



# Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

---

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)

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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
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
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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](http://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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>29</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>40</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM COSMÉTICO A PARTIR DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL	
Ana Paula Olivo	
Kátya Regina de Freitas Zara	
Leonardo da Silva Arrieche	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901045</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>51</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>58</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>63</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>68</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3191901049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>74</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010410</b>	

**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**



<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>178</b>
DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM	
Roque Machado de Senna Thais Santos Henrique Senna Marcelo Linardi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010422</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>187</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010423</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>194</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010424</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>213</b>
CAPTURA DE CO <sub>2</sub> UTILIZANDO O PROCESSO CALCIUM-LOOPING	
Juliana Alves da Silva Ricardo José Chimentão João Batista Oliveira dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010425</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>224</b>
DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO DE CAPTURA DE CO <sub>2</sub> 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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010426</b>	

**CAPÍTULO 27 ..... 232**

Zn-ZIF EM TECIDO APLICADO NO PROCESSO DE CAPTURA DE CH<sub>4</sub>

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 LAFeO<sub>3</sub> 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**

<b>CAPÍTULO 32</b> .....	<b>281</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010432</b>	
<b>CAPÍTULO 33</b> .....	<b>287</b>
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO $\text{TiO}_2$ E ZNO, DO ANTIBIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA	
Luiza Barbosa Petersen Mendes	
Luciane Pimentel Costa Monteiro	
Leandro Vahia Pontual	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010433</b>	
<b>CAPÍTULO 34</b> .....	<b>303</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010434</b>	
<b>CAPÍTULO 35</b> .....	<b>315</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010435</b>	
<b>CAPÍTULO 36</b> .....	<b>322</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.31919010436</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>334</b>

## INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS ORGANOSOLV E HIDROTÉRMICO APLICADOS AO BAGAÇO DE CANA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM PEAD

### **Bruno Chaboli Gambarato**

Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA,  
Programa de Mestrado em Materiais.

Volta Redonda – RJ

### **Tatiana Raposo de Paiva Cury**

Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA,  
Programa de Mestrado em Materiais.

Volta Redonda – RJ

### **Sérgio Teodoro de Oliveira**

Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA,  
Programa de Mestrado em Materiais.

Volta Redonda – RJ

**RESUMO:** No contexto dos compósitos poliméricos reforçados com biomassas vegetais, os tratamentos químicos aplicados ao reforço permitem uma maior interação entre a biomassa e a matriz polimérica, possibilitando melhores propriedades mecânicas. Neste trabalho, foram produzidos compósitos com polietileno de alta densidade (PEAD) reforçados com bagaço de cana modificado via tratamento organosolv e tratamento hidrotérmico. Os compósitos foram processados contendo 10% de biomassa e injetados a 300°C. Foi possível verificar que o tratamento organosolv promove a hidrólise parcial das frações de hemiceluloses e lignina do material, enquanto o tratamento hidrotérmico é capaz de hidrolisar principalmente a fração hemicelulósica. Os compósitos contendo

bagaço tratado apresentaram propriedades mecânicas superiores ao material puro, obtendo aumentos de até 21% no módulo de Young e de até 60% no módulo de flexão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compósitos poliméricos; Bagaço de cana; Pré-tratamentos; PEAD; Propriedades mecânicas.

**ABSTRACT:** Polymeric composites reinforced with vegetable biomass usually require chemical pretreatments applied to the reinforcement that enable a greater interaction between biomass and polymer, allowing a better mechanical properties. In this study, high density polyethylene (HDPE) composites reinforced with modified sugarcane bagasse were produced using organosolv pretreatment and hydrothermal pretreatment. The composites were processed containing 10% of biomass and injected at 300 °C. Results showed that organosolv treatment promotes partial hydrolysis of the fractions of hemicelluloses and lignin, while hydrothermal treatment is able to hydrolyze mainly the hemicellulosic fraction. Composites containing treated bagasse presented superior mechanical properties to the pure material, obtaining increases of up to 21% in the Young's modulus and up to 60% in the flexural modulus.

**KEYWORDS:** Polymeric composites; Sugarcane bagasse; Pretreatment; HDPE; Mechanical properties.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os compósitos poliméricos reforçados com biomassas vegetais oferecem à indústria a oportunidade de produzir um material com menor teor de derivados de petróleo, agregar valor a um resíduo da agroindústria e diminuir a geração de resíduos sólidos. Além disso, tais materiais, em geral, apresentam propriedades mecânicas superiores aos polímeros puros (HUNG et al, 2017). O Brasil produz mais de 600 milhões de toneladas de cana de açúcar por ano e o processamento dessa planta gera cerca de 85 milhões de toneladas (base seca) de bagaço. Tal material é utilizado nas caldeiras para geração de energia e seu excedente pode, após passar por tratamentos físicos e químicos, ser aplicado na produção de etanol de segunda geração e como reforço em compósitos poliméricos (SATAPATHY; KOTHAPALLI, 2018).

Os tratamentos aplicados ao bagaço visam promover mudanças na ultraestrutura do material, de modo a liberar as fibras de celulose e aumentar a acessibilidade dos agentes de hidrólise aos componentes estruturais da biomassa. Os tratamentos realizados com solventes orgânicos (etanol, ácido acético, glicerol), denominados Organosolv, promovem a solvólise da lignina. No tratamento hidrotérmico, realizado em água sob temperaturas entre 100 e 200 °C, ocorre a hidrólise da fração hemicelulósica catalisada pelos radicais acetil produzidos nessas condições a partir dos grupos presentes na matriz lignocelulósica (ZHENG et al, 2017).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito dos tratamentos organosolv e hidrotérmico aplicados ao bagaço de cana nas propriedades mecânicas de compósitos com polietileno de alta densidade (PEAD).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O bagaço de cana foi gentilmente cedido pelo produtor da cidade de Canas – SP. O material foi recebido, triturado (50 mesh), extraído em Soxhlet (Etanol 95%, 8h sob refluxo) e seco em estufa a 100 °C. O PEAD utilizado neste trabalho foi o HC7260-LS, fabricado pela Braskem.

### 2.1 Tratamentos

O tratamento organosolv ocorreu em balão reacional de 1 L contendo 50 g de bagaço seco, imersos em 500 mL de solução 80 % v/v de etanol, contendo 0,5% m/v de HCl. A reação se processou a 80 °C sob refluxo durante 1h. Após esse tempo, a biomassa foi lavada com água destilada e seca em estufa a 100 °C. O tratamento hidrotérmico ocorreu em erlenmeyers contendo 10 g de bagaço seco livre de extrativos e 100 mL de água destilada, sob temperatura de 121 °C, em autoclave, por 45 min. Após o resfriamento, o material foi filtrado e seco em estufa a 100 °C.

## 2.2 Formulação dos Compósitos

Os compósitos foram produzidos por meio de sucessivas misturas em homogeneizador termocinético MH Equipamentos (MH-50H). Foram produzidas formulações com 90 % m/m de polímero puro (PEAD) e 10 % de bagaço *in natura* (CP10 BAG), bagaço submetido a tratamento organosolv (CP10 ORG) ou 10% de bagaço submetido a tratamento hidrotérmico (CP10 HID). Posteriormente, foram injetados corpos de prova para os ensaios de tração (ASTM D638-03) e flexão (ASTM D790-03) em uma injetora RAY RAM - modelo TSMP a 300°C. Para efeito comparativo, também foram injetados corpos de prova do PEAD puro.

## 2.3 Caracterizações

Os teores de celulose, hemiceluloses, lignina e cinzas foram determinados com base na metodologia validada por Gouveia et al (2009). As amostras de bagaço *in natura* e tratados foram submetidas à hidrólise ácida com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72 % m/m e o hidrolisado foi analisado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (Waters 2695, coluna AMINEX HPX-87P), Espectrofotometria (Perkin Elmer L1050 UV-VIS) e Gravimetria para quantificação das frações lignocelulósicas. O teor de cinzas foi determinado por meio da pesagem do material resultante da calcinação do bagaço em forno mufla a 800 °C, por 2 h.

As amostras de bagaço *in natura* e após os tratamentos foram submetidas à Difractometria de Raios X em um difratômetro Shimadzu modelo XRD 6100, com fonte de radiação CuK $\alpha$ , e voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA, varredura 0,05 (2 $\theta$ /5s) para valores de 2 $\theta$  entre 10 e 40°. O grau de cristalinidade ( $\chi_c$ ) foi calculado conforme metodologia desenvolvida por SEGALL (1959), que relaciona os picos referentes às fases amorfa (2 $\theta$  = 16°) e cristalina (2 $\theta$  = 22°) do material.

Os ensaios mecânicos ocorreram em uma Máquina Universal EMIC DL-10000. Os ensaios de tração se processaram com base na norma ASTM D638/03, com célula de carga de 5 kN, em temperatura ambiente sob uma velocidade de 5 mm.min<sup>-1</sup>. Os ensaios de flexão foram realizados com base na norma ASTM D790/03, com célula de carga de 100 kN, distância entre apoios de 80 mm, em temperatura ambiente sob velocidade de 5 mm.min<sup>-1</sup>.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de celulose, hemiceluloses, lignina e cinzas das amostras de bagaço *in natura* e tratados são apresentados na Tabela 1. Verifica-se que o tratamento organosolv promove a hidrólise e a solubilização das frações de hemiceluloses e lignina. Neste processo, a deslignificação ocorre por solvólise e hidrólise catalisada por ácido. No caso do tratamento hidrotérmico, ocorre uma maior remoção da fração

de hemiceluloses. Tal comportamento é esperado, uma vez que, nas condições em que o tratamento foi realizado, pode ocorrer auto-hidrólise, além de hidrólise ácida catalisada pela liberação de grupos acetil.

Amostra	Celulose (%)	Hemiceluloses (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)	Total (%)
Bagaço <i>in natura</i>	47,5 ± 0,5	22,4 ± 0,3	28,3 ± 0,4	1,5 ± 0,4	99,7 ± 1,6
Bag. Organosolv	60,6 ± 1,2	19,2 ± 0,4	18,1 ± 0,3	1,7 ± 0,5	99,6 ± 2,4
Bag. Hidrotérmico	55,7 ± 1,4	10,7 ± 0,2	32,0 ± 0,9	1,0 ± 0,4	99,4 ± 2,9

Tabela 1 – Composição química do bagaço *in natura* e após os tratamentos

A Figura 1a exibe os difratogramas de Raios X e o grau de cristalinidade calculado para cada uma das amostras.

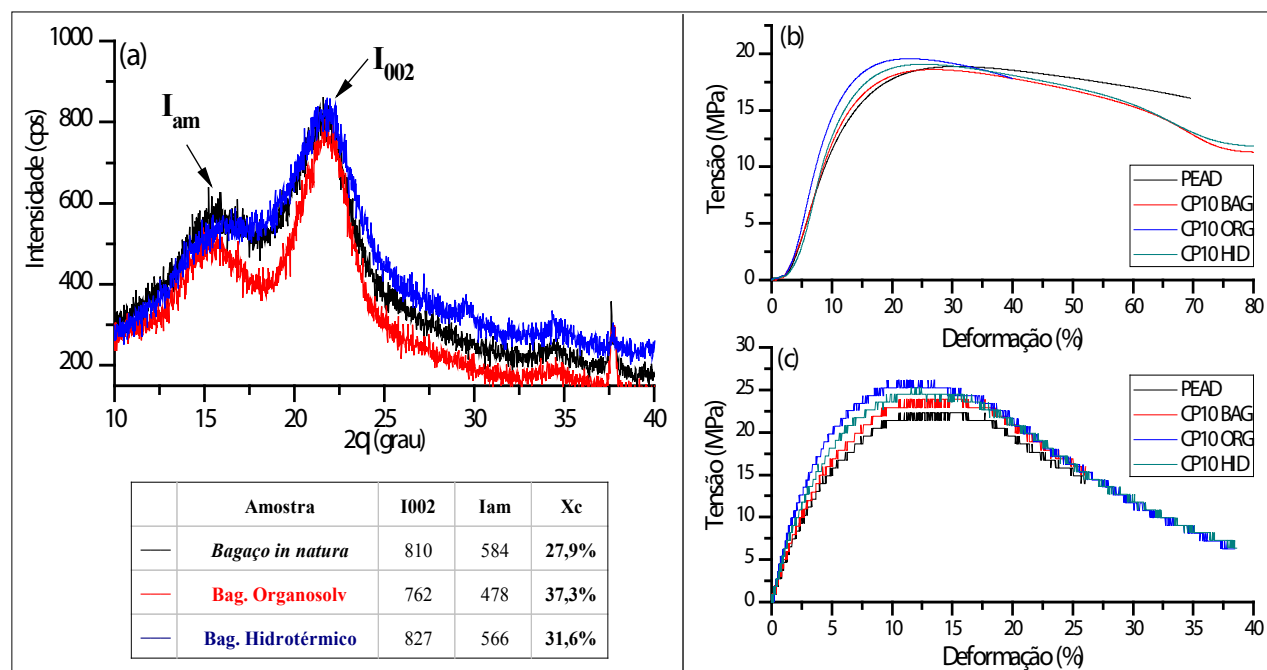


Figura 1 – Difratogramas de Raios X dos bagaços *in natura* e tratados (a); Curvas de tensão-deformação dos compósitos em tração (b) e flexão (c).

É possível perceber que as amostras de bagaço submetidas aos tratamentos apresentam um maior teor de cristalinidade ( $\chi_c$ ). Tal fato corrobora a remoção dos componentes amorfos (hemiceluloses e lignina) da matriz lignocelulósica. Dessa forma, a polpa resultante dos tratamentos apresenta-se mais fibrosa e cristalina. A cristalinidade dos materiais lignocelulósicos provém, principalmente, das longas cadeias celulósicas, que, por meio de ligações de hidrogênio inter e intramoleculares foram fibras de elevada resistência química e mecânica.

Nas figuras 1b e 1c são exibidas as curvas de tensão-deformação em tração e

flexão, respectivamente. Verifica-se que, em tração, a adição de bagaço promove um aumento na rigidez do material, que é expresso na figura por meio de um aumento na inclinação da curva na região de deformação elástica. A curva de flexão mostra que a adição de bagaço promove um aumento na rigidez e na tensão máxima.

Quanto à influência dos tratamentos nas propriedades mecânicas, mostradas na Tabela 2, o PEAD puro apresentou um valor médio de Módulo de Young de 177,3 MPa, enquanto que, no compósito com bagaço *in natura*, ocorreu um aumento de cerca de 2% na propriedade. Quanto aos compósitos com bagaço tratado, as amostras CP10 ORG e CP10 HID apresentaram, respectivamente, um módulo de Young 21 % e 12,6 % maior que a amostra de polímero puro.

Amostra	Tração			Flexão	
	Mód. de Young (MPa)	Tensão Máx. (MPa)	Deformação na Tensão Máx (%)	Mód. de Flexão (MPa)	Tensão Máx. (MPa)
PEAD	177,3 ± 6,5	18,8 ± 0,2	30,0 ± 1,9	652,4 ± 7,0	22,3 ± 1,7
CP 10 BAG	180,8 ± 5,7	19,0 ± 0,3	26,7 ± 1,6	833,1 ± 6,3	23,9 ± 0,8
CP 10 ORG	214,5 ± 7,3	19,9 ± 0,6	23,0 ± 2,1	1044,0 ± 10,5	26,3 ± 1,4
CP 10 HID	199,7 ± 8,9	19,3 ± 0,4	26,3 ± 1,3	951,6 ± 8,9	25,7 ± 1,3

Tabela 2 – Propriedades mecânicas dos compósitos

Nas propriedades em flexão, o mesmo comportamento é verificado. O material com bagaço tratado apresenta-se mais rígido e mais resistente. O aumento nos módulos de tração e flexão apresentado pelos compósitos com bagaço tratado se deve, principalmente, à hidrólise das frações amorfas ocorrida nos tratamentos. Tal modificação parece promover uma melhor interação entre a matriz hidrofóbica do polímero e as fibras hidrofílicas de celulose. As regiões amorfas da matriz lignocelulósica, após o tratamento, são preenchidas com polímero. Além disso, pequenas quantidades de lignina contribuem para compatibilizar as fases, como mostrado no trabalho de MILÉO et al (2016), o que explica o melhor resultado apresentado pelo compósito CP 10 ORG.

#### 4 | CONCLUSÕES

O tratamento organosolv promoveu uma remoção parcial das hemiceluloses e da lignina, enquanto o tratamento hidrotérmico apresentou uma maior remoção na fração hemicelulósica. Por ser mais cristalino, o bagaço tratado apresentou uma melhor interação fibra-matriz, obtendo propriedades mecânicas mais elevadas que o polímero puro. Dessa forma, neste trabalho foram obtidos compósitos com menores teores de



derivados do petróleo e com propriedades mecânicas superiores.

## REFERÊNCIAS

GOUVEIA, E. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M.; ROCHA, G. J. M. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009.

HUNG, K.C.; YEH, H.; YANG, T.C. et al. Characterization of wood-plastic composites made with different lignocellulosic materials that vary in their morphology, chemical composition and thermal stability. *Polymers*, v.9 (726), 2017.

MILÉO, P.C.; OLIVEIRA, M.F.; LUZ, S.M.; ROCHA, G.J.M.; GONÇALVES, A.R. Thermal and chemical characterization of sugarcane bagasse cellulose/lignin-reinforced composites. *Polymer Bulletin (Berlin. Print)*, v.73(11), 1-12, 2016.

SATAPATHY, S.; KOTHAPALLI, R.V.S. Mechanical, Dynamic and Thermal Properties of Banana Fiber/ Recycled HDPE biocomposites. *J Polym Environ* (26), 200-213, 2018

SEGAL, L. et al. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Textile Research Journal*, v. 29, p. 786-794, 1959

ZHENG, Y.; SHI, J.; TU, M.; CHENG, Y.S. Principles and development of lignocellulosic biomass pretreatment for biofuels. *Advances in Bioenergy*, v.2, p.1-68, 2017.

## **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

