



Atena  
Editora

Ano 2021

# Química:

Debate entre a Vida Moderna  
e o Meio Ambiente

**Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua**  
(Organizador)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# Química:

Debate entre a Vida Moderna  
e o Meio Ambiente

**Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua**  
(Organizador)

**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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

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

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> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

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. 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. 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
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  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. 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. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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



## Química: debate entre a vida moderna e o meio ambiente

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Kimberlly Elisandra Gonçalves Carneiro  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Q6 Química: debate entre a vida moderna e o meio ambiente /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. –  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5706-978-3  
DOI 10.22533/at.ed.783211204

1. Química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva  
(Organizador). II. Título.

CDD 540

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

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

O E-book: “Química: Discutindo a Vida Moderna e o Meio Ambiente” em seu volume I é composto por dezoito trabalhos científicos em forma de capítulos que buscam apresentar e promover a discussão em relação à busca por alternativas e soluções que visem ampliar o aproveitamento de matéria-prima de origem vegetal que são tratados como resíduos e até passivos ambientais. Neste sentido, a incorporação de materiais lignocelulósicos (rico em fibras, vitaminas e outros nutrientes) como matéria-prima na composição de outros alimentos vem sendo cada vez mais investigado e aplicado tanto na nutrição animal quanto na humana. Além disso, a biomassa vegetal vem sendo estudada para: (i) produção de materiais e utensílios com propriedades semelhantes às encontradas em matérias-primas virgens provenientes de fontes não renováveis e que causam grandes impactos ao ambiente tanto em sua extração quanto no descarte após sua utilização; (ii) produção de combustíveis oriundos de fontes renováveis e que causam menor impacto ao meio ambiente; (iii) materiais com alta capacidade de remoção de poluentes presentes em diferentes matrizes aquosas e com enorme potencial para serem utilizados tanto em substituição quanto na complementação de etapas convencionais de tratamento de água e esgoto.

Neste contexto a busca por novos materiais; tecnologias que proporcionam maior rapidez, menor consumo de reagentes, reaproveitamento de materiais, solventes menos tóxicos e produzidos a partir de fontes renováveis vêm ganhando cada vez mais espaço e se constituindo na chamada Química Verde.

No entanto, apesar de todos os esforços que vem sendo feitos nos diferentes setores da indústria, pesquisa e tecnologia na busca por processos ecologicamente mais corretos e sustentáveis, o estilo de vida da população fundamentado no consumo além da necessidade vem ocasionando inúmeros impactos ambientais tanto a biota aquática quanto aos diferentes ecossistemas do planeta Terra, tendo nos recursos hídricos o principal meio de propagação de substâncias provenientes de inúmeras fontes, em especial pelo sistema de saneamento básico e pela aplicação de pesticidas nas atividades agropecuárias.

Neste contexto, inúmeras técnicas de detecção e quantificação em escala traço (ng a  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) vem se destacando pela miniaturização ou capacidade de detectar e quantificar inúmeras classes de compostos (resíduos de fármacos, pesticidas, drogas ilícitas, hormônios, dentre outros) que se constituem em uma classe de substâncias na qual não se conhece os possíveis efeitos deletérios a médio e longo prazo para a saúde humana e do ambiente.

Com o intuito de colaborar tanto na divulgação quanto na disseminação de novos conhecimentos, a Atena Editora organiza e publica trabalhos de alta relevância, disponibilizando de forma gratuita em diferentes plataformas de busca e pesquisa.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **REAPROVEITAMENTO DAS CASCAS DE BANANA, LIMÃO E LARANJA NA PREPARAÇÃO DE PANQUECAS**

Flávia Morais da Silva

Eliane de Fátima Souza

Vitoria Marques Cesar Leite

**DOI 10.22533/at.ed.7832112041**

### **CAPÍTULO 2..... 7**

#### **DESENVOLVIMENTO DE BIOFILME A PARTIR DO BAGAÇO DA LARANJA**

Lucas Fernandes Domingues

**DOI 10.22533/at.ed.7832112042**

### **CAPÍTULO 3..... 16**

#### **ELABORAÇÃO DE UM IMPERMEABILIZANTE TÊXTIL À BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) COM PROPRIEDADES ANTIMICROBIANAS PROVENIENTES DO ÓLEO DA *MORINGA OLEIFERA***

Livia Mazuche Freire e Silva

Marcela Andrade Chagas

Maria Gabrielli Maciel Gonçalves

Mariana Ramos de Moraes

Ana Paula Ruas de Souza

Isabel Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.7832112044**

### **CAPÍTULO 4..... 29**

#### **PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE LARANJA ATIVADO COM CLORETO DE CÁLCIO E SUA APLICAÇÃO EM TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM NITRATO**

Lucas Fernandes Domingues

Greice Queli Nardes Cruz

Idel Perpetua Castro

Isadora Aparecida Archioli

Lorena Cristina Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.7832112045**

### **CAPÍTULO 5..... 37**

#### **QUALIDADE DO AR: MARCADORES DE PAPEL DE BIBLIOTECA**

Thairine Lima dos Santos

Celeste Yara dos Santos Siqueira

**DOI 10.22533/at.ed.7832112046**

### **CAPÍTULO 6..... 47**

#### **RESTRAINTS ANALYSIS FOR THE RENEWABLE ENERGY EXPANSION IN BRAZIL SENSITIVE BIOMES FROM THE IRP PERSPECTIVE**

Ivo Leandro Dorileo

Leonardo G. de Vasconcelos

Mauro Donizeti Berni

**DOI 10.22533/at.ed.7832112047**

**CAPÍTULO 7.....65**

**REAPROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DO POLIESTIRENO**

Miriam Lucia Chiquetto Machado

Lucas Barreto Santos

Nilson Casimiro Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.7832112048**

**CAPÍTULO 8.....77**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADEQUAÇÃO DA SÍNTESE DO CICLOEXENO AO CONTEXTO DA QUÍMICA VERDE**

Gabriely Golombieski

Marilei Casturina Mendes Sandri

Cássia Gonçalves Magalhães

**DOI 10.22533/at.ed.7832112049**

**CAPÍTULO 9.....85**

**PRESENÇA DE PESTICIDAS EM ALIMENTOS DE ORIGEM VEGETAL NO BRASIL: O “VENENO” LEGALIZADO E INGERIDO DE FORMA HOMEOPÁTICA**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**DOI 10.22533/at.ed.78321120410**

**CAPÍTULO 10.....98**

**PRESENÇA DE COCAÍNA/CRACK, HORMÔNIOS E MICROPLÁSTICOS EM DIFERENTES MATRIZES AQUÁTICAS NO BRASIL E TOXICOLOGIA AOS ORGANISMOS EXPOSTOS**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**DOI 10.22533/at.ed.78321120411**

**CAPÍTULO 11..... 110**

**CAFEÍNA, UM MARCADOR ANTROPOGÊNICO DE POLUIÇÃO AMBIENTAL – REVISÃO**

Ismael Laurindo Costa Junior

Christiane Schineider Machado

Adelmo Lowe Plestch

Yohandra Reyes Torres

**DOI 10.22533/at.ed.78321120412**

**CAPÍTULO 12..... 132**

**IDENTIFICAÇÃO DO COMPOSTO TRICLOSAN EM AMOSTRAS DE ÁGUA SUPERFICIAL POR MEIO DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO MOLECULAR**

Gabrielle Delfrate

Renato Itamar Duarte Fonseca

Elizabeth Weinhardt de Oliveira Scheffer

**DOI 10.22533/at.ed.78321120413**

**CAPÍTULO 13..... 138**

**APLICAÇÃO DE MICROCRISTAIS DE  $\beta$ -(Ag<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>) NA DESCOLORAÇÃO DOS CORANTES ORGÂNICOS AZUL DE METILENO E RODAMINA B**

Francisco Henrique Pereira Lopes  
Luis Fernando Guimarães Noletto  
Vitória Eduardo Mendes Vieira  
Amanda Carolina Soares Jucá  
Keyla Raquel Batista da Silva Costa  
Marta Silva de Oliveira  
Priscila Brandão de Sousa  
Yáscara Lopes de Oliveira  
Gustavo Oliveira de Meira Gusmão

**DOI 10.22533/at.ed.78321120414**

**CAPÍTULO 14..... 153**

**MÉTODOS ANALÍTICOS APLICADOS A POLUENTES EM ÁGUAS NATURAIS**

Marciano Fabiano de Almeida  
Ewerton Ferreira Cruz

**DOI 10.22533/at.ed.78321120415**

**CAPÍTULO 15..... 167**

**ELECTROANALYTICAL DETECTION OF Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> AND Zn<sup>2+</sup> BY BORON DOPED DIAMOND ELECTRODE IN AMAZON BASIN**

Neila de Almeida Braga  
Lidiane Martins Moura Ferreira  
Maurício Ribeiro Baldan  
Neidenêi Gomes Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.78321120416**

**CAPÍTULO 16..... 181**

**A STATISTICAL MULTIVARIATE APPROACH TO EVALUATE FLUORINE CONTENT IN BRAZILIAN TOOTHPASTES**

Viviane Maria Schneider  
Bryan Brummelhaus de Menezes  
Lucas Mironuk Frescura  
Sérgio Alexandre Gehrke  
Marcelo Barcellos da Rosa

**DOI 10.22533/at.ed.78321120417**

**CAPÍTULO 17..... 196**

**TÉCNICA DE FOTOCATÁLISE COMO FORMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES: UM ESTUDO**

Jéssica Torres dos Santos  
Jéssica da Rocha Alencar Bezerra de Holanda  
Julia Kaiane Prates da Silva  
Louise Hoss  
Guilherme Pereira Schoeler

Luiza Beatriz Gamboa Araújo Morselli  
Josiane Pinheiro Farias  
Vitória Sousa Ferreira  
Maurizio Silveira Quadro  
Robson Andreazza  
Cicero Coelho de Escobar

**DOI 10.22533/at.ed.78321120418**

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>203</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>204</b>

## CAFEÍNA, UM MARCADOR ANTROPOGÊNICO DE POLUIÇÃO AMBIENTAL – REVISÃO

*Data de aceite: 01/04/2021*

*Data de submissão: 23/01/2021*

### **Ismael Laurindo Costa Junior**

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

### **Christiane Schneider Machado**

Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Guarapuava– PR  
<http://lattes.cnpq.br/1208012079632591>

### **Adelmo Lowe Plestch**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Santa Helena  
Santa Helena– PR  
<http://lattes.cnpq.br/1731491755917260>

### **Yohandra Reyes Torres**

Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Guarapuava– PR  
<http://lattes.cnpq.br/9724560887352587>

**RESUMO:** A ocorrência de poluentes emergentes é uma preocupação crescente no cenário ambiental, tendo em vista os riscos em potenciais sobre os ecossistemas. A grande variedade de substâncias enquadradas nesta categoria de microcontaminantes dificulta as ações de monitoramento individuais, com isso o emprego de marcadores de poluição antrópica vem sendo introduzido como indicadores diretos para algumas classes de poluentes como

os fármacos. A utilização de uma substância como marcador químico é dependente de suas propriedades físico-químicas e a semelhança quanto às rotas de introdução e transporte nos compartimentos. Esteróis, hidrocarbonetos poliaromáticos e a cafeína figuram entre os principais marcadores em estudo na atualidade. O monitoramento de micropoluentes relacionados a fármacos residuais tem incluído cafeína como indicador, pois além de fontes comuns, esta substância apresenta baixa degradabilidade e tempo de meia-vida adequado. A literatura atual tem reportado determinações de cafeína de maneira prioritária para águas superficiais, no entanto, também são verificados estudos em lodos de esgoto e sedimentos. O repertório analítico empregado é baseado em técnicas de extração em fase sólida ou líquido-líquido combinado às cromatografias líquida ou gasosa com diferentes métodos de detecção. Em linhas gerais, o emprego da cafeína como marcador antrópico de poluição tem se mostrado efetivo, porém ainda existe a necessidade de estudos mais aprofundados em ambientes tropicais para detalhamento de seu transporte e partição nos compartimentos ambientais e sobre a relação entre sua concentração e sua degradação no meio ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluentes emergentes; Marcadores antrópicos de poluição; Fármacos; Monitoramento.



## CAFFEINE, AN ANTHROPOGENIC MARKER FOR ENVIRONMENTAL POLLUTION - REVIEW

**ABSTRACT:** The occurrence of emerging pollutants is a growing concern in the environmental scenario, given the potential risks on ecosystems. The wide variety of substances classified in this category microcontaminants difficult individual monitoring actions, thus the use of anthropogenic pollution markers has been introduced as direct indicators for some pollutants classes as drugs. The use of a substance as a chemical marker is dependent on its physicochemical properties and the like as the routes of introduction and transport magazines. Sterols, polyaromatic hydrocarbons and caffeine are among the main markers studied today. Monitoring of micropollutants related to residual drugs has included caffeine as an indicator, as well as common sources, this substance has a low degradability and time suitable half-life. The current literature has reported caffeine determinations on a priority basis for surface water, however, they are also checked studies in sewage sludge and sediments. The repertoire is employed analytical techniques based on solid phase extraction or liquid-liquid or gas combined with liquid chromatography with various detection methods. In general, the caffeine job as pollution anthropic marker has been effective, but there is still a need for further studies in tropical environments for details of transport and partition in environmental compartments and on the relationship between concentration and degradation in environment.

**KEYWORDS:** Emerging Pollutants; anthropic markers of pollution; drugs; Monitoring.

### 1 | INTRODUÇÃO

Os estudos voltados ao impacto do desenvolvimento da sociedade sobre os ecossistemas consideram como marcador de poluição nesses ambientes os parâmetros convencionais como a matéria orgânica, nutrientes e microrganismos. Assim, com a implementação de políticas ambientais, instituindo a obrigatoriedade no tratamento de resíduos bem como o estabelecimento de teores máximos destas substâncias juntamente a outras características físico-químicas, acreditou-se que estas variáveis, quando monitoradas, eram capazes de traduzir a condição antropizada do meio ambiente, em especial do meio aquático (SAITO *et al.*, 1984; VIDAL, DOMINI e CANALS, 2013).

Contudo, a crescente demanda por novos produtos e a expansão de áreas como a química e a farmacologia, resultaram nos últimos séculos em uma ampliação significativa no rol de compostos exógenos (não naturais) produzidos e consumidos em larga escala no mundo (RUNNQVIST *et al.*, 2010). Estas substâncias passaram a fazer parte do meio onde são dispersas, seja pela atividade de descarte dos resíduos industriais, pela sobra eliminada nas excretas após administração nas terapias medicinais, ou ainda pelo uso desenfreado nos mais variados segmentos. Este comportamento é possível devido à complexidade estrutural desses compostos, o que propicia uma ocorrência recalcitrante nos ecossistemas (TAKAHASHI, KARRI e TANABE, 2014).

Tendo em vista este novo panorama, os parâmetros legalmente instituídos passam a não ter relevância exclusiva nas ações de monitoramento e controle ambiental. Estes

novos poluentes apresentam potencial mais efetivo nesta tarefa, sendo úteis na aferição da extensão da poluição ou por servirem de indicador ambiental para a ocorrência desta (GAVRILESCU *et al.*, 2015).

Nesta vertente, algumas substâncias de uso exclusivamente humano vêm sendo apontadas como marcadores antropogênicos de poluição. São compostos que não pertencem ao ambiente natural e sua inserção só é possível mediante a ocorrência de alguma rota de poluição proveniente de atividades humanas (BUERGE *et al.*, 2003). Um marcador antrópico de poluição não necessita apresentar efeito ecotoxicológico, basta estar presente no compartimento em estudo, pois sua ocorrência está associada a diversos outros compostos atualmente descritos na literatura como poluentes emergentes. Estes por sua vez, apresentam risco incerto e pouco esclarecido sobre a biota.

Neste sentido, são apresentados os principais marcadores antrópicos de poluição relatados na literatura atual, suas formas de utilização e potencialidades nas ações de monitoramento ambiental para poluentes emergentes, com ênfase na cafeína.

## 21 MARCADORES ANTRÓPICOS DE POLUIÇÃO

Marcadores podem ser definidos como substâncias cujas estruturas estão ligadas a origens predefinidas. Devido a sua natureza podem gerar informações específicas difíceis de serem obtidas por outras aproximações. Compostos orgânicos relacionados estruturalmente a fontes biológicas específicas, utilizados como marcadores, podem ser denominados biomarcadores (EGANHOUSE, 1997).

Os marcadores podem ser divididos em duas categorias de acordo com o método de avaliação (CARREIRA *et al.*, 2001). Substâncias intencionalmente dispersadas através de rotas de entrada de poluentes como o esgoto doméstico, por exemplo, são denominados marcadores ativos. Neste grupo estão compostos radioativos e corantes. Os marcadores passivos são substâncias de ocorrência natural na fonte de poluição, tais como as bactérias do grupo coliforme, a amônia e a matéria orgânica biodegradável (STEBBING, 1992; CARREIRA *et al.*, 2001).

Os marcadores moleculares antropogênicos são compostos orgânicos introduzidos no ambiente através de atividades humanas relativamente recentes, portanto estão mais relacionados à contaminação ambiental (GLASSMEYER *et al.*, 2005; NAKADA *et al.*, 2008). Estes marcadores são divididos em dois grupos onde o primeiro é formado pelas substâncias sintéticas não naturais produzidas pelos seres humanos em suas atividades (herbicidas, hidrocarbonetos poliaromáticos, etc.), e o outro, por compostos cuja rota de dispersão passa pelo organismo humano, associados com os sistemas de águas e esgoto (esteróis fecais, fármacos, etc.) (GLASSMEYER *et al.*, 2005).

A seleção de um marcador molecular com a finalidade de obter informações sobre fonte, transporte ou concentração de outros contaminantes, deve considerar a similaridade

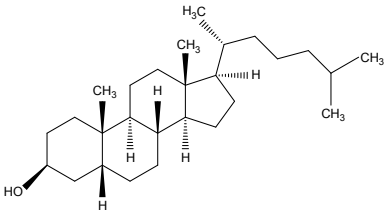
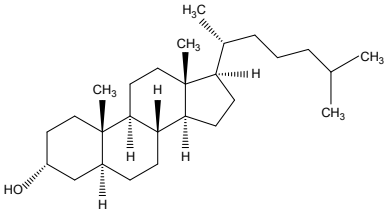
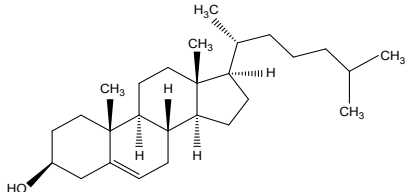
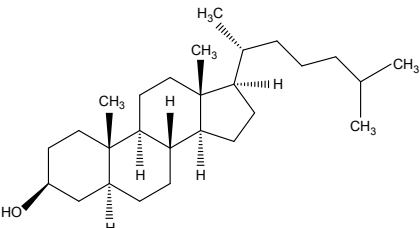
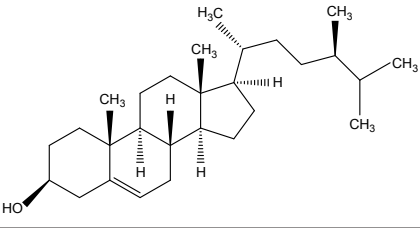
e/ou a diferença entre as propriedades físico-químicas dos mesmos. A propriedade mais importante que controla a concentração de poluente num ambiente aquático é a solubilidade, daí a relevância de se conhecer o coeficiente de partição (índice de hidrofobicidade), pois este orienta a matriz na qual o poluente se encontrará aportado (coluna de água ou sedimento) (EGANHOUSE, 1997).

Especificamente no ramo da poluição ambiental são considerados marcadores moleculares antropogênicos determinados compostos introduzidos no meio ambiente pela ação humana e que possuem algumas características: alta especificidade em relação à fonte, boa resistência à destruição pela atividade bacteriana e ampla distribuição na água e/ou no sedimento (EGANHOUSE, 1997; CARREIRA *et al.*, 2001). Além disso, o consumo regular e constante é mais um pré-requisito para um bom marcador, o que implica que os hábitos de consumo não mudam ou o composto não é extinto dentro dos próximos anos, etc. Finalmente, as quantidades presentes nas águas residuárias e nos ecossistemas deve ser suficiente para permitir a quantificação analítica após a diluição/dispersão no ambiente (BUERGE *et al.*, 2003; SAUVÉ *et al.*, 2012).

Os primeiros grupos investigados como traçadores de poluição decorrente de atividades humanas foram os esteróis e os hidrocarbonetos. Entretanto, pesquisas recentes vêm destacando a aminopropanona e a cafeína como marcadores muito promissores e efetivos (SINGH e GARDINALI, 2006; ROCKNE *et al.*, 2014; LYONS *et al.*, 2015).

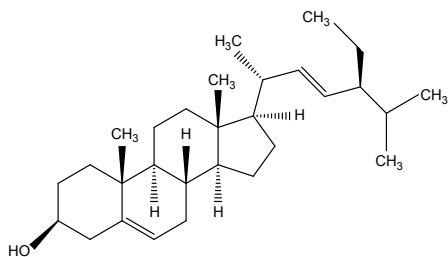
## 2.1 Esteróis

Os esteróis são um grupo pioneiro e prioritário de substâncias cujo uso como marcador para poluição antrópica está relacionado com o lançamento de esgotos, devido a sua complexidade química e relação com esta matriz (ISOBE *et al.*, 2002; CAMPOS *et al.*, 2012). O estudo dos esteróis de natureza fecal tem se consolidado como uma forma alternativa de avaliação da poluição ambiental atrelada ao esgotamento sanitário. Esteróis e seus derivados, apesar de apresentarem uma grande variedade estrutural, possuem um esqueleto comum formado por 17 a 30 átomos de carbono e com 4 anéis condensados. A classificação é baseada nos grupos funcionais ligados a esta estrutura (RESENDE *et al.*, 2014). Os principais esteróis e suas fontes de contribuição são apresentados na Tabela 1.

Esterol	Descrição
<p data-bbox="312 168 429 193">Coprostanol</p> 	<p data-bbox="753 247 937 272">Biomarcador fecal;</p> <p data-bbox="652 301 1040 354">Quantidade relativa indica contaminação fecal recente.</p>
<p data-bbox="299 449 442 474">Epicoprostanol</p> 	<p data-bbox="706 528 984 553">Presente em lodo de esgoto;</p> <p data-bbox="643 582 1049 636">Quantidade relativa de coprostanol sugere contaminação fecal antiga.</p>
<p data-bbox="325 731 417 756">Colesterol</p> 	<p data-bbox="640 827 1053 881">Esterol mais onipresente; abundante no fito e no zooplâncton.</p>
<p data-bbox="325 994 417 1019">Colestanol</p> 	<p data-bbox="694 1125 996 1150">Redução química do colesterol.</p>
<p data-bbox="312 1299 429 1324">Campesterol</p> 	<p data-bbox="652 1406 1040 1460">Origem terrestre, tipicamente de plantas superiores.</p>

---

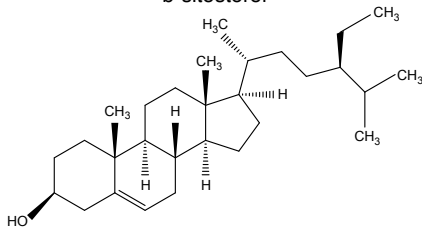
### Estigmasterol



Usualmente usado como esteroide terrestre;  
plantas superiores.

---

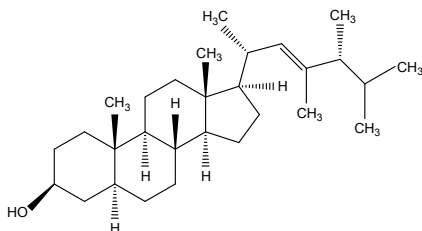
### $\beta$ -sitosterol



Usualmente usado como esteroide terrestre;  
plantas superiores.

---

### Dinosterol



Derivado de dinoflagelados.

---

Tabela 1. Principais esteróides e suas possíveis fontes

Fonte: Adaptado de LEEMING *et al.*, (1998)

Este grupo de esteróides permite examinar o histórico de contribuições por esgoto em um corpo hídrico, bem como a sua distribuição e transporte no ambiente. Por isso são considerados uma forma de *fingerprint* para esta rota de inserção de micropoluentes devido à distribuição dos mesmos em fezes humanas e devido a sua persistência nos compartimentos.

Por serem pouco solúveis em água, os esteróides fecais tendem a se associar ao material particulado e a se acumular nos sólidos presentes nos esgotos e posteriormente nos grânulos de sedimentos através da adsorção, onde a degradação é muito lenta sob condições anóxicas.

Alguns dos esteróides detectados nos sedimentos podem ter sua origem em fontes naturais, como o dinosterol, colesterol, campesterol,  $\beta$ -sitosterol, colestanol, estigmasterol. Além daqueles de ocorrência natural, o coprostanol e o epicoprostanol, são considerados

esteróis fecais (PRATT *et al.*, 2008).

Dentre os esteróis encontrados nos compartimentos, o coprostanol e seu epímero, o epicoprostanol, são os principais empregados em estudos voltados ao monitoramento e dispersão da poluição por lançamento de esgotos, pois não são naturais nos sedimentos (MARTINS, VENKATESAN e MONTONE, 2003; REEVES e PATTON, 2005; MARTINS, FILLMANN e MONTONE, 2007; NORDIN e ALI, 2013).

O coprostanol é o esterol fecal predominante em excretas humanas, com isso, apresenta abundante ocorrência, tornando-se um biomarcador para avaliar e monitorar essa rota de poluição em ambientes aquáticos (STEFENS *et al.*, 2007; BATAGLION *et al.*, 2016). Apesar de ser considerado um marcador conservativo, uma vez que vai sendo acumulado em matrizes como sedimento, seu emprego ainda não é amplamente difundido por não ser diretamente associado ao risco à saúde (LEEMING *et al.*, 1998; ISOBE *et al.*, 2002).

Uma vez que o coprostanol tem sua origem não apenas no organismo humano, sua avaliação ocorre por meio de índices derivados da relação entre sua concentração e a de outros esteróis (CARREIRA *et al.*, 2001). A principal relação usada no estudo da presença de esgoto em ambientes aquáticos envolve o coprostanol e o epicoprostanol, pois os valores distinguem as fontes de esteróis (MARTINS, VENKATESAN e MONTONE, 2003).

Além disso, a relação entre a quantidade de coprostanol e os esteróis totais serve para a diferenciação de fontes naturais, quando apresenta valores elevados, e fontes antrópicas, quando observados baixos valores (VENKATESAN e KAPLAN, 1990). Apesar do emprego dos esteróis como biomarcadores ser uma prática implementada há várias décadas, seu uso continua fortemente associado apenas à poluição por esgoto doméstico, no que diz respeito à substituição ou complementação de parâmetros convencionais como a matéria orgânica e a microrganismos.

Pela sua relevância no monitoramento desta fonte de contaminação dos ecossistemas aquáticos, novas abordagens podem ser exploradas, uma vez que esta também é a rota para inserção de inúmeros contaminantes emergentes. Dessa forma a mensuração dos esteróis fecais também pode indicar de modo relativo à dispersão de micropoluentes como os fármacos (MURPHY *et al.*, 2016).

## 2.2 Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs)

Os Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs) estão inclusos em uma categoria de compostos denominados poluentes orgânicos persistentes (POPs). Por apresentarem tendências mutagênicas e carcinogênicas têm impacto no meio ambiente e por isso são utilizados no monitoramento em compartimentos e organismos (MCCREADY *et al.*, 2000; MURPHY *et al.*, 2016).

A estrutura básica dos HPAs possui entre 2 e 6 anéis aromáticos condensados. A toxicidade aumenta com o número de anéis (PEREIRA NETTO *et al.*, 2002). Por conta

disto, órgãos ambientais têm sugerido o monitoramento de dezesseis HPAs prioritários (Figura 1) (WANG, LIU e YANG, 2014).

A origem de grande parte dos HPAs está diretamente relacionada com atividades antropogênicas e serve como critério de classificação. A fonte pirogênica compreende os HPAs produzidos em processos de combustão incompleta da matéria orgânica, especialmente combustíveis fósseis e seus derivados. Os petrogênicos associados a fontes petrolíferas como derramamentos, jazidas e atividades de extração; os diagênicos, produzidos por meio de transformações ocorridas no compartimento onde estão retidos, devido a precursores biogênicos (PATHIRATNE *et al.*, 2007; KALWA *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2016). As fontes naturais são infinitamente insignificantes frente às fontes antrópicas (SOCLO, GARRIGUES e EWALD, 2000).

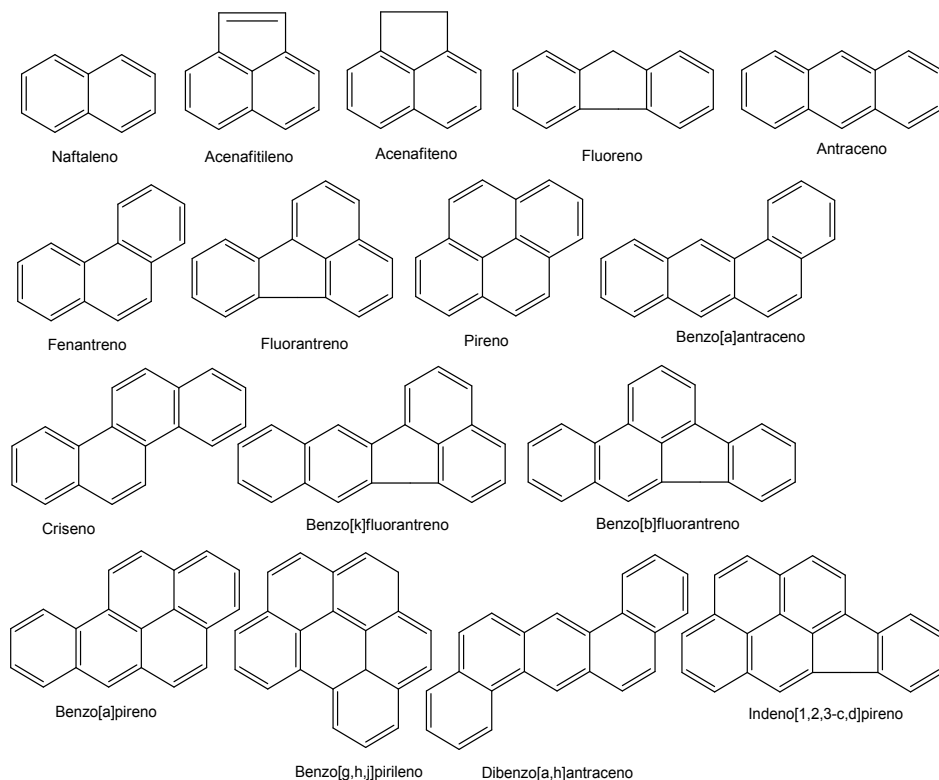


Figura 1. Estrutura dos 16 HPAs prioritários

Fonte: Adaptado de ABDEL-SHAFY e MANSOUR (2016).

Os HPAs podem estar nas formas gasosa, particulada e dissolvida, sendo encontrados na água, solo, sedimento, material particulado atmosférico, organismos

aquáticos e alimentos (PATHIRATNE *et al.*, 2007; DONG *et al.*, 2016). Devido a sua capacidade de dispersão e distribuição através dos variados compartimentos, são caracterizados como ambientalmente estáveis, resistentes à degradação, acumuláveis na biota, hidrofóbicos e tóxicos. Sendo estas algumas qualidades desejáveis em um traçador de poluição (BASHEER, OBBARD e LEE, 2003; WANG *et al.*, 2016).

As principais formas de introdução dos HPAs no ambiente aquático ocorrem através de efluentes domésticos e industriais, descarregados via águas de escoamento superficial (*runoff*), aporte atmosférico (precipitação de gases originados da queima de combustíveis), derrames de petróleo ou derivados e síntese por organismos (WANG, LIU e YANG, 2014; ABDEL-SHAFY e MANSOUR, 2016).

A diferenciação dos HPAs quanto às fontes pirogênicas e petrogênicas envolve a quantificação relativa da massa molecular destes compostos. Aqueles procedentes de fontes petrogênicas são identificados pela presença de massas moleculares predominantemente menores. Já, os de fontes pirogênicas apresentam alta proporção de compostos alquilados e, portanto, de maior massa (SOCLO, GARRIGUES e EWALD, 2000; KALWA *et al.*, 2014). As principais relações usadas nos estudos envolvendo HPAs são fenantreno/antraceno e fluoranteno/pireno utilizadas para distinguir as fontes de contaminação da matéria orgânica de origem pirogênica. A razão do metilfenantreno/fenantreno também pode ser utilizada para avaliar a origem da contaminação nos sedimentos (TAM *et al.*, 2001; ABDEL-SHAFY e MANSOUR, 2016).

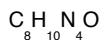
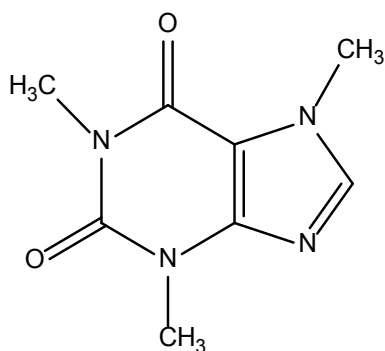
O estudo dos HPAs tem grande importância na consolidação dos marcadores antropogênicos nas ações de monitoramento, apesar de originados em processos distintos à maioria dos micropoluentes emergentes, como os produtos farmacêuticos. Contudo, algumas rotas de transporte são comuns, permitindo a prospecção da extensão da poluição também por esta categoria de contaminantes.

### 3 | A CAFEÍNA COMO MARCADOR DE POLUIÇÃO ANTROPOGÊNICA

A 1,3,7-trimetilxantina é conhecida como cafeína, trata-se de um alcaloide cuja estrutura é formada por um esqueleto de purina heterocíclica (Figura 2). O conjunto de propriedades físico-químicas apresentadas pela cafeína permite considerar que ela possui significativa afinidade pelo meio aquoso ( $\log K_{ow}$  e solubilidade), sendo, portanto, facilmente transportada em ecossistemas aquáticos e em águas residuárias (BUERGE *et al.*, 2006). Além disso, em termos de distribuição nos compartimentos, a cafeína pode preferir a fase aquosa à fase sedimentar (BRADLEY *et al.*, 2007).

A ocorrência natural de cafeína está associada apenas a espécies vegetais superiores, estando presente em mais de sessenta plantas (BARONE e ROBERTS, 1996; CAMARGO, 1999). Porém, a principal fonte de obtenção ocorre por meio da síntese industrial tendo em vista o uso atrelado à composição de fármacos (BUERGE *et al.*, 2003).





Peso molecular: 194,19 g mol<sup>-1</sup>

Solubilidade em água: 21,7 g L<sup>-1</sup> a 20°C

log K<sub>ow</sub>=0,01          PE: 178°C

pKa:10,4

Figura 2. Estrutura e propriedades físico-químicas da cafeína

Fonte: Adaptado de Adaptado de GARDINALI e ZHAO (2002) e PEELER, OPSAHL e CHANTON (2006).

Por ser amplamente utilizada na medicina e prioritariamente nas dietas e hábitos alimentares da população a sua abundância no ambiente é significativa, reforçando suas potencialidades como marcador de poluição (PEELER, OPSAHL e CHANTON, 2006). Apesar de algumas pesquisas indicarem sua remoção durante as operações de tratamento empregadas nas estações, outros estudos apontam que na realidade ocorre prioritariamente a transferência para a fase sólida (SUI *et al.*, 2010; WILLIAMS e MCLAIN, 2012). Com isso, novas rotas de inserção nos ecossistemas são possíveis pela disposição dos sólidos gerados e destinados a adubação.

### 3.1 Persistência da cafeína nos compartimentos

Para a utilização de uma determinada substância como marcador de poluição, além da abundância e ocorrência, faz-se necessária a investigação de seu comportamento no meio ambiente, tendo em vista avaliar sua persistência em meio aos principais processos, físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos compartimentos. Na literatura atual, poucos estudos focados nesta avaliação são reportados para a cafeína.

A estimativa do tempo de meia vida para este composto no meio ambiente pode variar de 3 a 30 dias dependendo do clima e dos processos como insolação, oxigenação, pH, etc. (BENOTTI e BROWNAWELL, 2009; KURISSERY *et al.*, 2012; EDWARDS, KULIKOV e GARNER-O'NEALE, 2015).

A avaliação da biodegradabilidade da cafeína em sistemas convencionais de tratamento de esgotos realizada em Irvine (EUA), empregando bactérias do gênero *Pseudomonas* obteve taxa de degradação 2,9 µg mL<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (OGUNSEITAN, 1996). Os resultados sugerem baixa susceptibilidade à ação microbiológica e indicam a passagem da cafeína pelo sistema sem efetivo tratamento (HEBERER, 2002; BUERGE *et al.*, 2003; WEIGEL *et al.*, 2004; SAUVÉ *et al.*, 2012).

Um estudo da persistência da cafeína em lagos na Suíça, frente aos processos de sorção/sedimentação e volatilização revelou que estes mecanismos são de baixa relevância, indicando preferência pela coluna de água (BUERGE *et al.*, 2003; CHEN, LI e ZHU, 2012; ZHANG *et al.*, 2013). No mesmo estudo, a degradação bioquímica e fotoquímica foi avaliada por meio de experimentos com água doce fortificada com cafeína. Foram observadas taxas de degradação de 1,0 a 54,0  $\mu\text{g mL}^{-1} \text{d}^{-1}$  (BUERGE *et al.*, 2003).

A avaliação da decomposição da cafeína em águas marinhas da Flórida (EUA), sob diferentes temperaturas e insolação, monitoradas por cinquenta e quatro dias revelou remoções de 64,0, 50,5 e 11,0% para amostras à temperatura ambiente sob insolação, amostras sem insolação e protegidas da luz à frio, respectivamente (PEELER, OPSAHL e CHANTON, 2006).

A biodegradação da cafeína em sedimento e água procedente de rios americanos (Foumle Creek, Boulder Creek e Platte River) verificada em condições aeróbias e anóxicas revelou que as taxas de biotransformação são mais sensíveis às condições redox. Desta forma, a concentração de oxigênio no meio tem relevância direta à persistência da cafeína no ambiente (BRADLEY *et al.*, 2007).

Em linhas gerais, a degradação da cafeína em ambientes naturais depende de diversos fatores, como a atividade microbiológica, a temperatura, o grau de trofia, vazão e a profundidade do corpo hídrico (BUERGE *et al.*, 2003; MUSOLFF *et al.*, 2009; EDWARDS, KULIKOV e GARNER-O'NEALE, 2015). Com isso, a avaliação precisa do seu comportamento não é tarefa simples. Contudo, a meia-vida encontrada para a cafeína nos compartimentos comumente estudados permite sua aplicação como indicador de poluição recente (em torno de 30 dias). Pode-se considerar que seu comportamento apresenta estabilidade, o que permite sua mensuração no ambiente após algum tempo.

### **3.2 Ocorrência antropogênica de cafeína no meio ambiente**

A literatura atual tem reportado diversos trabalhos empregando a cafeína como marcador de poluição antrópica nos ecossistemas (OGUNSEITAN, 1996; SEILER *et al.*, 1999; GARDINALI e ZHAO, 2002; BUERGE *et al.*, 2003; 2006; PEELER, OPSAHL e CHANTON, 2006; FROEHNER *et al.*, 2009; KURISSERY *et al.*, 2012; EDWARDS, KULIKOV e GARNER-O'NEALE, 2015; LINDEN *et al.*, 2015; DONG *et al.*, 2016). Os primeiros estudos envolvendo a determinação desse composto em compartimentos ambientais remontam à década de 70 para estudos qualitativos (SIEVERS *et al.*, 1977; SHELDON e HITES, 1978). As primeiras quantificações ocorreram no final da década de 80 para esgotos e, posteriormente, para águas superficiais e subterrâneas já na década de 90 (BUSZKA *et al.*, 1994; PAXEUS e FRIEDRICHSCHRODER, 1996; SEILER *et al.*, 1999).

Um dos primeiros usos efetivos da cafeína como biomarcador ocorreu em Reno, Nevada (EUA) onde essa substância foi usada no monitoramento de águas subterrâneas e esgoto de forma comparativa ao parâmetro convencional nitrato. No ponto amostral onde

foram determinadas as maiores concentrações de cafeína e nitrato foram obtidos os valores de 0,23  $\mu\text{g L}^{-1}$  e 30  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente (SEILER *et al.*, 1999).

O monitoramento de cafeína em águas subterrâneas realizado na Macedônia (Grécia) revelou que sua ocorrência e concentração decresce com o aumento da profundidade, com isso, sugere-se que a principal rota de entrada para este compartimento possui relação com os processos de infiltração do esgoto doméstico procedente em grande parte dos tanques sépticos ou fossas sem a configuração adequada de tratamento. O mesmo estudo apontou ainda que em pontos amostrais de áreas desabitadas foi detectada a presença do analito, indicando sua mobilidade (PAPADOPOULOU-MOURKIDOU *et al.*, 2001).

A cafeína foi empregada como marcador em uma pesquisa envolvendo seis antibióticos monitorados em estações de tratamento e águas superficiais em Nova York (EUA). Os teores de cafeína obtidos para as matrizes investigadas variaram de 0,2 a 9,9  $\mu\text{g L}^{-1}$  (BATT, BRUCE e AGA, 2006). Um estudo semelhante realizado em Zurich (Suíça) obteve teores 7 a 73  $\mu\text{g L}^{-1}$  no esgoto bruto, 0,3 a 0,9  $\mu\text{g L}^{-1}$  após o tratamento e 0,25  $\mu\text{g L}^{-1}$  em águas de rio (POIGER *et al.*, 2003). Estes resultados confirmam a presença do marcador de poluição tanto no esgoto quanto no ambiente.

A avaliação do potencial como biomarcador de poluição da cafeína foi comparada ao parâmetro microbiológico convencional atualmente aceito e consolidado, baseado em coliformes fecais, durante a estação chuvosa no Deal Lake, New Jersey (EUA). Foram observadas correlações diretas e positivas correspondentes a 1,0; 0,97 e 0,97 entre o marcador químico e os grupos coliformes fecais, estreptococos fecais e enterococos. Isto indica que suas ocorrências são de fontes comuns e que a cafeína é adequada para estudos de monitoramento (SANKARARAMAKRISHNAN e GUO, 2005).

Um estudo realizado em Lake Simcoe (Canadá) fez uso da cafeína como biomarcador em amostras de água e sedimento monitoradas em campanhas mensais no ano de 2010. Foram reportadas concentrações na faixa de 0,005 a 0,07  $\mu\text{g L}^{-1}$  em água e 0,007  $\mu\text{g g}^{-1}$  em sedimento, sendo este semelhante em todas as amostras, sugerindo persistência e baixa suscetibilidade a biodegradação nesta matriz (KURISSERY *et al.*, 2012).

A cafeína, juntamente com outros micropoluentes, foi monitorada na bacia hidrográfica do Zumbro River, Minnessota (EUA) em amostras de água e sedimento, para a prospecção ambiental na região, considerando o uso do solo, a atividade agropecuária, esgotamento sanitário e população. Para a cafeína a frequência de detecção foi de 100% nas amostras de sedimento e 98% nas amostras de água. Nas determinações, as concentrações médias foram de 0,0004  $\mu\text{g g}^{-1}$  e 0,04  $\mu\text{g L}^{-1}$  em sedimento e água, respectivamente (FAIRBAIRN *et al.*, 2015).

Em KwaZulu-Natal (África do Sul) foi realizada uma pesquisa empregando lodo de estações de tratamento e sedimentos de rios em um estudo de monitoramento de diversos fármacos onde estava inclusa a cafeína. Para os biossólidos gerados no tratamento foram reportadas concentrações de cafeína na faixa de 0,0007 a 0,014  $\mu\text{g g}^{-1}$  e nos sedimentos

0,0002 a 0,0013  $\mu\text{g g}^{-1}$  (MATONGO, SOLOMON *et al.*, 2015).

A ocorrência de cafeína, apesar de ser uma droga biologicamente ativa, tem sido amplamente documentada em águas costeiras. Os níveis de concentração reportados demandam de melhores estudos a fim de avaliar os efeitos sobre a biota (GONZALEZ-REY e BEBIANNO, 2012). Neste sentido, um estudo empregando moluscos da espécie *Mytilus galloprovincialis*, procedentes do Mar Adriático (Itália) avaliou os efeitos sub-letais induzidos por uma exposição de 7 dias a concentrações ambientalmente relevantes de cafeína (5, 50 e 500  $\text{ng L}^{-1}$ ). Foi obtido um baixo perfil de toxicidade indicando que a aplicação da cafeína como biomarcador integrado pode fornecer uma visão abrangente do grau de stress induzido por contaminantes emergentes em invertebrados marinhos (CAPOLUPO *et al.*, 2016).

No Brasil, as pesquisas com cafeína também vêm sendo realizadas com emprego deste marcador químico no monitoramento de qualidades de águas superficiais (FERREIRA, 2005; FROEHNER *et al.*, 2009; LINDEN *et al.*, 2015) (MONTAGNER e JARDIM, 2011).

A avaliação da poluição urbana na bacia hidrográfica do Leopoldina (RJ) através da cafeína como traçador para água superficial em cinco pontos amostrais, incluindo a Baía de Guanabara, obteve concentrações de 134 a 367  $\mu\text{g L}^{-1}$  (FERREIRA, 2005). Segundo o autor, os elevados valores são fortes indícios da ineficiência do tratamento de esgotos, além de fontes diretas de águas residuárias e do alto padrão de consumo da substância na dieta alimentar.

Na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos (RS) foram determinados ao longo de cinco estações amostrais e seis campanhas no ano de 2012 valores na faixa de 0,00015 a 0,02  $\mu\text{g L}^{-1}$  para cafeína (LINDEN *et al.*, 2015). Estas medidas são coerentes com estudos semelhantes realizados em outros países, sugerindo maior remoção da cafeína pelos sistemas de tratamento existentes na região. Contudo, a detecção reforça a potencialidade da cafeína enquanto marcadora de poluição antropogênica.

A cafeína e os esteróis fecais foram avaliados como biomarcadores em água superficial e em sedimentos, respectivamente, em um estudo realizado na bacia do Rio Barigui, Curitiba (PR) compreendendo sete pontos de coleta e três campanhas. A concentração de cafeína variou de níveis menores que o limite de detecção para amostras procedentes de regiões menos antropizadas a 539  $\mu\text{g L}^{-1}$  em locais com efetiva poluição por esgotos, conforme sugerido por outros parâmetros físico-químicos avaliados na pesquisa (FROEHNER *et al.*, 2009).

Outro estudo semelhante foi realizado na mesma região, no Alto Rio Iguaçu, com o objetivo de serem monitorados cafeína, bisfenol-a e xileno de almíscar em água, procedentes de esgotos domésticos e industriais. Nesta pesquisa foram reportadas concentrações de 1,7 a 123,4  $\mu\text{g L}^{-1}$  para a cafeína (FROEHNER *et al.*, 2010).

A cafeína foi avaliada como indicador de contaminantes emergentes e de atividade estrogênica em águas naturais amostradas em diferentes rios no estado de São Paulo. A

análise multivariada dos dados permitiu concluir que existe uma correlação significativa entre a concentração de cafeína e a atividade estrogênica (MONTAGNER *et al.*, 2014).

O estudo da eutrofização e a determinação de micropoluentes no Lago Paranoá em Brasília (DF) apresentou a cafeína como principal contaminante emergente nas águas superficiais, onde as concentrações variaram entre 67,9 e 211,9 ng L<sup>-1</sup> (COSTA *et al.*, 2016). A fonte de inserção dessa substância na água foi associada à elevada concentração determinada nas duas estações de tratamento que tributam seus esgotos no lago.

Em sedimentos marinhos foi determinada a concentração média de 0,003 µg g<sup>-1</sup> de cafeína em amostras procedentes da Baía de Todos os Santos (BA), onde também foram quantificadas a eritromicina e o atenolol (BERETTA, PERELO e DE OLIVEIRA, 2010).

Estes resultados confirmam a relevância do estudo da cafeína como marcador antrópico de poluição. Seu uso tem maior aplicação em estudos na fase aquosa, porém a cafeína também vem sendo empregada em amostras de sedimentos devido a sua relação direta com a ocorrência de micropoluentes com afinidade por este compartimento, como reportado para fármacos e outros compostos.

### 3.3 Metodologias analíticas empregadas nos estudos da cafeína como marcador de poluição.

A Tabela 2 apresenta um breve levantamento da aplicação de técnicas cromatográficas na detecção e quantificação de cafeína em matrizes ambientais.

Matriz	Técnica	Extração	LD	Referência
Água marinha	LC-APCI-MS	LLE	4*	GARDINALI e ZHAO (2002)
Esgoto	GC-MS	SPE	3*	STAMATIS e KONSTANTINOU(2013)
Água subterrânea	HPLC GC	- LLE	5000* 40*	SEILER <i>et al.</i> (1999)
Água doce	LC-DAD GC-MS	SPE	50* 10*	PAPADOPOULOU-MOURKIDOU <i>et al.</i> (2001)
Água doce Esgoto	LC-MS-IT-TOF	SPE	-	COSTA <i>et al.</i> , (2016)
Água doce	GC-MS	LLE	-	SANKARARAMAKRISHNAN e GUO (2005)
Água doce Sedimento	GC-IT-MS/MS	LLE	1-2* 0,2**	KURISSERY <i>et al.</i> (2012)
Sedimento Água doce	LC-MS/MS	SPE	0,12** 0,58*	FAIRBAIRN <i>et al.</i> (2015)
Água doce Sedimento Esgoto	LC-MS	SPE	312* 624** 104*	MATONGO <i>et al.</i> , (2015)

Água Tecido muscular	LC-MS/MS	SPE	4,8* 1,3**	CAPOLUPO <i>et al.</i> (2016)
Água doce	LC-DAD	SPME	50*	FROEHNER <i>et al.</i> (2009)
Lodo de esgoto Sedimento	LC-DAD-FL	LLE	1,5** 66,1**	MARTÍN <i>et al.</i> (2010)

\* (ng L<sup>-1</sup>), \*\* (ng g<sup>-1</sup>)

Tabela 2. Análise cromatográfica de Cafeína em matrizes ambientais

A aplicação da cafeína como marcador de poluição em matrizes ambientais tem sido realizada simultaneamente com outros micropoluentes, como os fármacos, cujas ocorrências são da ordem de ng L<sup>-1</sup> até µg L<sup>-1</sup> (ZIYLAN e INCE, 2011). As principais abordagens analíticas são baseadas em técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) ou de cromatografia gasosa (CG), acoplados a detectores de arranjo de diodos (DAD) ou por espectrometria de massa (MS) (CHEN *et al.*, 2002; SHRAIM *et al.*, 2012; DE SOUSA *et al.*, 2015).

As técnicas de pré-concentração e separação por meio de fase sólida (SPE) também são procedimentos comumente aplicados, pois contribuem para a detecção em níveis de traços dos analitos nas amostras (DE SOUSA *et al.*, 2015; EDWARDS, KULIKOV e GARNER-O'NEALE, 2015). Entretanto, métodos tradicionais como a extração líquido-líquido (LLE) são também aplicados na extração de cafeína em água (GARDINALI e ZHAO, 2002).

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de biomarcadores de poluição antropogênica como os esteróis, HPAs e cafeína vêm ganhando espaço na área de monitoramento ambiental por permitirem uma prospecção mais fidedigna nas rotas de entrada de contaminantes emergentes e da magnitude da interferência nos compartimentos ambientais.

Com base nas informações reportadas na literatura atual foi possível conhecer o emprego da cafeína como marcador de poluição por esgotos domésticos e com significativa possibilidade de correlação com os micropoluentes que apresentam risco em potencial sobre os ecossistemas, como os fármacos. A maioria das pesquisas observou o aumento nas concentrações de cafeína nas áreas estudadas nas proximidades de regiões urbanizadas ou de estações de tratamento de esgotos.

Com isso, a cafeína, quando empregada como marcador de poluição, é uma nova ferramenta de monitoramento, principalmente em situações em que a aplicação dos demais parâmetros de avaliação convencionais não puderem ser elucidativos. Outro aspecto

importante tem relação com a meia-vida da cafeína em ambientes naturais, pois permite sua mensuração, após algum tempo à contaminação inicial. Este importante comportamento deve-se a sua estabilidade frente aos processos, físicos, químicos e bioquímicos que ocorrem nos compartimentos.

O emprego da extração em fase sólida ou extração líquido-líquido combinadas tanto à cromatografia líquida quanto a gasosa por diferentes sistemas de detecção mostrou-se eficiente na determinação de cafeína em águas superficiais impactadas por esgoto. Para a matriz sedimento, apesar de a cafeína possuir maior afinidade pela coluna de água, também são reportadas avaliações em conjunto a outros fármacos.

Cabe ressaltar ainda a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a degradação da cafeína em ambientes tropicais, suas possíveis fontes naturais, seu transporte e partição nos compartimentos ambientais e sobre a relação entre sua concentração e sua degradação do ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-SHAIFY, H. I.; MANSOUR, M. S. M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 25, n. 1, p. 107-123, 2016.

BARONE, J. J.; ROBERTS, H. R. Caffeine consumption. **Food and Chemical Toxicology**, v. 34, n. 1, p. 119-129, 1996.

BASHEER, C.; OBBARD, J. P.; LEE, H. K. Persistent Organic Pollutants in Singapore's Coastal Marine Environment: Part II, Sediments. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 149, n. 1/4, p. 315-325, 2003.

BATAGLION, G. A.; KOOLEN, H. H. F.; WEBER, R. R.; EBERLIN, M. N. Quantification of Sterol and Triterpenol Biomarkers in Sediments of the Cananéia-Iguape Estuarine-Lagoonal System (Brazil) by UHPLC-MS/MS. **International Journal of Analytical Chemistry**, v. 2016, p. 1-8, 2016.

BATT, A. L.; BRUCE, I. B.; AGA, D. S. Evaluating the vulnerability of surface waters to antibiotic contamination from varying wastewater treatment plant discharges. **Environmental Pollution**, v. 142, n. 2, p. 295-302, 2006.

BENOTTI, M. J.; BROWNAWELL, B. J. Microbial degradation of pharmaceuticals in estuarine and coastal seawater. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 3, p. 994-1002, 2009.

BERETTA, M.; PERELO, L. W.; DE OLIVEIRA, I. B. Quantification and toxicity testing of pharmaceuticals in tropical marine sediments, All Saints Bay, Bahia, Brazil. **Microorganisms in Industry and Environment**, p. 187-191, 2010.

BRADLEY, P. M.; BARBER, L. B.; KOLPIN, D. W.; MCMAHON, P. B.; CHAPELLE, F. H. Biotransformation of Caffeine, Cotinine, and Nicotine in Stream Sediments: Implications for Use as Wastewater Indicators. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 26, n. 6, p. 1116, 2007.

BUERGE, I. J.; POIGER, T.; MÜLLER, M. D.; BUSER, H.-R. Caffeine, an Anthropogenic Marker for Wastewater Contamination of Surface Waters. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 4, p. 691-700, 2003.

BUERGE, I. J.; POIGER, T.; MÜLLER, M. D.; BUSER, H.-R. Combined Sewer Overflows to Surface Waters Detected by the Anthropogenic Marker Caffeine. **Environmental Science & Technology**, v. 40, n. 13, p. 4096-4102, 2006.

BUSZKA, P. M.; BARBER II, L.; SCHROEDER, M.; BECKER, L. D. Organic compounds downstream from a treated-waste water discharge near Dallas, Texas, March 1987. **USGS Water Resources Investigations Report**, p. 93-4194, 1994.

CAMARGO, M. C. R. Caffeine daily intake from dietary sources in Brazil. **Food Additives and Contaminants**, v. 16, n. 2, p. 79-87, 1999.

CAMPOS, V.; FRACÁCIO, R.; FRACETO, L. F.; ROSA, A. H. Fecal Sterols in Estuarine Sediments as Markers of Sewage Contamination in the Cubatão Area, São Paulo, Brazil. **Aquatic Geochemistry**, v. 18, n. 5, p. 433-443, 2012.

CAPOLUPO, M.; VALBONESI, P.; KIWAN, A.; BURATTI, S.; FRANZELLITTI, S.; FABBRI, E. Use of an integrated biomarker-based strategy to evaluate physiological stress responses induced by environmental concentrations of caffeine in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*. **Science of The Total Environment**, v. 563-564, p. 538-548, 2016.

CARREIRA, R.; WAGENER, A. D. L. R.; FILEMAN, T.; READMAN, J. W. Distribuição de coprostanol (5beta(H)-colestano-3beta-ol) em sedimentos superficiais da Baía de Guanabara: indicador da poluição recente por esgotos domésticos. **Química Nova**, v. 24, n. 1, 2001.

CHEN, H.; LI, X.; ZHU, S. Occurrence and distribution of selected pharmaceuticals and personal care products in aquatic environments: a comparative study of regions in China with different urbanization levels. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 19, n. 6, p. 2381-2389, 2012.

CHEN, Z.; PAVELIC, P.; DILLON, P.; NAIDU, R. Determination of caffeine as a tracer of sewage effluent in natural waters by on-line solid-phase extraction and liquid chromatography with diode-array detection. **Water Research**, v. 36, n. 19, p. 4830-4838, 2002.

COSTA, N. Y. M. D.; BOAVENTURA, G. R.; MULHOLLAND, D. S.; ARAÚJO, D. F.; MOREIRA, R. C. A.; FAIAL, K. C. F.; BOMFIM, E. D. O. Biogeochemical mechanisms controlling trophic state and micropollutant concentrations in a tropical artificial lake. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 10, 2016.

DE SOUSA, D. N. R.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; CARNEIRO, R. L.; FADINI, P. S. Ultrasound-assisted extraction method for the simultaneous determination of emerging contaminants in freshwater sediments. **Journal of Separation Science**, v. 38, n. 19, p. 3454-3460, 2015.

DONG, J.; XIA, X.; WANG, M.; XIE, H.; WEN, J.; BAO, Y. Effect of recurrent sediment resuspension-deposition events on bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic environments. **Journal of Hydrology**, v. 540, p. 934-946, 2016.

EDWARDS, Q. A.; KULIKOV, S. M.; GARNER-O'NEALE, L. D. Caffeine in surface and wastewaters in Barbados, West Indies. **SpringerPlus**, v. 4, n. 1, 2015.



EGANHOUSE, R. P. **Molecular markers in environmental geochemistry**. Washington: American Chemical Society, 1997.

FAIRBAIRN, D. J.; KARPUCZU, M. E.; ARNOLD, W. A.; BARBER, B. L.; KAUFENBERG, E. F.; KOSKINEN, W. C.; NOVAK, P. J.; RICE, P. J.; SWACKHAMER, D. L. Sediment–water distribution of contaminants of emerging concern in a mixed use watershed. **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 896-904, 2015.

FERREIRA, A. P. Caffeine as an environmental indicator for assessing urban aquatic ecosystems. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, n. 6, p. 1884-1892, 2005.

FROEHNER, S.; MACHADO, K. S.; FALCÃO, F.; MONNICH, C.; BESSA, M. Inputs of Domestic and Industrial Sewage in Upper Iguassu, Brazil Identified by Emerging Compounds. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 215, n. 1-4, p. 251-259, 2010.

FROEHNER, S.; SOUZA, D. B.; MACHADO, K. S.; DA ROSA, E. C. Tracking Anthropogenic Inputs in Barigui River, Brazil Using Biomarkers. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 210, n. 1-4, p. 33-41, 2009.

GARDINALI, P. R.; ZHAO, X. Trace determination of caffeine in surface water samples by liquid chromatography–atmospheric pressure chemical ionization–mass spectrometry (LC–APCI–MS). **Environment International**, v. 28, n. 6, p. 521-528, 2002.

GAVRILESCU, M.; DEMNEROVÁ, K.; AAMAND, J.; AGATHOS, S.; FAVA, F. Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. **New Biotechnology**, v. 32, n. 1, p. 147-156, 2015.

GLASSMEYER, S. T.; FURLONG, E. T.; KOLPIN, D. W.; CAHILL, J. D.; ZAUGG, S. D.; WERNER, S. L.; MEYER, M. T.; KRYAK, D. D. Transport of Chemical and Microbial Compounds from Known Wastewater Discharges: Potential for Use as Indicators of Human Fecal Contamination. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 14, p. 5157-5169, 2005.

GONZALEZ-REY, M.; BEBIANNO, M. J. Does non-steroidal anti-inflammatory (NSAID) ibuprofen induce antioxidant stress and endocrine disruption in mussel *Mytilus galloprovincialis*? **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 33, n. 2, p. 361-371, 2012.

HEBERER, T. Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water. **Journal of Hydrology**, v. 266, n. 3-4, p. 175-189, 2002.

ISOBE, K. O.; TARAO, M.; ZAKARIA, M. P.; CHIEM, N. H.; MINH LE, Y.; TAKADA, H. Quantitative application of fecal sterols using gas chromatography-mass spectrometry to investigate fecal pollution in tropical waters: western Malaysia and Mekong Delta, Vietnam. **Environmental Science & Technology**, v. 36, n. 21, p. 4497-507, 2002.

KALWA, M.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L.; TORRES, Y. R.; FINGER, D. Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of Binacional Itaipu Lake, Brazil: characteristics, sources and toxicity evaluation. **Environmental Earth Sciences**, v. 72, n. 11, p. 4473-4481, 2014.

KURISSERY, S.; KANAVILLIL, N.; VERENITCH, S.; MAZUMDER, A. Caffeine as an anthropogenic marker of domestic waste: A study from Lake Simcoe watershed. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 501-508, 2012.

LEEMING, R.; BATE, N.; HEWLETT, R.; NICHOLS, P. Discriminating faecal pollution: A case study of stormwater entering Port Phillip Bay, Australia. **Water Science and Technology**, v. 38, n. 10, p. 15-22, 1998.

LINDEN, R.; ANTUNES, M. V.; HEINZELMANN, L. S.; FLECK, J. D.; STAGGEMEIER, R.; FABRES, R. B.; VECCHIA, A. D.; NASCIMENTO, C. A.; SPILKI, F. R. Caffeine as an indicator of human fecal contamination in the Sinos River: a preliminary study. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 2, p. 81-84, 2015.

LYONS, B. P.; DEVLIN, M. J.; ABDUL HAMID, S. A.; AL-OTIABI, A. F.; AL-ENEZI, M.; MASSOUD, M. S.; AL-ZAIDAN, A. S.; SMITH, A. J.; MORRIS, S.; BERSUDER, P.; BARBER, J. L.; PAPACHLIMITZOU, A.; AL-SARAWI, H. A. Microbial water quality and sedimentary faecal sterols as markers of sewage contamination in Kuwait. **Marine Pollution Bulletin**, v. 100, n. 2, p. 689-698, 2015.

MARTÍN, J.; SANTOS, J. L.; APARICIO, I.; ALONSO, E. Multi-residue method for the analysis of pharmaceutical compounds in sewage sludge, compost and sediments by sonication-assisted extraction and LC determination. **Journal of Separation Science**, v. 33, n. 12, p. 1760-1766, 2010.

MARTINS, C. C.; VENKATESAN, M. I.; MONTONE, R. C. Sterols and linear alkylbenzenes in marine sediments from Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands. **Antarctic Science**, v. 14, n. 03, 2003.

MARTINS, C. D. C.; FILLMANN, G.; MONTONE, R. C. Natural and anthropogenic sterols inputs in surface sediments of Patos Lagoon, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 1, p. 106-115, 2007.

MATONGO, S.; BIRUNGI, G.; MOODLEY, B.; NDUNGU, P. Occurrence of selected pharmaceuticals in water and sediment of Umgeni River, KwaZulu-Natal, South Africa. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 13, p. 10298-10308, 2015.

MATONGO, S.; BIRUNGI, G.; MOODLEY, B.; NDUNGU, P. Occurrence of selected pharmaceuticals in water and sediment of Umgeni River, KwaZulu-Natal, South Africa. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 13, p. 10298-308, 2015.

MCCREADY, S.; SLEE, D. J.; BIRCH, G. F.; TAYLOR, S. E. The Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surficial Sediments of Sydney Harbour, Australia. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 11, p. 999-1006, 2000.

MONTAGNER, C. C.; JARDIM, W. F. Spatial and seasonal variations of pharmaceuticals and endocrine disruptors in the Atibaia River, São Paulo State (Brazil). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n. 8, p. 1452-1462, 2011.

MONTAGNER, C. C.; UMBUZEIRO, G. A.; PASQUINI, C.; JARDIM, W. F. Caffeine as an indicator of estrogenic activity in source water. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 16, n. 8, p. 1866, 2014.

MURPHY, B. T.; O'REILLY, S. S.; MONTEYS, X.; REID, B. F.; SZPAK, M. T.; MCCAUL, M. V.; JORDAN, S. F.; ALLEN, C. C. R.; KELLEHER, B. P. The occurrence of PAHs and faecal sterols in Dublin Bay and their influence on sedimentary microbial communities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 106, n. 1-2, p. 215-224, 2016.

MUSOLFF, A.; LESCHIK, S.; MÖDER, M.; STRAUCH, G.; REINSTORF, F.; SCHIRMER, M. Temporal and spatial patterns of micropollutants in urban receiving waters. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 11, p. 3069-3077, 2009.

NAKADA, N.; KIRI, K.; SHINOHARA, H.; HARADA, A.; KURODA, K.; TAKIZAWA, S.; TAKADA, H. Evaluation of Pharmaceuticals and Personal Care Products as Water-soluble Molecular Markers of Sewage. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 17, p. 6347-6353, 2008.

NORDIN, N.; ALI, M. M. Distribution of fecal sterols in surface sediment of Sungai Tebrau, Johor. **AIP Conference Proceedings** 1571, p. 460-465, 2013.

OGUNSEITAN, O. A. Removal of caffeine in sewage by *Pseudomonas putida*: Implications for water pollution index. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 12, n. 3, p. 251-256, 1996.

PAPADOPOULOU-MOURKIDOU, E.; PATSIAS, J.; PAPADAKIS, E.; KOUKOURIKOU, A. Use of an automated on-line SPE-HPLC method to monitor caffeine and selected aniline and phenol compounds in aquatic systems of Macedonia-Thrace, Greece. **Fresenius' Journal of Analytical Chemistry**, v. 371, n. 4, p. 491-496, 2001.

PATHIRATNE, K. A. S.; DE SILVA, O. C. P.; HEHEMANN, D.; ATKINSON, I.; WEI, R. Occurrence and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bolgoda and Beira Lakes, Sri Lanka. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 79, n. 2, p. 135-140, 2007.

PAXEUS, N.; FRIEDRICHSCRODER, H. Screening for non-regulated organic compounds in municipal wastewater in göteborg, sweden. **Water Science and Technology**, v. 33, n. 6, p. 9-15, 1996.

PEELER, K. A.; OPSAHL, S. P.; CHANTON, J. P. Tracking Anthropogenic Inputs Using Caffeine, Indicator Bacteria, and Nutrients in Rural Freshwater and Urban Marine Systems. **Environmental Science & Technology**, v. 40, n. 24, p. 7616-7622, 2006.

PEREIRA NETTO, A. D.; BARRETO, R. P.; MOREIRA, J. C.; ARBILLA, G. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Total Suspended Particulate of Niterói, RJ, Brazil: A Comparison of Summer and Winter Samples. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 69, n. 2, p. 173-180, 2002.

POIGER, T.; BUSER, H.-R.; MÜLLER, M. D.; BALMER, M. E.; BUERGE, I. J. Occurrence and Fate of Organic Micropollutants in the Environment: Regional Mass Balances and Source Apportioning in Surface Waters Based on Laboratory Incubation Studies in Soil and Water, Monitoring, and Computer Modeling. **CHIMIA International Journal for Chemistry**, v. 57, n. 9, p. 492-498, 2003.

PRATT, C.; WARNKEN, J.; LEEMING, R.; ARTHUR, M. J.; GRICE, D. I. Degradation and responses of coprostanol and selected sterol biomarkers in sediments to a simulated major sewage pollution event: A microcosm experiment under sub-tropical estuarine conditions. **Organic Geochemistry**, v. 39, n. 3, p. 353-369, 2008.

REEVES, A. D.; PATTON, D. Faecal sterols as indicators of sewage contamination in estuarine sediments of the Tay Estuary, Scotland: an extended baseline survey. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 9, n. 1/2, p. 81-94, 2005.

RESENDE, M. F.; SANTOS, M. D. R.; MATOS, R. C.; MATOS, M. A. C. The analysis of faecal sterols in sediment samples by HPLC-UV using ultrasound-assisted treatment. **Analytical Methods**, v. 6, n. 24, p. 9581-9587, 2014.

ROCKNE, K.; TAVAKOLY SANY, S. B.; HASHIM, R.; SALLEH, A.; REZAYI, M.; MEHDINIA, A.; SAFARI, O. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Coastal Sediment of Klang Strait, Malaysia: Distribution Pattern, Risk Assessment and Sources. **PLoS One**, v. 9, n. 4, p. e94907, 2014.

RUNNQVIST, H.; BAK, S. A.; HANSEN, M.; STYRISHAVE, B.; HALLING-SORENSEN, B.; BJORKLUND, E. Determination of pharmaceuticals in environmental and biological matrices using pressurised liquid extraction-Are we developing sound extraction methods? **Journal of Chromatography A**, v. 1217, n. 16, p. 2447-2470, 2010.

SAITO, T.; WIDAYAT; WIWIN, W.; HAGIWARA, K.; MURAKAMI, Y. Study on organic pollution parameters for dyes and dyeing auxiliaries. **Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie**, v. 319, n. 4, p. 433-434, 1984.

SANKARARAMAKRISHNAN, N.; GUO, Q. Chemical tracers as indicator of human fecal coliforms at storm water outfalls. **Environment International**, v. 31, n. 8, p. 1133-1140, 2005.

SAUVÉ, S.; ABOULFADL, K.; DORNER, S.; PAYMENT, P.; DESCHAMPS, G.; PRÉVOST, M. Fecal coliforms, caffeine and carbamazepine in stormwater collection systems in a large urban area. **Chemosphere**, v. 86, n. 2, p. 118-123, 2012.

SEILER, R. L.; ZAUGG, S. D.; THOMAS, J. M.; HOWCROFT, D. L. Caffeine and Pharmaceuticals as Indicators of Waste Water Contamination in Wells. **Ground Water**, v. 37, n. 3, p. 405-410, 1999.

SHELDON, L. S.; HITES, R. A. Organic compounds in the Delaware River. **Environmental Science & Technology**, v. 12, n. 10, p. 1188-1194, 1978.

SHRAIM, A.; DIAB, A.; ALSUHAIMI, A.; NIAZY, E.; METWALLY, M.; AMAD, M.; SIOUD, S.; DAWOUD, A. Analysis of some pharmaceuticals in municipal wastewater of Almadinah Almunawarah. **Arabian Journal of Chemistry**, 2012.

SIEVERS, R. E.; BARKLEY, R. M.; EICEMAN, G. A.; SHAPIRO, R. H.; WALTON, H. F.; KOLONKO, K. J.; FIELD, L. R. Environmental trace analysis of organics in water by glass capillary column chromatography and ancillary techniques. **Journal of Chromatography A**, v. 142, p. 745-54, 1977.

SINGH, S. P.; GARDINALI, P. R. Trace determination of 1-aminopropanone, a potential marker for wastewater contamination by liquid chromatography and atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry. **Water Research**, v. 40, n. 3, p. 588-594, 2006.

SOCLO, H. H.; GARRIGUES, P.; EWALD, M. Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Marine Sediments: Case Studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) Areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 5, p. 387-396, 2000.

STAMATIS, N. K.; KONSTANTINOOU, I. K. Occurrence and removal of emerging pharmaceutical, personal care compounds and caffeine tracer in municipal sewage treatment plant in Western Greece. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 48, n. 9, p. 800-813, 2013.

STEBBING, A. R. D. Environmental capacity and the precautionary principle. **Marine Pollution Bulletin**, v. 24, n. 6, p. 287-295, 1992.

STEFENS, J. L.; DOS SANTOS, J. H. Z.; MENDONÇA FILHO, J. G.; DA SILVA, C. G. A.; RUARO PERALBA, M. D. C. Lipid biomarkers profile—presence of coprostanol: recent sediments from Rodrigo de Freitas Lagoon—Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 42, n. 11, p. 1553-1560, 2007.

SUI, Q.; HUANG, J.; DENG, S.; YU, G.; FAN, Q. Occurrence and removal of pharmaceuticals, caffeine and DEET in wastewater treatment plants of Beijing, China. **Water Research**, v. 44, n. 2, p. 417-426, 2010.

TAKAHASHI, S.; KARRI, R.; TANABE, S. Contamination by Persistent Organic Pollutants and Related Compounds in Deep-Sea Ecosystems Along Frontal Zones Around Japan. **The Handbook of Environmental Chemistry**, p. 1-36, 2014.

TAM, N. F. Y.; KE, L.; WANG, X. H.; WONG, Y. S. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of mangrove swamps. **Environmental Pollution**, v. 114, n. 2, p. 255-263, 2001.

VENKATESAN, M. I.; KAPLAN, I. R. Sedimentary coprostanol as an index of sewage addition in Santa Monica basin, southern California. **Environmental Science & Technology**, v. 24, n. 2, p. 208-214, 1990.

VIDAL, L.; DOMINI, C.; CANALS, A. Main Parameters and Assays Involved with the Organic Pollution of Water. **Handbook of Water Analysis**, p. 459-491, 2013.

WANG, C.; ZOU, X.; GAO, J.; ZHAO, Y.; YU, W.; LI, Y.; SONG, Q. Pollution status of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from the Yangtze River Estuary and its adjacent coastal zone. **Chemosphere**, v. 162, p. 80-90, 2016.

WANG, Z.; LIU, M.; YANG, Y. Characterization and sources analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments in the Yangtze River Estuary. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 5, p. 2453-2462, 2014.

WEIGEL, S.; BERGER, U.; JENSEN, E.; KALLENBORN, R.; THORESEN, H.; HÜHNERFUSS, H. Determination of selected pharmaceuticals and caffeine in sewage and seawater from Tromsø/Norway with emphasis on ibuprofen and its metabolites. **Chemosphere**, v. 56, n. 6, p. 583-592, 2004.

WILLIAMS, C. F.; MCLAIN, J. E. T. Soil Persistence and Fate of Carbamazepine, Lincomycin, Caffeine, and Ibuprofen from Wastewater Reuse. **Journal of Environment Quality**, v. 41, n. 5, p. 1473, 2012.

ZHANG, T.; WU, B.; SUN, N.; YE, Y.; CHEN, H. Sorption and degradation of wastewater-associated pharmaceuticals and personal care products in agricultural soils and sediment. **Water Science & Technology**, v. 68, n. 5, p. 991, 2013.

ZIYLAN, A.; INCE, N. H. The occurrence and fate of anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in sewage and fresh water: treatability by conventional and non-conventional processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 187, n. 1-3, p. 24-36, 2011.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agrotóxicos 99, 100, 102, 108, 109, 172, 176

Água 2, 7, 11, 16, 18, 21, 22, 29, 30, 31, 32, 33, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 79, 80, 97, 101, 102, 103, 109, 111, 113, 114, 115, 121, 125, 127, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 144, 145, 146, 147, 148, 152, 153, 154, 161, 165, 166, 175, 176, 180, 209, 211, 212, 213

Águas superficiais 43, 113, 114, 115, 118, 122, 132, 133, 134, 135, 137, 144, 165, 170, 174, 212

Amostras ambientais 166, 170, 171

Analito 133, 147, 167, 168, 169, 170, 173, 174

Antimicrobiana 28, 29, 30, 31, 33, 38, 39, 144

Atividades antrópicas 110

### B

Bactérias 9, 31, 32, 35, 37, 50, 118, 119, 124, 131, 152

Bioacumulação 145

Biodegradabilidade 131, 209

Biofilme 7, 8, 11, 12, 13, 14, 119

Biomarcadores 124, 128, 134, 136

Biomassa 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 48, 213

Biota aquática 111, 114, 118, 119

### C

Carvão 18, 23, 24, 27, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 80

Catalisadores 150, 159

Celulose 8, 16, 18, 20, 21, 22, 40, 44, 49, 50, 53, 54

Compartimentos aquáticos 101, 102, 110, 112, 117

Compostos orgânicos 1, 40, 49, 51, 52, 56, 88, 124, 152, 213

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 166

Contaminantes de Interesse Emergente (CIE) 110, 111, 215

Corantes 80, 81, 111, 124, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 169, 174, 211

Cromatografia Gasosa (GC) 49, 136, 172, 175, 176

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) 136, 173, 175

## **D**

Degradação 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 92, 105, 115, 118, 122, 127, 130, 131, 132, 137, 152, 153, 161, 162, 163, 164, 210, 211, 212, 213

Desregulação endócrina 110, 117, 166

Drogas ilícitas 110, 113, 114, 119

## **E**

Ecosistemas 97, 110, 111, 114, 116, 117, 118, 119, 122, 123, 125, 128, 130, 131, 132, 136, 212

Ecotoxicidade 212

Efeitos deletérios 110, 115, 117

Efluentes industriais 150, 152, 208, 209, 211, 213

Energia renovável 17, 23, 25

Esgoto 115, 116, 122, 124, 126, 127, 128, 132, 133, 135, 136, 137, 144, 145, 212, 215

Estação de tratamento de esgoto 116, 144, 215

## **F**

Fármacos 111, 122, 124, 128, 130, 133, 135, 136, 137, 213

Fotoativação 161, 162

Fotocatalisador 211, 212

Fotocatálise heterogênea 150, 162, 208, 210

Fungos 31, 32, 37, 50, 213

## **H**

Hemicelulose 16, 18, 20, 21, 22, 44

Hormônios 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117

## **I**

Impacto ambiental 31, 77, 91, 212

## **L**

Lignina 16, 18, 19, 20, 21, 49, 50, 53, 54, 55

Limite de detecção 134, 170

luz solar 212

luz ultravioleta 212

## **M**

Meio ambiente 6, 8, 32, 38, 47, 77, 79, 87, 90, 99, 100, 105, 119, 122, 123, 125, 128, 131,

132, 145, 149, 165, 166, 167, 176, 209, 212

Metais 42, 80, 111, 165, 166, 168, 170, 171, 174, 175, 179, 180, 212, 213, 215

Métodos analíticos 165, 166, 167, 168, 173, 175

Métodos eletroquímicos 173

Micro-organismos 40

Microplásticos 110, 112, 113, 117, 118, 119

Micropoluentes 122, 127, 128, 130, 133, 135, 136, 144

## O

Óxidos metálicos 150, 153

## P

Pesticidas 42, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 111, 165, 166, 168, 169, 172, 174

Poliestireno 28, 30, 32, 39, 40, 77, 78, 118, 119

Polímero 7, 10, 32, 77, 79

Poluentes 22, 43, 48, 49, 50, 51, 52, 110, 117, 118, 119, 122, 124, 128, 144, 152, 159, 162, 163, 165, 166, 168, 169, 172, 173, 174, 175, 210

Processos convencionais de tratamento 115, 210

Processos oxidativos avançados 150, 152, 208, 209, 213, 215

## Q

Química 7, 14, 16, 17, 18, 21, 25, 26, 28, 32, 33, 36, 38, 39, 40, 46, 48, 49, 57, 80, 89, 90, 91, 92, 95, 96, 97, 110, 113, 118, 123, 125, 126, 145, 149, 162, 163, 164, 173, 174, 176, 177, 179, 208, 210, 212, 213, 215

Química orgânica 90, 96

Química verde 7, 89, 90, 91, 92, 96

## R

Radical hidroxila 153

Reaproveitamento 1, 2, 5, 7, 41, 44, 77

Reciclagem 32, 36, 37, 77, 79, 87, 88

Recursos hídricos 102, 103, 121, 163, 165, 166, 208, 209

Resíduos 1, 3, 4, 7, 8, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 42, 43, 44, 47, 77, 78, 79, 81, 88, 90, 92, 105, 106, 117, 118, 123, 152, 212, 213

Reutilização 7, 32, 39, 79, 215



## **S**

Sistema endócrino 99, 112, 113, 115, 116

Sistemas aquáticos 118

Substâncias tóxicas 90

## **T**

Toxicidade aguda 110, 114

Toxicidade crônica 166

Tratamento biológico 178

Tratamento de água 33, 41, 43, 44, 47, 48, 115, 144

Tratamento de efluentes 47, 150, 208, 209, 210, 211, 213



# Química:

Debate entre a Vida Moderna  
e o Meio Ambiente

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

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





 @atenaeditora

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



# Química:

Debate entre a Vida Moderna  
e o Meio Ambiente

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  @atenaeditora
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)