

# Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química

Jéssica Verger Nardeli  
(Organizadora)

# Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química

Jéssica Verger Nardeli  
(Organizadora)

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná



Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão



Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás  
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Posaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A946 Avanços das pesquisas e inovações na engenharia química 1  
[recurso eletrônico] / Organizadora Jéssica Verger Nardeli. –  
Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-53-9

DOI 10.22533/at.ed.539202003

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Nardeli, Jéssica  
Verger.

CDD 660.76

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A coleção “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 1” é uma obra que tem como foco principal a discussão e divulgação científica por meio de trabalhos com diferentes funcionalidades que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada trabalhos, pesquisas que transiram nos vários caminhos da engenharia química de forma mais aplicada tanto para pesquisa como indústria.

O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos correlacionados a estudo cinético, termodinâmico, físico-químico, caracterização de materiais por meio de várias técnicas (Microscopia eletrônica de varredura, análise de difração de raio-X dentre outras) e abordagens (tamanho de partícula, tratamento estatístico) desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa do país. Em todos esses trabalhos a linha condutora foi o aspecto relacionado à caracterização, aplicação, otimização de procedimentos e metodologias, dentre outras abordagens importantes na área de exatas e engenharia. O avanço das pesquisas e divulgação dos resultados tem sido um fator importante para o desenvolvimento da ciência e estímulo de inovação.

Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área de exatas e engenharia química aplicada e educacional. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes metodologias, abordagens, otimização de processos, caracterização com técnicas substanciais é muito relevante, assim como abordar temas atuais e de interesse tanto no meio acadêmico como social.

Deste modo a obra “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 1” apresenta estudos fundamentados nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores explorarem e divulgarem seus resultados.

Jéssica Verger Nardeli

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
RESINA BENZOAZINA: OBTENÇÃO E POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO SETOR AEROESPACIAL	
Cirlene Fourquet Bandeira	
Aline Cristina Pereira Trofino	
Sérgio Roberto Montoro	
Michelle Leali Costa	
Edson Cocchieri Botelho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ANÁLISE MORFOLÓGICA E LIXIVIAÇÃO DA LAMA VERMELHA APÓS TRATAMENTO TÉRMICO	
Bruno Marques Viegas	
Keize Lorena Martins dos Passos	
Edilson Marques Magalhães	
Josiel Lobato Ferreira	
Diego Cardoso Estumano	
José Antônio da Silva Souza	
Emanuel Negrão Macêdo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
ESTUDOS CINÉTICO E TERMODINÂMICO DA UTILIZAÇÃO DE MESOCARPO DE COCO VERDE NA REMOÇÃO DE ÍONS FLUORETO EM SOLUÇÃO	
César Augusto Canciam	
Nehemias Curvelo Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DE LICORES DE CUPUAÇU ( <i>THEOBROMA GRANDIFLORUM</i> SCHUM) COMERCIALIZADOS EM BELÉM DO PARÁ	
João Pedro dos Reis Lima	
Allyson Allennon Pinheiro do Rosário	
José Marcos Nobre de Moura Junior	
Ewerton Carvalho de Souza	
Ivan Carlos da Costa Barbosa	
Ewerton Reginaldo dos Santos Neves	
Ronaldo Magno Rocha	
Charles Alberto Brito Negrão	
Regina Celi Sarkis Müller	
Antonio dos Santos Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>45</b>
INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NA ELEVAÇÃO DO PONTO DE EBULIÇÃO DE SOLUÇÕES DE LEITE/SACAROSE	
Marcio Augusto Ribeiro Sanches	
Rodrigo Rodrigues Evangelista	
Daniele Penteadó Rosa	
Tiago Carregari Polachini	
Javier Telis Romero	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5392020035</b>	



**CAPÍTULO 6 ..... 54**

CINÉTICA DE SECAGEM DE *Alpinia zerumbet* E INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO SEU ÓLEO ESSENCIAL

Paulo Sérgio Santos Júnior  
Gustavo Oliveira Everton  
Amanda Mara Teles  
Bárbara De Souza Silva  
Harvey Alexander Villa-Veléz  
Adenilde Nascimento Mouchrek  
Victor Elias Mouchrek Filho

**DOI 10.22533/at.ed.5392020036**

**CAPÍTULO 7 ..... 66**

OSCILAÇÕES AMORTECIDAS EM SISTEMAS DE PARTÍCULAS COM MEMÓRIA ACOPLADA

Jair Rodrigues Neyra  
Rafael Santos da Costa  
José Rodrigues de Souza Chaves Gonçalves  
Marcos Vinicius de Souza Araújo  
Paulo Gerson da Cruz Ferreira  
Vinícius Frantinne Brito Alves  
Waldemar Monteiro de Moura  
Eliton Lima Rocha  
Maria Liduína das Chagas  
Thiago Rafael da Silva Moura

**DOI 10.22533/at.ed.5392020037**

**CAPÍTULO 8 ..... 79**

NANOPARTÍCULAS DE FE E PY COMO CATALISADORES DA LIQUEFAÇÃO DO CARVÃO

Rafael Santos da Costa  
Jair Rodrigues Neyra  
José Rodrigues de Souza Chaves Gonçalves  
Marcos Vinícios de Souza Araújo  
Paulo Gerson da Cruz Ferreira  
Vinícius Frantinne Brito Alves  
Waldemar Monteiro de Moura  
Andrew Nunes de Barros Reis  
Maria das Graças Dias da Silva  
Marcos Lima Cardoso  
Thiago Rafael da Silva Moura

**DOI 10.22533/at.ed.5392020038**

**CAPÍTULO 9 ..... 90**

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE DECANTADOR HORIZONTAL CENTRÍFUGO PARA SEPARAÇÃO DE SISTEMAS CONTENDO FASE OLEOSA DISPERSA

Alex Vazzoler

**DOI 10.22533/at.ed.5392020039**

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

LIPASE EXTRACELULAR DO FUNGO *METARHIZIUM ANISOPLIAE* PRODUZIDA A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAS

Fabriele de Sousa Ferraz  
Laiane Martins Duarte  
Isadora Souza Santos Dias  
Lina María Grajales

**DOI 10.22533/at.ed.53920200310**

**CAPÍTULO 11 ..... 107**

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE ESFERAS POROSAS DE QUITOSANA NA ADSORÇÃO DE NÍQUEL EM SOLUÇÃO AQUOSA

Flávia Cristina Cardoso Dória  
Elaine Cristina Nogueira Lopes de Lima

**DOI 10.22533/at.ed.53920200311**

**CAPÍTULO 12 ..... 123**

ADSORÇÃO DO COBRE II A PARTIR DA ATIVAÇÃO TÉRMICA DA CASCA DE BURITI (MAURITIA FLEXUOSA)

Larissa Tavares Esquerdo  
Brenda Thayssa Figueira Daniel  
Yuri Leon dos Santos Silva  
Elinaldo Silva Caldas  
Alacid do Socorro Siqueira Neves  
Reginaldo Sabóia de Paiva  
Disterfano Lima Martins Barbosa

**DOI 10.22533/at.ed.53920200312**

**CAPÍTULO 13 ..... 131**

ISOTERMAS DE SORÇÃO E PROPRIEDADES TERMODINAMICAS DO ABIU (*POUTERIA CAIMITO*)

Emilio Émerson Xavier Guimarães Filho  
Ronaldo Maison Martins Costa  
Julles Mitoura dos Santos Junior  
Nathalia Cristina Ramos Lima  
Audirene Amorim Santana

**DOI 10.22533/at.ed.53920200313**

**CAPÍTULO 14 ..... 143**

CARACTERIZAÇÃO DO OITI *LICANIA TOMENTOSA* (BENTH.) E COMPARAÇÃO DOS PÓS OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

Ianê Valente Pires  
Tatyane Myllena Souza da Cruz  
Gisélia de Sousa Nascimento  
Natasha Cunha  
Antonio Manoel da Cruz Rodrigues  
Heloisa Helena Berredo Reis de Medeiros

**DOI 10.22533/at.ed.53920200314**

**CAPÍTULO 15 ..... 153**

EFEITO DO TEOR E DO TIPO DE DOPANTE (MG OU MN) NAS PROPRIEDADES DOS CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO DESTINADOS A WGRS

Larissa Soares Lima  
Mariana Santos Rodrigues  
Rodrigo Ribeiro de Souza  
Maurício de Almeida Pereira  
Maria Luiza Andrade da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.53920200315**

**CAPÍTULO 16 ..... 164**

RESÍDUOS DE FERRO E ALUMÍNIO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Gabriel da Cruz Oliveira  
Lucas Rezende Almeida

Willian Rayol da Silva  
Bruno Henrique Alves Mendes  
Brenda Thayssa Figueira Daniel  
Deibson Silva da Costa  
Reginaldo Sabóia de Paiva

**DOI 10.22533/at.ed.53920200316**

**CAPÍTULO 17 ..... 172**

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE BAGAÇO DE MANDIOCA (BLBM)

Rodrigo Rodrigues Evangelista  
Tiago Carregari Polachini  
Juan A. Cárcel  
Javier Telis-Romero  
Antonio Mulet

**DOI 10.22533/at.ed.53920200317**

**CAPÍTULO 18 ..... 184**

DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE CASCA DE MANDIOCA (BLCM)

Marcio Augusto Ribeiro Sanches  
Tiago Carregari Polachini  
Juan A. Cárcel  
Antonio Mulet  
Javier Telis-Romero

**DOI 10.22533/at.ed.53920200318**

**CAPÍTULO 19 ..... 196**

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE BAGAÇO DE MANDIOCA E DE CASCA DE MANDIOCA: INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULA

Tiago Carregari Polachini  
Maria Júlia Neves Martins  
Antonio Mulet  
Javier Telis-Romero  
Juan A. Cárcel

**DOI 10.22533/at.ed.53920200319**

**CAPÍTULO 20 ..... 209**

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DA LAMA VERMELHA NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Eryck Eduardo Simplicio dos Santos  
Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira  
Brenda Thayssa Figueira Daniel  
Bruno Henrique Alves Mendes  
Deibson Silva da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.53920200320**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 217**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 218**



## DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DE BAGAÇO DE MANDIOCA (BLBM)

Data de submissão: 03/12/2019

Data de aceite: 11/03/2020

### Rodrigo Rodrigues Evangelista

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (Ibilce), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA)  
São José do Rio Preto – São Paulo – Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4542903012584676>

### Tiago Carregari Polachini

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (Ibilce), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA)  
São José do Rio Preto – São Paulo – Brasil  
Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios (ASPA), Universitat Politècnica de València, Departamento de Tecnología de Alimentos  
Valência – Espanha  
<https://orcid.org/0000-0002-5012-6416>

### Juan A. Cárcel

Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios (ASPA), Universitat Politècnica de València, Departamento de Tecnología de Alimentos  
Valência – Espanha  
<https://orcid.org/0000-0002-3796-6146>

### Javier Telis-Romero

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita

Filho” (Unesp), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (Ibilce), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA)  
São José do Rio Preto – São Paulo – Brasil  
<https://orcid.org/0000-0003-2555-2410>

### Antonio Mulet

Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios (ASPA), Universitat Politècnica de València, Departamento de Tecnología de Alimentos  
Valência – Espanha  
<https://orcid.org/0000-0001-6748-2663>

**RESUMO:** A procura por resíduos agroindustriais tem se expandido atualmente como recurso para produção de etanol de segunda geração. A produção do etanol de segunda geração através de biomassa lignocelulósica consiste na hidrólise dos polissacarídeos que a compõem, para posterior fermentação dos açúcares. Diante da complexidade das estruturas dos polissacarídeos, faz-se necessário o emprego de pré-tratamentos adequados de modo a otimizar o processo, melhorando a hidrólise dos polissacarídeos. Em geral, o tamanho das partículas, a forma e sua densidade têm relevante importância para o estudo de operações unitárias que envolvem o transporte de fluidos e partículas, sendo comum empregar o conceito de distribuição de tamanho. Neste contexto, o

trabalho objetivou identificar e caracterizar as funções de distribuição de tamanho das partículas de biomassa lignocelulósica de bagaço de mandioca (BLBM). Para isso, foi empregada um conjunto de peneiras tipo Tyler para determinação da distribuição de tamanhos de partículas de BLBM. Três modelos (Gates-Gaudin-Schuhmann (GGS), Rosin-Rammler-Bennet (RRB) e Gaudin-Meloy Modificado (MGM)) foram usados para o ajuste aos dados experimentais. Os resultados das distribuições de tamanhos foram satisfatoriamente descritos pelos modelos RRB e MGM, identificando diferentes distribuições de tamanhos de partículas com distintos diâmetros médios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Distribuição de tamanhos, biomassa lignocelulósica, resíduos de mandioca, Rosin-Rammler-Bennet.

### PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF CASSAVA BAGASSE LIGNOCELLULOSIC BIOMASS (BLBC)

**ABSTRACT:** The demand for agroindustrial waste has been currently explored due to its potential to be used in the second generation ethanol production. The production of second-generation ethanol through lignocellulosic biomass consists of hydrolyzing the composing polysaccharides, and their subsequent fermentation. Because of the complexity of polysaccharide structures, it is necessary to use pretreatments in order to optimize the process, thus improving the saccharification of polysaccharides. Particle size, shape and density are relevant for studying unit operations involving fluid and particle transport. It is commonly used the concept of particle size distribution in this context. Therefore, this work was focused on identifying and characterizing the particle size distribution functions for cassava bagasse lignocellulosic biomass (BLBC). A set of Tyler sieves was used to determine the particle size distribution of BLBC. Nonlinear regressions were performed to fit three models (Gates-Gaudin-Schuhmann (GGS), Rosin-Rammler-Bennet (RRB) and Modified Gaudin-Meloy (MGM)) to the experimental data. The results of the size distributions were described with good accuracy by the RRB and MGM models, identifying different particle size distributions and average diameters.

**KEYWORDS:** Size distribution, lignocellulosic biomass, cassava residues, Rosin-Rammler-Bennet.

## 1 | INTRODUÇÃO

A procura por resíduos agroindustriais tem apresentado significativa procura, como por exemplo bagaço de cana de açúcar, farelo de mandioca, polpa de laranja, dentre outros. Portanto diversos processos químicos tem sido desenvolvidos para transformar estes resíduos agroindustriais em componentes de alto valor agregado, como etanol, enzimas, ácidos orgânicos, aminoácidos e outros. Desta forma, a utilização de bioprocessos no tratamento de resíduos agroindustriais torna-se uma

alternativa viável para produção de substratos, o que contribui para solucionar o problema de poluição ocasionado pelas indústrias (PANDEY et al., 2000).

A globalização das economias alterou o comportamento das empresas, de modo a conferir novos olhares ao processo produtivo como forma de melhorar a qualidade dos produtos, bem como buscar novos mercados. As fecularias de mandioca diante deste contexto enfrentam mercados altamente competitivos que obrigam processos otimizados. Desta forma, o aproveitamento dos resíduos gerados torna o processo mais eficiente, despertando o interesse das indústrias (LEONEL et al., 2000).

Os resíduos gerados por essas indústrias compreendem basicamente macromoléculas de celulose, hemicelulose e lignina. No entanto alguns resíduos podem apresentar quantidades significantes de carboidratos, proteínas, pectinas e cinzas, dependendo do produto, espécie, condições de colheita, processamento e armazenamento (KENNY et al., 2013).

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma das principais matérias-primas empregadas na extração de amidos, gerando elevadas quantidades de bagaço de mandioca, o qual apresenta-se como um subproduto de valor agregado. O Brasil gera aproximadamente 2 milhões de toneladas de bagaço de mandioca por ano (FAO, 2019). O valor agregado atribuído ao bagaço de mandioca gerado pelas fecularias, deve-se ao fato do baixo rendimento na extração do amido (PANDEY et al., 2000), consequentemente produzindo bagaços com aproximadamente 30 a 85% (em base seca) de amido residual (SÁNCHEZ et al., 2017).

O etanol é produzido, em grande parte, por meio da cana de açúcar e milho, o que pode causar futuros problemas nos suprimentos alimentares devido ao constante crescimento da população mundial, contudo o aproveitamento de resíduos agroindustriais torna viável e sustentável para produção de etanol. Portanto o processamento adequado para elaboração de bioetanol a partir de biomassa implica um destino ecológico dos resíduos dos processos agroindustriais (POLACHINI et al., 2019).

A obtenção de etanol de segunda geração a partir de biomassa lignocelulósica consiste na hidrólise dos polissacarídeos que a compõem, com consequente fermentação dos açúcares e produção de etanol. No entanto, biomassa lignocelulósica apresenta em sua composição três componentes principais, sendo eles celulose, hemicelulose e lignina, que dificultam a conversão dos açúcares fermentescíveis em etanol (DIAS et al., 2013). Diante desta complexidade, faz-se necessário o uso de pré-tratamentos para diminuir a recalcitrância do material e, consequentemente, melhorar a eficiência a sacarificação dos polissacarídeos (MENON; RAO, 2012). O objetivo é facilitar o acesso das enzimas aos carboidratos presentes na biomassa, sem que ocorra a degradação dos mesmos e, assim, evitar formação de coprodutos (HARRISON et al., 2013). Todavia o pré-tratamento apresenta elevado custo para produção do etanol de segunda geração, por esta razão tem despertado a atenção dos pesquisadores que buscam medidas alternativas para melhorar a eficiência do processo e consequente



redução do custo. Os pré-tratamentos tradicionalmente empregados são divididos em quatro categorias: biológico, físico, químico e físico-químico. A escolha de qual tratamento utilizar está fortemente relacionado com a matéria-prima, bem como os impactos ambientais gerados por este tratamento (MENON; RAO, 2012).

Os tipos de pré-tratamentos físicos geralmente são classificados em dois grandes grupos: mecânicos (diferentes formas de moagem) e não mecânicos (radiação e ultrassom). Segundo Liu et al. (2013), a redução do tamanho de partícula da biomassa é um processo que necessita de uma grande quantidade de energia, tornando-o custoso.

O tamanho das partículas, densidade e a forma das partículas apresenta relevante importância para o estudo de operações unitárias que envolvam transferência e quantidade de movimento, calor e massa. No entanto é comum adotar a hipótese de que a densidade e a forma das partículas de um material apresentam-se de forma uniforme para o dimensionamento de equipamentos, uma vez que esta hipótese representa amplo respaldo experimental, o que simplifica as análises dos problemas (PEÇANHA, 2014).

O tamanho de partículas é uma variável distribuída nos processos que as envolvem. Desta forma, em projetos de equipamentos que envolvam partículas e fluidos, são considerados misturas de partículas de diferentes tamanhos, porém com mesma densidade e forma, ou seja, as partículas apresentam uma distribuição de tamanho (DT).

Diferentes técnicas são empregadas para determinar o tamanho das partículas, tais como análise de peneira, sedimentação, microscopia, contador Coulter, difração a laser e espectroscopia de refletância no infravermelho próximo (HARELAND, 1994). Exceto a análise de peneiras, com extrema exatidão, os outros métodos são limitados às condições de laboratório devido ao tempo e custo dos equipamentos. A análise da distribuição de partículas envolvendo um sistema de peneiras é amplamente empregada pelas indústrias, devido sua simplicidade e facilidade de análise, e também, por sua semelhança com as operações unitárias envolvidas. Wu et al. (1990), relataram que o uso de um conjunto de peneiras apresenta resultado de um diâmetro médio de partícula mais exato comparado pelo uso de uma única tela.

Diante do exposto, o presente estudo objetivou identificar as funções de distribuição de tamanho das partículas de biomassa lignocelulósica de bagaço de mandioca (BLBM) e efetuar sua caracterização.

## **2 | MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Biomassa Lignocelulósica**

As raízes de mandioca foram adquiridas no CEASA – São Jose do Rio Preto - SP, e recepcionadas no laboratório de Medidas Físicas, pertencente à Universidade

Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp – Câmpus de São Jose do Rio Preto. As raízes foram devidamente lavadas em água corrente até a remoção dos resíduos do solo, em seguida, foram higienizadas com hipoclorito de sódio (250 ppm) por 10 min e secas à temperatura ambiente. As raízes injuriadas e/ou insalubres foram descartadas.

Na Figura 1 é representado o fluxograma de processo para obtenção de BLBM. As cascas foram retiradas manualmente, em seguida as polpas (raízes sem casca) foram cortadas e pesadas. Para realizar o processo de trituração, foi utilizado o liquidificador profissional de alta performance marca Philips Walita R12137/81. As raízes foram misturadas individualmente com água destilada em uma proporção de 2 L/kg de polpa da raiz, resultando em uma pasta. Essa pasta foi armazenada a 4°C por 24 horas (LEITE et al., 2017). Durante este período, o amido e as fibras decantaram em duas fases, sendo separadas por filtração. O amido foi lavado com água destilada várias vezes e submetido ao processo de secagem a 40°C até peso constante, moagem e por fim resultando no amido de mandioca. A biomassa lignocelulósica de bagaço de mandioca (BLBM) foi desidratada também na temperatura de 40°C, em seguida triturada em moinho de facas modelo MA380 (Marconi, Piracicaba, Brasil). O bagaço foi moído em três diferentes granulometrias:  $\leq 0,417$ ;  $\leq 0,833$  e  $\leq 2,0$  mm com a finalidade de fazer misturas e obter amostras diferentes de BLBM, obtendo partículas com tamanhos 1651 a 175,26  $\mu\text{m}$ . Terminada a moagem, as amostras foram embaladas e armazenadas à temperatura ambiente ( $28 \pm 2$  °C).

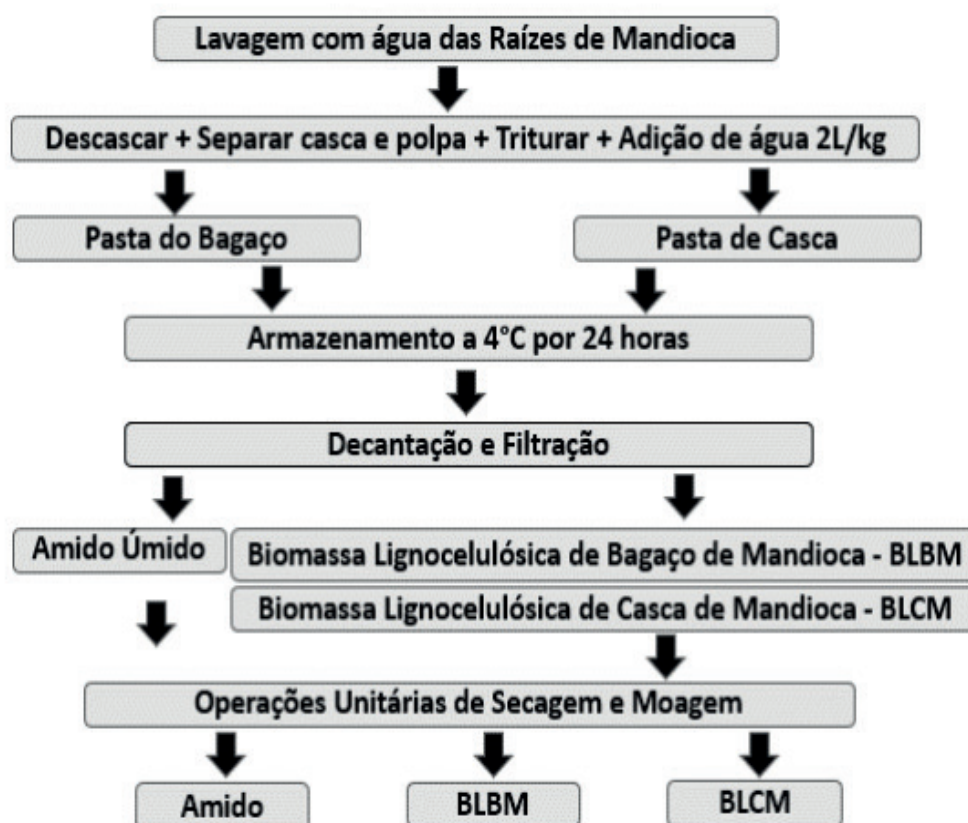


Figura 1 – Fluxograma de processo para obtenção de BLBM.

## 2.2 Distribuição de Tamanho

Foram utilizadas 12 peneiras, divididas em 2 baterias de 6 cada uma. Sua relação encontra-se na Tabela 1. Optou-se por uma série de várias peneiras devido à grande dispersão de tamanho das partículas e com o objetivo de ter um resultado melhor de distribuição de tamanho e de diâmetro médio.

1ª Bateria		2ª Bateria	
Tyler (mesh)	Abertura ( $\mu\text{m}$ )	Tyler (mesh)	Abertura ( $\mu\text{m}$ )
14	1168,40	35	416,56
16	990,60	42	350,52
20	833,12	48	294,64
24	701,04	60	246,38
28	589,28	65	208,28
32	495,30	80	175,26
Fundo	0	Fundo	0

Tabela 1 – Série de peneiras empregadas na análise de distribuição de tamanho de partícula de BLBM.

As peneiras foram inicialmente pesadas e posteriormente empilhadas na seguinte ordem, começando na parte inferior: fundo, 80, 65, 60, 48, 42, 35, 32, 28, 24, 20, 16 e 14 mesh.

Aproximadamente 100,0 g de BLBM foram colocados na parte superior da série de peneiras e estas foram presas em um agitador eletromagnético sendo agitadas durante 15 min. Após este período, as peneiras foram pesadas para determinar a massa retida em cada uma delas. Todos os testes de peneiras foram realizados em triplicata para três amostras de BLBM.

## 2.3 Funções de Distribuição de Tamanhos de Partículas

Baseado em sistemas particulados empregados em processamento de alimentos, forma adotadas três funções de distribuição de tamanhos de partículas, devido sua simplicidade matemática e capacidade de reproduzir resultados em condições de processo. Os modelos utilizados foram Gates-Gaudin-Schuhmann (GGS), Rosin-Rammler-Bennet (RRB) e Gaudin-Meloy Modificado (MGM).

De acordo com Telis-Romero, Viganó e Moser (2016), o modelo de distribuição de partículas denominado GGS é representado pela Equação (1):

$$X_f = \left( \frac{a_n}{K_{GGS}} \right)^{I_{GGS}} \quad (1)$$

em que  $X_f$  é a fração mássica do material mais fino do que a abertura da peneira

(kg / kg total);  $a_n$  é a abertura da peneira de ordem  $n$  (m);  $K_{GGS}$  é o parâmetro que representa o tamanho médio das partículas (m); e  $I_{GGS}$  é o parâmetro que representa a dispersão (adimensional), também chamado de derivada de Schuhmann.

De acordo com Telis-Romero, Viganó e Moser (2016), o modelo de distribuição de partículas denominado RRB é representado pela Equação (2):

$$X_f = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{a_n}{K_{RRB}} \right)^{I_{RRB}} \right] \quad (2)$$

em que  $X_f$  é a fração mássica do material mais fino do que a abertura da peneira (kg / kg total);  $a_n$  é a abertura da peneira de ordem  $n$  (m);  $K_{RRB}$  é o parâmetro que representa o tamanho médio das partículas (m); e  $I_{RRB}$  é o parâmetro que representa a dispersão (adimensional).

Por fim, de acordo com Yan e Barbosa-Cánovas (1997), o modelo de distribuição de partículas denominado MGM é representado pela Equação (3):

$$X_f = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{a_n}{X_0} \right)^r \right]^m \quad (3)$$

em que  $X_f$  é a fração mássica do material mais fino do que a abertura da peneira (kg / kg total);  $a_n$  é a abertura da peneira de ordem  $n$  (m);  $X_0$  é o parâmetro relacionado ao tamanho máximo das partículas (m);  $m$  é o parâmetro que representa a dispersão (adimensional) e  $r$  é a relação de  $X_0$  ao módulo de tamanho.

A vantagem do modelo MGM é que o mesmo fornece informações úteis como a relação ao máximo tamanho das partículas em uma determinada amostra (YAN; BARBOSA-CANOVAS, 1997).

O ajuste dos dados experimentais aos modelos descritos anteriormente foi realizado por meio de regressões não-lineares utilizando o software OriginPro 8.0 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA). A escolha do melhor modelo foi realizada de acordo com o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados experimentais e os parâmetros calculados para a amostra “A” de Biomassa Lignocelulósica de Bagaço de Mandioca (BLBM-A) são apresentados respectivamente nas Tabelas 2 e 3.



Mesh Tyler	Abertura peneira ( $\mu\text{m}$ )	BLBM-A (g)	Fração retida
14	1168,40	0,270 $\pm$ 0,001	0,003
16	990,60	1,272 $\pm$ 0,001	0,013
20	833,12	4,039 $\pm$ 0,088	0,040
24	701,04	7,981 $\pm$ 0,047	0,080
28	589,28	11,529 $\pm$ 0,178	0,115
32	495,30	13,318 $\pm$ 0,108	0,133
35	416,56	13,157 $\pm$ 0,163	0,132
42	350,52	11,696 $\pm$ 0,689	0,117
48	294,64	9,315 $\pm$ 0,486	0,093
60	246,38	7,767 $\pm$ 0,421	0,078
65	208,28	5,370 $\pm$ 0,360	0,054
80	175,26	4,121 $\pm$ 0,028	0,041
Fundo	0	10,166 $\pm$ 0,179	0,102

Tabela 2 – Resultado da análise granulométrica (média  $\pm$  desvio padrão) de 100g de amostra de BLBM-A com peneiras padronizadas.

Modelo	Parâmetros	BLBM-A
Gates-Gaudin- Schuhmann (GGS)	$K_{\text{GGS}}$	995,6 $\mu\text{m}$
	$I_{\text{GGS}}$	0,899
	$R^2$	0,926
Rosin-Rammler-Bennet (RRB)	$X_{\text{RRB}}$	509,1 $\mu\text{m}$
	$I_{\text{RRB}}$	2,119
	$R^2$	0,999
	$X^0$	1224,1 $\mu\text{m}$
Gaudin-Meloy Modificado (MGM)	m	2,588
	r	3,367
	$R^2$	0,999

Tabela 3 – Resultados dos modelos de distribuição de partículas de BLBM-A.

Observa-se na Tabela 2 que a amostra BLBM-A possuiu maior quantidade de partículas retidas nas peneiras de 32 e 35 mesh, possuindo aberturas de aproximadamente 0,49 a 0,42 mm, enquanto que a porção mais fina do peneiramento (80 mesh) apresentou porcentagem retida de aproximadamente 4%. A quantidade retida na peneira do fundo, (que possui a menor granulometria), apresentou uma fração retida de 10,2%. A menor quantidade de partículas foi obtida no mesh com maior abertura (mesh 14), apresentando 0,3%. A Tabela 3 apresenta os resultados das regressões realizadas entre os dados experimentais e os modelos descritos para amostras de BLBM-A.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3 observa-se que os modelos RRB e MGM melhor representam os dados experimentais de distribuição de tamanhos de partículas de BLBM-A, uma vez que ambos apresentaram elevados coeficientes de determinação ( $R^2 = 0,999$ ). O modelo RRB prediz que o diâmetro médio de partícula de BLBM-A equivale a 509,1  $\mu\text{m}$ , enquanto o modelo MGM prediz que o

tamanho máximo de partículas de BLBM-A equivale a 1224,1  $\mu\text{m}$ .

Os dados experimentais e os parâmetros calculados para a amostra “B” de Biomassa Lignocelulósica de Bagaço de Mandioca (BLBM-B) são apresentados respectivamente nas Tabelas de 4 e 5.

Mesh Tyler	Abertura peneira ( $\mu\text{m}$ )	BLBM-B (g)	Fração retida
14	1168,40	29,008 $\pm$ 0,001	0,290
16	990,60	14,596 $\pm$ 0,244	0,146
20	833,12	14,102 $\pm$ 0,211	0,141
24	701,04	11,679 $\pm$ 0,104	0,117
28	589,28	9,468 $\pm$ 0,190	0,095
32	495,30	6,737 $\pm$ 0,104	0,067
35	416,56	4,848 $\pm$ 0,112	0,049
42	350,52	3,142 $\pm$ 0,144	0,031
48	294,64	2,119 $\pm$ 0,100	0,021
60	246,38	1,540 $\pm$ 0,015	0,015
65	208,28	0,919 $\pm$ 0,030	0,009
80	175,26	0,624 $\pm$ 0,007	0,006
Fundo	0	1,240 $\pm$ 0,001	0,012

Tabela 4 – Resultado da análise granulométrica (média  $\pm$  desvio padrão) de 100g de amostra de BLBM-B com peneiras padronizadas.

Os resultados apresentados na Tabela 4, referente a distribuição de tamanhos de BLBM-B, mostraram que a maior quantidade de partículas foi retida na peneira com maior abertura (mesh 14 com 29%), diferentemente para as amostras de BLBM-A, a qual para esta abertura apresentou baixa fração mássica de partículas retidas. A porção mais fina das amostras de BLBM-B (mesh 80) apresentou fração mássica de partículas retidas de 0,6%, enquanto a fração mássica na peneira do fundo obteve valor de 1,2%.

A Tabela 5 apresenta os resultados das regressões realizadas entre os dados experimentais e os modelos descritos para amostras de BLBM-B.

Modelo	Parâmetros	BLBM-B
Gates-Gaudin- Schuhmann (GGS)	$K_{\text{GGS}}$	1380,6 $\mu\text{m}$
	$I_{\text{GGS}}$	1,832
	$R^2$	0,994
Rosin-Rammler-Bennet (RRB)	$X_{\text{RRB}}$	1068,7 $\mu\text{m}$
	$I_{\text{RRB}}$	2,415
	$R^2$	0,999
Gaudin-Meloy Modificado (MGM)	$X^0$	2034,9 $\mu\text{m}$
	m	2,869
	r	2,561
	$R^2$	0,999

Tabela 5 – Resultados dos modelos de distribuição de partículas de BLBM-B.

Os resultados das regressões referente aos modelos de distribuição de partículas de BLBM-B mostraram-se satisfatórios ao descreverem os dados experimentais, pois apresentaram elevados coeficientes de determinação. Similarmente às amostras de BLBM-A, os modelos RRB e MGM melhor descreveram os dados experimentais de BLBM-B apresentando elevados coeficientes de determinação ( $R^2 = 0,999$ ). De acordo com o modelo RRB prediz que o diâmetro médio apresenta valor igual a  $1068,7 \mu\text{m}$ , por outro lado o modelo MGM descreve que o tamanho máximo de partículas de BLBM-B equivale a  $2034,9 \mu\text{m}$ . Para ambos os resultados (diâmetro médio e tamanho máximo de partículas) foram obtidos para as amostras de BLBM-B quando comparados com as amostras de BLBM-A.

Os dados experimentais e os parâmetros calculados para a amostra “C” de Biomassa Lignocelulósica de Bagaço de Mandioca (BLBM-C) são apresentados respectivamente nas Tabelas de 6 e 7.

Quanto a amostra BLBM-C, os resultados mostraram que a maior quantidade de partículas, aproximadamente 41%, foram retidas nas peneiras com a maior abertura (mesh 14), similar a amostra BLBM-B que também apresentou esse comportamento e diferente das amostras de BLBM-A que nesta mesma peneira apresentou a menor retenção de partículas (Tabela 2). Já a menor quantidade de partículas (0,2%) foi retida na peneira com a menor abertura (80 mesh).

A Tabela 7 apresenta os resultados das regressões realizadas entre os dados experimentais e os modelos descritos para amostras de BLBM-C.

Mesh Tyler	Abertura peneira ( $\mu\text{m}$ )	BLBM-C (g)	Fração retida
14	1168,40	$40,877 \pm 0,001$	0,409
16	990,60	$18,264 \pm 0,316$	0,183
20	833,12	$13,199 \pm 0,304$	0,132
24	701,04	$10,746 \pm 0,162$	0,108
28	589,28	$6,925 \pm 0,397$	0,069
32	495,30	$3,765 \pm 0,141$	0,038
35	416,56	$2,514 \pm 0,076$	0,025
42	350,52	$1,533 \pm 0,030$	0,015
48	294,64	$0,820 \pm 0,017$	0,008
60	246,38	$0,520 \pm 0,031$	0,005
65	208,28	$0,269 \pm 0,010$	0,003
80	175,26	$0,165 \pm 0,004$	0,002
Fundo	0	$0,209 \pm 0,001$	0,002

Tabela 6 – Resultado da análise granulométrica (média  $\pm$  desvio padrão) de 100g de amostra de BLBM-C com peneiras padronizadas.

Modelo	Parâmetros	BLBM-C
Gates-Gaudin- Schuhmann (GGS)	$K_{GGS}$	1433,1 $\mu\text{m}$
	$I_{GGS}$	2,490
	$R^2$	0,997
Rosin-Rammler-Bennet (RRB)	$X_{RRB}$	1213,9 $\mu\text{m}$
	$I_{RRB}$	3,068
	$R^2$	0,999
Gaudin-Meloy Modificado (MGM)	$X^0$	1783,2 $\mu\text{m}$
	$m$	3,489
	$r$	1,845
	$R^2$	0,999

Tabela 7 – Resultados dos modelos de distribuição de partículas de BLBM-C.

Os modelos ajustaram-se satisfatoriamente aos dados experimentais de BLBM-C, pois apresentaram coeficientes de determinação maiores que 0,99. Contudo os modelos RRB e MGM melhor ajustaram-se aos dados experimentais, apresentando, para ambos os modelos, coeficientes de determinação iguais a 0,999. Similar resultado foram observados com as amostras de BLBM-A e BLBM-B. através do modelo RRB constatou-se que o diâmetro médio das partículas de BLBM-C equivale a 1213,9  $\mu\text{m}$ , sendo superior às amostras de BLBM-A e BLBM-B. contudo, apesar de BLBM-C apresentar diâmetro médio superior às demais amostras, a mesma apresentou resultado de tamanho máximo de partícula equivalente a 1783,2  $\mu\text{m}$ , resultado este inferior às amostras de BLBM-B, conforme determinado pelo modelo MGM.

#### 4 | CONCLUSÃO

Conclui-se que as amostras de biomassa lignocelulósica de bagaço de mandioca foram descritas satisfatoriamente pelos modelos de Rosin-Rammler-Bennet (BBT) e Gaudin-Meloy Modificado (MGM), para todos os casos, pois apresentaram coeficientes de determinação capazes de descreverem os dados experimentais com 99,9% de precisão. Sendo o modelo RRB o melhor para determinar o diâmetro médio das partículas de BLBM, enquanto para determinar o tamanho máximo das partículas o melhor modelo foi o MGM.

#### 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo nº. 2017/06518-2) pelo auxílio financeiro prestado e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Código Financeiro 001; Processo nº 88887.468140/2019-00 e nº 88881.132626/2016-01).

## REFERÊNCIAS

- DIAS M. O. S.; JUNQUEIRA T.; CAVALETT O.; PAVANELLO L. G.; CUNHA M. P.; JESUS C. D. F.; MACIEL-FILHO R.; BONOMI A. **Biorefineries for the production of first and second generation ethanol and electricity from sugarcane**. Applied Energy, v. 109, p. 72-79, 2013.
- FAO, **Official data of cassava production**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.
- HARELAND, G. A. **Evaluation of flour particle size distribution by laser diffraction, sieve analysis and near-infrared reflectance spectroscopy**. Journal of Cereal Science, v. 20, p. 183-190, 1994.
- HARRISON M. D.; ZHANG Z.; SHAND K.; O'HARA I. M.; DOHERTY W. O. S.; DALE J. L. **Effect of pretreatment on saccharification of sugar cane bagasse by complex and simple enzyme mixtures**. Bioresource Technology, v. 148, p. 105-113, 2013.
- KENNY, K. L.; SMITH, W. A.; GRESHAM, G. L.; WESTOVER, T. L. **Understanding biomass feedstock variability**. Biofuels, v. 4, p. 111-127, 2013.
- LEITE, A. L. M. P., ZANON, C. D., & MENEGALLI, F. C. **Isolation and characterization of cellulose nanofibers from cassava root bagasse and peelings**. Carbohydrate Polymers, v. 157, p. 962-970, 2017.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. **Avaliação da concentração de pectinase no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para obtenção de etanol**. Ciência e Tecnologia de Alimento, Campinas, v. 20, 2000.
- MENON, V.; RAO, M. **Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept**. Process in Energy and Combustion Science, v. 38, p. 522- 550, 2012.
- PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T.; VANDENBERGHE, L. P. S.; MOHAN, R. **Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse**. Bioresource Technology. 74, p. 81-87, 2000.
- PEÇANHA, R. **Sistemas Particulados: Operações unitárias envolvendo partículas e fluídos**. Elsevier Brasil, v. 1, 2014.
- POLACHINI, T. C.; MULET, A.; CÁRCEL, J. A.; TELIS-ROMERO, J. **Rheology of acid suspensions containing cassava bagasse: Effect of biomass loading, acid content and temperature**. Powder Technology, v. 354, p. 271-280, 2019.
- SÁNCHEZ, A. S.; SILVA, Y. L.; KALID, R. A.; COHIM, E.; TORRES, E. A. **Waste bio-refineries for the cassava starch industry: new trends and review of alternatives**. Renewable and Sustainable Energy Reviews., v. 73, p. 1265-1275, 2017.
- TELIS-ROMERO, J.; VIGANÓ, J.; MOSER, P. **Escoamento em meios porosos**. In: TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; PESSOA-FILHO, P. A. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 1, cap. 6, p. 562.
- YAN, H.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Size characterization of selected food powders by five particle size distribution functions** *Caracterización del tamaño de partícula de alimentos en polvo mediante cinco funciones de distribuciones de tamaño*. Food Science and Technology International, v. 3, p. 361-369, 1997.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acidez 36, 39, 40, 41, 128  
Adsorção de níquel 107, 117  
Análises de difração de raios X 17, 22  
Ativação térmica da casca 123

### B

Biomassa 10, 33, 34, 100, 129, 172, 173, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 192, 194, 196, 198, 199, 200, 201, 205, 206

### C

Calor isostérico de sorção 131, 132, 139, 140, 141  
Calor latente de vaporização 132, 136  
Caracterização físico-química 38, 43, 141  
Casca de Buriti 123, 124, 129  
Catalisadores baseados em óxido de ferro 153, 156, 159, 160, 161  
Cinética de secagem 54, 56, 60, 61, 64, 65, 150  
Composição química 14, 16, 29, 33, 47, 49, 50, 196, 200, 205, 206  
Compósitos 2, 3, 8, 10, 11, 23, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 205, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216  
Compósitos poliméricos 164, 170, 210

### D

Decantador horizontal 90, 91, 95  
Densidade 6, 10, 36, 37, 39, 40, 59, 62, 82, 90, 95, 97, 145, 172, 175, 196, 198  
Determinação dos carboidratos 202

### E

Energia livre de Gibbs 27, 31, 33, 132, 135  
Entropia diferencial 133, 139, 140  
Equação de Gibbs- Helmholtz 135  
Esferas porosas 107, 110, 111, 119  
Espectrofotômetro 112, 127, 156, 202  
Estudo físico-químico 36

### F

Forças de atração intermolecular 136

### G

Granulometria 164, 179, 190, 200, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215

## I

Indústria aeroespacial 1, 2, 3, 5, 6, 9

Isotermas de sorção 131, 133, 134, 137, 138, 139

## L

Lama vermelha 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216

Licores 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44

Licores de cupuaçu 36, 37, 38, 43

Lignocelulósica 172, 173, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 182, 184, 185, 187, 189, 190, 192, 194, 196, 198, 199, 200, 206

Liofilizador 143, 144, 146

Lipase extracelular 99

## M

Microscopia eletrônica de varredura 13, 15, 17, 22

## N

Nanopartículas de ferro 81

## O

Óleo essencial 54, 55, 56, 59, 62

## P

Partículas com memória acoplada 66

pH 25, 26, 28, 30, 33, 36, 37, 38, 40, 41, 102, 109, 112, 113, 119, 120, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 156, 162, 202, 203

Polpa de Oiti 148

Propriedades dos catalisadores 153, 156

Propriedades dos compósitos 209, 215

Propriedades termodinâmicas 131, 133, 135, 136, 139

## Q

Quimiometria 37

Quitosana na adsorção de níquel 107

## R

Refractance Window 143, 144, 145, 149, 151

Resíduos de ferro 164

Resina benzoxazina 1, 4, 5, 6, 9, 10, 11

Resinas fenólicas 1, 2, 3, 5, 9

## T

Tamanho de partículas 175, 198, 200

Teor de lignina insolúvel 201

Tipo de dopante 153, 160

Tratamento térmico 13, 16, 17, 21, 22

Tratamento térmico-hidrometalúrgico 13, 16, 22

## **U**

Utilização de mesocarpo de coco verde 24

## **V**

Viscosidade 36, 37, 39, 40, 41, 95, 97, 205

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**