

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2



Daniel Sant'Ana
(Organizador)

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

Daniel Sant'Ana
(Organizador)


Atena
Editora
Ano 2021



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 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-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – 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 Internazionale 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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª 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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
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
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
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. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andreza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
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. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
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
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
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. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
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
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Daniel Sant'Ana

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B299 Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 2 / Organizador Daniel Sant'Ana. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-745-1

DOI 10.22533/at.ed.451211901

1. Engenharia Ambiental e Sanitária. 2.
Conhecimentos. I. Sant'Ana, Daniel (Organizador). II. Título.
CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A coleção *“Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária”* tem como objetivo disseminar o estado atual do conhecimento das diferentes áreas das ciências ambientais e sanitárias, apresentando a evolução do campo científico por meio de diferentes tipos de trabalhos que abordam os aspectos tecnológicos, políticos, econômicos, sociais e ambientais desta disciplina.

Os processos de produção industrial têm gerado grandes volumes de efluentes que podem causar sérios danos ambientais caso os contaminantes presentes na água não sejam removidos. Efluentes da indústria têxtil descarregam corantes em seus resíduos e, com isso, os primeiros três capítulos apresentam diferentes processos de tratamento para sua remoção.

Um dos desafios atuais no tratamento de efluentes está na remoção eficaz de contaminantes emergentes. Os capítulos subsequentes apresentam técnicas de adsorção são apresentadas para remoção de antibiótico em efluentes doméstico (Capítulo 4) e fosfato em sistemas de tratamento de águas residuárias (Capítulo 5). Soluções alternativas no processo de tratamento do esgoto doméstico (Capítulo 7), ou até mesmo o reúso de água provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 6), promovem economia financeira e reduzem impactos ambientais.

Ainda há muito o que evoluir na gestão de resíduos sólidos, desde sua geração até a sua disposição final. Mesmo assim, diferentes estudos vêm apontando soluções com o intuito de mitigar impactos ambientais. Por exemplo, no Capítulo 8, vemos a busca de soluções no processo de secagem de lodo provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 8) para seu aproveitamento como fertilizante ou condicionador de solo.

Evidentemente, quanto maior o número de habitantes de uma cidade, maior são os problemas gerados por resíduos urbanos. Com isso, o Capítulo 9 apresenta indicadores de geração de resíduos domésticos como forma de categorizar o tipo de resíduo e estimar o volume sendo gerado diariamente. É de suma importância traçar um plano de ação para estimular a reciclagem de resíduos sólidos, otimizar os processos de reciclagem (Capítulo 10) e promover a conscientização e educação da população (Capítulo 11). Pois o descuido no descarte de resíduos pode causar sérios danos ambientais pela contaminação do solo (Capítulos 12 e 13).

Um dos maiores desafios do século XXI está na redução da emissão de poluentes na atmosfera, não apenas pelo seu impacto sobre as mudanças climáticas, mas também pelo seu impacto na saúde pública. Com isso, os últimos capítulos abordam os danos ambientais causados por queimas controladas na agricultura, indústria e queima de combustíveis fósseis.

Este segundo volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes

partes do país, México e Inglaterra, trazendo de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos ao tratamento de efluentes industriais, tratamento de esgotos domésticos, reúso de água, gestão de resíduos, contaminação ambiental e qualidade do ar. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Daniel Sant'Ana

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE PROCESOS FOTOCATALÍTICOS APLICADOS A COLORANTES INDIGOIDES

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Marina Violeta Gómez Chávez

Verónica Camargo

DOI 10.22533/at.ed.4512119011

CAPÍTULO 2..... 13

DECOLORACIÓN DEL COLORANTE ÍNDIGO CON *ASPERGILLUS NIGER* INMOVILIZADO SOBRE CELULOSA OBTENIDA DE ESPINAS DE NOPAL

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Federico Augusto Trampe Torija

Raymundo Guzmán Gil

Margarita González-Brambila

José Luis Contreras Larios

Marina Violeta Gómez Chávez

DOI 10.22533/at.ed.4512119012

CAPÍTULO 3..... 25

DESCOLORAÇÃO DE ALARANJADO DE METILA EM BATELADA E EM PROCESSO CONTÍNUO

Cássia Sidney Santana

Otávio Henrique Campos Hamdan

Alisson Henrique Marques da Silva

Bruno Andrade Trindade

Daniele Massote Gibram

Marcelo da Silva Batista

DOI 10.22533/at.ed.4512119013

CAPÍTULO 4..... 35

ADSORÇÃO DO ANTIBIÓTICO SULFAMETOXAZOL EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO

Ismael Laurindo Costa Junior

Bruna Ataíde Barros Fonseca

Juliana Bortoli Rodrigues Mees

DOI 10.22533/at.ed.4512119014

CAPÍTULO 5..... 55

AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DE FOSFATO POR GOETHITA NATURAL OBTIDA POR PROCESSO DE DISSOLUÇÃO SELETIVA EM COMPARAÇÃO COM GOETHITA NANOPARTÍCULA SINTÉTICA

Marcelo Hidemassa Anami

Nathalia Pravatto dos Santos

Gabriella de Moraes Valentim

Maria Eduarda Aranega Pesenti

Leonardo Carmezini Marques
Jefferson Sussumu de Aguiar Hachiya
DOI 10.22533/at.ed.4512119015

CAPÍTULO 6..... 66

AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DE REÚSO COM EFLUENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Marcel Chacon de Souza
Andre Luis Calado Araújo
Juliana Delgado Tinôco Araújo

DOI 10.22533/at.ed.4512119016

CAPÍTULO 7..... 74

USO DE FLOCOS DE PEAD RECICLÁVEL (POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE) COMO MEIO SUPORTE EM REATOR MBBR TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

Bruno de Oliveira Freitas
Maria Teresa Hoffmann
Luiz Antônio Daniel

DOI 10.22533/at.ed.4512119017

CAPÍTULO 8..... 82

ESTUDO DE SECAGEM DE LODO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO EM ESTUFA AGRÍCOLA

Leticia Amadeu Freddi
Danielle Bolandim Costa
Tsunao Matsumoto

DOI 10.22533/at.ed.4512119018

CAPÍTULO 9..... 95

GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS EN CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO

José Luis Guevara Franco
Laura Patricia Flores Castillo
Norma Angélica Oropeza García
José Alfonzo Canche Uuh
Alondra Martínez Flores

DOI 10.22533/at.ed.4512119019

CAPÍTULO 10..... 99

IDENTIFICAÇÃO DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS PELO TESTE DE CHAMA

César Augusto Canciam

DOI 10.22533/at.ed.45121190110

CAPÍTULO 11 107

PROJETO ESCOLA RESÍDUO ZERO – PERZ (ESTUDO DE CASO EM GOIÂNIA)

Diógenes Aires de Melo
Giovane Moraes Toledo
Camila Batista do Carmo

Fabiola Adaianne Oliveira
Patrícia Elias Sahium
DOI 10.22533/at.ed.45121190111

CAPÍTULO 12..... 125

CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM ATERROS: IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA

Lúrian Sâmia de Lacerda Ferreira
Luze Daiane da Silva Pereira
Ruy Bessa Lopes

DOI 10.22533/at.ed.45121190112

CAPÍTULO 13..... 130

EFEITO DO PH NA LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO

Luanna Di Mario Rocha
Maria Magdalena Ribas Döll
Lilian Tais de Gouveia

DOI 10.22533/at.ed.45121190113

CAPÍTULO 14..... 145

MUDANÇA TEMPORAL DO USO DO SOLO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PEDRA DO CAVALO

Israel Henrique Ribeiro Rios
Ana Júlia Dantas Pitangueira
Lis Correia Barreto

DOI 10.22533/at.ed.45121190114

CAPÍTULO 15..... 159

¹⁴C COMO TRAZADOR DE QUEIMA DE BIOMASSA EN MÉXICO

Marina Violeta Gómez Chávez
Maria Elba Ortiz Romero Vargas
Corina Solís Rosales
Efraín Chávez Lomelí
Javier Miranda del Campo
Javier Aragón Navarro
Miguel Ángel Martínez Carrillo
Telma Gloria Castro
Oscar Augusto Peralta Rosales

DOI 10.22533/at.ed.45121190115

CAPÍTULO 16..... 170

ESTUDO DA DEMANDA DE QUEIMA CONTROLADA DE CAMPOS NATIVOS EM MUNICÍPIOS DA REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA NOS ANOS DE 2009 A 2018

Débora Cristina Correia Cardoso
Daniely Neckel Rosini
Jordana dos Anjos Xavier
Valter Antonio Becegato

Vitor Rodolfo Becegato
Alexandre Tadeu Paulino

DOI 10.22533/at.ed.45121190116

CAPÍTULO 17	185
MEASUREMENT AND MATHEMATICAL MODELLING OF ODOR GASES IN A COLLAGEN AND GELATINE PLANT	
Rafael Geha Serta	
Ângelo Breda	
Juliana Pilato Rodrigues	
Marcio Barreiro Gonçalves	
Antônio Augusto Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.45121190117	
SOBRE O ORGANIZADOR	192
ÍNDICE REMISSIVO	193

ADSORÇÃO DO ANTIBIÓTICO SULFAMETOXAZOL EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 02/11/2020

Ismael Laurindo Costa Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Medianeira – PR
<http://lattes.cnpq.br/8830429960630659>

Bruna Ataíde Barros Fonseca

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Medianeira – PR
<http://lattes.cnpq.br/2914774669036004>

Juliana Bortoli Rodrigues Mees

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Medianeira – PR
<http://lattes.cnpq.br/3996272952342357>

RESUMO: A ocorrência de microcontaminantes emergentes nos diversos compartimentos ambientais tem motivado o desenvolvimento de tecnologias avançadas no tratamento de esgoto e águas de abastecimento. Esse grupo de poluentes, por não terem seus efeitos ecotoxicológicos comprovados, não são regulamentadas por leis. Assim, acabam por não serem monitorados. Os fármacos são exemplos dessas substâncias, muito utilizados para consumo humano e veterinário. O sulfametoxazol é um antibiótico pertencente à família da sulfonamidas, comumente prescrito para fins de tratamento de diversas infecções e

dessa forma de amplo uso na atualidade. Esse trabalho teve por objetivo a análise do potencial adsorptivo do carvão ativado na remoção do fármaco sulfametoxazol em solução aquosa. Para isso, otimizaram-se as variáveis pH e a massa de carvão ativado por meio de delineamento experimental composto central rotacional 2^2 (DCCR). A avaliação estatística foi baseada na análise de variância (ANOVA) e o estudo da falta de ajuste. Posteriormente realizaram-se ensaios de adsorção, avaliando a cinética, isotermas e termodinâmica do processo. A otimização indicou que as condições ideais para realização do processo foram de massa de 0,023 g de carvão ativado e pH igual a 5,6, prevendo um percentual de remoção de 93,8%. O tempo de contato para que fosse estabelecido o equilíbrio do processo foi de 360 min, com eficiência de 92,17% e remoção de 4,53 mg g⁻¹ do analito. Os dados experimentais se adequaram ao modelo cinético de pseudo-segunda ordem. Para as isotermas de adsorção, o modelo de Langmuir foi o que melhor descreveu os dados experimentais, indicando eficiências de remoção entre 96 e 98%, atingindo capacidades máximas de adsorção, que foram de 39,67; 54,23 e 51,91 mg g⁻¹ para as temperaturas de 25, 35 e 45°C. Os parâmetros termodinâmicos indicaram que o processo de adsorção é espontâneo, favorável e endotérmico. Dessa forma, o carvão ativado demonstrou um desempenho favorável à remoção do sulfametoxazol.

PALAVRAS-CHAVE: Micropoluentes. Fármacos. Adsorção.

ADSORPTION OF THE ANTIBIOTIC SULFAMETOXAZOLE IN AQUEOUS MEDIA USING ACTIVATED COAL

ABSTRACT: The occurrence of microcontaminants emerging in the various environmental compartments has motivated the development of advanced technologies in the treatment of sewage and water supply. This group of pollutants, as their ecotoxicological effects are not proven, are not regulated by laws; therefore, they end up not being monitored. Drugs are examples of these substances, widely used for human and veterinary consumption. Sulfamethoxazole is an antibiotic belonging to the sulfonamide family, commonly prescribed for the purpose of treating various infections and thus of widespread use today. For this, the variables pH and the mass of activated carbon were optimized by means of experimental designs (Full factorial design 2^2 and the central rotational composite design 2^2). The statistical evaluation was based on the analysis of variance (ANOVA) and the study of the lack of adjustment. Subsequently performed the adsorption tests, evaluating the kinetics, isotherms, and thermodynamics of the process. The optimization indicated that the ideal conditions for carrying out the process were of a mass equal to 0.023 g of activated carbon and pH equal to 5.6, providing a removal percentage of 73.8%. The contact time for the balance of the process to be established was 360 minutes, with 92.17% efficiency, removing 4.53 mg g^{-1} . The experimental data were adapted to the pseudo-second order kinetic model. For the adsorption isotherms, the Langmuir model was the one that best described the experimental data, indicating removal efficiencies between 96 and 98%, reaching maximum adsorption capacities, which were 39.67, 54.23 and 51.91 mg g^{-1} for temperatures of 25, 35 and 45 °C. Thermodynamic parameters indicated that the adsorption process is spontaneous, favorable and endothermic. In this way, activated carbon demonstrated a favorable performance for the removal of sulfamethoxazole.

KEYWORDS: Micropollutants. Drugs. Adsorption.

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve avanços nas tecnologias relacionadas ao tratamento de águas residuárias com a finalidade de atendimento à legislação quanto aos poluentes convencionais. Entretanto, com o aumento da contaminação dos corpos hídricos por diversos compostos de amplo uso nos mais variados segmentos da sociedade e da indústria, mediante a incorporação de substâncias de natureza exógena, torna-se necessário o complemento dos sistemas atuais com processos capazes de remover efetivamente esses compostos até então pouco conhecidos e tidos como de pouca relevância ambiental.

Dentre esses contaminantes, destacam-se os poluentes emergentes (POEs) que podem ser substâncias sintéticas ou naturais e contaminam o meio ambiente. Como não são regulamentadas, acabam não sendo monitoradas e isso contribui para a escassez de dados sobre suas dinâmicas e comportamentos nos ecossistemas. Alguns exemplos de POEs são os fármacos, hormônios, nanomateriais, produtos de higiene pessoal, entre outros (CANELA et al., 2014; COSTA; PLETSCH; TORRES, 2014).

Os produtos farmacêuticos têm se destacado pela sua constante ocorrência no meio

ambiente. Os fármacos são substâncias orgânicas muito utilizadas para consumo humano e uso veterinário (BILA; DEZOTTI, 2003; KÜMMERER, 2009). Esses poluentes entram em contato com o meio ambiente através dos processos industriais, agropecuária, dejetos domésticos, descartes direto em rede de esgoto ou até mesmo diretamente nos corpos d'água, podendo ser excretados na sua forma metabolizada ou não metabolizada (BILA; DEZOTTI, 2003; TERNES; JOSS; SIEGRIST, 2004). Com isso, podem ser encontrados nas matrizes ambientais (efluentes industriais, solos, água, sedimentos, emissões gasosas, alimentos e amostras biológicas) (BARCELÓ, 2003; HERNANDO et al., 2006; LIMA et al., 2014).

Os fármacos da classe dos antibióticos são usados extensivamente na medicina humana e veterinária com finalidade de prevenir ou tratar infecções microbianas mediante aos usos terapêuticos, como promotores de crescimento e aditivos alimentares nas dietas de frangos, suínos e bovinos (HALLING-SØRENSEN et al., 1998; HERNANDO et al., 2006). A principal problemática da disseminação de antimicrobianos no meio ambiente é sua contribuição para o desenvolvimento e disseminação de microrganismos resistentes. As bactérias, quando expostas à baixa dose de antibiótico, vão gradualmente se tornando tolerantes (SAHOO et al., 2010). Esse quadro é agravado à medida que esse tipo de fármaco não é completamente removido durante os processos convencionais de tratamento de esgoto e nas práticas de manejo de dejetos agropecuários (BILA; DEZOTTI, 2003; TEUBER, 2001).

O uso de antibióticos é difundido mundialmente, sendo utilizado em grandes quantidades. Seu consumo em todo o mundo é estimado em torno de 100.000 a 200.000 ton (WISE, 2002). O sulfametoxazol (4-amino-N-(5-metil-3-isoxazolil)-benzenossulfonamida) (Figura 1a) é um antimicrobiano sintético pertencente à família da sulfonamidas, comumente prescrito para fins de tratamento de infecções urinárias, pneumonia, bronquite crônica, meningite meningocócica e toxoplasmose (PEREIRA et al., 2015). É considerado um microcontaminante emergente, pois na saúde humana e no ecossistema pode causar efeito adverso. A exposição contínua ao sulfametoxazol, pela ingestão de águas contaminadas, influencia no aumento da resistência bacteriana e no desenvolvimento de câncer (AVISAR; LESTER; RONEN, 2009; RICHARD et al., 2014).

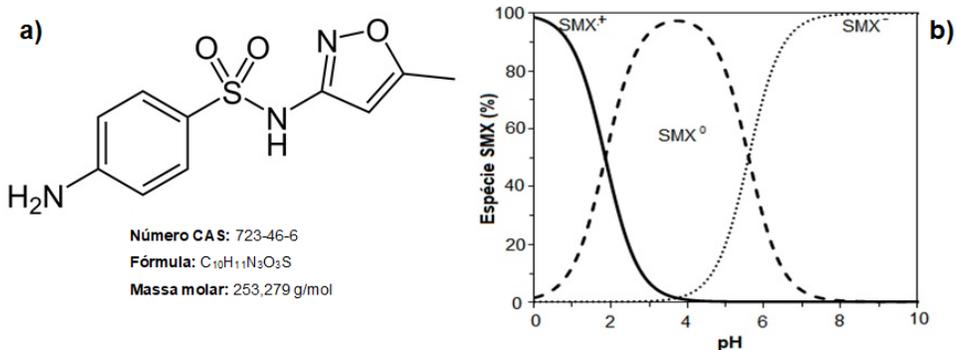


Figura 1. Estrutura do Sulfametoxazol a) e diagrama de especiação em função do pH b)

Fonte: Adaptado de Boreen; Arnold; McNeill (2004).

O sulfametoxazol (SMX) e os outros fármacos, considerados microcontaminantes emergentes, não são totalmente metabolizados no organismo e parte é excretada em fezes e urinas na sua forma original ou na forma de metabólitos primários e secundários. A literatura reporta que para o sulfametoxazol são excretados na urina cerca de 10 a 30% da concentração administrada por via oral (NOVELLI; ROSI, 2017; TAMBOSI et al., 2010). As formas mais estáveis são o ânion sulfametoxazol em meio básico e a forma protonada em meio ácido (Figura 1b) (BOREEN; ARNOLD; MCNEILL, 2004). Alguns estudos já realizados vêm comprovando a presença de sulfametoxazol em meio aquático (Tabela 1).

Concentração (µg L ⁻¹)	Matriz	País	Referência
0,080	Efluente de ETE	França	(ANDREOZZI; RAFFAELE; NICKLAS, 2003)
0,090	Efluente de ETE	Grécia	
0,010	Efluente de ETE	Itália	
0,020	Efluente de ETE	Suécia	(GAGNÉ; BLAISE; ANDRÉ, 2006)
0,049	Efluente de ETE	Canadá	
0,250	Efluente de ETE	Espanha	(CARBALLA et al., 2004)
0,400	Efluente de ETE	Alemanha	(SACHER et al., 2001)
0,410	Água subterrânea	Alemanha	
0,050	Água superficial	EUA	(STACKELBERG et al., 2004)
0,037	Água subterrânea	Israel	(AVISAR; LESTER; RONEN, 2009)
0,001-0,011	Água superficial	Brasil	(LOCATELLI; SODRÉ; JARDIM, 2011)

Tabela 1. Concentrações de Sulfametoxazol reportadas em matrizes aquosas

As técnicas convencionais aplicadas tanto para tratamento de esgoto quanto para

água não são eficientes para remoção desses tipos de poluentes, pois atuam na remoção parcial ou na transferência para outras matrizes ambientais como lodo e sedimentos. Com isso, uma carga considerável é descartada no corpo receptor ou disposta em outros compartimentos como o solo (KÜMMERER; AL-AHMAD; MERSCH-SUNDERMANN, 2000; RIVERA-UTRILLA et al., 2013).

Assim, reitera-se a necessidade de desenvolvimento de técnicas complementares aos tratamentos existentes. Uma das alternativas propostas para mitigação dos POEs como fármacos antibióticos em águas residuárias são as baseadas em processos de adsorção por meio de adsorventes conhecidos como o carvão ativado (NAVARRETE et al., 2006).

A adsorção é um processo físico que ocorre por meio da transferência de moléculas de um gás ou líquido para uma superfície sólida devido às interações com os constituintes do sólido. As interações entre o adsorvato e adsorvente podem ocorrer de forma física (fisissorção) ou química (quimissorção) (CORNELISSEN et al., 2005; RIVERA-UTRILLA et al., 2013).

Para a adsorção são utilizados materiais com característica porosa como adsorvente. Alguns dos adsorventes mais utilizados são a sílica gel, o carvão ativado, a alumina, as zeólitas sintéticas e diversas argilas, destacando-se o carvão ativado pelas suas características que favorecem a remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos (OLIVEIRA et al., 2002).

O carvão ativado é uma técnica que, aliada aos tratamentos convencionais, apresenta uma boa prospecção para a eficiência na remoção de fármacos (TERNES et al., 2002). É caracterizado pela sua estrutura em poros, é composto por materiais carbonosos que apresentam uma forma microcristalina pelo processamento para aumento da porosidade interna e conseqüentemente sua área de contato. Quando o carvão é ativado, ele apresenta uma porosidade similar a uma rede de túneis que se dividem em canais menores. Assim, sua porosidade pode ser caracterizada como micro, meso e macroporosidade, está presente em todos os carvões ativados possuem os três tipos de poros, variando a proporção de acordo com o precursor e o processo de fabricação (CLAUDINO, 2003; RIMOLI et al., 2019; RODRÍGUEZ-REINOSO; MOLINA-SABIO; GONZÁLEZ, 1995).

Considerando a temática dos POEs como os fármacos antibióticos e a necessidade de mitigação desses micropoluentes, este trabalho propõe a aplicação de carvão ativado como técnica de remoção do antimicrobiano sulfametoxazol em meio aquoso por adsorção, mediante a otimização das variáveis massa de adsorvente e pH empregando delineamentos experimentais, avaliação da cinética e estudo de isotermas.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Reagentes, padrões e soluções

O fármaco sulfametoxazol (SMX) foi adquirido na forma de padrão analítico com pureza de $\geq 98,0\%$ (Sigma-Aldrich®). Foi preparada solução estoque à 1000 mg L^{-1} , avolumadas em água ultrapura e conservadas a 4°C sob refrigeração, protegidas da luz. Nos ensaios de adsorção foi usado carvão ativo granular comercial (Dinâmica®) e de acordo com as faixas de pH ocorreram ajustes com ácido clorídrico (HCl, Dinâmica®) e hidróxido de sódio (NaOH, Moderna®) $0,01 \text{ mol L}^{-1}$.

2.2 Instrumentação, calibração analítica e caracterização espectroscópica do sulfametoxazol

Nos ensaios as determinações analíticas do SMX foram obtidas com o auxílio do espectrofotômetro de absorção molecular UV/VIS de varredura de feixe simples, (PerkinElmer™ LAMBDA XLS), no intervalo de 200 a 400 nm com resolução de 2 nm. Foram utilizadas cubetas de quartzo com caminho óptico de 1 cm. Foram preparadas soluções com concentração de 0,5 a 25 mg L^{-1} do padrão nos pH 2, 7 e 12 sendo então obtida a curva de calibração para identificar os máximos de absorção do fármaco e seu perfil espectroscópico.

2.3 Determinação do ponto de carga zero (pH_{pcz})

O valor de pH utilizado nos ensaios foi determinado por meio da análise do Ponto de Carga Zero (pH_{pcz}) do carvão ativado, a fim de definir a faixa mais favorável para o processo de adsorção. Foram adicionados 0,012 g do carvão ativado em 25 mL de solução de cloreto de sódio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (NaCl, Vetec®), sob diferentes condições de pH (2, 4, 6, 8, 10, 12), ajustando-os com solução de ácido clorídrico (HCl, Vetec) a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, para os valores na faixa ácida, e hidróxido de sódio (NaOH, Biotec) a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ para valores de pH básico, utilizado o pHmetro Hanna modelo pH 21. Para que houvesse o equilíbrio, as soluções foram levadas à agitação por 24 h em incubadora *shaker* (modelo LAC – 2000, Lactea®), a 30°C e 300 rpm. As amostras foram filtradas em membranas de Nylon 0,22 μm . A leitura do pH final foi realizada e os valores foram plotados em função dos valores de pH inicial (ČEROVIĆ et al., 2007).

2.4 Otimização das condições de adsorção

Com objetivo de determinar os parâmetros de massa do carvão ativado e o pH da solução em que a adsorção fosse eficiente, foi realizado um delineamento experimental fatorial completo 2^2 como planejamento inicial (Tabela 2). A otimização foi ajustada a fim de determinar uma melhor condição das variáveis em que atinja uma maior resposta do sistema. Para isso, aplicou-se o delineamento experimental composto central rotacional

2² (DCCR), com pontos centrais e axiais (Tabela 2). Os valores de pH foram definidos com base no pH_{PCZ}.

Variáveis	Níveis codificados e reais							
	Planejamento 2 ²			DCCR				
	-1	0	+1	-1,41	-1	0	+1	+1,41
pH	2	7	12	3,7	4,5	6,5	8,5	9,3
Massa (g)	0,01	0,03	0,05	0,0021	0,005	0,012	0,020	0,023

Tabela 2. Níveis codificados e reais das variáveis independentes do planejamento fatorial completo 2² e DCCR.

Em cada ensaio foram utilizados 25 mL de uma solução do antibiótico SMX na concentração de 5 mg L⁻¹ e adicionada a massa de carvão ativado e ajustado o pH de acordo com cada delineamento (Tabela 2). A solução foi submetida à agitação em 300 rpm por 2 horas em uma temperatura de 30°C. Após a condução dos testes, as amostras foram filtradas em membranas de Nylon 0,22 µm e realizadas as leituras de absorbância a fim de determinar as concentrações finais de sulfametoxazol.

O *software Statistica*, versão 8.0 (Statsoft™, USA), foi utilizado para determinação dos efeitos das variáveis independentes e para a obtenção de curvas de níveis e a otimização. A resposta utilizada na análise estatística foi a porcentagem de remoção de SMX empregando Análise de Variância (ANOVA) no nível de significância de 95%.

2.5 Cinética e isotermas de adsorção do sulfametozazol em carvão ativado

No estudo da cinética de adsorção, realizado em duplicata, foram utilizadas soluções de sulfametoxazol, com concentração de 5 mg L⁻¹, nas condições ótimas de massa de carvão ativado e pH obtidas no delineamento experimental. Para a condução dos ensaios foram adicionados 0,46 g de carvão ativado em 500 mL da solução. As amostras foram submetidas à agitação orbital constante por 10 h a 300 rpm em uma temperatura de 30°C. Alíquotas da amostra foram coletadas em intervalos de tempo de 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540 e 600 min. As soluções foram filtradas em membranas de Nylon 0,22 µm e determinadas as concentrações de SMX no tempo.

A partir dos valores obtidos para a concentração no equilíbrio, calculou-se a quantidade de sulfametoxazol adsorvido (Equação 1).

$$Q_{eq} = \frac{(C_0 - C_e)}{m} \cdot V \quad \text{Equação 1}$$

Onde Q_{eq} é a quantidade de sulfametoxazol adsorvido por unidade de massa de adsorvente (mg g⁻¹), m é a massa do adsorvente (g), C_0 é a concentração inicial do sulfametoxazol na solução (mg L⁻¹), C_e é concentração de sulfametoxazol na solução em

equilíbrio (mg L^{-1}) e V é o volume da solução (L).

Existem vários modelos cinéticos que descrevem, através de equações matemáticas, o perfil de adsorção de um adsorvato sobre um adsorvente. Os modelos cinéticos mais utilizados são o de pseudo-primeira ordem e o pseudo-segunda ordem (YENER et al., 2006). A equação cinética de pseudo-primeira ordem (Equação 2) descreve sistemas líquido-sólido, baseado na capacidade adsortiva do sólido (HO, 2006).

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{K_1}{2,303} \cdot t \quad \text{Equação 2}$$

Onde q_e (mg g^{-1}) é a quantidade de adsorvato adsorvido no equilíbrio, q_t (mg g^{-1}) é a quantidade de adsorvato adsorvido no tempo, t (min) é o tempo de equilíbrio e K_1 (min^{-1}) é a constante da taxa de adsorção do modelo de pseudo-primeira ordem.

A equação cinética de pseudo-segunda ordem (Equação 3), baseada na adsorção de equilíbrio da fase sólida, determina o desempenho do processo adsortivo em toda a faixa de tempo de contato (HO; MCKAY, 1999).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t \quad \text{Equação 3}$$

Onde q_e (mg g^{-1}) é a quantidade de adsorvato adsorvido no equilíbrio (mg g^{-1}), q_t (mg g^{-1}) é a quantidade de adsorvato removido no tempo e K_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) é a constante da taxa de adsorção do modelo de pseudo-segunda ordem.

Um método simples para se determinar uma isoterma de adsorção consiste na adição de uma massa de adsorvente a uma quantidade de volume de diferentes concentrações iniciais conhecidas até que atinjam o equilíbrio. Após o equilíbrio determina-se a concentração final e a capacidade de adsorção do adsorvente (NASCIMENTO et al., 2014).

A determinação das isotermas de adsorção foi realizada em batelada com testes em triplicata, nas condições ótimas de pH e massa de carvão obtidas. Para a condução dos ensaios, foram adicionadas quantidades de carvão em 25 mL de solução de sulfametoxazol com diferentes concentrações iniciais, sendo elas: 0,5; 2,0; 5,0; 7,0; 10,0; 15,0; 20,0 e 25,0 mg L^{-1} . As amostras foram mantidas sob agitação constante a 300 rpm e nas temperaturas de 25, 40 e 45 °C, por um período de 12 h. Posteriormente, as soluções foram filtradas em membranas de Nylon 0,22 μm e determinada a concentração de SMX.

Modelos das isotermas de Freundlich (Equação 4) (MÓDENES et al., 2011), Langmuir (Equação 5) (LANGMUIR, 1918), Temkin (Equação 6) (EL-SADAAWY; ABDELWAHAB, 2014) e Redlich-Peterson (Equação 7) (NASCIMENTO et al., 2014) foram ajustados aos dados experimentais empregando o método de ajuste não linear pelo programa *Origin 8.0*.

$$q_e = K_F \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{Equação 4}$$

$$q_e = \frac{q_{max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad \text{Equação 5}$$

$$q_e = B \cdot \ln(K_T C_e) \quad \text{Equação 6}$$

$$q_e = \frac{K_R \cdot C_e}{1 + a_R \cdot C_e^\beta} \quad \text{Equação 7}$$

Onde q_{max} é a capacidade máxima de adsorção em mg g^{-1} , K_L a constante de Langmuir relacionada com as forças de interação em L mg^{-1} , R_L o fator de separação, R^2 é o coeficiente de determinação, K_F a constante de Freundlich relacionada a capacidade de adsorção em L mg^{-1} , n a constante da isoterma de Freundlich relacionada a intensidade de adsorção, K_R e a_R as constantes de Redlich-Peterson em L mg^{-1} , β é o expoente do modelo de Redlich-Peterson, β a constante de Temkin que relaciona o calor de adsorção com o número total de sítios em J.mol^{-1} e K_T a constante de equilíbrio de ligação em L mg^{-1} .

2.6 Termodinâmica de adsorção

O estudo dos parâmetros termodinâmicos, de forma estimada, auxilia na caracterização do processo de adsorção, permitindo determinar se o processo é espontâneo, se é conduzido por contribuições entálpica ou entrópica e a natureza do processo (fisissorção ou quimissorção), além de fornecer informações quanto à heterogeneidade da superfície do adsorvente (NASCIMENTO et al., 2014).

Para fins de verificação do efeito da temperatura no processo de adsorção do sulfametoxazol em carvão ativado, os parâmetros termodinâmicos: variação da energia livre de Gibbs (ΔG°) (Equação 8), variação da entalpia (ΔH°) e variação de entropia (ΔS°) (Equação 9) foram calculados a partir dos resultados obtidos nas isotermas de adsorção para diferentes temperaturas (25, 35 e 45°C).

$$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln K_d \quad \text{Equação 8}$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{R \cdot T} \quad \text{Equação 9}$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização espectroscópica e pH_{PCZ}

O espectro de absorção do antibiótico SMX com concentração de 5 mg L^{-1} na faixa do ultravioleta visível possui banda máxima de absorção na região de 266 nm (Figura 2a). O ponto de carga zero para o carvão ativado obtido graficamente (Figura 2b) foi $\text{pH}_{\text{PCZ}} = 6,17$. O pH_{PCZ} é um índice para determinar se o pH da superfície do adsorvente é positivo

ou negativo em relação à adsorção, sendo determinado quando a superfície apresenta o número de cargas positivas igual ao número de cargas negativas, ou seja, é o valor no qual a carga superficial do adsorvente é zero.

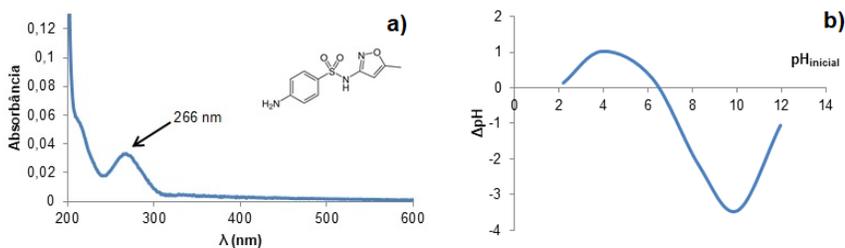


Figura 2. Espectro de absorção UV-VIS da SMX. Concentração de 5 mg L⁻¹ pH= 7 a) e pH_{PCZ} b).

Quando o pH da solução se encontra em valores menores que o do pH_{PCZ}, pode-se determinar que a carga superficial é positiva, favorecendo a adsorção de ânions, enquanto que, em valores maiores, as cargas são negativas, favorecendo a adsorção de cátions (NASCIMENTO et al., 2014). Assim, para valores de pH abaixo de 6,17 o carvão ativado favorece a adsorção de sulfametoxazol na forma aniônica, e para valores acima, favorece a forma catiônica.

3.2 Otimização da massa e pH de adsorção

O delineamento usando o planejamento fatorial completo 2² indicou que o fator pH influenciou de forma significativa a remoção do fármaco SMX. Visando à otimização das condições experimentais obtidas com o planejamento inicial, utilizou-se o DCCR. Optou-se por deslocar os valores dos fatores iniciais (Tabela 2) com base nas observações feitas anteriormente visando melhorar a remoção e aplicou-se o DCCR 2² (Tabela 2).

Na ANOVA (Tabela 3) referente a análise de regressão do modelo quadrático para o DCCR o $F_{calculado}$ (67,2) foi comparado com o $F_{critico}$ (0,05; 5,16) = 2,85. Como o $F_{critico} < F_{calculado}$ o ajuste foi considerado satisfatório. O estudo da falta de ajuste também confirmou que o modelo quadrático e a interação se ajustam satisfatoriamente aos dados experimentais, pois o valor de $F_{critico}$ (0,05; 3,16) = 3,4 foi maior do que o $F_{calculado}$ = 0,3. Tanto a regressão quanto a falta de ajuste foram avaliados no nível de significância de 95%.

Fontes de Variação	SQ	GL	MQ	F _{cálc.}	Modelo	R ²
Regressão	6116,7	5	1223,3	67,2	(%)R	95,5
Resíduos	290,9	16	18,2		= -63,6(±16,5) + 18,2(±4,4)	
Falta de ajuste	48,8	3	6,3	0,3	* pH - 1,0(±0,3) * pH ²	
Erro puro	242,1	13	18,6		+ 5990,6(±898,6) * Massa	
Total	6406,8	21			- 59010,02(±23990,8) * Massa ² - 306,5(±101,6) * pH * Massa	

SQ = Soma quadrática; GL = Graus de liberdade; MQ = Média Quadrática.

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) da regressão e modelo quadrático predito para o efeito do pH e massa de carvão ativado sobre a adsorção do sulfametoxazol

A análise dos efeitos lineares e quadráticos das variáveis estudadas, bem como as suas interações sobre a remoção do analito, permite verificar a ocorrência de vários efeitos negativos. Foram significativos todos os efeitos individuais e a interação binária pH *versus* massa de carvão. Dentre estes efeitos, apenas a massa linear e o pH linear foram sinérgicos para o aumento do percentual de adsorção do sulfametoxazol, ou seja, seu aumento conduz a melhores resultados. Os demais efeitos apresentaram comportamento antagônico apontando melhores respostas quando reduzidos.

O efeito mais significativo para a adsorção do sulfametoxazol foi a massa de carvão, visto que apresentou coeficiente positivo para o termo linear indicando sinergismo (Tabela 3). No entanto, o termo quadrático para este fator apresentou efeito antagônico sugerindo que a adsorção possui dependência linear com este efeito. Apesar de possuir valor positivo, o termo linear para o pH apresentou baixa relevância quando comparado ao efeito de massa, Quanto maior a massa do carvão ativado, maior a quantidade de sulfametoxazol adsorvido, pois há o aumento da disponibilidade de sítios ativos na superfície do adsorvente .

Com a aplicação do DCCR obteve-se a superfície de resposta e o gráfico de contornos (Figura 3) com base no modelo quadrático para a remoção de SMX. No processo estudado o coeficiente de determinação (R²) do modelo quadrático explicou 95,5% da variância e a remoção indicada foi de até 80%. Como resposta mais favorável à adsorção do analito em solução aquosa foi indicada pela ferramenta de otimização a massa de 0,023 g de carvão ativado e pH igual a 5,6. Tal condição foi utilizada nos ensaios subsequentes. O percentual de remoção previsto foi de 93,8%.

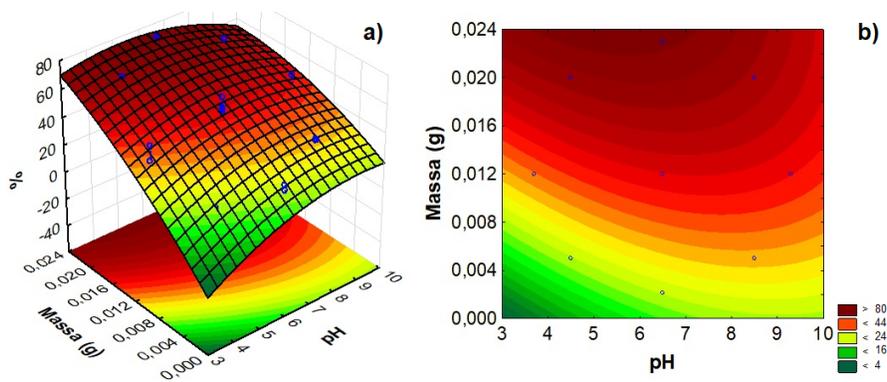


Figura 3. Superfícies de resposta a) e Gráfico de contornos da eficiência de remoção SMX (%) por adsorção em carvão ativo

Apesar das concentrações de fármacos encontradas no meio ambiente serem muito inferiores a 5 mg L^{-1} , é comum o uso de altas concentrações em estudos investigativos exploratórios e preliminares a fim de serem obtidos direcionamentos para posterior investigação, considerando a dinâmica na matriz natural.

Como o pH aplicado na solução foi de 5,6, a superfície do adsorvente carvão ativado apresentará cargas positivas, de acordo com o observado no estudo do pH_{PCZ} (Figura 2b). Entretanto, o analito está na faixa de $\text{p}K_a$ de transição da forma aniônica para a neutra (Figura 1b) sugerindo que o mecanismo de adsorção não depende apenas de interações eletrostáticas, mas também das interações de Van der Waals de menor intensidade (fisissorção).

3.3 Cinética e isotermas de adsorção do smx em carvão ativo

Pode-se inferir sobre o tempo de equilíbrio do processo de adsorção, ocorre quando não há mais aumento de Q_e em função do tempo, ou seja, o adsorvente atinge seu ponto de saturação, alcançando o valor máximo de adsorção (Figura 4a). Para o processo de adsorção do sulfametoxazol em carvão ativado, o tempo de equilíbrio foi de 360 minutos, removendo $4,52 \text{ mg g}^{-1}$, atingindo 92,17% de remoção. Observou-se que há uma maior velocidade de adsorção nos estágios iniciais do processo seguida de uma redução quando próxima ao estado de equilíbrio. Nos primeiros 90 min a remoção chegou a 50%. Este comportamento se dá pela quantidade de sítios vazios no período inicial, sendo esses preenchidos ao longo do processo.

Esses resultados são semelhantes a estudos anteriores e sugerem afinidade do SMX para adsorventes orgânicos. A avaliação da remoção de sulfametoxazol em solução aquosa utilizando carvão ativado de 1 a 3 g L^{-1} em soluções com diferentes concentrações iniciais (1 a 10 mg L^{-1}) por 6h a 25°C , obteve uma remoção superior a 90% (TAMBOSI et al., 2010). Outro estudo de natureza semelhante usando biossorção em casca de arroz em 25

mL da solução a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, com 50 mg de adsorvente em 150 rpm a uma temperatura de 25° reportou 96% de remoção em 20 minutos de contato (TAVARES et al., 2017).

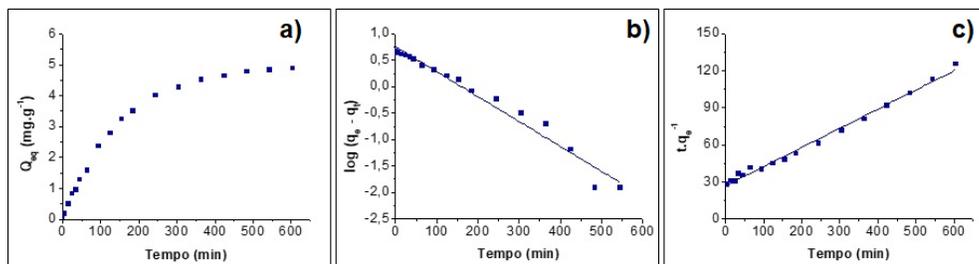


Figura 4. Dados Cinéticos de Adsorção do Fármaco Sulfametoxazol pelo Adsorvente Carvão Ativado ($m = 0,46 \text{ g}$; $V = 0,5 \text{ L}$; $C_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$; $T = 30^\circ\text{C}$; $\text{pH } 5,6$; 300 rpm; 600 min). Remoção no tempo a). Ajuste do modelo de pseudo-primeira ordem b) e Ajusta do modelo de pseudo-segunda ordem c)

Para investigar os mecanismos da cinética de adsorção, os dados experimentais para determinação do tempo de contato foram ajustados aos modelos cinéticos pseudo-primeira ordem (Figura 4b), que sugere uma adsorção física, não representa o melhor ajuste para esses dados experimentais e pseudo-segunda ordem (Figura 4c) que sugere quimissorção.

O modelo pseudo-segunda ordem é o que melhor se ajusta aos dados experimentais da cinética de adsorção do sulfametoxazol em carvão ativado, apresentando um coeficiente de determinação de 0,996 (para o modelo de Pseudo-primeira ordem $R^2=0,95$). Os valores de q_e calculado ($5,94$ e $5,97 \text{ mg g}^{-1}$) não possuem ampla variação entre os modelos e se aproximam ao q_e experimental, porém o pseudo-segunda ordem se aproxima de modo mais coerente. Esse modelo cinético pressupõe que a natureza da adsorção é química (quimissorção), havendo troca de elétrons entre o sulfametoxazol e o carvão ativado (HO, 2006). Os valores das constantes foram $K_1=0,004 \text{ min}^{-1}$ para pseudo-primeira ordem e $K_2=0,01 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ para pseudo-segunda ordem.

Algumas avaliações cinéticas de adsorção em trabalhos anteriores obtiveram o mesmo modelo de pseudo-segunda ordem como melhor descrição do fenômeno de sorção. Um estudou fármacos em carvão ativado em pó mineral (Norit® 830 GAC), dentre eles o sulfametoxazol, obtendo um R^2 de 0,9992, q_e de $10,76 \text{ mg g}^{-1}$, K_2 de $0,09 \text{ g mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a uma temperatura de 25° , em condições experimentais de C_0 10 mg L^{-1} , utilizando uma massa de 3 mg em um tempo de contato de 360 min e pH natural. A cinética do processo de remoção do SMX em casca de arroz em 25 mL da solução a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, com 50 mg de adsorvente em 150 rpm, a um temperatura de 25° , apresentou como resultado um q_e de $0,47 \text{ mg g}^{-1}$, um K_2 de $0,75 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ e um R^2 igual a 1 (TAVARES et al., 2017).

Os dados de equilíbrio obtidos para avaliação das isotermas de adsorção do sulfametoxazol não apresentou uma variação nas temperaturas de 35 e 45°C nas concentrações iniciais de 15 a 35 mg L⁻¹, porém, a 25°C a quantidade de Q_e e a eficiência do processo se apresentaram menores quando comparados às outras temperaturas, indicando que com aumento da temperatura há um aumento da eficiência do processo. Em concentrações maiores, foi possível observar uma maior variação entre todas as temperaturas. Com isso, é possível afirmar que a temperatura exerce influência sobre a eficiência do processo de adsorção, principalmente quando em altas concentrações (Figura 5).

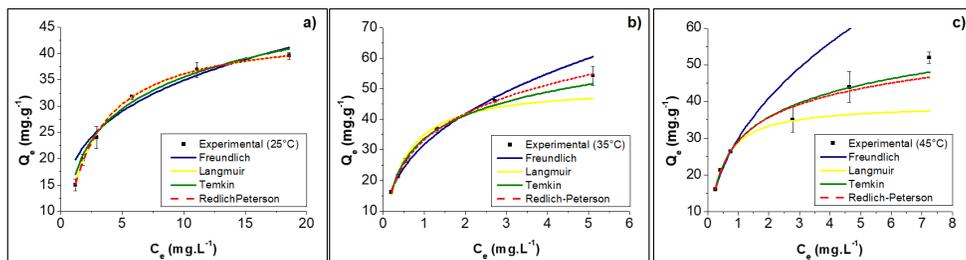


Figura 5. Ajuste das Isotermas de Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson e Temkin para Adsorção do Sulfametoxazol em Carvão Ativado nas Temperaturas de 25°C (a), 35°C (b) e 45°C (c)

As maiores eficiências de remoção ocorreram a 35°C, principalmente em concentrações iniciais, como 15 a 35 mg L⁻¹, com valores entre 98 e 96%, respectivamente, sugerindo um maior potencial de remoção nessas condições. Na temperatura de 45°C, atingiram-se valores próximos de eficiência (98% e 92%), porém a 35°C apresenta-se vantagem, pois é próxima à temperatura ambiente. O processo de adsorção a uma temperatura de 35°C obteve uma maior capacidade adsorptiva (Q_e) chegando a 54,23 mg g⁻¹, seguido da temperatura de 45°C, que obteve Q_e de 51,91 mg g⁻¹. Para estabelecer a correlação mais adequada para as curvas de equilíbrio e estimar os parâmetros das isotermas, os dados experimentais nas temperaturas de 25, 35 e 45°C, foram ajustados aos modelos de Langmuir, Freundlich, Temkin e Redlich-Peterson (Figura 5).

Considerando o R^2 para determinar a isoterma que descreve o processo de adsorção, é possível afirmar que os dados de equilíbrios foram melhor ajustados ao modelo de Langmuir nas temperaturas de 25 e 45°C (Tabela 4). Já para a temperatura de 35°C, o modelo de Redlich-Peterson foi o que melhor se ajustou. Esse modelo engloba características dos modelos de Freundlich e Langmuir, sendo o coeficiente β que define qual dos dois é mais bem descrito. Todos os valores de β obtido tendem a 1, demonstrando uma maior relação com o modelo de Langmuir.

Parâmetros	25°C	35°C	45°C
Langmuir			
q_{max} (mg g ⁻¹)	44,52	51,08	39,29
K_L (L mg ⁻¹)	0,43	2,18	2,73
R_L	0,05	0,01	0,01
R^2	0,99	0,98	0,99
Freundlich			
K_F (L mg ⁻¹)	14,56	31,78	29,90
n	2,48	2,53	2,22
R^2	0,98	0,98	0,98
Temkin			
B (J mol ⁻¹)	8,68	11,00	9,51
K_T (L mg ⁻¹)	5,99	21,32	21,40
R^2	0,96	0,99	0,99
Redlich-Peterson			
K_R (L mg ⁻¹)	19,43	192,10	130,75
a_R (L mg ⁻¹)	0,44	4,77	3,48
β	0,99	0,77	0,87
R^2	0,99	0,99	0,99
Parâmetros termodinâmicos			
ΔG° (kJ mol ⁻¹)	-28,75	-33,87	-35,57
ΔH° (kJ mol ⁻¹)	-	0,35	-
ΔS° (kJ mol ⁻¹ K ⁻¹)	-	73,48	-

Tabela 4. Parâmetros de Isotermas de Langmuir, Freundlich, Temkin e Redlich-Peterson e parâmetros termodinâmicos para a adsorção do sulfametoxazol em carvão ativado

O modelo de Langmuir considera que o processo de adsorção ocorre de forma homogênea, em sítios uniformes e com a mesma energia em toda a superfície, ocorrendo em monocamadas de sulfametoxazol adsorvidas, caracterizando as interações ente adsorvato e adsorvente como quimissorção (OLIVEIRA et al., 2002). Em relação aos parâmetros do modelo de Langmuir, pode-se dizer que os valores K_L , que indica a intensidade na interação do adsorvente com o adsorvato, aumentaram com a elevação das temperaturas, indicando um processo de natureza endotérmica. Observa-se que as constantes K_T apresentam um mesmo comportamento (NASCIMENTO et al., 2014).

O valor de q_{max} , que indica a quantidade máxima de sulfametoxazol adsorvido por carvão ativado, obteve uma capacidade máxima a 35°C, confirmando que essa temperatura favorece o processo. Quanto ao fator de separação R_L , para todas as temperaturas foram maiores que zero e menores que um, indicando que nessas condições o processo de adsorção do sulfametoxazol pelo carvão ativado é favorável, ou seja, o adsorvato prefere adsorver na fase sólida à fase líquida, favorecendo a relação do sulfametoxazol com o

carvão ativado.

O parâmetro n , do modelo de Freundlich, apresentou-se com valores maiores que 1, indicando um processo favorável à interação do adsorvente pelo adsorvato, mesmo que esse modelo não se ajustando a nenhuma temperatura.

Para compreender o comportamento termodinâmico do processo de adsorção do sulfametoxazol sobre o carvão ativado, foram determinados os valores de energia livre de Gibbs (ΔG°), variação de entalpia (ΔH) e variação de entropia (ΔS). Os valores de ΔG° , ΔH° e ΔS° foram estimados a partir do parâmetro (K_L) do modelo da isoterma de Langmuir, convertidos de $L.mg^{-1}$ em $L.mol^{-1}$ (Tabela 4).

Os valores de ΔG° se apresentaram de forma negativa e os valores de ΔS° de forma positiva indicando assim que o processo ocorre espontaneamente em temperaturas mais altas, não havendo necessidade de forças externas, e ainda prova a afinidade entre o sulfametoxazol e o carvão ativado (NASCIMENTO et al., 2014). Outro aspecto é que quanto mais negativos os valores de ΔG° maior a força motriz utilizada para realizar o processo de adsorção, ou seja, mais energeticamente favorável é o processo. Assim, para esta análise, quanto maior a temperatura, menor o valor de ΔG° , indicando uma maior espontaneidade do processo e uma maior força motriz, sendo assim, um aumento da capacidade de adsorção em temperaturas maiores.

Quanto ao ΔS° , seu valor positivo sugere que há um aumento da entropia na interface sólido/líquido com mudanças em suas estruturas, e o valor positivo de ΔH° confirma que o processo de adsorção do sulfametoxazol é de natureza endotérmica (NASCIMENTO et al., 2014). Considerando o alto valor em módulo apresentado por ΔG° , espera-se que a natureza da adsorção seja química, porém a quimissorção ocorre quando o valor de ΔH° atinge a faixa de $-40 kJ.mol^{-1}$ a $-400 kJ.mol^{-1}$, sendo esses valores maiores que o esperados para fisissorção (ERBIL, 2009).

É possível que o processo de adsorção entre o carvão ativado e o sulfametoxazol tenha sido por interação eletrostática, devido ao alto valor de ΔG° , já que a energia que ocorreu nessa interação, que se compara a de uma troca iônica, foi maior que as que ocorrem em interações físicas clássicas, como a de Van der Waals. Sabe-se que as interações eletrostáticas em compostos orgânicos podem ser muito energéticas ou apresentar valores médios, como os valores obtidos. As moléculas orgânicas apresentam capacidade de estabilizar suas cargas na estrutura química através da eletronegatividade do átomo portador da carga, do efeito de ressonância e pelo efeito indutivo (doando ou retirando elétrons). Com isso pode-se explicar a diminuição energética apresentada nesse estudo. Analisando os valores de pK_a do sulfametoxazol aliado ao valor de pH_{PCZ} obtido pela análise do carvão ativado, é possível perceber que no pH aplicado no estudo a molécula de sulfametoxazol estará na faixa de pK_a de transição da cargas negativas e neutra, enquanto o carvão ativado possui cargas positivas, podendo conduzir a uma interação eletrostática.

4 | CONCLUSÕES

A análise do efeito do pH da solução de sulfametoxazol e da massa de carvão ativado mostrou que os parâmetros individuais causam efeitos positivos, porém, a massa apresenta influência mais significativa no processo de adsorção. A condição otimizada para a adsorção de sulfametoxazol foi de massa igual a 0,023 g de carvão ativado e pH igual a 5,6, prevendo um percentual de remoção de 73,8%. Analisando o efeito do tempo de contato na capacidade de adsorção e a eficiência de remoção do fármaco sulfametoxazol pelo carvão ativado, através da cinética de adsorção, obteve-se uma eficiência de 92,17%, removendo 4,53 mg g⁻¹ em um tempo de equilíbrio de 360 minutos.

Através dos parâmetros cinéticos de adsorção avaliados, verificou-se que a adsorção do sulfametoxazol pelo carvão ativado segue o comportamento descrito pelo modelo de pseudo-segunda ordem, o qual pressupõe um processo por quimissorção.

O comportamento das isotermas de adsorção demonstrou que em temperaturas mais altas há um aumento na capacidade de adsorção do sulfametoxazol pelo carvão ativado. Os melhores resultados foram obtidos a 35°C, atingindo valores entre 96 e 98% de remoção.

No estudo dos modelos das isotermas, a equação de Langmuir representou melhor os dados de equilíbrio experimentais, indicando novamente uma adsorção de natureza química, que ocorre em monocamada na superfície dos adsorventes. O parâmetro do modelo de Langmuir K_L , que indica a intensidade na interação do adsorvente com o adsorvato prevê um processo de natureza endotérmica.

Os parâmetros termodinâmicos demonstraram, por meio dos valores negativos de ΔG° associados ao valor positivo de ΔS° , que o processo ocorre de forma espontânea em altas temperaturas e que há afinidade entre o sulfametoxazol e o carvão ativado, além do valor de ΔH° confirmar que o processo de adsorção do sulfametoxazol é de natureza endotérmica. Porém, ao analisar os valores de pK_a do sulfametoxazol aliado ao valor de pH_{PCZ} obtido pela análise do carvão ativado, no valor de pH aplicado ao estudo, a molécula de sulfametoxazol indica que o processo pode ser conduzido também por interação eletrostática.

Os resultados desta pesquisa demonstraram que o carvão ativado granular possui um bom potencial na remoção do microcontaminante emergente sulfametoxazol por meio da técnica de adsorção em solução aquosa, afirmando a aplicabilidade desse método.

REFERÊNCIAS

ANDREOZZI, R.; RAFFAELE, M.; NICKLAS, P. Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment. **Chemosphere**, v. 50, n. 10, p. 1319–1330, 2003.

AVISAR, D.; LESTER, Y.; RONEN, D. Sulfamethoxazole contamination of a deep phreatic aquifer. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 14, p. 4278–4282, 2009.

BARCELÓ, D. Emerging pollutants in water analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 22, n. 10, p. xiv–xvi, 2003.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Pharmaceutical drugs in the environment. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523–530, 2003.

BOREEN, A. L.; ARNOLD, W. A.; MCNEILL, K. Photochemical Fate of Sulfa Drugs in the Aquatic Environment: Sulfa Drugs Containing Five-Membered Heterocyclic Groups. **Environmental Science & Technology**, v. 38, n. 14, p. 3933–3940, 2004.

CANELA, M. C.; JARDIM, W. F.; SODRÉ, F. F.; GRASSI, M. T. Cafeína em águas de abastecimento público no Brasil. São Carlos: Editora Cubo, 2014.

CARBALLA, M.; OMIL, F.; LEMA, J. M.; LLOMPART, M.; GARCÍA-JARES, C.; RODRÍGUEZ, I.; GÓMEZ, M.; TERNES, T. Behavior of pharmaceuticals, cosmetics and hormones in a sewage treatment plant. **Water Research**, v. 38, n. 12, p. 2918–2926, 2004.

ČEROVIĆ, L. S.; MILONJIĆ, S. K.; TODOROVIĆ, M. B.; TRTANJ, M. I.; POGOZHEV, Y. S.; BLAGOVESCHENSKI, Y.; LEVASHOV, E. A. Point of zero charge of different carbides. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 297, n. 1–3, p. 1–6, 2007.

CLAUDINO, A. Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CORNELISSEN, G.; GUSTAFSSON, Ö.; BUCHELI, T. D.; JONKER, M. T. O.; KOELMANS, A. A.; VAN NOORT, P. C. M. Extensive Sorption of Organic Compounds to Black Carbon, Coal, and Kerogen in Sediments and Soils: Mechanisms and Consequences for Distribution, Bioaccumulation, and Biodegradation. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 18, p. 6881–6895, 2005.

COSTA, I. L.; PLETSCH, A. L.; TORRES, Y. R. Occurrence of antidepressant drugs in the environment - A review. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, p. 1408–1431, 2014.

EL-SADAAWY, M.; ABDELWAHAB, O. Adsorptive removal of nickel from aqueous solutions by activated carbons from doum seed (*Hyphaenethebaica*) coat. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, n. 2, p. 399–408, 2014.

ERBIL, H. Y. **Surface Chemistry: Of Solid and Liquid Interfaces**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.

GAGNÉ, F.; BLAISE, C.; ANDRÉ, C. Occurrence of pharmaceutical products in a municipal effluent and toxicity to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 64, n. 3, p. 329–336, 2006.

HALLING-SØRENSEN, B.; NORS NIELSEN, S.; LANZKY, P. F.; INGERSLEV, F.; HOLTEN LÜTZHÖFT, H. C.; JØRGENSEN, S. E. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment- A review. **Chemosphere**, v. 36, n. 2, p. 357–393, 1998.

HERNANDO, M. D.; MEZCUA, M.; FERNÁNDEZ-ALBA, A. R.; BARCELÓ, D. Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. **Talanta** v. 69, p. 334–342, 2006.

HO, Y. S.; MCKAY, G. Pseudo-second order model for sorption processes. **Process Biochemistry**, v. 34, n. 5, p. 451–465, 1999.

HO, Y. S. Review of second-order models for adsorption systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 3, p. 681–689, 2006.

KÜMMERER, K.; AL-AHMAD, A.; MERSCH-SUNDERMANN, V. Biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in a simple test. **Chemosphere**, v. 40, n. 7, p. 701–710, 2000.

KÜMMERER, K.. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use – present knowledge and future challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 8, p. 2354–2366, 2009.

LANGMUIR, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society**, v. 40, n. 9, p. 1361–1403, 1918.

LIMA, D. R. S.; AFONSO, R. J. C. F.; LIBÂNIO, M.; AQUINO, S. F. de. Evaluation of removal of pharmaceuticals and endocrine disrupters in drinking water by clarification at bench scale. **Química Nova**, v. 37, n. 5, p. 783–788, 2014.

LOCATELLI, M. A. F.; SODRÉ, F. F.; JARDIM, W. F. Determination of antibiotics in Brazilian surface waters using liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 60, n. 3, p. 385–393, 2011.

MÓDENES, A. N.; ESPINOZA, F. R.; ALFLEN, V. L.; COLOMBO, A.; BORBA, C. E. Utilização da Macrófita *Egeria densa* na biosorção do corante reativo 5G. **Engvista**, v. 13, n. 3, 2011.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. Alves; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NAVARRETE, C. R.; GARCÍA, R. A.; REY, B. F.; ESPÍNOLA, L. A.; VALENZUELA, C. C.; NAVARRETE, G. A. Interactions of xanthines with activated carbon. **Applied Surface Science**, v. 252, n. 17, p. 6022–6025, 2006.

NOVELLI, A.; ROSI, E. Pharmacological properties of oral antibiotics for the treatment of uncomplicated urinary tract infections. **Journal of Chemotherapy**, v. 29, n. sup1, p. 10–18, 2017.

OLIVEIRA, L. C. A.; RIOS, R. I. V. R. A.; FABRIS, J. D.; GARG, V.; SAPAG, K.; LAGO, R. M. Activated carbon/iron oxide magnetic composites for the adsorption of contaminants in water. **Carbon**, v. 40, n. 12, p. 2177–2183, 2002.

PEREIRA, P. F.; SILVA, W. P. da; MUÑOZ, R. A. A.; RICHTER, E. M. Fast and simultaneous determination of sulfamethoxazole and trimethoprim using batch injection analysis with amperometric detection and boron-doped diamond electrode. **Química Nova**, v. 38, n. 5, p. 663–668, 2015.

RICHARD, J.; BOERGERS, A.; VOM EYSER, C.; BESTER, K.; TUERK, J. Toxicity of the micropollutants Bisphenol A, Ciprofloxacin, Metoprolol and Sulfamethoxazole in water samples before and after the oxidative treatment. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 217, n. 4–5, p. 506–514, 2014.

- RIMOLI, M. F. da S.; NOGUEIRA, R. M.; FERRARINI, S. R.; CASTRO, P. M. de; PIRES, E. M. Preparation and characterization of carbon from the fruit of brazil nut tree activated by physical process. **Revista Árvore**, v. 43, n. 2, p. 1–10, 2019.
- RIVERA-UTRILLA, J.; SÁNCHEZ-POLO, M.; FERRO-GARCÍA, M. Á.; PRADOS-JOYA, G.; OCAMPO-PÉREZ, R. Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. **Chemosphere**, v. 93, n. 7, p. 1268–1287, 2013.
- RODRÍGUEZ-REINOSO, F.; MOLINA-SABIO, M.; GONZÁLEZ, M. T. The use of steam and CO₂ as activating agents in the preparation of activated carbons. **Carbon**, v. 33, n. 1, p. 15–23, 1995.
- SACHER, F.; LANGE, F. T.; BRAUCH, H.J.; BLANKENHORN, I. Pharmaceuticals in groundwaters: Analytical methods and results of a monitoring program in Baden-Württemberg, Germany. In: **Journal Of Chromatography A**, Anais, p. 199–210, 2001.
- SAHOO, K. C.; TAMHANKAR, A. J.; JOHANSSON, E.; LUNDBORG, C. S. Antibiotic use, resistance development and environmental factors: a qualitative study among healthcare professionals in Orissa, India. **BMC Public Health**, v. 10, n. 1, p. 629, 2010.
- STACKELBERG, P. E.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. I T.; ZAUGG, S. D.; HENDERSON, A. K.; REISSMAN, D. B. Persistence of pharmaceutical compounds and other organic wastewater contaminants in a conventional drinking-water-treatment plant. **Science of the Total Environment**, v. 329, n. 1–3, p. 99–113, 2004.
- TAMBOSI, J. L.; YAMANAKA, L. Y.; JOSÉ, H. J.; MOREIRA, R. de F. P. M. de; SCHRÖDER, H. F. Recent research data on the removal of pharmaceuticals from sewage treatment plants (STP). **Quimica Nova**, v. 33, n. 2, p. 411–420, 2010.
- TAVARES, L. Q.; SOUSA, P. A. R.; COELHO, L. M.; SIQUEIRA, J. G. M. Estudo cinético da adsorção do antibiótico sulfametoxazol pela casca de arroz in natura. In: **Tecnologias em pesquisa: ciências exatas e biológicas**: Editora Blucher, 2017. p. 43–58.
- TERNES, T.A.; JOSS, A.; SIEGRIST, H.. Peer Reviewed: Scrutinizing Pharmaceuticals and Personal Care Products in Wastewater Treatment. **Environmental Science & Technology**, v. 38, n. 20, p. 392A-399A, 2004.
- TERNES, T. A.; MEISENHEIMER, M.; MCDOWELL, D.; SACHER, F.; BRAUCH, H. J.; HAIST-GULDE, B.; PREUSS, G; WILME, U.; ZULEI-SEIBERT, N. Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. **Environmental Science and Technology**, v. 36, n. 17, p. 3855–3863, 2002.
- TEUBER, M. Veterinary use and antibiotic resistance. **Current Opinion in Microbiology**, v. 4, n. 5, p. 493–499, 2001.
- WISE, R. Antimicrobial resistance: Priorities for action. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 49, n. 4, p. 585–586, 2002.
- YENER, J.; KOPAC, T.; DOGU, G.; DOGU, T. Adsorption of Basic Yellow 28 from aqueous solutions with clinoptilolite and amberlite. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 294, n. 2, p. 255–264, 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 139, 140

Aerosoles 159, 160, 161, 162, 163, 166, 167, 168

Alaranjado de metila 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Área de proteção ambiental 145, 148, 158

Área superficial elevada 74

Aspergillus niger 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24

Aterros 125, 131, 132

C

Celulosa 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24

Colorantes 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 21

Compostagem 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 124

Contaminação ambiental 26, 130

Contaminação hídrica 56

D

Decantador de coluna 82

F

Fármacos 35, 36, 37, 38, 39, 46, 47

Floco decantador de manta de lodo 82

Fósforo 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71

I

Índigo carmín 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23

L

Lodo de lagoa de estabilização 82, 93

M

Mathematical air dispersion modeling 186

Meio ambiente 36, 37, 46, 56, 72, 94, 101, 120, 124, 125, 128, 129, 145, 146, 148, 170, 171, 172, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183

Meio suporte alternativo 74, 75, 76

Metais tóxicos 125, 126, 128

Micropoluentes 35, 39

O

Odour monitoring 186

Odour sensors 186

Óxidos de ferro 55, 57, 58, 59, 62, 63

P

Plástico reciclável 74

Processo contínuo 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33

Processo de lixiviação 130, 131

Processo em batelada 25, 26, 27, 28, 31, 33

Q

Queima de biomassa 159, 160, 161, 162, 166, 167, 168

R

Radiocarbono 160, 161, 162, 167

Reação de Fenton 26

Resíduo sólido 108

Resíduos sólidos domiciliares 95, 96, 97

Resíduo zero 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 121, 123, 124

Resinas 99, 100, 101, 104

S

Saneamento rural 56

Saúde humana 37, 125, 126, 128, 170, 171, 172, 178

Secagem em estufa agrícola 82, 88, 89, 90, 93

Solubilização 130

T

Termoplásticos 99, 100, 105

Tratamiento de agua 1, 13, 14

U

Unidade de conservação 145, 146, 158

Uso do solo 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 158, 172, 178, 180, 186

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 