



# 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

<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 Cecilia 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>

## RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO COMO MATÉRIA PRIMA DO ETANOL 2G: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS

### **Caroline Müller**

Laboratório de Bioquímica e Genética,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Chapecó, Chapecó/SC, Brasil.

### **Letícia Mara Milani**

Laboratório de Bioquímica e Genética,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Chapecó, Chapecó/SC, Brasil.

### **Anderson Giehl**

Laboratório de Bioquímica e Genética,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Chapecó, Chapecó/SC, Brasil.

### **Évelyn Taize Barrilli**

Laboratório de Bioquímica e Genética,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Chapecó, Chapecó/SC, Brasil.

### **Letícia Deoti**

Laboratório de Bioquímica e Genética,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Chapecó, Chapecó/SC, Brasil.

### **Ana Carolina Lucaroni**

Laboratório de Bioquímica e Genética,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Chapecó, Chapecó/SC, Brasil.

### **Viviani Tadioto**

Laboratório de Bioquímica e Genética,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Chapecó, Chapecó/SC, Brasil.

### **Helen Treichel**

Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Erechim, Erechim/RS, Brasil.

### **Sérgio Luiz Alves Júnior**

Laboratório de Bioquímica e Genética,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus  
Chapecó, Chapecó/SC, Brasil.

slalvesjr@uffs.edu.br

**RESUMO:** O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo. Além desse grande destaque, o país também desponta como grande promessa na produção da segunda geração do combustível (o etanol 2G). Isso decorre do fato de poder utilizar os próprios resíduos da atual produção (obtida a partir do caldo de cana) como matéria-prima da segunda geração. Esse fator, isoladamente, já pode permitir um incremento de aproximadamente 50% da produção sem aumentar a área de cana plantada. Contudo, há no Brasil outra grande matéria-prima: os resíduos da produção de milho. Como subproduto dessa atividade agrícola, tem-se diferentes partes da planta (caule, palha e bagaço) que podem, após pré-tratamento da biomassa e hidrólise dos polissacarídeos, fornecer açúcares fermentescíveis. Assim sendo, a fabricação desse combustível renovável passa a ter um apelo ainda maior, uma vez que a utilização desses resíduos agroindustriais proporciona um aumento da segurança hídrica, energética e alimentar. Nesse contexto, o presente capítulo

aborda, na forma de revisão, o estado da arte e os principais aspectos relacionados ao tema nas seguintes seções: (1) Breve histórico da produção de etanol no Brasil e no mundo; (2) Evolução da primeira para a segunda geração do combustível; (3) Por que buscar leveduras em biomassa vegetal em decomposição?; (4) Leveduras isoladas de bagaço e palha de cana-de-açúcar e milho: estado da arte, (4.1) Metabolismo de xilose, (4.2) Metabolismo de celobiose, (4.3) Capacidade de hidrólise de polissacarídeos; e, (5) Perspectivas de aplicação de leveduras selvagens na indústria.

**PALAVRAS-CHAVE:** leveduras, xilose, celobiose, celulose, biomassa.

**ABSTRACT:** Brazil is the second most producer of ethanol in the world. Besides this great highlight, the country also emerges as a great promise in the production of the second generation of the fuel (2G ethanol). This is due to the fact that it can use the own residues of the current production (obtained from the sugarcane juice) as second-generation raw material. This feature, alone, can already allow an increase of approximately 50% of the production without increasing the planted area of sugarcane. However, in Brazil there is another great raw material: the residues from corn production. As a by-product of this agricultural activity, there are different parts of the plant (stalk, straw and bagasse) that can, after biomass pretreatment and polysaccharides hydrolysis, provide fermentable sugars. As a result, the production of this renewable fuel is even more appealing, since the use of these agro-industrial wastes increases water, energy and food security. In this context, this chapter reviews the state of the art and the main aspects related to the topic in the following sections: (1) Brief history of ethanol production in Brazil and in the world; (2) Evolution from the first- to the second-generation of the fuel; (3) Why search for yeast in decomposing plant biomass?; (4) Yeasts isolated from sugarcane bagasse and corn: state of the art, (4.1) Xylose metabolism, (4.2) Cellobiose metabolism, (4.3) Polysaccharide hydrolysis ability; and, (5) Prospects for application of wild yeasts in industry.

**KEYWORDS:** yeasts, xylose, cellobiose, cellulose, biomass.

## 1 | BREVE HISTÓRICO DA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL E NO MUNDO

Os incentivos mundiais para a produção do combustível comercial foram intensificados na década de 1970, em decorrência da forte crise do petróleo e dos baixos valores de mercado do açúcar (revisado por NIPHADKAR *et al.*, 2017). Ao mesmo tempo, preocupações econômicas e ambientais foram levantadas sobre as consequências de altas emissões de gases de efeito estufa e da dependência de combustíveis fósseis.

No Brasil, em 1975, foi instituído o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), grande responsável pela introdução do etanol combustível na matriz energética brasileira, conseqüentemente, possibilitando o equilíbrio da balança comercial frente à crise energética mundial (CRUZ *et al.*, 2012). Durante a primeira década do programa, a produção de etanol no Brasil cresceu com uma taxa de aproximadamente 35%

ao ano, sem perdas para a indústria de açúcar (SZMRECSÁNYI; MOREIRA, 1991). Associado, ainda, ao aumento na produção de veículos movidos a álcool nas décadas subsequentes, o Brasil manteve a liderança mundial na produção de etanol até o ano de 2004 e, atualmente, é o segundo maior produtor com mais de 7 bilhões de galões de etanol produzidos em 2017 (RFA, 2018).

Nos Estados Unidos, o etanol recebeu seu primeiro crédito tributário em 1978 e, a partir de então, diferentes incentivos fiscais foram estabelecidos pelo governo para estimular a produção e consumo do biocombustível (DUFFIELD *et al.*, 2008). Em 1988 ocorreu a aprovação da Lei de combustíveis motores alternativos, que incentivou a produção de carros movidos a álcool (USDA, 2015). Em paralelo, iniciou-se a discussão sobre as políticas ambientais, relacionadas principalmente ao controle na emissão de monóxido de carbono, as quais foram definidas e fortemente incentivadas a partir da década de 90. Assim, os EUA tornaram-se o maior produtor de etanol, com aumentou na sua produção de 1,6 para 15,8 bilhões de galões entre 2000 e 2017 (USDA, 2015; RFA, 2018), o que correspondeu, no último ano, a 58% da produção mundial. O etanol produzido no país é derivado principalmente de matéria-prima à base do milho, porém, apesar da maior produção, o etanol derivado do milho apresenta menor eficiência energética quando comparado ao uso da cana-de-açúcar (LOPES *et al.*, 2016).

A União Europeia ocupa a terceira posição na produção de etanol, com 1,15 bilhões de galões em 2017 (RFA, 2018), com produção baseada principalmente em beterraba sacarina, milho e trigo. A matéria-prima destinada à produção de etanol 1G tem sido determinada pela agricultura local dominante, pelos mercados comerciais e pelas tecnologias conhecidas de cada país (IEA, 2008).

## 2 | EVOLUÇÃO DA PRIMEIRA PARA A SEGUNDA GERAÇÃO DO COMBUSTÍVEL

Os biocombustíveis de primeira geração permitiram verificar o potencial de produção, distribuição e uso em larga escala de combustíveis, além de gerar avanços regionais pela implementação de tecnologias que tornaram esse combustível renovável competitivo com os combustíveis fósseis, reequilibrando a matriz energética. No entanto, considerando que o bioetanol é produzido em uma maior proporção a partir do milho e da cana-de-açúcar, o intenso uso dessas matérias-primas tornou-se uma preocupação. Por um lado, o debate sobre combustível *versus* alimento sustentou que a produção de bioetanol impactaria os preços dos alimentos, colocando em perigo a segurança alimentar, especialmente nos países menos desenvolvidos, os quais dependem fortemente das importações de alimentos (NGUYEN *et al.*, 2017). Por outro lado, as preocupações ambientais com a expansão do cultivo das culturas e a pressão da expansão da fronteira agrícola para áreas de vegetação nativa têm sido abordadas (HAHN-HÄGERDAL *et al.*, 2006; NAIK *et al.*, 2010). Assim, em paralelo à produção já bem estabelecida de etanol de primeira geração, ampliaram-se, nas

últimas duas décadas, os interesses no desenvolvimento de uma segunda geração (2G) do combustível, a partir de biomassa lignocelulósica proveniente de culturas não alimentares ou resíduos agrícolas (HEMALATHA *et al.*, 2015; SAINI *et al.*, 2015) e florestais (CADETE *et al.*, 2012; TAOUDA *et al.*, 2017; VALLEJOS *et al.*, 2017). A utilização desses resíduos resulta em menor emissão de gases de efeito estufa além de não competir por terras agrícolas com culturas alimentares (THOMPSON; MEYER, 2013).

Dentre as biomassas vegetais, os resíduos agrícolas, como o bagaço da cana-de-açúcar, têm sido especialmente estudados, visto que são materiais subaproveitados e encontram-se amplamente disponíveis – até mesmo como subproduto da produção de etanol de primeira geração. Estima-se que apenas a produção mundial de cana-de-açúcar e milho gerem anualmente em torno de 128 e 180 milhões de toneladas de resíduos, respectivamente (SAINI *et al.*, 2015), o que permitiria o aumento na produção de etanol sem incrementos significativos nos custos do processo ou da área de plantio (SHAHBAZI; LI, 2006; CHERUBIN *et al.*, 2018).

Enquanto a matéria-prima utilizada na produção de etanol 1G é rica em açúcares fermentáveis, como sacarose, glicose e frutose, prontamente disponíveis e eficientemente fermentados pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* (BERTRAND *et al.*, 2016), a biomassa lignocelulósica da cana-de-açúcar e do milho é composta principalmente por celulose (34,6 a 45,6%), hemicelulose (18,9 a 36,9%) e lignina (15,10 a 27,6%) (BRAR *et al.*, 2016; DUSSÁN *et al.*, 2016; YANG *et al.*, 2016). Os dois primeiros constituintes, ao serem quebrados, liberam açúcares como a xilose e a celobiose, as quais não são fermentadas por *S. cerevisiae* (STAMBUK *et al.*, 2008).

Diante da complexidade das matérias-primas lignocelulósicas, faz-se necessário um pré-tratamento inicial da biomassa, o que reduz a cristalinidade dos polissacarídeos e remove ou degrada a lignina (deslignificação) (SINGH *et al.*, 2015). Essa etapa torna a celulose e a hemicelulose mais prontamente disponíveis para as enzimas hidrolíticas (celulases e hemicelulases) gerarem açúcares simples a serem fermentados para a produção de etanol (MOSIER *et al.*, 2005; BHUTTO *et al.*, 2017).

Os pré-tratamentos químicos, a partir de métodos alcalinos ou ácidos, são os mais amplamente utilizados na desestruturação da biomassa lignocelulósica. O ácido sulfúrico utilizado no pré-tratamento do bagaço da cana permitem uma solubilização de 70% (CANDIDO *et al.*, 2012) a 90 % (ROCHA *et al.*, 2011) da hemicelulose presente na matéria-prima, porém com degradação da celulose em torno de 15%. A combinação de métodos de pré-tratamentos, no entanto, tem gerado resultados ainda mais satisfatórios. Os tratamentos físico e químico associados, através do uso de micro-ondas e hidróxido de sódio, foram mais eficientes na liberação dos açúcares em um menor tempo de pré-tratamento do bagaço de cana, em relação ao aquecimento convencional e o uso de ácidos, permitindo uma eficiente deslignificação e redução na hemicelulose do material (ZHU *et al.*, 2016). O método físico-químico por explosão a vapor também foi descrito para o pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos como

bagaço da cana (BERNIER-OVIEDO *et al.*, 2018) e palha de milho (ÖHGREN *et al.*, 2006; DE BARI *et al.*, 2014). Recentemente os líquidos iônicos (LIs), uma classe ainda nova de solventes, têm demonstrado a capacidade de dissolver todos ou a maior parte dos componentes da biomassa lignocelulósica do bagaço da cana-de-açúcar, sendo uma alternativa promissora para o pré-tratamento de biomassas lignocelulósicas, uma vez que podem fornecer maiores rendimentos de hidrólise enzimática do que outros pré-tratamentos comumente usados. Chambon *et al.* (2018) observaram que o uso de LIs promoveu até 90% da remoção da lignina e a liberação de até 69% de glicose contida no bagaço via hidrólise enzimática. Pin *et al.* (2019) verificaram rendimentos de 72% de glicose e 45,9% de xilose na hidrólise enzimática utilizando os líquidos iônicos com ácido acético, em 48 h a partir do bagaço da cana.

Após a etapa de pré-tratamento de biomassa, os polissacarídeos precisam ser hidrolisados em monossacarídeos, os quais devem ser fermentados por leveduras para a produção de etanol. A hidrólise da biomassa lignocelulósica pode ser realizada por ácidos ou pela presença de enzimas (HERNÁNDEZ-SALAS *et al.*, 2009), sendo o método enzimático o mais eficiente (GUO *et al.*, 2018). A mistura de enzimas de *Chrysosporthe cubensis* e *Penicillium pinophilumi*, além de demonstrar eficiência na hidrólise de açúcares provenientes de biomassa do bagaço da cana, permitiu a recuperação significativa da atividade enzimática após a reciclagem da fração insolúvel (Visser *et al.*, 2015). *Myrothecium verrucaria* demonstrou ser um fungo promissor da degradação da lignina, além de melhorar a sacarificação enzimática da palha de milho (SU *et al.*, 2018). A busca e o isolamento de celulasas e hemicelulasas tem sido realizadas recentemente a partir de fungos fitopatogênicos presentes na matéria-prima vegetal, uma vez que esses microrganismos produzem hidrolases para degradação da parede celular (TIWARI *et al.*, 2013).

A sacarificação e a fermentação são processos que podem ser realizados de forma isolada (hidrólise e fermentação separadas) ou simultaneamente (sacarificação e fermentação simultâneas). Isso torna-se possível pela utilização de processos que envolvam a interação entre a enzima responsável pela hidrólise do substrato e a levedura responsável pela fermentação (SHADBAHR *et al.*, 2018; SZAMBELAN *et al.*, 2018). As técnicas combinadas geram menores custos operacionais e maior rendimento de etanol (AZHAR *et al.*, 2017; SEWSYNKER-SUKAI; KANA, 2018; SOTI *et al.*, 2018), além de permitirem a fermentação dos açúcares à medida que estes são liberados, eliminando os problemas de inibição causados pelo acúmulo de mono- e dissacarídeos (FERNANDES-KLAJN *et al.*, 2018). Assim, a busca por microrganismos eficientes na hidrólise e fermentação da biomassa lignocelulósica é essencial para garantir a eficácia e o maior rendimento na produção do etanol.

### 3 | POR QUE BUSCAR LEVEDURAS EM BIOMASSA VEGETAL EM DECOMPOSIÇÃO?

A decomposição da biomassa lignocelulósica requer enzimas específicas, como celulasas e xilanases, responsáveis por catalisar a degradação de substâncias celulolíticas e xilosídicas, respectivamente, bem como enzimas que permitam a metabolização de açúcares como glicose, celobiose e xilose, disponibilizados a partir da hidrólise dos polissacarídeos citados. Contudo, as linhagens industriais de *S. cerevisiae* atualmente empregadas em processos de fermentação alcoólica não podem hidrolisar esses polissacarídeos tampouco fermentar a xilose e a celobiose. Assim sendo, assume-se que leveduras que estejam associadas à degradação ou decomposição de biomassas vegetais devam dispor de enzimas capazes de metabolizar os carboidratos presentes, seja para hidrolisar os polissacarídeos ou para fermentar os açúcares. Isso torna a própria matéria-prima uma fonte importante de microrganismos para a produção de etanol 2G.

### 4 | LEVEDURAS ISOLADAS DE BAGAÇO E PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO: ESTADO DA ARTE

Considerando que as principais fontes de microrganismos capazes de hidrolisar os polissacarídeos e metabolizar os açúcares são os próprios materiais em decomposição (conforme descrito na seção anterior), o isolamento e a caracterização de leveduras a partir de resíduos de cana-de-açúcar e milho podem proporcionar a seleção dos fenótipos mais adequados à otimização dos processos fermentativos que tenham como substrato os resíduos da produção de etanol 1G.

#### 4.1 Metabolismo de xilose

A xilose é segundo carboidrato mais abundante nos hidrolisados provenientes de biomassa lignocelulósica. Essa pentose é obtida a partir da hidrólise da fração hemicelulose, majoritariamente composta por xilana em gramíneas (STAMBUK et al., 2008; DASHTBAN et al., 2009). Assim, entender como funciona a metabolização da xilose pelo microrganismo fermentador (a levedura) é importante para proporcionar estratégias de otimização da produção de etanol de segunda geração.

A xilose precisa, inicialmente, ser transportada para o interior das células através da membrana plasmática das leveduras, o que pode ser feito por transportadores específicos ou transportadores de hexoses (SHARMA et al., 2018). Ao adentrar o citosol, a xilose necessita de três reações para atingir a via das pentoses-fosfato (PPP). Na primeira delas, a xilose é reduzida a xilitol, em uma reação catalisada pela enzima xilose-redutase (XR), que pode utilizar como coenzima NADPH ou NADH. Em seguida, o xilitol é oxidado a xilulose pela ação da xilitol-desidrogenase (XDH),

que depende de  $\text{NAD}^+$  como coenzima da reação. Para que as células de leveduras, entretanto, possam fermentar eficientemente a xilose, é necessário haver um balanço redox nessas duas primeiras reações da metabolização da xilose. Naquelas leveduras em que a XR utiliza uma coenzima diferente da XDH, passa a haver um desbalanço redox que, pela falta da reciclagem dessas, acaba por interromper a metabolização de xilose, acarretando num acúmulo de xilitol. Desse modo, o desafio posto passa a ser então o de encontrar leveduras cuja XR tenha maior afinidade pela  $\text{NADH}$ , permitindo a reciclagem das coenzimas e evitando o desbalanço supramencionado. Por fim, na terceira reação antes da PPP, a xilulose é fosforilada a xilulose-5P numa reação catalisada pela xiluloquinase (XK), às custas de um ATP (revisto por STAMBUK et al., 2008). A partir deste ponto, intermediários da PPP podem ser destinados à glicólise e o produto final desta via, o piruvato, ser descarboxilado a acetaldeído (em reação catalisada pela piruvato descarboxilase) que, na sequência, é reduzido etanol pela álcool- desidrogenase. A Figura 1 resume de forma esquemática o metabolismo de xilose em leveduras.

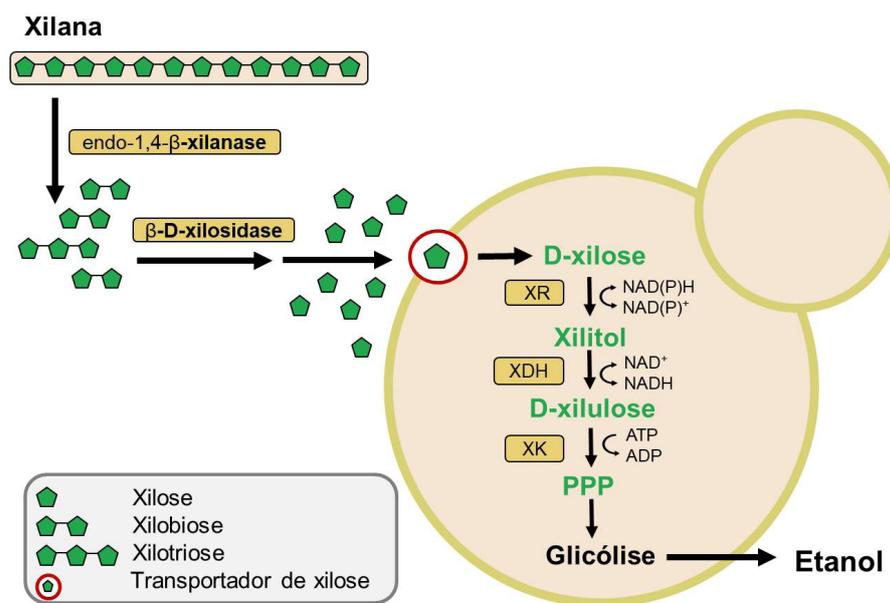


Figura 1. Metabolismo da xilose. XR: enzima xilose-redutase. XDH: enzima xilitol-desidrogenase. XK: enzima xiluloquinase. PPP: via das pentoses-fosfato (adaptado de Deoti, 2014).

## 4.2 Metabolismo de celobiose

As leveduras podem hidrolisar a celobiose em seu periplasma ou transportá-la através da membrana plasmática para que a hidrólise ocorra no seu interior (vide Figura 2). No primeiro caso, as duas moléculas de glicose liberadas do lado de fora da célula precisam atravessar a membrana para que possam ser consumidas pela glicólise e convertidas em etanol (GUO et al., 2015). Para que a hidrólise intracelular ocorra, entretanto, a membrana plasmática das leveduras precisa contar com permeases capazes de transportar o dissacarídeo, que, com isso, adentra as células liberando as

moléculas de glicose diretamente no citosol (PARISUTHAM et al. 2017).

As b-glicosidases presentes como parte do complexo das celulases normalmente são provenientes de fungos filamentosos. Já foi demonstrado, contudo, que essas enzimas apresentam baixa atividade e são inibidas pela própria glicose por feedback negativo (CHI et al. 2009). Este fato reforça a importância de o microrganismo fermentador ser capaz de metabolizar a celobiose. Para além disso, entende-se também que a hidrólise intracelular possa aumentar a eficiência do processo. Na dependência da hidrólise periplasmática, a celobiose mantida do lado de fora da célula poderia inibir as endo e exoglucanases no meio. Além disso, a glicose gerada do lado de fora da célula, pode aumentar a concentração de solutos do hidrolisado e, conseqüentemente, a pressão osmótica exercida sobre as leveduras (PARISUTHAM et al. 2017). Assim sendo, como esses dois fatores podem ser suprimidos no caso de uma hidrólise intracelular, passa a ser desejado não apenas que a levedura aplicada ao processo seja capaz de metabolizar a celobiose, mas que o faça intracelularmente.

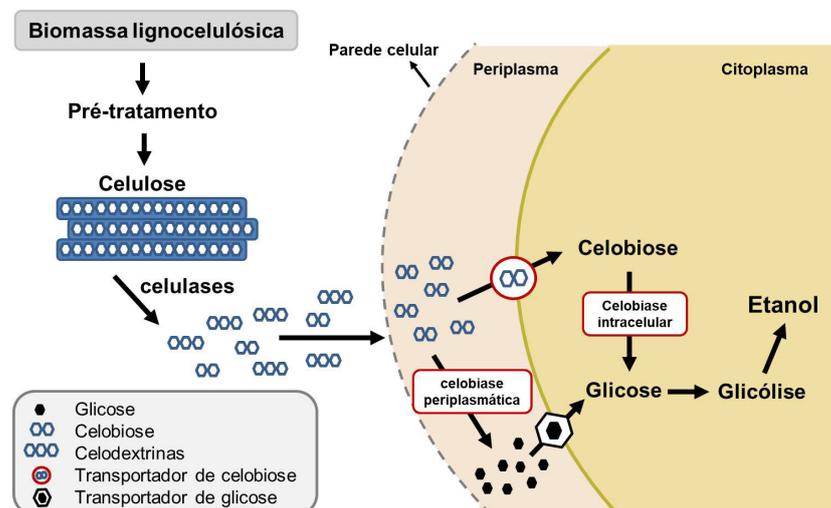


Figura 2. Metabolismo da celobiose em leveduras.

#### 4.3 Capacidade de hidrólise de polissacarídeos

Como comentado anteriormente, enzimas usadas em aplicações industriais são produzidas principalmente por fungos filamentosos. No entanto, os custos de dessas enzimas ainda permanecem altos. Em razão disso, tem-se buscado leveduras selvagens capazes não apenas de fermentar açúcares, mas também de hidrolisar os polissacarídeos. Em paralelo, a alternativa que se levanta é a engenharia genética de uma super levedura capaz de realizar todo o processo com elevado grau de eficiência.

No que concerne as leveduras encontradas associadas a milho e cana-de-açúcar, objetos desta revisão, a linhagem GHG001 da espécie *Pseudozyma brasiliensis*, isolada do trato intestinal da larva de um crisomelídeo praga de cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2014), apresentou elevada atividade xilanólítica em comparação com outras xilanases previamente descritas (KAUPERT NETO et al., 2016). De forma semelhante,

diferentes espécies de *Sugiyamaella* e *Cryptococcus*, isoladas de bagaço de cana-de-açúcar, mostraram-se capazes de hidrolisar xilana e fermentar a xilose advinda dessa hidrólise (LARA et al., 2014; SENA et al., 2017). Além disso, de silagens de milho já foram obtidas linhagens de *Candida pseudointermedia* (WANG et al., 2018), espécie já descrita com potencial tanto xilanolítico quanto celulolítico (MATTAM et al., 2016). Desse modo, duas das maiores culturas agrícolas no Brasil podem não apenas servir de matéria-prima para o etanol 2G mas também como fonte de leveduras hidrolíticas e fermentadoras.

## 5 | PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO DE LEVEDURAS SELVAGENS NA INDÚSTRIA

Para possibilitar o emprego de *S. cerevisiae* na produção de etanol 2G, é necessário uma série de modificações genéticas nessa espécie. Contudo, organismos geneticamente modificados demandam adequações nas plantas industriais para atender aos instrumentos legais de biossegurança que regulam a manipulação de microrganismos assim engenheirados. É nesse contexto que as leveduras selvagens passam a atrair a atenção de pesquisadores. Além disso, a possibilidade de empregar linhagens isoladas da microbiota do próprio entorno das usinas torna o processo ambientalmente ainda mais atraente, já que elimina a eventualidade de inserção de microrganismos exóticos em diferentes ecossistemas. O desafio, no entanto, passa a ser o de isolar e selecionar, de diferentes fontes e ambientes, leveduras que sejam capazes não apenas de fermentar os carboidratos que *S. cerevisiae* não fermenta, mas também de tolerar todas as condições de estresse celular impostas pelo ambiente industrial.

De fato, na última década diversos trabalhos têm demonstrado grande potencial de leveduras selvagens de diferentes espécies. Utilizando linhagens isoladas da produção industrial de etanol, Blomqvist et al. (2011) demonstraram que a espécie *Dekkera bruxellensis* (um contaminante do processo) possui potencial para fermentar hidrolisados lignocelulósicos e produzir etanol em níveis semelhantes ao de *S. cerevisiae*, além de se mostrar também adaptada (nesse caso, pouco sensível) aos subprodutos inibitórios encontrados nesses hidrolisados. Em outra pesquisa, também com uma linhagem de *D. bruxellensis*, verificou-se que essa espécie é capaz de produzir etanol a partir de celobiose e de fermentar esse dissacarídeo mesmo em condições similares às encontradas nos meios industriais (REIS et al., 2014). Somam-se a esses, trabalhos mais recentes que comprovam que leveduras indígenas podem apresentar tolerância a esses inibidores e, ao mesmo tempo, performances fermentativas adequadas ao ambiente industrial. Wang et al. (2016) demonstraram que as celobioses de *Clavispora* sp. são insensíveis a furfural e hidroximetilfurfural, enquanto Péter et al. (2017) apresentaram cepas de *Brettanomyces acidodurans* capazes de fermentar celobiose mesmo na presença de ácido acético. Além dessas,

recentemente uma nova espécie do gênero *Wickerhamomyces* apresentou elevado rendimento de etanol diante de hidrolisados não-detoxificados, com aproximadamente 2,8 g/L desse mesmo ácido (BAZOTI et al. 2017). Cabe salientar que leveduras do gênero *Wickerhamomyces* também já foram encontradas em caldos de cana-de-açúcar (OJHA e DAS, 2018).

Tendo em vista a necessidade de fermentação de carboidratos como xilose e celobiose para garantir uma eficiente produção de etanol 2G, muitos trabalhos tiveram como enfoque a caracterização metabólica de diferentes linhagens selvagens de leveduras – isoladas de matéria vegetal em decomposição – diante desses carboidratos. Na Tabela 1 são apresentados exemplos de diferentes espécies com alto rendimento fermentativo a partir de xilose ou celobiose. Haja vista a vantagem frente a outras espécies, bem como o fato de a xilose ser o segundo açúcar mais abundante nos hidrolisados lignocelulósicos, esses dados sugerem que as espécies do gênero *Spathaspora* – em especial *S. arborariae* e *S. passalidarum* – sejam potencialmente as melhores candidatas para a produção de etanol 2G (CADETE e ROSA, 2018).

Leveduras com potencial hidrolítico também são de alto interesse para a indústria do etanol. Como já comentado neste capítulo, a possibilidade de empregar leveduras capazes de promover a hidrólise dos polissacarídeos presentes na biomassa lignocelulósica é extremamente desejável, haja vista (1) possibilitar que um mesmo microrganismo realize a sacarificação e a fermentação simultaneamente e (2) reduzir os custos do processo com enzimas hidrolíticas.

Dentre as leveduras apresentadas na Tabela 1, verifica-se que apenas uma delas foi obtida a partir de bagaço de cana-de-açúcar. No entanto, há diferentes trabalhos presentes na literatura que demonstram que outras linhagens de algumas das espécies ou gêneros elencados na Tabela 1 já foram isoladas de cana-de-açúcar e milho. É o caso de espécies do gênero *Yamadazyma*, descritas como leveduras endofíticas ou do filoplano de milho e cana-de-açúcar (KAEWWICHIAN et al., 2013; KHUNNAMWONG e LIMTONG, 2016; KHUNNAMWONG et al., 2018), e do gênero *Galactomyces*, obtidas de silagem de milho (ALPER et al., 2011). Da mesma forma, a espécie *Candida tropicalis*, cujos dados da literatura demonstram mais de 76% de eficiência fermentativa diante da xilose (vide Tabela 1), também já foi isolada de silagens de culturas de milho (WANG et al., 2018) e de bagaço de cana-de-açúcar (LARA et al., 2014). Além disso, como comentado anteriormente, essa levedura também apresenta potencial celulolítico e xilanolítico (LARA et al., 2014; MATTAM et al., 2016), o que a configura como uma das principais espécies com elevado potencial para a produção de etanol 2G.

Por fim, considerando os fortes indícios, aqui apontados, do potencial de aplicação de diferentes espécies de leveduras selvagens na fabricação do etanol de segunda geração, é possível inferir que as próprias matérias-primas empregadas na produção desse combustível possam fornecer os microrganismos fermentadores para esse processo. Embora poucos trabalhos tenham analisado especificamente

leveduras isoladas de resíduos oriundos de culturas de milho e cana-de-açúcar, a literatura aponta como perspectiva o uso desses microrganismos como um possível propulsor da otimização da produção de etanol 2G.

Carboidrato fermentado/ Espécie de levedura	Fonte ou substrato de isolamento	Rendimento de etanol (g/g)*	Eficiência Fermentativa (%)**	Referência
Xilose				
<i>Candida akabanensis</i>	Bagaço de cana-de-açúcar	0,34	66,7	Valinhas et al. (2018)
<i>Candida tenuis</i>	ARS Patent Culture Collections (USA)	~0,42	~81,5	Veras et al. (2017)
<i>Candida tropicalis</i>	NBRC Culture Catalogue	~0,39	~76,3	Mateo et al. (2015)
<i>Galactomyces geotrichum</i>	Taro	0,35	69,4	Valinhas et al. (2018)
<i>Scheffersomyces lignosa</i>	Restos de galhos de árvores em florestas	0,40	79,4	Cadete et al. (2017)
<i>Scheffersomyces parashehatae</i>	Restos de galhos de árvores em florestas	0,44	85,0	Cadete et al. (2017)
<i>Spathaspora arborariae</i>	Restos de galhos de árvores em florestas	~0,50	~98,0	Cadete et al. (2009)
<i>Spathaspora passalidarum</i>	Restos de galhos de árvores em florestas	0,48	94,0	Cadete et al. (2016)
<i>Spathaspora xylofermentans</i>	Restos de galhos de árvores em florestas	0,34	66,5	Souza et al. (2018)
Celobiose				
<i>Candida jaroonii</i>	Restos de galhos de árvores em florestas	0,47	87,4	Lopes et al. (2018)
<i>Clavispora</i> sp.	ARS Patent Culture Collections (USA)	~0,45	~82,6	Geberekidan et al. (2018)
<i>Scheffersomyces queiroziae</i>	Restos de galhos de árvores em florestas	0,44	82,0	Lopes et al. (2018)
<i>Yamadazyma</i> sp.	Restos de galhos de árvores em florestas	0,51	94,4	Lopes et al. (2018)

Tabela 1. Leveduras selvagens com elevado rendimento fermentativo utilizando xilose ou celobiose como fonte de carbono.

\* $Y_{P/S}$  (g de etanol produzido por g de açúcar consumido).

\*\*Porcentagem do rendimento de etanol teórico máximo: 0,511 g de etanol por g de xilose e 0,538 g de etanol por grama de celobiose.

## REFERÊNCIAS

ALPER, I.; FRENETTE, M.; LABRIE, S. **Ribosomal DNA polymorphisms in the yeast *Geotrichum candidum***. Fungal Biol. 2011; 115:1259-1269.

AZHAR, S. H. M. et al. **Yeasts in sustainable bioethanol production: A review**. Biochem Biophys Rep. 2017; 10:52-61.

BAZOTI, S. F. et al. **Second-generation ethanol from non-detoxified sugarcane hydrolysate by a rotting wood isolated yeast strain**. Bioresour Technol. 2017; 244:582-587.

BERNIER-OVIEDO, D. J. et al. **Comparison of two pretreatments methods to produce second-generation bioethanol resulting from sugarcane bagasse**. Ind Crops Prod. 2018; 122:414-21.

BERTRAND, E. et al. **First generation bioethanol**. In: SOCCOL, C. R. et al. (Eds.). **Green fuels technology: biofuels**. Switzerland: Springer, 2016. p. 175-212.

BHUTTO, A. W. et al. **Insight into progress in pre-treatment of lignocellulosic biomass**. Energy. 2017; 122:724-45.

BLOMQUIST, J. et al. **Fermentation of lignocellulosic hydrolysate by the alternative industrial ethanol yeast *Dekkera bruxellensis***. Lett Appl Microbiol. 2011; 53:73-78.

- BRAR, K. K.; KAUR, S.; CHADHA, B. S. **A novel staggered hybrid SSF approach for efficient conversion of cellulose/hemicellulosic fractions of corncob into ethanol.** *Renew Energ.* 2016; 98:16-22.
- CADETE, R. M.; ROSA, C. A. **The yeasts of the genus *Spathaspora*: potential candidates for second-generation biofuel production.** *Yeast.* 2018; 35:191-199.
- CADETE, R. M. et al. **Diversity and physiological characterization of D-xylose-fermenting yeasts isolated from the Brazilian amazonian forest.** *PLoS One.* 2012; 7: e43135.
- CADETE, R. M. et al. **Production of bioethanol in sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate by *Scheffersomyces parashehatae*, *Scheffersomyces illinoisensis* and *Spathaspora arborariae* isolated from Brazilian ecosystems.** *J Appl Microbiol.* 2017; 123:1203-1213.
- CADETE, R. M. et al. ***Spathaspora arborariae* sp. nov., a d-xylose-fermenting yeast species isolated from rotting wood in Brazil.** *FEMS Yeast Res.* 2009; 9:1-5.
- CANDIDO, R. G.; GODOY, G. G.; GONÇALVES, A. R. **Study of sugarcane bagasse pretreatment with sulfuric acid as a step of cellulose obtaining.** *Intern Scholarly Scientific Resear Innov.* 2012; 6(1):6-10.
- CHAMBON, C. L. et al. **Pretreatment of South African sugarcane bagasse using a low-cost protic ionic liquid: a comparison of whole, depithed, fibrous and pith bagasse fractions.** *Biotechnol Biofuels.* 2018; 11:247.
- CHERUBIN M. R. et al. **Crop residue harvest for bioenergy production and its implications on soil functioning and plant growth: A review.** *Scientia Agricola.* 2018; 75(3):255-272.
- CHI, Z. et al. ***Saccharomycopsis fibuligera* and its applications in biotechnology.** *Biotechnol Adv* 2009; 27, 423-431.
- CRUZ, M.; GUERREIRO, E.; RAIHER, A. P. **A Evolução da Produção de Etanol no Brasil, no Período de 1975 a 2009.** *Documentos Técnico-Científicos.* 2012; 43(4):141-159.
- DASHTBAN, M.; SCHRAFT, H.; QIN, W. **Fungal bioconversion of lignocellulosic residuos; opportunities & pectives.** *Int. J. Biol. Sci.* 2009; 5:578-595.
- DEOTI, J. R. **Hidrólise de xilana e metabolização de xilose por leveduras isoladas da biomassa lignocelulósica em decomposição.** Chapecó: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2014.
- DE BARI, I. et al. **Bioethanol production from steam-pretreated corn stover through an isomerase mediated process.** *N Biotechnol.* 2014; 31(2):185-195.
- DUFFIELD, J. A.; XIARCHOS, I.; HALBROOK, S. **Ethanol Policy: Past, Present, and Future.** *S D L Rev.* 2008; 53(3):425-453.
- DUSSÁN, K. J. et al. **Evaluation of oxygen availability on ethanol production from sugarcane bagasse hydrolysate in a batch bioreactor using two strains of xylose-fermenting yeast.** *Renew Energ.* 2016; 87:703e710.
- FERNANDES-KLAJN, F. et al. **Comparison of fermentation strategies for ethanol production from olive tree pruning biomass.** *Ind Crops Prod.* 2018; 122:98-106.
- GEBEREKIDAN, M. **Improved cellulosic ethanol production from corn stover with a low cellulase input using a  $\beta$ -glucosidase-producing yeast following a dry biorefining process.**

Bioprocess and Biosystems Engineering. 2018; doi: 10.1007/s00449-018-2034-9.

GUO, H.; CHANG, Y.; LEE, D. J. **Enzymatic saccharification of lignocellulosic biorefinery: Research focuses.** Bioresour Technol. 2018;252:198-215.

GUO, Z. et al. **Development of cellobiose-degrading ability in *Yarrowia lipolytica* strain by overexpression of endogenous genes.** Biotechnol Biofuels 2015; 8:109.

HAHN-HÄGERDAL, B. et al. **Bio-ethanol--the fuel of tomorrow from the residues of today.** Trends Biotechnol. 2006; 24(12):549-56.

HEMALATHA, R. et al. **Comparative study of bioethanol production from agricultural waste materials using *Saccharomyces cerevisiae* (MTCC 173) and *Zymomonas mobilis* (MTCC 2427) by enzymatic hydrolysis process.** Int J Microbiol Res. 2015; 6:74-78.

KAEWWICHIAN, R. et al. ***Yamadazyma siamensis* sp. nov., *Yamadazyma phyllophila* sp. nov. and *Yamadazyma paraphyllophila* sp. nov., three novel yeast species isolated from phylloplane in Thailand and Taiwan.** Antonie van Leeuwenhoek. 2013; 103:777-788.

KAUPERT NETO, A. A. et al. **Insights into the plant polysaccharide degradation potential of the xylanolytic yeast *Pseudozyma brasiliensis*.** FEMS Yeast Research. 2016; 16:fov117.

KHUNNAMWONG, P.; JINDAMORAKOT, S.; LIMTONG, S. **Endophytic yeast diversity in leaf tissue of rice, corn and sugarcane cultivated in Thailand assessed by a culture-dependent approach.** Fungal Biol. 2018; 122: 785e799.

KHUNNAMWONG, P.; LIMTONG, S. ***Yamadazyma endophytica* f.a. sp. nov., an ascomycetous yeast species isolated from leaf tissue.** Int J Syst Evol Micr. 2016; 66:2717-2273.

LARA, C. A. et al. **Identification and characterisation of xylanolytic yeasts isolated from decaying wood and sugarcane bagasse in Brazil.** Antonie van Leeuwenhoek. 2014; 105:1107-1119.

LOPES, M. L. et al. **Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry.** Braz J Microbiol. 2016; 475:64-76.

LOPES, M. R. et al. **Characterisation of the diversity and physiology of cellobiose-fermenting yeasts isolated from rotting wood in Brazilian ecosystems.** Fungal Biol. 2018; 122:668-676.

MATTAM, A. N. et al. **Cellulolytic enzyme expression and simultaneous conversion of lignocellulosic sugars into ethanol and xylitol by a new *Candida tropicalis* strain.** . Biotechnol Biofuels. 2016; 9:157.

MOSIER, N. et al. **Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass.** Bioresour Technol. 2005; 96:673-686.

NAIK, S. N. et al. **Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review.** Renew Sust Energ Rev. 2010; 14:578-97.

NGUYEN, Q. et al. **Global production of second generation biofuels: Trends and influences.** Dovetail Partners Inc; 2017.

NIPHADKAR, S.; BAGADE, P.; AHMED, S. **Bioethanol production: insight into past, present and future perspectives.** Biofuels. 2017; 9:229-38.

ÖHGREN, K. et al. **Fuel ethanol production from steam-pretreated corn stover using SSF at higher dry matter content.** Biomass Bioenergy. 2006; 30(10):863-869

- OJHA, N.; DAS, N. **A statistical approach to optimize the production of Polyhydroxyalkanoates from *Wickerhamomyces anomalus* VIT-NN01 using response surface methodology.** Int J Biol Macromol. 2018; 107:2157–2170.
- OLIVEIRA, J. C. et al. ***Pseudozyma brasiliensis* sp. nov., a xylanolytic, ustilaginomycetous yeast species isolated from an insect pest of sugarcane roots.** Int J Syst Evol Micr. 2014; 64:2159-2168.
- PARISUTHAM, V. **Intracellular cellobiose metabolism and its applications in lignocellulose-based biorefineries.** Bioresour Technol 2017; 239:496-506.
- PÉTER, G. et al. ***Brettanomyces acidodurans* sp. nov., a new acetic acid producing yeast species from olive oil.** Antonie van Leeuwenhoek. 2017; 110:657-664.
- PIN, T. C. et al. **Screening of protic ionic liquids for sugarcane bagasse pretreatment.** Fuel. 2019; 235:1506-1514.
- REIS, A. L. et al. **Oxygen-limited cellobiose fermentation and the characterization of the cellobiase of an industrial *Dekkera/Brettanomyces bruxellensis* strain.** Springerplus, 2014; 3:38.
- RFA (Renewable Fuels Association). **Ethanol industry outlook.** Washington. 2018; 37 p.
- ROCHA, G. J. M. et al. **Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for ethanol production.** Biomass Bioenerg. 2011; 35:663e670.
- SAINI, J. K.; SAINI, R.; TEWARI, L. **Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments.** 3 Biotech. 2015; 5:337-53.
- SENA, L. M. et al. **D-Xylose fermentation, xylitol production and xylanase activities by seven new species of *Sugiyamaella*.** Antonie Van Leeuwenhoek. 2017; 110(1):53-67.
- SEWSYNKER-SUKAI, Y.; KANA, E. B. G. **Simultaneous saccharification and bioethanol production from corn cobs: Process optimization and kinetic studies.** Bioresour Technol. 2018; 262:32-41.
- SHADBAHR, J. et al. **Multi-objective optimization of simultaneous saccharification and fermentation for cellulosic ethanol production.** Renew Energ. 2018; 125:100-107.
- SHAHBAZI, A.; LI, Y. **Availability of Crop Residues as Sustainable Feedstock for Bioethanol Production in North Carolina.** Appl Biochem Biotech. 2006; 41:129-132.
- SINGH, S. et al. **Comparison of different biomass pretreatment techniques and their impact on chemistry and structure.** Front Energy Res Bioenergy Biofuels. 2015; 2:1–12.
- SOTI, V., LENAERTS, S.; CORNET, I. **Of enzyme use in cost-effective high solid simultaneous saccharification and fermentation processes.** J Biotechnol. 2018; 270:70-76.
- SOUZA, R. D. F. R. et al. **Production of ethanol fuel from enzyme-treated sugarcane bagasse hydrolysate using d -xylose-fermenting wild yeast isolated from Brazilian biomes.** 3 Biotech. 2018; 8:312.
- STAMBUK, B. U. et al. **Brazilian potential for biomass ethanol: challenge of using hexose and pentose co-fermenting yeast strains.** J Sci Ind Res. 2008; 67:918-926.
- SU, Y. et al. **Evaluation of screened lignin-degrading fungi for the biological pretreatment of corn stover.** Sci Rep. 2018; 8(1):5385.

SZAMBELAN, K. et al. **Separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and fermentation methods in bioethanol production and formation of volatile by-products from selected corn cultivars.** Ind Crops Prod. 2018; 118:355-61.

SZMRECSÁNYI, T.; MOREIRA, E. P. **O desenvolvimento da agroindústria canieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial.** Estudos Avançados. 1991; 5:57-79.

TAOUDA, H. et al. **Biomass and bio-ethanol production from date extract.** J Mater Environ Sci. 2017; 8:3093-8.

THOMPSON, W.; MEYER, S. **Second generation biofuels and food crops: Co-products or competitors?** Glob Food Secur. 2013; 2(2):89-96.

TIWARI, R. et al. **Harnessing the hydrolytic potential of phytopathogenic fungus *Phoma exigua* ITCC 2049 for saccharification of lignocellulosic biomass.** Bioresour Technol. 2013; 150:228-234.

USDA (United States Department of Agriculture) **U.S. Ethanol: an examination of policy, production, use, distribution, and market Interactions.** 2015; 87p.

VALINHAS, R. V. et al. **Xylose fermentation to ethanol by new *Galactomyces geotrichum* and *Candida akabanensis* strains.** PeerJ. 2018; 6:e4673.

VALLEJOS, M. E.; KRUYENISKI, J.; AREA, M. C. **Second-generation bioethanol from industrial wood waste of South American species.** Biofuel Research J. 2017; 15:654-667.

VERAS, H. C. T.; PARACHIN, N. S.; ALMEIDA, J. R. M. **Comparative assessment of fermentative capacity of different xylose-consuming yeasts.** Microb Cell Fact. 2017; 16:153.

VISSER, E. M. et al. **Increased enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse from enzyme recycling.** Biotechnol Biofuels. 2015; 8:5.

WANG, H. et al. **Characterization of culturable yeast species associating with whole crop corn and total mixed ration silage.** Asian-Australas J Anim Sci. 2018; 31(2):198-207.

WANG, X. et al. **Two new native  $\beta$ -Glucosidases from *Clavispora* NRRL Y-50464 confer its dual function as cellobiose fermenting ethanologenic yeast.** PLoS One. 2016; 11: e0151293.

WANG, Z. et al. **Fermentation of undetoxified sugarcane bagasse hydrolyzates using a two stage hydrothermal and mechanical refining pretreatment.** Bioresour Technol. 2018; 261:313-321.

YANG, S. et al. **Valorization of lignin and cellulose in acid-steam-exploded corn stover by a moderate alkaline ethanol post-treatment based on an integrated biorefinery concept.** Biotechnol Biofuels. 2016; 9:238.

ZHU, Z. et al. **Efficient sugar production from sugarcane bagasse by microwave assisted acid and alkali pretreatment.** Biomass Bioenergy. 2016; 93:269-278.

## **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

