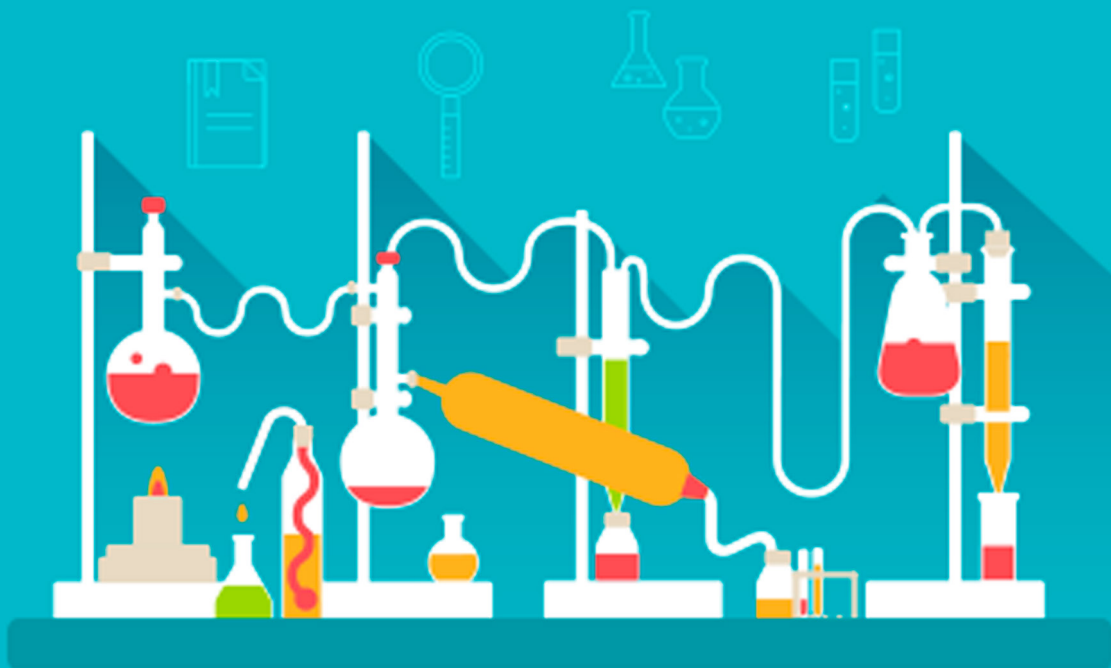


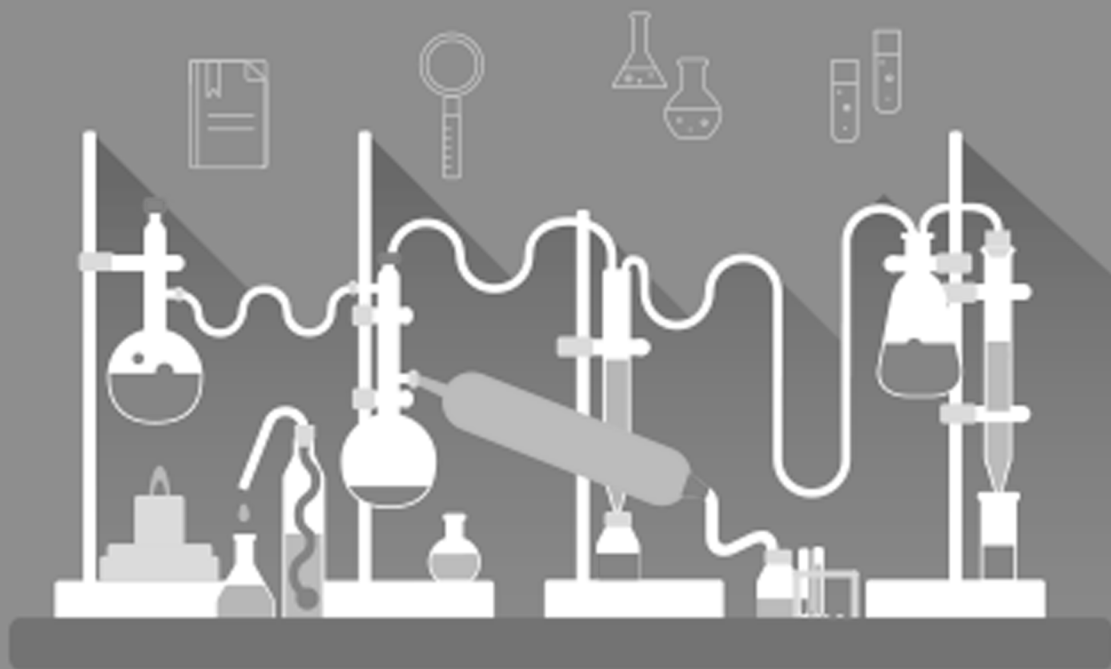
# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos 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, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
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  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
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  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
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. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
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 Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
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. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Érica de Melo Azevedo

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

Q6 A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável 1  
[recurso eletrônico] / Organizadora Érica de Melo  
Azevedo. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
Requisitos de sistemas: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5706-385-9  
DOI 10.22533/at.ed.859201709

1. Química – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. 3.  
Sustentabilidade. I. Azevedo, Érica de Melo.

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

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A Coleção “A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável” apresenta artigos de pesquisa na área de química e que envolvem conceitos de sustentabilidade, tecnologia, ensino e ciências naturais. A obra contém 69 artigos, que estão distribuídos em 3 volumes. No volume 1 são apresentados 29 capítulos sobre aplicações e desenvolvimentos de materiais adsorventes sustentáveis e polímeros biodegradáveis; o volume 2 reúne 20 capítulos sobre o desenvolvimento de materiais alternativos para tratamento de água e efluentes e propostas didáticas para ensino das temáticas em questão. No volume 3 estão compilados 20 capítulos que incluem artigos sobre óleos essenciais, produtos naturais e diferentes tipos de combustíveis.

Os objetivos principais da presente coleção são apresentar aos leitores diferentes aspectos das aplicações e pesquisas de química e de suas áreas correlatas no desenvolvimento de tecnologias e materiais que promovam a sustentabilidade e o ensino de química de forma transversal e lúdica.

Os artigos constituintes da coleção podem ser utilizados para o desenvolvimento de projetos de pesquisa, para o ensino dos temas abordados e até mesmo para a atualização do estado da arte nas áreas de adsorventes, polímeros, análise e tratamento de água e efluentes, propostas didáticas para ensino de química, óleos essenciais, produtos naturais e combustíveis.

Após esta apresentação, convido os leitores a apreciarem e consultarem, sempre que necessário, a coleção “A Química nas áreas natural, tecnológica e Sustentável”. Desejo uma excelente leitura!

Érica de Melo Azevedo

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EMPREGANDO BAGAÇO DE UVA (*VITIS LABRUSCA*) IN NATURA E MODIFICADO COMO ADSORVENTE**

Júlia Cristina Diel  
Isaac dos Santos Nunes  
Dinalva Schein  
Joseane Sarmento Lazarotto  
Vitória de Lima Brombilla  
Carolina Smaniotto Fronza

**DOI 10.22533/at.ed.8592017091**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **ADSORÇÃO DE CONTAMINANTE ORGÂNICO EM ÁGUA POR RESÍDUO AGROINDUSTRIAL TRATADO SIMULTANEAMENTE COM ÁCIDO E ULTRASSOM**

Matias Schadeck Netto  
Carlos Heitor Fernandez Cervo  
Jivago Schumacher de Oliveira  
Edson Luiz Foletto  
Evandro Stoffels Mallmann  
Osvaldo Chiavone-Filho  
Guilherme Luiz Dotto

**DOI 10.22533/at.ed.8592017092**

### **CAPÍTULO 3..... 24**

#### **ADSORÇÃO DE ÍONS CÁDMIO POR DERIVADOS CARBOXIMETILADOS E SULFATADOS DE QUITOSANA**

João Lucas Isidio de Oliveira Almeida  
Micaele Ferreira Lima  
Shirley Abel Barboza Coelho  
Emanuela Feitoza da Costa  
Flavia Oliveira Monteiro da Silva Abreu  
Carlos Emanuel de Carvalho Magalhães

**DOI 10.22533/at.ed.8592017093**

### **CAPÍTULO 4..... 32**

#### **AGGLOMERATED BOARDS EVALUATION WITH WASTE OF POLYURETHANE SKIN AND NON-HALOGENATED FLAME RETARDANTS**

Aguinaldo Oliveira Machado  
Jocelei Duarte  
Maria Fernanda de Oliveira  
Ana Maria Coulon Grisa  
Mara Zeni Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.8592017094**

### **CAPÍTULO 5..... 43**

#### **POLIURETANOS BIODEGRADÁVEIS: UMA ABORDAGEM DOS ELEMENTOS**

## ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE SÍNTESE

Amanda Furtado Luna  
Andressa Lima Delfino  
Glenda Kélvia Ferreira Bezerra  
Domingos Rodrigues da Silva Filho  
Fernando da Silva Reis  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.8592017095**

## **CAPÍTULO 6..... 56**

### **CARACTERIZAÇÃO DA *PHORMIUM TENAX* PARA USO COMO REFORÇO EM COMPOSITO DE POLIPROPILENO**

Fábio Furtado  
Thais Helena Sydenstricker Flores-Sahagun  
Talita Szlapak Franco  
Harrison Lourenço Corrêa

**DOI 10.22533/at.ed.8592017096**

## **CAPÍTULO 7..... 67**

### **CARACTERIZAÇÃO DO HIDROGEL À BASE DE POLIACRILATO DE AMÔNIO E A SUA UTILIZAÇÃO NA ADUBAÇÃO POTÁSSICA DO TOMATEIRO**

Ivonete Oliveira Barcellos  
Raíssa dos Santos Conceição  
Ana Lúcia Bertarello Zeni

**DOI 10.22533/at.ed.8592017097**

## **CAPÍTULO 8..... 80**

### **PREPARAÇÃO E MEDIÇÃO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DO COMPOSITO EPÓXI - PZT**

Victor Ciro Solano Reynoso  
Edinilton Moraes Cavalcante

**DOI 10.22533/at.ed.8592017098**

## **CAPÍTULO 9..... 91**

### **CULTIVO DE *Aspergillus niger* EM ESTADO SÓLIDO EM BIORREATOR DE LEITO EMPACOTADO SEGUIDO DE EXTRAÇÃO DE ENZIMAS POR PERCOLAÇÃO**

Fernanda Perpétua Casciatori  
Natalia Alvarez Rodrigues  
Samuel Pratavieira de Oliveira  
Eric Takashi Katayama

**DOI 10.22533/at.ed.8592017099**

## **CAPÍTULO 10..... 104**

### **EFEITO DA TEMPERATURA NA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO USANDO BAGAÇO DE MALTE *IN NATURA***

Renata Cândido Araújo de Lima  
Kevyn Zapelão  
Andréia Anschau

**DOI 10.22533/at.ed.85920170910**

**CAPÍTULO 11.....113**

**EFEITO DAS CONDIÇÕES DE REPROCESSAMENTO NA DEGRADAÇÃO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE**

Lisete Cristine Scienza  
Amanda Vecila Cheffer de Araújo  
Haniel Marçal Kops Hubert  
Vinícius Martins  
Luis Henrique Alves Cândido  
Ademir José Zattera

**DOI 10.22533/at.ed.85920170911**

**CAPÍTULO 12..... 124**

**ENCAPSULAMENTO DE ZEÓLITA FERTILIZANTE UTILIZANDO BIOPOLÍMERO**

Suzana Frighetto Ferrarini  
Beatriz Bonetti  
Marta Eliza Hammerschmitt  
Camila Fensterseifer Galli  
Marçal José Rodrigues Pires

**DOI 10.22533/at.ed.85920170912**

**CAPÍTULO 13..... 135**

**ENVELHECIMENTO NATURAL: COMPARAÇÃO DE TECIDOS DE POLIETILENO DE ULTRA ALTA MASSA MOLAR APLICADOS EM PROTEÇÃO BALÍSTICA**

Vitor Hugo Cordeiro Konarzewski  
Ruth Marlene Campomanes Santana  
Edson Luiz Fancisquetti

**DOI 10.22533/at.ed.85920170913**

**CAPÍTULO 14..... 149**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE PISOS DE BORRACHA SBR, E DE SILICONE, UTILIZANDO A BORRACHA DE SILICONE RECICLADA COMO CARGA**

Miriam Lucia Chiquetto Machado  
Blenda de Assunção Cardoso Gaspar  
Nilson Casimiro Pereira  
Max Filipe Silva Gonçalves  
Cícera Soares Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.85920170914**

**CAPÍTULO 15..... 162**

**SUPORTE HÍBRIDO CONTENDO Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> E QUITOSANA PARA IMOBILIZAÇÃO DA PAPAÍNA**

Aurileide Maria Bispo Frazão Soares  
Lizia Maria Oliveira Gonçalves  
Samuel de Macêdo Rocha  
Wallonilson Veras Rodrigues  
Anderson Fernando Magalhães dos Santos

Anderson Nogueira Mendes  
Welter Cantanhêde da Silva  
**DOI 10.22533/at.ed.85920170915**

**CAPÍTULO 16..... 177**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE PÓS-CURA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO COMPOSITO POLIMÉRICO NANOESTRUTURADO REFORÇADO COM ÓXIDO DE GRAFENO**

Marivaldo Batista dos Santos Junior  
Erica Cristina Almeida  
Alan Santos Oliveira  
Vaneide Gomes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170916**

**CAPÍTULO 17..... 184**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO UTILIZANDO FIBRA DO MESOCARPO DO COCO *IN NATURA* E PRÉ-TRATADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO ALCALINO**

Isabela Nogueira Marques Ribeiro  
Geovanna Miranda Teixeira  
Emanuel Souza e Souza  
Êmile dos Santos Araujo  
Luciene Santos de Carvalho  
Luiz Antônio Magalhães Pontes  
Leila Maria Aguilera Campos

**DOI 10.22533/at.ed.85920170917**

**CAPÍTULO 18..... 197**

**MÉTODOS DE SÍNTESE E A CLASSIFICAÇÃO DOS POLIANIDRIDOS BIODEGRADÁVEIS**

Jairo dos Santos Trindade  
Vanessa Karen Ferreira dos Santos Guimarães  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.85920170918**

**CAPÍTULO 19..... 209**

**O USO DA BORRACHA DE PNEUS EM LIGANTES ASFÁLTICOS**

Matheus Borges Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170919**

**CAPÍTULO 20..... 212**

**OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE SOJA E APLICAÇÕES EM PROCESSOS DE ADSORÇÃO**

Roberta Sorhaia Samayara Sousa Rocha de França  
Letícia Pinto  
Andréia Anschau

**DOI 10.22533/at.ed.85920170920**

<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>224</b>
PARTÍCULAS DE P(BA-CO-MMA)/PMMA CONTENDO ÁCIDO ITACÔNICO OBTIDAS ATRAVÉS DA COPOLIMERIZAÇÃO EM EMULSÃO	
Leonardo Zborowski	
Daniela Beirão Porto	
Jesus Roberto Taparelli	
Lucia Helena Innocentini Mei	
Diego de Holanda Saboya Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170921</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>236</b>
PECTINA: UM SUBPRODUTO VALIOSO DA INDÚSTRIA CITRÍCOLA	
Camila Souza da Mata Losque	
Patrícia Reis Pinto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170922</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>247</b>
PROJETO DE CERTIFICAÇÃO PARA PLÁSTICOS RECICLADOS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: DE REFUGO A RECURSO	
Ormene Carvalho Coutinho Dorneles	
Daniel Coutinho Dorneles	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170923</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>258</b>
PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS FABRICADOS COM RESÍDUO INDUSTRIAL, PROJETO E PROSPECÇÃO DE CUSTO DE PRODUÇÃO DE MOBILIÁRIO URBANO COM CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR	
Fernanda Pereira de Castro Negreiros	
Paula Bertolino Sanvezzo	
Marcia Cristina Branciforti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170924</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>277</b>
PROPRIEDADES DE ESPUMAS DE POLI(URETANO-CO-ISOCIANURATO) BASEADAS EM DIFERENTES DIÓIS	
Thiago do Carmo Rufino	
José Giaretta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170925</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>292</b>
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE SÍLICA MESOPOROSA E SEU POTENCIAL USO COMO ADSORVENTE NA DESCONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES	
Cezar Augusto Moreira	
Matheus Devanir Custódio	
Jéssica de Lara Andrade	
Angélica Gonçalves Oliveira	
Edgardo Alfonso Gómez Pineda	
Ana Adelina Winkler Hechenleitner	

Daniela Martins Fernandes de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.85920170926**

**CAPÍTULO 27..... 307**

**USO DOS POLÍMEROS NA LIBERAÇÃO CONTROLADA DE MEDICAMENTOS  
PARA O TRATAMENTO DO CÂNCER**

Ingrid Ribeiro

Wanyr Romero Ferreira

Aline Pereira Leite Nunes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170927**

**CAPÍTULO 28..... 315**

**INFLUÊNCIA DO HÍBRIDO NANOARGILA COM ÓLEOS ESSENCIAIS NA BLEND  
DE PEBD/ATP**

Marília Cheis Farina

Rafaela Reis Ferreira

Anderson Maia

Rondes Ferreira da Silva Torin

**DOI 10.22533/at.ed.85920170928**

**CAPÍTULO 29..... 322**

**EFEITO DA HOMOGENEIZAÇÃO À ALTA PRESSÃO NA ESTABILIZAÇÃO DE  
EMULSÕES OBTIDAS POR SISTEMAS DE BIOPOLÍMEROS WPC:ALG**

Kívia Mislaine Albano

Vania Regina Nicoletti

**DOI 10.22533/at.ed.85920170929**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 333**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 334**



## SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE SÍLICA MESOPOROSA E SEU POTENCIAL USO COMO ADSORVENTE NA DESCONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 04/06/2020

### **Cezar Augusto Moreira**

Universidade Estadual de Maringá  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/1896145733290369>

### **Matheus Devanir Custódio**

Universidade Estadual de Maringá  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/7735071755510746>

### **Jéssica de Lara Andrade**

Universidade Estadual de Maringá  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/7492815473280660>

### **Angélica Gonçalves Oliveira**

Universidade Estadual de Maringá  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/0649175245457933>

### **Edgardo Alfonso Gómez Pineda**

Universidade Estadual de Maringá  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/8126399092444049>

### **Ana Adelina Winkler Hechenleitner**

Universidade Estadual de Maringá  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/1190376948659068>

### **Daniela Martins Fernandes de Oliveira**

Universidade Estadual de Maringá  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/9086186204048260>

**RESUMO:** A descarga excessiva de efluentes contendo corantes no ambiente aquático tem sido motivo de preocupação mundial, pois provoca enormes impactos a esses ecossistemas, além de causar efeitos nocivos à saúde. O desenvolvimento de tecnologias eficientes para o tratamento desses efluentes tem sido um tema de particular relevância. No presente estudo, nanopartículas de sílica mesoporosa tipo SBA-15, com diferentes características texturais, foram sintetizadas variando alguns parâmetros de síntese, como a razão molar TEOS:P123:HCl:H<sub>2</sub>O e o tempo de envelhecimento do sólido. As sílicas produzidas, denominadas S1 e S2, foram caracterizadas por difração de raios-X (DRX), adsorção-dessorção de N<sub>2</sub>, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia eletrônica de transmissão (MET). As amostras foram testadas como adsorventes na remoção do corante Azul de Metileno (AM) e na descontaminação de um efluente de lavanderia industrial. As áreas específicas ( $S_{BET}$ ) estimadas para S1 e S2 foram de 644 e 841 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, respectivamente. Essas amostras exibiram diferentes morfologias, organização microestrutural, volume e diâmetro médio de poro, e conseqüentemente, capacidades adsorventes distintas. A sílica S2 exibiu capacidade máxima de remoção do AM ( $q_m = 439,11$  mg g<sup>-1</sup>) superior à S1 ( $q_m = 278,91$  mg g<sup>-1</sup>). O estudo cinético, isotérmico e termodinâmico da adsorção do AM nas sílicas indicou que o processo é favorável, endotérmico e ocorre por fisissorção, envolvendo interações eletrostáticas e de van der Waals entre o adsorbato e os sítios heterogêneos dos adsorventes. O modelo cinético de pseudo-

segunda ordem (PSO) e a isoterma de Sips foram as equações que melhor se ajustaram aos dados de adsorção do AM às sílicas. No tratamento do efluente, S1 removeu 83% dos poluentes em pH 3,0 e após 4 horas de tratamento, enquanto S2 alcançou 97% de remoção nas mesmas condições. As duas sílicas demonstraram ser adsorventes promissores para a descontaminação de efluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sílica mesoporosa, adsorção, corantes, águas residuais.

## SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MESOPOROUS SILICA AND ITS POTENTIAL USE AS ADSORBENT IN EFFLUENT DECONTAMINATION

**ABSTRACT:** The excessive discharge of effluents containing dyes in the aquatic environment has been a cause of global concern, because it causes enormous impacts on these ecosystems, besides causing harmful effects to the human health. The development of effective technologies for the treatment of these effluents has been a topic of particular relevance. In this study, SBA-15 type mesoporous silica nanoparticles were synthesized, varying some synthesis parameters such as the molar ratio TEOS:P123:HCl:H<sub>2</sub>O and the aging time of the solid. The produced silicas, called S1 and S2, were characterized by X-ray diffraction (XRD), N<sub>2</sub> adsorption-desorption, scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM). The samples were tested as adsorbents for the removal of Methylene Blue (MB) dye, as well as, for the decontamination of an industrial laundry effluent. Specific areas estimated to S1 and S2 were 644 and 841 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, respectively. These samples exhibited different morphologies, microstructural organization, volume and average pore diameter, and consequently, distinct adsorbent capacities. S2 sample exhibited maximum adsorption capacity for MB removal ( $q_m = 439,11 \text{ mg g}^{-1}$ ) higher than S1 ( $q_m = 278,91 \text{ mg g}^{-1}$ ). Kinetic, isothermal and thermodynamic study of MB adsorption on silicas indicated that the process is favorable, endothermic and occurs by physisorption, through electrostatic and van der Waals interactions between the adsorbate and the heterogeneous surfaces of the adsorbents. Pseudo-second order (PSO) kinetic model and Sips isotherm promoted the best fit for MB adsorption data on silicas. In effluent treatment, S1 silica removed 83% of pollutants at pH 3.0 and after 4 hours of treatment, while S2 removed 97% in similar conditions. Both the silicas proved to be promising adsorbents for effluent decontamination.

**KEYWORDS:** Mesoporous silica, adsorption, dyes, wastewater.

## 1 | INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias está relacionado à presença de poluentes, tais como, metais pesados, corantes orgânicos, pesticidas, produtos farmacêuticos e outros, em suas águas residuais (SOUSA et al., 2018). Dentre esses contaminantes, os corantes, além de tóxicos e mutagênicos, também alteram a coloração da água, reduzindo ou bloqueando a penetração da luz solar e afetando drasticamente os ecossistemas aquáticos (RAHMAN et al., 2019).

Além disso, os corantes sintéticos são quimicamente estáveis e cancerígenos e, portanto, sua presença na água, mesmo em baixas concentrações, pode causar sérios problemas à saúde humana. Desta forma, o desenvolvimento de tecnologias eficientes para a remoção de corantes presentes em efluentes, antes destes serem descartados nos ambientes aquáticos, é de notória relevância (EBRAHIMI et al., 2019).

O uso da nanotecnologia na remediação de águas residuais tem recebido grande atenção (LU et al., 2016). Devido ao pequeno tamanho dos materiais em nanoescala (na faixa entre 1 e 100 nm), exibem área específica elevada, e essa característica favorece o contato entre os poluentes presentes no meio aquoso e a superfície do material (SHARMA et al., 2018; BASHEER, 2018). Dentre os diversos métodos de tratamento que utilizam os nanomateriais, a adsorção se destaca devido à sua alta eficiência de remoção e baixo custo, associados à facilidade de execução (SADEGHI et al., 2019). Os nanoadsorventes comumente utilizados na descontaminação de águas residuais são aqueles baseados em materiais porosos, com destaque para a sílica mesoporosa devido à sua elevada estabilidade química, baixo custo e produção relativamente simples, além de possuir características de superfície moldáveis (CHEN et al., 2018). Dentre os diversos tipos de sílica mesoporosa, a MCM-41 e a SBA-15 são as mais utilizadas como adsorventes (MATHEW et al., 2016; QIANG et al., 2019; CHEN et al., 2018).

A SBA-15, em especial, exibe elevado potencial para ser aplicada como adsorvente devido à sua típica estrutura de poro hexagonalmente ordenado, maior espessura da parede e excelente estabilidade físico-química (MATHEW et al., 2016). Alguns estudos têm investigado a influência dos parâmetros de síntese nas propriedades texturais da SBA-15, e um dos fatores que apresenta maior influência é o pH, sendo constatado que no intervalo de 2,0 a 6,0 não ocorre formação de sílica gel, enquanto em pH neutro ou alcalino, apenas a sílica amorfa com baixa organização estrutural e baixo potencial adsorvente é obtida (LIN et al., 2015). Outro fator que também pode influenciar as propriedades texturais das sílicas mesoporosas é o surfactante usado como agente direcionador de estrutura (*template*). No caso da SBA-15, é utilizado o copolímero tribloco Pluronic P123. Outros fatores que influenciam as propriedades da SBA-15 são a quantidade de precursor de sílica utilizada e a temperatura do tratamento térmico. Todos esses fatores (individuais ou associados) podem afetar o tamanho dos mesoporos e a microporosidade da sílica produzida (BENAMOR et al., 2012). A razão molar entre o precursor de sílica e o P123 na mistura inicial afeta a rede de siloxano (Si-O-Si) nas paredes dos poros e, conseqüentemente, altera a microporosidade da SBA-15 (ZHANG et al., 2005). Com base nos aspectos mencionados, o presente estudo teve como objetivo variar parâmetros de síntese, como a razão molar TEOS:P123

e o tempo de envelhecimentos dos cristais, a fim de produzir amostras de sílica do tipo SBA-15 com diferentes características texturais para serem empregadas como adsorventes no tratamento de efluentes.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Reagentes

Tetraetilortossilicato (TEOS, Sigma-Aldrich); copolímero tribloco P123 ( $\text{PEO}_{20}\text{PPO}_{70}\text{PEO}_{20}$ ,  $M_w \sim 5800 \text{ g mol}^{-1}$ , Sigma-Aldrich); HCl e NaOH (Nuclear); corante azul de metileno ( $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S}$ , Synth); água destilada. O efluente de lavanderia industrial não tratado foi fornecido pela Lavanderia Industrial 5 Estrelas, localizada no município de Astorga, Paraná, Brasil. Todos os reagentes foram utilizados sem purificação adicional.

### 2.2 Síntese das amostras de sílica

De acordo com uma síntese típica de SBA-15 (ZHAO et al., 1997), as amostras de sílica foram produzidas usando P123 como *template*. Primeiramente, 0,9000 g de P123 foram dissolvidos em 30,00 mL de água destilada. Em seguida, foram adicionados 120,0 mL de HCl  $2,0 \text{ mol L}^{-1}$ , e a solução foi mantida em agitação magnética por 1 h a  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para variar a razão molar entre TEOS:P123, foram adicionados 4,67 mL ou 18,67 mL de TEOS à solução do surfactante, e a solução resultante foi mantida sob agitação magnética por 20 h a  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Após esse período, a temperatura foi aumentada para  $80^\circ\text{C}$ , a agitação interrompida e a solução mantida nessas condições para o envelhecimento dos cristais por 12 ou 24 h. O produto sólido foi então filtrado, lavado com água destilada até pH neutro, seco em estufa por 24 h a  $60^\circ\text{C}$ , e calcinado em forno mufla em atmosfera de ar, por 4 h a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . A variação nas condições de síntese (razão molar TEOS:P123:HCl:H<sub>2</sub>O e tempo de envelhecimento do sólido) são detalhadas na **Tabela 1**.

Amostra	Razão molar TEOS:P123:HCl:H <sub>2</sub> O	Tempo (h)
S1	1:0,00736:11,38:79,09	24
S2	1:0,00184:2,84:19,78	12

Tabela 1. Parâmetros empregados na síntese das amostras de sílica mesoporosa denominadas S1 e S2.

### 2.3 Caracterização das amostras de sílica

Os difratogramas de raios-X a baixo ângulo ( $2\Theta$  entre  $0,5$  a  $5,0^\circ$ ) foram obtidos em um difratômetro BRUKER D8 Advance, com tubo de Cu K $\alpha$  de 1.5406

Å, a 40 kV, 35 mA, velocidade de 2°/min e passo de 0,02°. Parâmetros estruturais, como distância interplanar ( $d$ ) e parâmetro de célula unitária ( $a_0$ ), foram estimados usando a lei de Bragg (BRAGG; BRAGG, 1913) e a equação para uma estrutura de poro hexagonal (VAINSHTEIN, 1994). Os parâmetros texturais das amostras foram determinados a partir de isotermas de adsorção-desadsorção de  $N_2$ , obtidas em um equipamento QuantaChrome Nova 1200 a 77 K. Os valores de área específica ( $S_{BET}$ ) foram calculados a partir do software QuantaChrome™ NovaWin, usando a equação de Brunauer-Emmett-Teller (BET) (BRUNAUER; EMMETT; TELLER, 1938) na faixa de pressão relativa ( $p/p^0$ ) de 0,050-0,300. O modelo de Barrettd-Joynerd-Halenda (BARRETT; JOYNER; HALENDA, 1951) foi utilizado para determinar o volume de mesoporos ( $V_{BJH}$ ) e o diâmetro médio de poro ( $D_{BJH}$ ). A espessura de parede ( $w$ ) foi determinada subtraindo o parâmetro de célula unitária ( $a_0$ ) estimado por DRX do diâmetro de poro obtido por BJH ( $D_{BJH}$ ). A morfologia das sílicas foi investigada por MET (JEM-1400 JEOL, a 120 kV) e MEV (FEI Quanta 250). O ponto de carga zero ( $pH_{pCZ}$ ) das amostras foi determinado pelo método de Prahas adaptado (PRAHAS et al., 2008).

## 2.4 Ensaios de adsorção

A influência do pH na adsorção do AM às sílicas foi investigada a temperatura ambiente (298 K), a partir de 50,00 mL da solução do corante contendo 20,0 mg de cada adsorvente, sob agitação orbital a 300 rpm. O pH das soluções foi ajustado para 3,0; 5,0; 7,0; 9,0 e 11,0, pela adição solução de NaOH ou HCl (0,10 ou 1,00 mol L<sup>-1</sup>). A cinética de adsorção foi monitorada a 298 K, por meio da adição de 20,0 mg dos adsorventes a 50,00 mL de solução do corante (300,0 mg L<sup>-1</sup>). Os dados experimentais foram ajustados aos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem (PPO) (LAGERGREN, 1907) e pseudo-segunda ordem (PSO) (HO; MCKAY, 1999). As isotermas de adsorção foram obtidas variando-se as concentrações iniciais das soluções de AM entre 50 e 500 mg L<sup>-1</sup>, a 298 K, pH 11,0 e na presença de 20,0 mg de adsorvente. Os modelos de Langmuir (LANGMUIR, 1917), Freundlich (FREUNDLICH, 1906) e Sips (SIPS, 1950) foram ajustados aos dados experimentais. A termodinâmica de adsorção do AM nas sílicas foi investigada variando a temperatura em 298, 308, 318 e 328 K. Nestes estudos, a concentração do corante AM foi analisada por medidas de absorção eletrônica na região do UV-Visível utilizando um espectrofotômetro CARY 50 SCAN VARIAN, na região de 200 a 800 nm, por meio do monitoramento da banda de máxima absorção do AM ( $\lambda = 665$  nm), utilizando uma curva analítica. A quantidade de corante adsorvida no equilíbrio ( $q_e$ ) foi estimada por meio da equação (1).

$$q_e = \frac{C_0 - C_\infty}{m} V \quad (1)$$

Em que  $C_0$  e  $C_\infty$  são as concentrações de adsorbato (em  $\text{mg L}^{-1}$ ) no início e no equilíbrio, respectivamente;  $m$  é a massa de adsorvente (em g) e  $V$  corresponde ao volume da solução (em L).

Os ensaios de adsorção empregados no tratamento do efluente de lavanderia industrial foram realizados a temperatura ambiente (298 K) utilizando 20,00 mL do efluente não tratado e agitação orbital a 300 rpm. A influência do pH foi investigada ajustando o pH das soluções para 3,0; 5,0; 7,0 e 9,0. Após encontrar o melhor pH para o tratamento do efluente, foram testadas diferentes massas de adsorvente (10,0; 15,0; 20,0; 25,0 e 30,0 mg). A percentagem de remoção de poluentes foi determinada por meio da equação (2):

$$\% \text{ Remoção} = \frac{\text{Abs}(\lambda_{\text{inicial}}) - \text{Abs}(\lambda_{\text{final}})}{\text{Abs}(\lambda_{\text{inicial}})} \times 100 \quad (2)$$

Em que  $\text{Abs}(\lambda_{\text{inicial}})$  e  $\text{Abs}(\lambda_{\text{final}})$  correspondem às absorvâncias no comprimento de onda de máxima absorção do efluente ( $\lambda=665 \text{ nm}$ ), no início do processo ( $t=0$ ) e após 4 horas ( $t = 240 \text{ min}$ ), respectivamente.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Propriedades estruturais das amostras de sílica

A **Figura 1(a)** apresenta os difratogramas de raios-X (DRX) à baixo ângulo das amostras de sílica produzidas. É possível detectar no DRX da sílica S1 três picos discretos de difração em  $2\theta = 0,89^\circ$  (100);  $1,51^\circ$  (110) e  $1,76^\circ$  (200), que caracterizam uma típica SBA-15, bidimensional e hexagonalmente ordenada ( $p6mm$ ) (CALZADA et al., 2019). A presença destes picos evidencia a elevada organização da estrutura porosa desta amostra. No difratograma da sílica S2 é possível observar apenas o pico característico do plano de reflexão (100), que aparece ligeiramente deslocado em  $2\theta = 1,02^\circ$ , indicando que esta amostra exibe uma estrutura de poro menos ordenada. Os parâmetros estruturais, como distância interplanar ( $d_{100}$ ) e parâmetro de rede ( $a_0$ ), calculados para essas amostras a partir dos DRX são mostrados na **Tabela 2**. Esses dados demonstram que a sílica S1 apresenta parâmetro de rede e distância interplanar ( $a_0=11,45 \text{ nm}$  e  $d_{100}=9,91 \text{ nm}$ ) ligeiramente superiores aos da S2 ( $a_0=10,01 \text{ nm}$  e  $d_{100}=8,67 \text{ nm}$ ). Estes parâmetros estão de acordo com valores relatados para uma típica sílica SBA-15 (ZHAO et al., 1997).

A **Figura 1(b)** mostra as isotermas de adsorção-dessorção de  $N_2$  obtidas para as amostras de sílica S1 e S2, onde é possível notar que ambas exibem isoterma

do tipo IV, característica de materiais mesoporosos (THOMMES et al., 2015). A amostra S1 exibe *loop* de histerese H5 (THOMMES et al., 2015), relacionado à mistura de poros abertos e parcialmente bloqueados, típico de sílicas moldadas com *templates* hexagonais, como as amostras produzidas neste trabalho. A sílica S2 exibe *loop* de histerese intermediário aos tipos H2(a) e H2(b). A histerese do tipo H2(a) é geralmente atribuída a materiais constituídos por mesoporos parcialmente bloqueados, enquanto a histerese tipo H2(b) também está associada a mesoporos bloqueados, no entanto, com distribuição de tamanho mais alargado. A área específica ( $S_{BET}$ ), o volume de mesoporos ( $V_{BJH}$ ) e o diâmetro médio de poro ( $D_{BJH}$ ) estimados para as sílicas a partir das isotermas de adsorção-dessorção de  $N_2$  estão apresentados na **Tabela 2**. É possível observar que a sílica S1 apresenta menor área específica ( $S_{BET} = 644 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), menor volume de mesoporos ( $V_{BJH} = 0,428 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ) e maior diâmetro médio de poro ( $D_{BJH} = 5,71 \text{ nm}$ ), quando comparada com a sílica S2 ( $S_{BET} = 841 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ,  $V_{BJH} = 1,124 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  e  $D_{BJH} = 3,61 \text{ nm}$ ). Além disso, a espessura de parede da sílica S1 ( $w = 5,74 \text{ nm}$ ) é menor que a da sílica S2 ( $w = 6,40 \text{ nm}$ ), indicando maior estabilidade de S2. As diferenças estruturais e texturais observadas para as sílicas produzidas revelam que diferentes condições de síntese resultaram em amostras com características distintas.

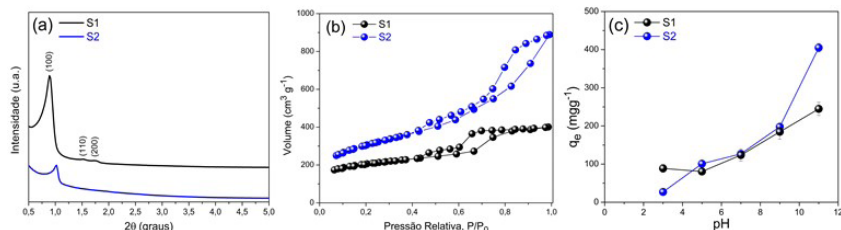


Figura 1. (a) Difratomogramas de raios-X (DRX) a baixo ângulo das sílicas. (b) Isotermas de adsorção-dessorção de  $N_2$  a 77 K das sílicas. (c) Influência do pH na adsorção do corante AM utilizando as amostras de sílica como adsorventes. ( $C_0 = 300 \text{ mg L}^{-1}$ ; pH 3,0-11,0;  $T = 298 \text{ K}$ ; 250 rpm;  $t = 130 \text{ min}$ ; massa adsorvente = 20 mg).

Amostra	$d_{(100)}$ (nm)	$a_0$ (nm)	$S_{BET}$ ( $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ )	$V_{BJH}$ ( $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	$D_{BJH}$ (nm)	$w$ (nm)	$\text{pH}_{pcz}$
S1	9,91	11,45	644	0,428	5,71	5,74	4,31
S2	8,67	10,01	841	1,124	3,61	6,40	4,51

Tabela 2. Parâmetros estruturais e texturais das amostras de sílica calculados a partir dos DRX e das isotermas de adsorção-dessorção de  $N_2$ .

A imagem de MEV da amostra S1 (**Figura 2(a)**) revela uma morfologia alongada, semelhante a cordas entrelaçadas, condizente com o que tem sido

reportado para uma típica SBA-15 (ZHAO et al., 1997). A sílica S2 (**Figura 2(b)**) é constituída por agregados de partículas esféricas de dimensões nanométricas, demonstrando uma organização menos ordenada, em acordo com os resultados de DRX. As imagens de MET das amostras S1 e S2 apresentadas nas **Figuras 2(c) e (d)**, respectivamente, demonstram uma estrutura bidimensional de poros hexagonais para as duas amostras. No entanto, é possível notar que S1 exibe uma maior organização de poro, com canais paralelamente ordenados, em relação à sílica S2, que apresenta regiões mais desordenadas, corroborando com os resultados observados por DRX e adsorção-desorção de  $N_2$ .

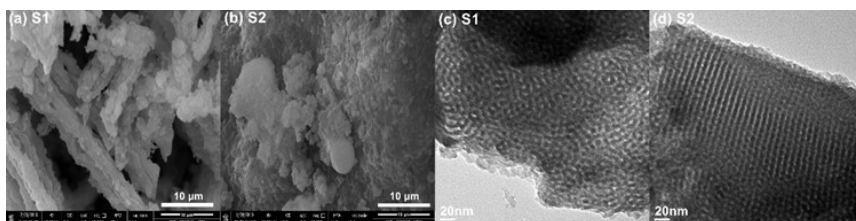


Figura 2. Imagens de MEV (**a e b**) e MET (**c e d**) obtidas para as amostras de sílica.

### 3.2 Adsorção do corante azul de metileno nas amostras de sílica

O pH é um fator essencial no processo de adsorção pois pode influenciar a carga da superfície dos adsorventes, bem como, a ionização das moléculas dos poluentes (ELMOUBARKI et al., 2015). Desta forma, o monitoramento das cargas na superfície do adsorvente é fundamental para otimizar as condições de adsorção. Neste sentido, o  $pH_{pcz}$  é um parâmetro importante, pois indica o valor de pH em que a carga elétrica na superfície do sólido é nula. Em  $pH < pH_{pcz}$  a superfície do sólido se encontra carregada positivamente (atraindo ânions), e em  $pH > pH_{pcz}$ , presume-se que essa superfície esteja negativamente carregada (atraindo cátions) (DEGERMENCI et al., 2019).

A **Figura 1(c)** mostra a influência do pH na adsorção do corante AM à superfície das sílicas, sendo possível observar que maiores capacidades de adsorção ocorrem em pH 11,0 para ambos adsorventes. Uma vez que o corante AM tem caráter catiônico, com  $pK_a = 5,6$ , e as sílicas S1 e S2 apresentaram valores bem próximos de  $pH_{pcz}$  (**Tabela 2**), iguais a 4,31 e 4,51, respectivamente, espera-se que em pH 11,0 uma maior quantidade de moléculas do corante esteja eletricamente neutra, enquanto a superfície das sílicas possui carga líquida negativa. Com base nestes resultados, presume-se que diferenças na capacidade de adsorção das sílicas para o corante AM, sejam decorrentes de suas distintas características estruturais e texturais.



Os parâmetros cinéticos obtidos a partir do ajuste dos dados experimentais de adsorção do AM às sílicas, aos modelos não lineares de pseudo-primeira ordem (PPO) e pseudo-segunda ordem (PSO), são mostrados na **Tabela 3**. Com base nos coeficientes de correlação linear ( $R^2$ ), é possível notar que o modelo de PSO se ajustou melhor aos dados, para os dois adsorventes. É possível observar também que a capacidade máxima de adsorção ( $q_e$ ) calculada pelo modelo de PSO para as sílicas S1 e S2, de  $303,70 \pm 16,37 \text{ mg g}^{-1}$  e  $446,03 \pm 8,45 \text{ mg g}^{-1}$ , respectivamente, foi superior ao  $q_e$  experimental exibido pelas respectivas amostras ( $266,41$  e  $419,29 \text{ mg g}^{-1}$ ).

Parâmetros	Amostra	
	S1	S2
$q_{e \text{ (exp)}} \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	266,41	419,29
<b>PPO</b>		
$q_e \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	$255,97 \pm 10,28$	$400,56 \pm 8,67$
$k_1 \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	$0,04728 \pm 0,00654$	$0,08 \pm 0,01$
$R^2$	0,9686	0,98551
<b>PSO</b>		
$q_e \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	$303,70 \pm 16,37$	$446,03 \pm 8,45$
$k_1 \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	$1,82 \times 10^{-4} \pm 4,44 \times 10^{-5}$	$2,63 \times 10^{-4} \pm 3,03 \times 10^{-5}$
$R^2$	0,97578	0,99478

Tabela 3. Parâmetros cinéticos dos modelos não-lineares de pseudo-primeira ordem (PPO) e pseudo-segunda ordem (PSO) ajustados aos dados de adsorção do corante AM nas sílicas. ( $C_0 = 300 \text{ mg L}^{-1}$ ; pH = 11,0; 300 rpm; T = 298 K; t = 120 min; massa de adsorvente = 20 mg).

As isotermas de adsorção possibilitam avaliar aspectos relacionados à interação entre adsorbato e adsorvente (WANG, 2012). As **Figuras 3(a) e (b)** mostram os dados experimentais da adsorção do AM em S1 e S2, ajustados às isotermas de Langmuir, Freundlich e Sips, onde é possível notar um perfil de isoterma típico de processo favorável (MANEECHAKR; KARNJANAKOM, 2017) para as duas sílicas. Os parâmetros calculados a partir das equações das isotermas estão reunidos na **Tabela 4**. Analisando estes dados, é interessante notar que o parâmetro  $R_L$  do modelo de Langmuir, que é menor que a unidade ( $R_L < 1$ ) para a adsorção do AM em S1 ( $R_L = 8,62 \times 10^{-3}$ ) e S2 ( $R_L = 3,90 \times 10^{-3}$ ), é mais uma evidência de adsorção favorável para os ambos adsorventes (RONIX et al., 2017).

O parâmetro  $K_F$  da isoterma de Freundlich está relacionado à energia média de adsorção (RONIX et al., 2017). Este parâmetro calculado para a adsorção do

AM nas sílicas, indica que as moléculas do corante estão mais fortemente ligadas à superfície da amostra S2 ( $K_F = 193,40 \text{ mg L}^{-1}$ ) do que aos sítios de S1 ( $K_F = 151,15 \text{ mg L}^{-1}$ ). Nota-se também, que o parâmetro  $n_F$ , relacionado à heterogeneidade da superfície do adsorvente, foi maior que a unidade para S1 ( $n_F = 9,08$ ) e para S2 ( $n_F = 6,77$ ), sugerindo a heterogeneidade energética da superfície das sílicas (RONIX et al., 2017).

Os valores de correlação ( $R^2$ ) mostrados na **Tabela 4** indicam que o modelo de Sips é o que melhor descreve a adsorção do AM nas sílicas. A isoterma de Sips consiste em uma combinação dos modelos de Langmuir e Freundlich, e o parâmetro  $n_s$  desta isoterma está relacionado com o grau de heterogeneidade da superfície do adsorvente (KOCABAS-ATAKLI; YÜRÜM, 2013). Como  $n_s$  estimado para S1 ( $n_s = 6,08$ ) e para S2 ( $n_s = 0,51$ ) se desvia da unidade ( $n_s \neq 1$ ), é possível concluir que ambos adsorventes possuem superfícies heterogêneas. Além disso, a capacidade máxima de adsorção do AM em S1 ( $q_m = 276,28 \text{ mg g}^{-1}$ ) e S2 ( $q_m = 472,57 \text{ mg g}^{-1}$ ) estimada pelo modelo de Sips é superior ao valor reportado para a adsorção de AM em SBA-15 ( $q_m = 71,42 \text{ mg g}^{-1}$ ) (SABRI; ALBAYATI; ALAZAWI, 2015), demonstrando que as sílicas produzidas neste trabalho são adsorventes eficientes e promissores.

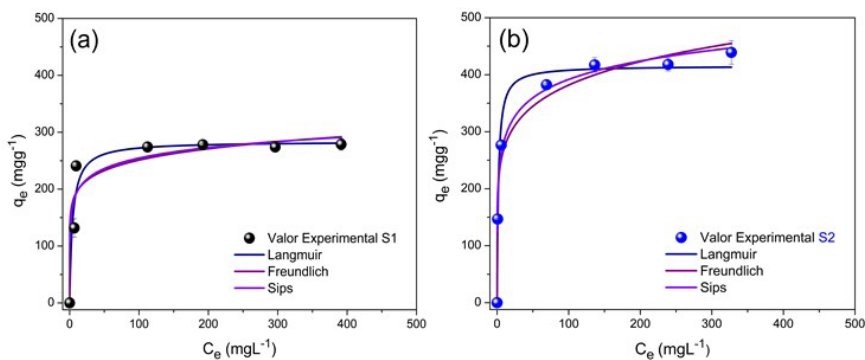


Figura 3. Isothermas de adsorção do corante AM nas sílicas S1 (a) e S2 (b), ajustados aos modelos não lineares de Langmuir, Freundlich e Sips. ( $C_0 = 50\text{-}500 \text{ mg L}^{-1}$ ; pH = 11,0; 300 rpm; T = 298 K; t = 120 min; massa de adsorvente = 20 mg).

Parâmetros	Amostras	
	S1	S2
$q_e$ (exp) (mg g <sup>-1</sup> )	278,91	439,11
<b>Langmuir</b>		
$q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	283,80 ± 15,24	415,63 ± 14,18
$K_L$ (L mg <sup>-1</sup> )	0,23 ± 0,08	0,51 ± 0,13
$R_L$	8,62 × 10 <sup>-3</sup>	3,90 × 10 <sup>-3</sup>
$R^2$	0,93192	0,97328
<b>Freundlich</b>		
$K_F$ (mg L <sup>-1</sup> )	151,15 ± 30,52	193,40 ± 18,20
$n_F$	9,08 ± 3,35	6,77 ± 0,88
$R^2$	0,89608	0,97652
<b>Sips</b>		
$q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	276,28	472,57 ± 17,90
$K_S$	8,50 × 10 <sup>-6</sup> ± 4,99 × 10 <sup>-6</sup>	0,55 ± 0,03
$n_s$	6,08 ± 0,30	0,51 ± 0,05
$R^2$	0,99956	0,99782

Tabela 4. Parâmetros das isotermas de Langmuir, Freundlich e Sips para a adsorção do corante AM em amostras de sílica. ( $C_0 = 50\text{-}500$  mg L<sup>-1</sup>; pH = 11,0; 300 rpm; T = 298 K; t = 120 min; massa de adsorvente = 20 mg).

A termodinâmica de adsorção do corante AM nas sílicas foi investigada em temperaturas de 298, 308, 318 e 328 K, e os parâmetros  $\Delta S$ ,  $\Delta H$  e  $\Delta G$  são mostrados na **Tabela 5**. Os valores positivos de  $\Delta H$  para ambos os sistemas, indicam que o processo de adsorção do AM nas sílicas é endotérmico. Além disso, os valores de  $\Delta H$  obtidos para a adsorção do AM nas sílicas S1 ( $\Delta H = 24,23$  kJ mol<sup>-1</sup>) e S2 ( $\Delta H = 19,83$  kJ mol<sup>-1</sup>) sugerem um mecanismo de adsorção por fisissorção, governado por forças de van der Waals e interações eletrostáticas (CHERUIYOT et al., 2019). Os valores positivos de  $\Delta S$  para os dois sistemas apontam um aumento na desordem da interface sólido-fluido, assim como, a diminuição gradual dos valores negativos de  $\Delta G$  com o aumento da temperatura indicam que o processo se torna mais favorável em temperaturas mais altas. É possível constatar também que a adsorção do corante AM nas sílicas é controlada entropicamente, uma vez que  $T\Delta S > \Delta H$  para todas as temperaturas investigadas.

Amostras	$\Delta S$ (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$\Delta H$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G$ (kJ mol <sup>-1</sup> )			
			298 K	308 K	318 K	328 K
<b>S1</b>	81,44	24,23	-0,04	-0,85	-1,67	-2,48
<b>S2</b>	66,60	19,83	-0,02	-0,68	-1,34	-2,01

Tabela 5. Parâmetros termodinâmicos obtidos para a adsorção do corante AM em amostras de sílica.

### 3.3 Descontaminação do efluente de lavanderia industrial

A eficiência do processo de adsorção empregando as sílicas produzidas como adsorventes foi avaliada também para a descontaminação de um efluente de lavanderia industrial. A **Figura 4(a)** mostra o efeito do pH no tratamento do efluente por adsorção nas sílicas, sendo possível observar que maiores porcentagens de remoção foram obtidas em pH 3,0 para os dois adsorventes. Neste pH, as sílicas S1 e S2 conseguiram remover 80 e 96% dos poluentes, respectivamente, após 4 h de tratamento. Uma vez que o pH 3,0 mostrou ser o mais eficiente para o tratamento do efluente, os ensaios de adsorção neste pH foram realizados variando a massa de adsorvente, como mostrado na **Figura 4(b)**. É possível notar que elevadas porcentagens de remoção de poluentes no tratamento do efluente, 83% e 97%, empregando as respectivas sílicas S1 e S2 como adsorventes, foram alcançadas após 4 h de tratamento em pH 3,0 e utilizando 30,0 mg de sílica.

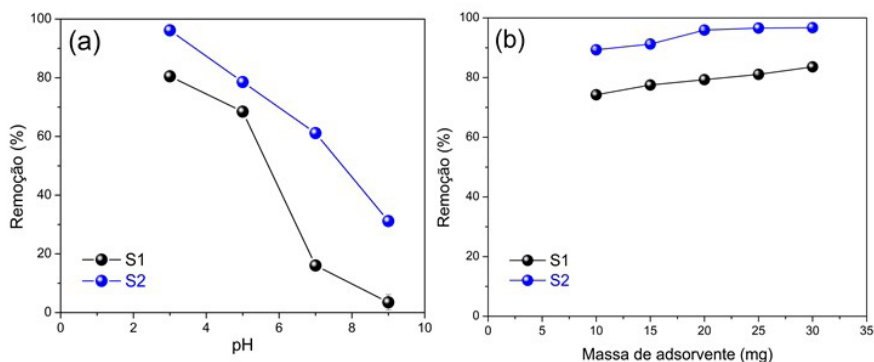


Figura 4. (a) Influência do pH na descontaminação do efluente de lavanderia industrial usando as sílicas S1 e S2 como adsorventes. (b) Influência da massa de adsorvente utilizada no tratamento do efluente, em pH 3,0 e após 4 horas.

## 4 | CONCLUSÃO

Neste estudo foram produzidas duas amostras de sílica mesoporosa do tipo SBA-15, denominadas de S1 e S2, com características estruturais distintas, por meio da variação em alguns parâmetros de síntese. A sílica S2 apresentou maior área específica ( $S_{BET}$ ) e maior volume de mesoporos ( $V_{B,H}$ ) quando comparada à amostra S1, que resultaram em melhores características adsorventes. A capacidade máxima de remoção do corante AM ( $q_m = 439,11 \text{ mg g}^{-1}$ ) estimada para a sílica S2 pelo modelo de Sips foi superior à calculada para S1 ( $q_m = 278,91 \text{ mg g}^{-1}$ ). O estudo cinético, isotérmico e termodinâmico da adsorção do AM nas sílicas indicou que o

processo é favorável, endotérmico, e ocorre por fisissorção envolvendo forças de van der Waals e interações eletrostáticas entre o adsorbato e a superfície heterogênea dos adsorventes. As sílicas S1 e S2 também foram eficientes adsorventes para a descontaminação do efluente de lavanderia industrial, removendo 83 e 97% dos poluentes, respectivamente, em pH 3,0 e após 4 horas de tratamento. As duas sílicas demonstraram ser adsorventes promissores para o tratamento de efluentes.

## REFERÊNCIAS

BARRETT, Elliott P.; JOYNER, Leslie G.; HALENDA, Paul P. **The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms.** Journal Of The American Chemical Society, [s.l.], v. 73, n. 1, p. 373-380, jan. 1951. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ja01145a126>.

BASHEER, Al Arsh. **New generation nano-adsorbents for the removal of emerging contaminants in water.** Journal Of Molecular Liquids, [s.l.], v. 261, p. 583-593, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2018.04.021>.

BENAMOR, Taissire et al. **Influence of synthesis parameters on the physico-chemical characteristics of SBA-15 type ordered mesoporous silica.** Microporous And Mesoporous Materials, [s.l.], v. 153, p. 100-114, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2011.12.016>.

BRAGG, W. H.; BRAGG, W. L. **The Structure of the Diamond.** Nature, [s.l.], v. 91, n. 2283, p. 557-557, jul. 1913. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/091557a0>.

BRUNAUER, Stephen; EMMETT, P. H.; TELLER, Edward. **Adsorption of Gases in Multimolecular Layers.** Journal Of The American Chemical Society, [s.l.], v. 60, n. 2, p. 309-319, fev. 1938. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ja01269a023>.

CALZADA, Lina A. et al. **TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> and ZnO catalysts supported on mesoporous SBA-15 versus unsupported nanopowders in photocatalytic degradation of methylene blue.** Microporous And Mesoporous Materials, [s.l.], v. 285, p. 247-258, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.05.015>.

CHEN, Jie et al. **Multimorphology Mesoporous Silica Nanoparticles for Dye Adsorption and Multicolor Luminescence Applications.** Acs Sustainable Chemistry & Engineering, [s.l.], v. 6, n. 3, p. 3533-3545, 29 jan. 2018. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03849>.

CHERUIYOT, Gilbert K. et al. **Adsorption of toxic crystal violet dye using coffee husks: equilibrium, kinetics and thermodynamics study.** Scientific African, [s.l.], v. 5, p. 1-16, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00116>.

DEGERMENCI, Gökçe Didar et al. **Adsorption of reactive dyes on lignocellulosic waste; characterization, equilibrium, kinetic and thermodynamic studies.** Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 225, p. 1220-1229, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.260>.

EBRAHIMI, Roya et al. **Photocatalytic degradation of organic dyes using WO<sub>3</sub>-doped ZnO nanoparticles fixed on a glass surface in aqueous solution.** Journal Of Industrial And Engineering Chemistry, [s.l.], v. 73, p. 297-305, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2019.01.041>.

- ELMOUBARKI, R. et al. **Adsorption of textile dyes on raw and decanted Moroccan clays: kinetics, equilibrium and thermodynamics.** *Water Resources And Industry*, [s.l.], v. 9, p. 16-29, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2014.11.001>.
- FREUNDLICH, H. M. F. **Over the adsorption in solution.** *The Journal of Physical Chemistry*, [s.l.], v.57 p. 385-471. 1906.
- HO, Y. S.; MCKAY, G. **Pseudo-second order model for sorption processes.** *Process Biochemistry*, [s.l.], v. 34, n. 5, p. 451-465, jul. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5).
- KOCABAS-ATAKL, Züleyha Özlem; YÜRÜM, Yuda. **Synthesis and characterization of anatase nanoadsorbent and application in removal of lead, copper and arsenic from water.** *Chemical Engineering Journal*, [s.l.], v. 225, p. 625-635, jun. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.03.106>.
- LAGERGREN, S. **Zur Theorie der sogenannten Adsorption gelöster Stoffe.** *Zeitschrift Für Chemie Und Industrie Der Kolloide*, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 15-15, jul. 1907. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf01501332>.
- LANGMUIR, Irving. **THE CONSTITUTION AND FUNDAMENTAL PROPERTIES OF SOLIDS AND LIQUIDS. II. LIQUIDS.1.** *Journal Of The American Chemical Society*, [s.l.], v. 39, n. 9, p. 1848-1906, set. 1917. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ja02254a006>.
- LIN, Sen et al. **Plug precursor assisted synthesis: a highly efficient method of tuning the acidic and structural properties of Al-SBA-15.** *Microporous And Mesoporous Materials*, [s.l.], v. 207, p. 111-119, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.01.007>.
- LU, Haijiao et al. **An Overview of Nanomaterials for Water and Wastewater Treatment.** *Advances In Materials Science And Engineering*, [s.l.], v. 2016, p. 1-10, 2016. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4964828>.
- MANEECHAKR, Panya; KARNJANAKOM, Surachai. **Adsorption behaviour of Fe(II) and Cr(VI) on activated carbon: surface chemistry, isotherm, kinetic and thermodynamic studies.** *The Journal Of Chemical Thermodynamics*, [s.l.], v. 106, p. 104-112, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jct.2016.11.021>.
- MATHEW, Aneesh et al. **Diffusion mediated selective adsorption of Zn<sup>2+</sup> from artificial seawater by MCM-41.** *Microporous And Mesoporous Materials*, [s.l.], v. 229, p. 124-133, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.04.028>.
- PRAHAS, Devarly et al. **Activated carbon from jackfruit peel waste by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> chemical activation: pore structure and surface chemistry characterization.** *Chemical Engineering Journal*, [s.l.], v. 140, n. 1-3, p. 32-42, jul. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2007.08.032>.
- QIANG, Taotao et al. **Controlled incorporation homogeneous Ti-doped SBA-15 for improving methylene blue adsorption capacity.** *Journal Of Alloys And Compounds*, [s.l.], v. 770, p. 792-802, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.08.074>.
- RAHMAN, Hilmi Abdul et al. **Green formulation for synthetic dye extraction using synergistic mixture of acid-base extractant.** *Separation And Purification Technology*, [s.l.], v. 209, p. 293-300, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2018.07.053>.

RONIX, Amanda et al. **Hydrothermal carbonization of coffee husk: optimization of experimental parameters and adsorption of methylene blue dye.** Journal Of Environmental Chemical Engineering, [s.l.], v. 5, n. 5, p. 4841-4849, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.035>.

SABRI, Anaam Akram; ALBAYATI, Talib Mohammed; ALAZAWI, Raghad Adnan. **Synthesis of ordered mesoporous SBA-15 and its adsorption of methylene blue.** Korean Journal Of Chemical Engineering, [s.l.], v. 32, n. 9, p. 1835-1841, 28 abr. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11814-014-0390-y>.

SADEGHI, Mohammad Mehdi et al. **Functionalization of SBA-15 by dithiooxamide towards removal of Co (II) ions from real samples: isotherm, thermodynamic and kinetic studies. : Isotherm, thermodynamic and kinetic studies.** Advanced Powder Technology, [s.l.], v. 30, n. 9, p. 1823-1834, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apt.2019.05.028>.

SHARMA, Ved Prakash et al. **Advance Applications of Nanomaterials: A Review.** Materials Today: Proceedings, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 6376-6380, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.248>.

SIPS, Robert. **On the Structure of a Catalyst Surface. II.** The Journal Of Chemical Physics, [s.l.], v. 18, n. 8, p. 1024-1026, ago. 1950. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1747848>.

SOUSA, João C. G. et al. **A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines.** Journal Of Hazardous Materials, [s.l.], v. 344, p. 146-162, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.09.058>.

THOMMES, Matthias et al. **Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report).** Pure And Applied Chemistry, [s.l.], v. 87, n. 9-10, p. 1051-1069, 1 out. 2015. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/pac-2014-1117>.

VAINSHTEIN, Boris K. **Fundamentos de cristais: simetria e métodos de cristalografia estrutural 1994.** <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3097143>.

WANG, Lianggui et al. **Application of activated carbon derived from 'waste' bamboo culms for the adsorption of azo disperse dye: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies.** Journal Of Environmental Management, [s.l.], v. 102, p. 79-87, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.019>

ZHANG, Fuqiang et al. **Understanding effect of wall structure on the hydrothermal stability of mesostructured silica SBA-15.** The Journal of Physical Chemistry B. [s.l.], v. 109, p. 8723-8732, abril 2005. <https://doi.org/10.1021/jp044632>.

ZHAO, Dongyuan et al. **Triblock copolymer syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores.** *Science*. [s.l.], v. 279, p. 548-552, dezembro 1997. <https://doi.org/10.1126/science.279.5350.548>.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 174, 184, 185, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 195, 196, 212, 213, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 292, 293, 294, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303

Alginato de sódio 322, 323, 324, 325

Asfalto-borracha 209

Ativação química 14, 15, 19, 212, 214, 215, 223

Azul de metileno 1, 4, 12, 13, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 184, 185, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 215, 217, 218, 220, 221, 222, 223, 295, 299

### B

Bagaço de uva 1, 3, 4, 6, 11, 12

Biodegradável 24, 25, 43, 44, 46, 49, 110, 114, 126, 198, 202, 203, 206, 236, 310, 315

Biomassa lignocelulósica 184, 186

Biorreator de leite empacotado 91, 101

Biossorção 24, 104, 110, 111, 186, 212, 223

Borracha de silicone 149, 151, 152, 153, 157, 158, 159, 160, 161

Borracha SBR 149, 153

### C

Câncer 203, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313

Cápsulas de zeólita fertilizante 124

Caracterização térmica 90, 282

Carboximetilação 24, 25, 26, 28, 30

Chitosan 13, 24, 125, 134, 162, 163, 174, 175, 176, 195, 312, 313

Coacervação complexa 322

Comportamento reológico de emulsões 322, 329, 332

Compósito 41, 56, 64, 80, 81, 82, 83, 87, 90, 124, 129, 132, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 203, 260, 261, 272, 273

Corante 1, 4, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 21, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 217, 218, 221, 222, 223, 292, 295, 296, 298, 299, 300, 301, 302, 303



## **E**

Economia circular 45, 247, 251, 254, 255, 256, 258, 260, 261, 263, 270, 274, 275

Efluente têxtil 104

Envelhecimento natural 135, 138, 143, 144, 145, 258, 262, 265, 266, 267, 268, 269, 274

Enzymatic Immobilization 163

Epóxi-PZT 80, 82

Eugenol 315, 316, 320, 321

Extração de enzimas 91

Extrusão 113, 115, 116, 118, 119, 261, 263, 272, 273

## **G**

Geleificantes 236

## **H**

Hidrofilicidade 56, 64

Hidrogéis 67, 68, 69

## **I**

Insumo agrícola 67

## **L**

Liberação controlada de medicamentos 198, 307, 309

Ligantes asfálticos 209

## **M**

Montmorilonita 127, 315, 316

## **O**

Óxido de grafeno 177, 178, 179, 182

## **P**

Papain 162, 163, 175, 176

Partículas core-shell 224, 225

PEAD 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122

Pectina 214, 236, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 328

PEUAM 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Poliacrilatos 67, 73, 78

Poliisocianurato 277, 278

Polimerização em emulsão 224, 225, 228, 235  
Poliol 43, 45, 46, 47, 49, 50, 279, 280, 281, 283, 287  
Poliuretano 32, 33, 40, 41, 42, 45, 47, 48, 50, 51, 277  
Prospecção de custo de produção 258

## **R**

Resíduo agroindustrial 11, 14, 16, 21, 213  
Resíduos 1, 3, 4, 12, 14, 15, 17, 21, 32, 33, 40, 41, 44, 52, 78, 93, 102, 106, 111, 113, 125, 134, 150, 151, 152, 153, 156, 157, 158, 159, 160, 184, 186, 187, 195, 212, 219, 223, 227, 240, 241, 246, 251, 256, 258, 259, 260, 261, 275, 321, 333  
Retardante de chamas 33

## **S**

Sílica mesoporosa 292, 293, 294, 295, 303  
Sulfatação 24, 25, 26

## **U**

Ultrassom 14, 16, 17, 19, 20, 21, 179, 180, 308, 324, 326, 332  
Uso de Biopolímero 124

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



[www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)



[contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)



[@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)



[www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



[www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)



[contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)



[@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)



[www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)