \times 10^{-5}$
Processo integrado	0,70

Tabela 1 –Taxa de energia líquida dos processos.

Conforme mostrado na Tabela 1 e na Figura 1, ao considerar os processos independentes, a análise do balanço de energia do fotobiorreator indicou uma energia de entrada e de saída de 57.695,43 MJ e 59.795,88, respectivamente, resultando em um NER de 1,03. Os resultados mostraram que a energia de saída, contida na biomassa e nos COVs (energia primária), é maior que a energia de entrada no sistema. De acordo com Jorquera et al. (2010), um balanço de energia positivo (NER > 1), que englobe todo o processo, é necessário para justificar a implementação real de tecnologias baseadas em microalgas. Muitos estudos têm relatado altos valores de NER, demonstrando que, em teoria, o consumo de energia é menor que a produção. No entanto, tentativas têm sido dificultadas pelo fato de que, até o momento, nenhum fotobiorreator foi projetado para operar em maiores escalas.

Por outro lado, para o forno de bio-combustão, a energia de entrada e de saída foram de 26.572,28 MJ e 0,65 MJ, respectivamente, resultando em um NER de $2,5 \times 10^{-5}$. Embora o NER seja muito inferior ao valor ideal estabelecido, deve-se levar em conta que em uma escala industrial, os sistemas tradicionais de combustão são altamente dependentes do aporte de energia não renovável para operação. Estes processos são caracterizados por reações exotérmicas, onde os produtos da combustão são menos energéticos que os reagentes e, assim, o balanço tende a ser negativo (Glassman et al., 2015).

Alternativamente, ao considerar o processo integrado, o NER obtido foi de 0,70, evidenciando uma melhoria de aproximadamente 69,5% no sistema, ao reutilizar os gases de exaustão do fotobiorreator. Diversos estudos têm demonstrado que a integração de energia pode melhorar a sustentabilidade de outros processos (Slade & Bauen, 2013). Paralelamente, a biomassa gerada no bioprocessamento apresenta considerável conteúdo energético, a qual pode ser explorada como fonte adicional de energia renovável de entrada.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que o fotobiorreator tem potencial para ser integrado como um equipamento melhorador aos processos convencionais de combustão, aumentando a eficiência térmica. O balanço energético global do sistema pode, portanto, apresentar desempenho ambiental favorável, desde que os excedentes gerados também sejam explorados adequadamente.

REFERÊNCIAS

CUÉLLAR-FRANCA, R. M.; AZAPAGIC, A. **Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts.** *Journal of CO₂ Utilization*, v. 9, p. 82-102, 2015.

DEPRÁ, M. C.; SANTOS, A. M. dos; SEVERO, I. A.; SANTOS, A. B.; ZEPKA, L. Q.; JACOB-LOPES, E. **Microalgal Biorefineries for Bioenergy Production: Can We Move from Concept to Industrial Reality?** *BioEnergy Research*, v. 11, p. 727–747, 2018.

GLASSMAN, I.; YETTER, R. A.; GLUMAC, N. G. **Combustion.** 5th Edition. Academic Press, Elsevier, 2015.

ISO. International Standard 14040. **Environmental Management – Life cycle assessment. Principles and framework.** International Organization for Standardization (ISO), Geneva, 2006.

JACOB-LOPES, E.; SEVERO, I. A.; BIZELLO, R. S.; BARIN, J. S.; MENEZES C. R. de; CICHOSKI, A. J.; WAGNER, R.; ZEPKA, L. Q.; SUZUKI, S.; PEREIRA, T. R.; TISCHER, B.; MENEZES, M. F. L. D.; ZOTTIN, L. S. **Process and system for re-using carbon dioxide transformed by photosynthesis into oxygen and hydrocarbons used in an integrated manner to increase the thermal efficiency of combustion systems.** Patent WO 2017/112984 A1, 2017.

JORQUERA, O.; KIPERSTOK, A.; SALES, E. A.; EMBIRUÇU, M.; GHIRARDI, M. L. **Comparative energy life-cycle analyses of microalgal biomass production in open ponds and photobioreactors.** *Bioresource Technology*, v. 101, p. 1406-1413, 2010.

MARONEZE, M. M.; SIQUEIRA, S. F.; VENDRUSCOLO, R. G.; WAGNER, R.; MENEZES, C. R. de; ZEPKA, L. Q.; JACOB-LOPES, E. **The role of photoperiods on photobioreactors – A potential strategy to reduce costs.** *Bioresource Technology*, v. 219, p. 493–499, 2016.

RIPPKA, R.; DERUELLES, J.; WATERBURY, J. B.; HERDMAN, M.; STANIER, R. Y. **Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria.** *Journal of General Microbiology*, v. 111, p. 1–61, 1979.

SEVERO, I. A.; DEPRÁ, M. C.; BARIN, J. S.; WAGNER, R.; MENEZES, C. R. de; ZEPKA, L. Q.; JACOB-LOPES, E. **Bio-combustion of petroleum coke: The process integration with photobioreactors.** *Chemical Engineering Science*, v. 177, p. 422-430, 2018.

SLADE, R.; BAUEN, A. **Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects.** *Biomass and Bioenergy*, v. 53, p. 29-38, 2013.

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

