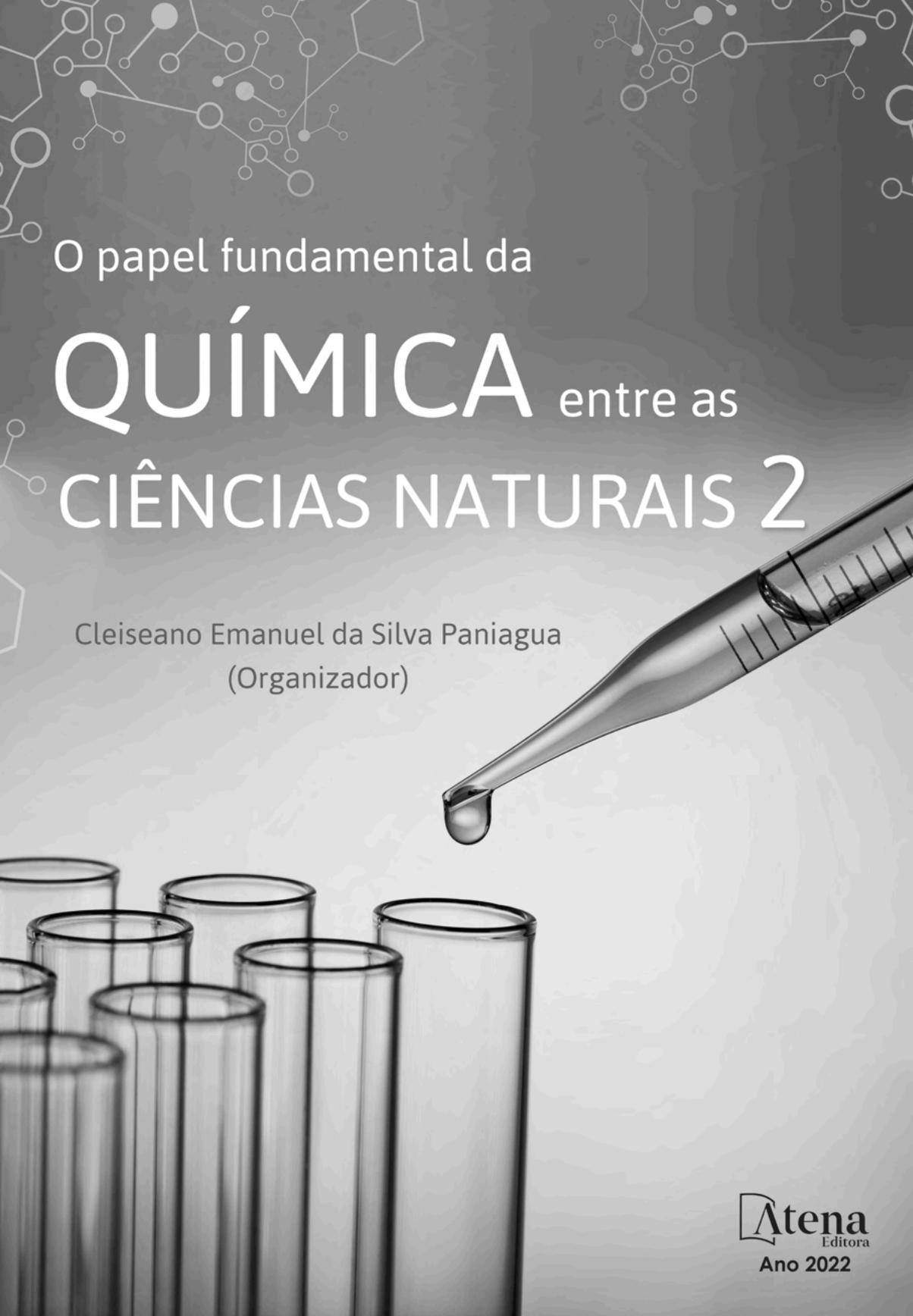
The background features a blue gradient with white chemical structures (molecules and rings) scattered across the top. In the lower half, there is a close-up of a glass dropper with a red liquid inside, positioned above several test tubes. The lighting is soft, creating a professional and scientific atmosphere.

O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)



O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## O papel fundamental da química entre as ciências naturais 2

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

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

P214 O papel fundamental da química entre as ciências naturais  
2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua.  
- Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0027-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.271220604>

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



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## 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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book: “O papel fundamental da química entre as ciências naturais 2” é composto por onze capítulos que apresentam trabalhos nas diferentes áreas da química: *i)* teoria e prática no ensino de química; *ii)* química dos produtos naturais; *iii)* química dos materiais; e *iv)* aplicação de novos materiais e biotecnologia para remediação ambiental.

O primeiro capítulo apresenta um trabalho resultante da observação, experiência e desafios enfrentados por discentes do curso de licenciatura em química, frente ao desafio do processo de ensino-aprendizagem de alunos do ensino médio.

O segundo capítulo apresenta um estudo que trata da importância de compostos fenólicos com propriedades antioxidantes, provenientes de frutos que compõem a dieta alimentar de milhares de famílias. Já os capítulos três e quatro apresentam estudos que avaliaram as propriedades físico-químicas de biodiesel provenientes da espécie Ouricuri e das sementes de *Glycine Max* e *Ricinus Communis L.*

Os capítulos de cinco a nove apresentam trabalhos que objetivaram sintetizar, caracterizar e elucidar as inúmeras propriedades de materiais provenientes de fibra de carbono, aminas quirais, fibras de  $\text{TiO}_2$  e de bambu funcionalizadas com óxido de ferro; a fim de se avaliar inúmeras propriedades: *i)* catalíticas; *ii)* semicondutoras e luminescentes; *iii)* novas nanoestruturas pela combinação de duas ou mais substâncias químicas; *iv)* preparo de filmes finos biodegradáveis entre outras propriedades que visem a sua aplicação em larga escala, que leve a proporcionar inúmeros benefícios em forma de tecnologia para a sociedade.

O capítulo 10 apresenta um trabalho de revisão no qual se avaliou a eficiência de  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  como fotocatalisador para a remoção de corantes em matrizes aquosas. Por fim, o capítulo 11 apresenta uma revisão da aplicação da propriedade de bioluminescência da bactéria *Vibrio fischeri* frente à exposição da toxicidade provenientes de inúmeras classes de Contaminantes de Interesse Emergente e seus produtos de transformação provenientes da aplicação de diferentes processos oxidativos avançados em matrizes aquosas.

Diante desta diversidade de trabalhos que abordaram a aplicação de diferentes áreas da química e afins, esta área da ciência demonstra a sua fundamental importância para aperfeiçoar, desenvolver e remediar novos produtos que chegam até o consumo da sociedade e que objetiva melhorar e aumentar a qualidade de vida das pessoas.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **EXPERIÊNCIAS DE INSERÇÃO PROFISSIONAL NO ENSINO DE QUÍMICA: TEORIA E PRÁTICA**

Alan Stampini Benhame de Castro  
Hauster Maximiler Campos de Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206041>

### **CAPÍTULO 2..... 12**

#### **IMPORTÂNCIA DOS BIOATIVOS FENÓLICOS COMO ANTIOXIDANTES NATURAIS**

Maria Celeste da Silva Sauthier  
Ana Maria Pinto dos Santos  
Walter Nei Lopes dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206042>

### **CAPÍTULO 3..... 23**

#### **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS MISTURAS DE BIODIESEL DE OURICURI E DIESEL DE PETRÓLEO**

Rafaela Gabriel  
João Inácio Soletti  
Sandra Helena Vieira de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206043>

### **CAPÍTULO 4..... 35**

#### **TRANSESTERIFICAÇÃO *IN SITU* MEDIADA POR MICRO-ONDAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE SEMENTES DE *Glycine max* E *Ricinus communis L.***

Sávio Eduardo Oliveira Miranda  
Sandro Luiz Barbosa dos Santos  
Stanlei Ivair Klein

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206044>

### **CAPÍTULO 5..... 45**

#### **A THERMODYNAMIC APPROACH FOR MICROSTRUCTURES WITHIN CARBON FIBERS PRECURSORY MESOPHASE PITCH BASED ON THE MÜLLER-LIU PROCEDURE**

Caio Cesar Ferreira Florindo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206045>

### **CAPÍTULO 6..... 53**

#### **RESOLUÇÃO CINÉTICA DINÂMICA DE AMINAS QUIRAIS COM CATALISADOR HETEROGÊNEO DE PALÁDIO SUPORTADO EM DOLOMITA**

Fernanda Amaral de Siqueira  
Renata Costa Zimpeck  
José Carlos Queiroz Arêas  
Larissa Moisés da Silva  
Lívia Yuriko Sawada

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206046>

**CAPÍTULO 7..... 64**

OBSERVAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE TUNGSTÊNIO PRESENTE EM FIBRAS DE TiO<sub>2</sub> UTILIZADAS COMO SEMICONDUTORES EM FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA

Luana Góes Soares da Silva  
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206047>

**CAPÍTULO 8..... 75**

SÍNTESE DE SEMICONDUTORES DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES E SUA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO NA REGIÃO UVA

Luana Góes Soares da Silva  
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206048>

**CAPÍTULO 9..... 85**

PREPARAÇÃO DE FILMES FINOS BIODEGRADÁVEIS A BASE DE BAMBU FUNCIONALIZADOS COM ÓXIDO DE FERRO

Viviane Alencar Marques Araújo do Nascimento  
Marcelo Ramon da Silva Nunes  
William Ferreira Alves  
Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206049>

**CAPÍTULO 10..... 94**

UMA BREVE REVISÃO DO DESEMPENHO DO Ag<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> NA REMOÇÃO DE CORANTES EM SOLUÇÃO AQUOSA POR FOTOCATÁLISE

Francisco das Chagas Marques da Silva  
Germano Pereira dos Santos  
Francisco de Assis Araújo Barros  
Geraldo Eduardo da Luz Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.27122060410>

**CAPÍTULO 11..... 104**

UTILIZAÇÃO DA BACTÉRIA *Vibrio fischeri* NA INDICAÇÃO DE TOXICIDADE AGUDA PROVENIENTES DE CONTAMINANTES DE INTERESSE EMERGENTE E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO AVALIADOS EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.27122060411>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 117**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 118**

## UTILIZAÇÃO DA BACTÉRIA *Vibrio fischeri* NA INDICAÇÃO DE TOXICIDADE AGUDA PROVENIENTES DE CONTAMINANTES DE INTERESSE EMERGENTE E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO AVALIADOS EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS

Data de aceite: 01/03/2022

### Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia  
Pós-doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia  
<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>  
<https://orcid.org/0000-0003-3587-486X>

### Valdinei de Oliveira Santos

Especialista em Educação Ambiental, pelo Instituto de Educação e Ensino Superior de Samambaia  
Professor da Escola Estadual Dom Eliseu – Unaí/MG  
<http://lattes.cnpq.br/5877647086852971>  
<http://orcid.org/0000-0002-3400-0143>

**RESUMO:** Os Contaminantes de Interesse Emergente (CIE) são substâncias pertencentes a inúmeras classes (pesticidas, fármacos, corantes, hormônios, microplásticos dentre outros) e que estão sendo detectados e quantificados com maior frequência e concentração em diferentes ecossistemas aquáticos. Inúmeras pesquisas vêm correlacionando a repetida e prolongada exposição de CIEs a inúmeros efeitos deletérios a organismos de diferentes ecossistemas e níveis tróficos da cadeia alimentar, inclusive a espécie humana. Diante disso, inúmeros micro-organismos vêm sendo empregados a fim de se investigar a toxicidade aguda, entre os quais a bactéria *Vibrio fischeri* que apresenta elevada sensibili-

dade a toxicidade expressa por substâncias em concentrações a níveis de traços  $\mu\text{g/L}$  e ultra-traços ( $\text{ng/L}$ ) que se expressa pela redução/inibição da bioluminescência desta bactéria. Outra vantagem deste organismo se refere à ausência de toxicidade e que não necessita de aprovação por comitês de ética em pesquisa. Os trabalhos apresentados e discutidos indicam que o uso da *Vibrio fischeri* é satisfatório tanto para a toxicidade de CIEs, quanto para seus produtos de transformação (TPs) que podem ser mais ou menos tóxicos em relação ao composto de origem. Diante disso, pode-se concluir que a bactéria é um excelente indicador de toxicidade de substâncias em concentrações muito baixas. No entanto, se faz necessário tanto a realização de ensaios ecotoxicológicos com organismos de diferentes níveis tróficos, quanto ensaios a médio e longo prazo a fim de se obter resultados mais concisos que possam culminar na integração dos CIEs em legislações ambientais em todo o mundo.

**PALAVRAS-CHAVE:** bactéria, bioluminescência, ecossistemas aquáticos, toxicidade, *Vibrio fischeri*.

### USE OF *Vibrio fischeri* BACTERIUM IN THE INDICATION OF ACUTE TOXICITY FROM CONTAMINANTS OF EMERGING CONCERN AND THEIR DEGRADATION PRODUCTS EVALUATED IN DIFFERENT AQUEOUS MATRICES

**ABSTRACT:** Contaminants of Emerging Concern (CEC) are substances belonging to numerous classes (pesticides, pharmaceuticals, dyes, hormones, microplastics, among others) that are being detected and quantified with greater fre-

quency and concentration in different aquatic ecosystems. Numerous studies have correlated the repeated and prolonged exposure of CIEs to numerous deleterious effects on organisms from different ecosystems and trophic levels of the food chain, including the human species. Therefore, numerous microorganisms have been used to investigate acute toxicity, including the bacterium *Vibrio fischeri*, which is highly sensitive to toxicity expressed by substances in concentrations at trace levels  $\mu\text{g/L}$  and ultra-trace levels (ng/L) which is expressed by the reduction/inhibition of the bioluminescence of this bacterium. Another advantage of this organism refers to the absence of toxicity and that it does not need approval by research ethics committees. The works presented and discussed indicate that the use of *Vibrio fischeri* is satisfactory both for the toxicity of CIEs and for their transformation products (TPs) that can be more or less toxic in relation to the parent compound. Therefore, it can be concluded that the bacterium is an excellent indicator of toxicity of substances in very low concentrations. However, it is necessary to carry out ecotoxicological tests with organisms of different trophic levels, as well as medium and long-term tests in order to obtain more concise results that can culminate in the integration of CIEs in environmental legislation around the world.

**KEYWORDS:** bacterium, bioluminescence, aquatic ecosystems, toxicity, *Vibrio fischeri*.

## 1 | INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os Contaminantes de Interesse Emergente (CIEs) são substâncias químicas de origem antrópica, cuja ocorrência ou relevância no ambiente foi constatada a partir do início da década de 1990, com potencial ou real ameaça a saúde humana e/ou ambiente e que não possuem legislação que estabeleça tanto os padrões de potabilidade ou níveis de toxicidade seguro (GONÇALVES et al., 2020; MARSON et al., 2021; PANIAGUA et al., 2020; RICARDO et al., 2018). Entre os CIEs se encontram substâncias provenientes de inúmeras classes, entre as quais: *i)* fármacos; *ii)* pesticidas; *iii)* drogas ilícitas; *iv)* hormônios; *v)* corantes; *vi)* aromatizantes; *vii)* retardantes de chama; *viii)* microplásticos dentre outros (MAGINA et al., 2021; MULKIEWICZ et al., 2021; OLIVER et al., 2020). Entre as principais vias de acesso dos CIE's no ambiente, se encontram as matrizes aquosas, conforme mapa conceitual apresentado na Figura 1.

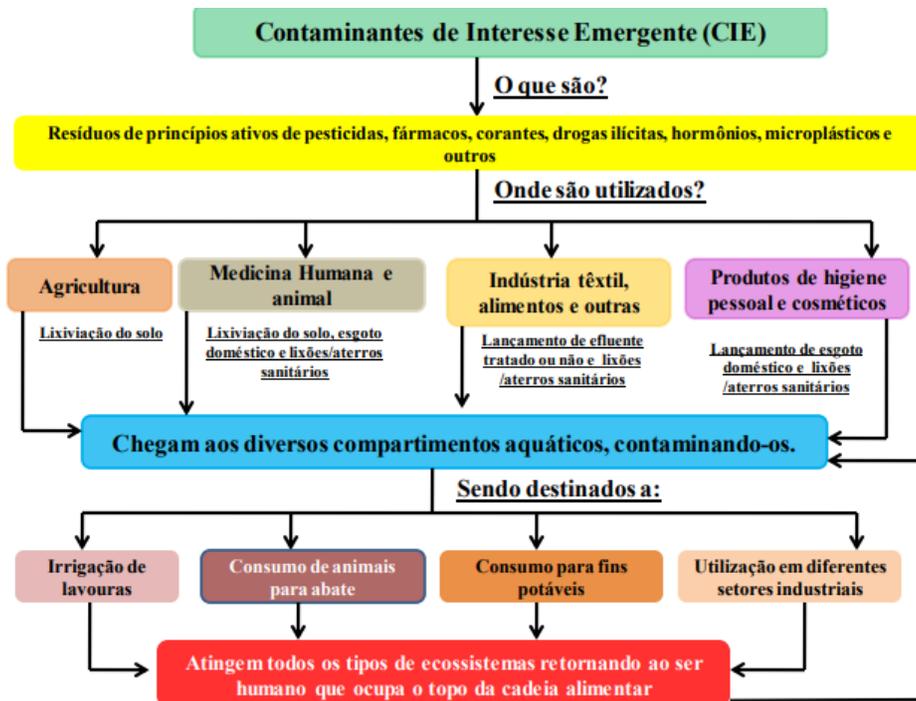


Figura 1: Mapa conceitual da entrada dos CIE's em diferentes ambientes aquáticos

Fonte: O autor (2022).

Presente nas diferentes matrizes aquosas e não sendo removidos pelos métodos tradicionais de tratamento de água e esgoto, os CIEs entram nos diferentes ecossistemas e contaminam os organismos de todos os níveis tróficos, desencadeando inúmeros efeitos deletérios a curto, médio e longo prazo aos diferentes ecossistemas e organismos vivos. Inúmeros trabalhos já foram realizados e apontaram diferentes correlações de efeitos deletérios a exposição contínua aos CIEs (LASHUK; YARGEAU, 2021; RUEDA-MARQUEZ et al., 2020). Entretanto, os estudos são constituídos, majoritariamente, por ensaios de toxicidade aguda no qual se utiliza inúmeros organismos que não necessitam de apreciação e parecer favorável estabelecidos pelos Comitês de Ética em Pesquisa (CEP) presentes em instituições de ensino e pesquisa. Entre os micro-organismos que são utilizados se encontram os mais simples como as bactérias que pertencem ao reino monera, em especial a espécie *Vibrio fischeri* (*V. fischeri*) que possui a propriedade de reduzir sua bioluminescência na presença de substâncias tóxicas a níveis traço e ultra-traço (FANG et al., 2019; RUEDA-MARQUEZ et al., 2020).

O atual estado da arte apresenta escassez de trabalhos referente ao entendimento do uso da bactéria em ensaios toxicológicos como indicador de poluição proveniente de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes tanto em matrizes aquosas *in natura*, quan-

to àquelas que recebem constantemente aporte de substâncias provenientes de atividades antrópicas. Além disso, não foi encontrado nenhum trabalho publicado por pesquisadores brasileiros tanto em periódicos nacionais, quanto em internacionais que apresentam um estudo revisional com ênfase na utilização da *V. fischeri* em ensaios ecotoxicológicos. Neste sentido, pretende-se preencher uma lacuna em relação a apresentação de um trabalho que possa ser consultado como material de referência para pesquisadores que utilizam este micro-organismo como indicador de poluição de CIEs e seus TPs presentes em matrizes aquosas de diferentes ecossistemas e biotas aquáticas.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo resultante de trabalhos que utilizaram a bactéria *V. fischeri* em ensaios ecotoxicológicos de natureza aguda, compreendidos entre os anos de 2015 a 2021 que avaliaram a toxicidade proveniente de CIEs presentes na composição da matriz ou adicionados a matrizes aquosas a fim de se investigar a toxicidade aguda em diferentes organismos, entre os quais a bactéria *V. fischeri*.

## 2 | ENSAIOS DE TOXICIDADE COM DIFERENTES ORGANISMOS

Os testes de toxicidade, também conhecidos como bioensaios ou ensaios ecotoxicológicos, consistem em detectar e avaliar a capacidade de um efluente em produzir efeitos danosos em organismos testes, previamente padronizados e selecionados por normas nacionais e internacionais. Estes organismos, sejam eles no todo ou em parte, respondem de forma integral com reações específicas a todas as perturbações diretas ou indiretas causadas por substâncias nocivas. Em geral, essas reações são facilmente mensuráveis, de forma a habilitá-los como sensores biológicos ou bioindicadores (HWANG et al., 2021; TÓTH et al., 2019).

Existem vários efeitos adversos que podem ser quantificados devido à exposição aos poluentes: (i) número de organismos vivos ou mortos; (ii) taxas de reprodução; (iii) comprimento e massa corpórea; (iv) número de anomalias ou incidência de tumores; (v) alterações fisiológicas e (vi) diversidade de espécies numa determinada comunidade biológica, podendo ser classificados em efeitos agudos ou crônicos (CHAVES et al., 2021; TANG et al., 2019). Entre os organismos vivos mais empregados nos bioensaios, podemos citar: algas, microcrustáceos, peixes, bactérias entre outros, conforme a Figura 2.

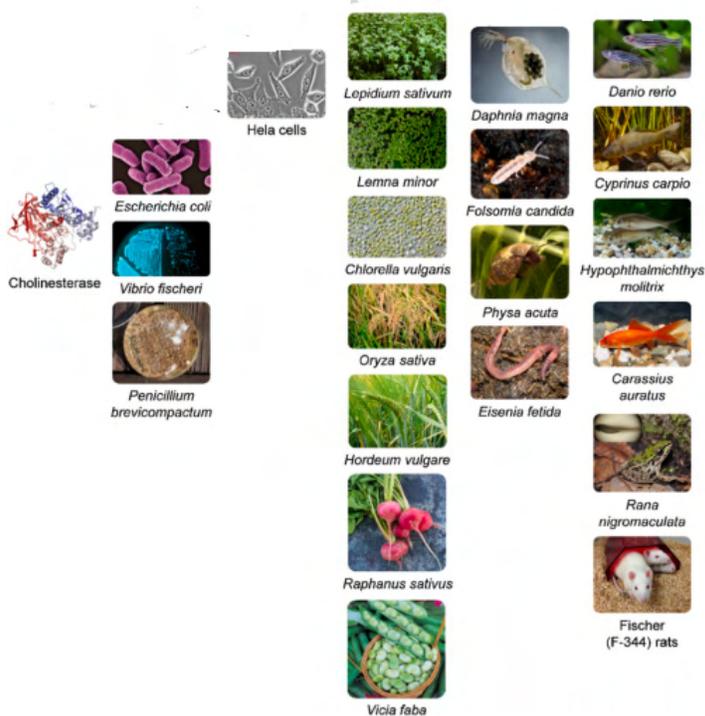


Figura 2: Esquema de uma série de organismos vivos utilizados em testes de toxicidade.

Fonte: Adaptado de Magina e colaboradores (2021).

Entretanto, o presente trabalho se limitará a apresentar e discutir ensaios de toxicidade com a bactéria *V. fischeri*.

## 2.1 *V. fischeri*

A *V. fischeri* é uma bactéria gram-negativa (oxidase-positiva) e heterotrófica encontrada em águas temperadas subtropicais com propriedades luminescentes. Este organismo vem sendo utilizado em testes de toxicidade desde 1979, sendo considerado um organismo que não apresenta patogenicidade (ABBAS et al., 2018; MIYASHIRO; RUBY, 2012;). Os testes com *V. fischeri* contam com uma cepa padronizada de bactérias liofilizada que compõe kits comerciais como o Microtox (ABBAS et al., 2018; GATIDOU; STASINAKIS, LATROU, 2015; GMUREK; HORN; MAJEWSKY, 2015).

A luminescência da bactéria ocorre a partir da reação química de oxidação da luciferina, que se constitui no [ácido (4S)-2-(6-hidroxi-1,3-benzotiazol-2-il)-4,5-di-hidro-1,3-tiazol-4-carboxílico, fórmula  $C_{11}H_8N_2O_3S_2$ - 280,3 g/mol], pertencente a uma classe de pigmentos capazes de provocar o fenômeno da bioluminescência por ação da enzima luciferase, gerando uma luz azul-esverdeado (Figura 3A) que é emitida sob condições ambientais

favoráveis e concentrações de oxigênio superiores a 0,5 mg/L. A estrutura celular da bactérias (Figura 3B), considerado o ser vivo mais simples e pertencente ao reino monera (ABBAS et al., 2018; GORENOGLU et al., 2018; PANIAGUA et al., 2020).

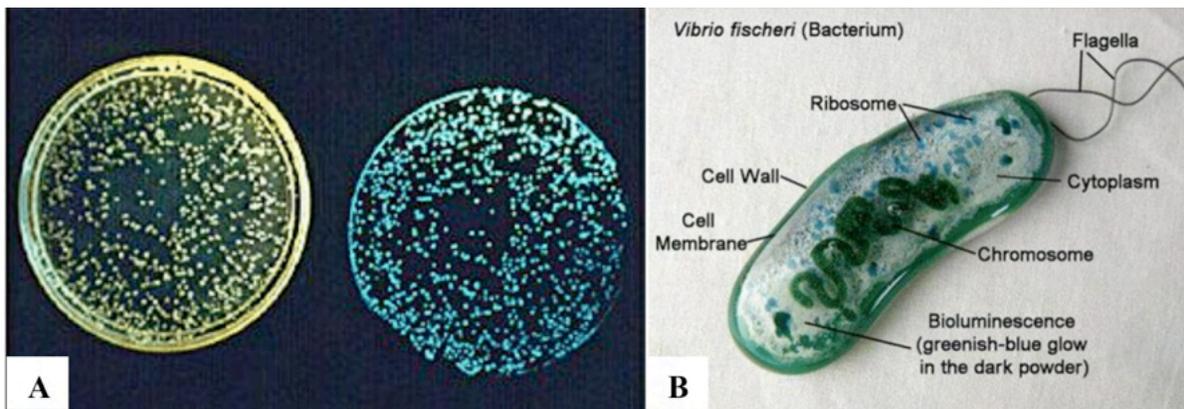


Figura 3- (A) Luminescência emitida e (B) estrutura celular da pela bactéria *V. fischeri*;

Fonte: Paniagua (2018).

A bactéria *V. fischeri* também é responsável pela luminosidade de águas de superfície (Figura 4A) e estabelece relações simbióticas com diferentes organismos que vivem em ambientes aquáticos mais profundo sem ou pouca penetração de luz, como no caso da Lula Bobtail Havaiana (Figura 4B).

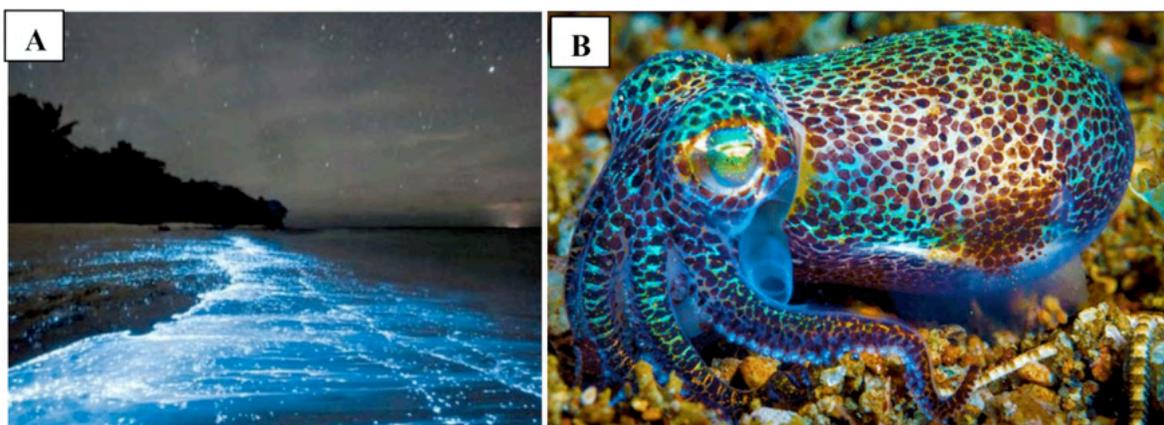


Figura 4: (A) *V. fischeri* presente em águas superficiais e (B) relação simbiótica com a Lula Bobtail.

Fonte: Acervo do autor (2022).

Dentre as vantagens do teste de ecotoxicidade com *V. fischeri* estão: a sensibilidade, simplicidade, rapidez, facilidade de estocagem, a utilização de pequenas quantidades de amostra, a utilização em água doce ou salina e a ausência de problemas éticos (PANIAGUA, 2018). Por outro lado, apresenta como desvantagem a necessidade de ajustar a salinidade por adição de cloreto de sódio ou sacarose (ABBAS et al., 2018; PANIAGUA et al., 2020).

O teste de toxicidade aguda com *V. fischeri*, constitui-se em comparar a luminescência natural da bactéria, antes e após um intervalo de exposição (de 15 a 30 min) a uma amostra-alvo. Este teste é possível em função do metabolismo da bactéria ser sensível a baixas concentrações de compostos tóxicos, afetando a intensidade de luz emitida (ABBAS et al., 2018; PANIAGUA et al., 2019; PANIAGUA et al., 2020). Logo, a diferença obtida na emissão de luz indicará a toxicidade da amostra e o resultado será expresso como porcentagem de inibição de luminescência (BARISÇI et al., 2018; ZADOROZHNYA et al., 2015).

O sistema EasyTox ET-400 (Figura 5), utilizado para determinação da toxicidade aguda, consistiu em um luminômetro (BioFix®Lumi-10) que permitiu medir a luminescência emitida pela bactéria na presença e na ausência da substância tóxica, uma incubadora EasyCool que permitiu a incubação de cubetas a temperatura controlada de 15 °C, um kit BIOLUX® Lyo-5 de culturas liofilizadas da fotobactéria, cubetas especiais para a leitura, e reagentes necessários (tampão de reativação, solução de diluição).



Figura 5-Sistema EasyTox ET-400 utilizado nos testes de ecotoxicidade.

Fonte: Paniagua (2018).

Os frascos contendo a biomassa liofilizada são armazenados sob congelamento a cerca de -20 °C, sendo previamente ativada pelo tampão de reativação antes de sua utilização. Para realização dos testes, inicialmente, o equipamento BioFix®Lumi-10 e a in-

cubadora foram ligados, visando estabilizar a temperatura da incubadora em 15 °C. O ensaio é fundamentado na redução da luminescência emitida naturalmente pelas suspensões bacterianas antes e após o contato com a amostra, calculado pela diferença da leitura inicial (antes da adição da amostra) e leitura após a exposição da bactéria com a amostra em períodos de 15 e 30 min (leitura final). O resultado considera um fator de correção, que é a medida das alterações da luminescência do controle atóxico (solução salina) durante o mesmo período de exposição. O efeito inibitório de uma amostra pode ser determinado como fator de toxicidade ou como valores de  $CE_{20}$  e/ou  $CE_{50}$  (HWANG et al., 2021; METHNENI et al., 2021).

### 3 I APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE VÁRIOS TRABALHOS DA LITERATURA

Na literatura, são encontrados diversos trabalhos que utilizaram a bactéria *V. fischeri* como organismo em testes ecotoxicológicos em matrizes aquosas contendo diferentes classes de compostos (PANIAGUA et al., 2020; RICARDO et al., 2018; WANG et al., 2017).

Gmurek, Horn e Majewsky (2015) avaliaram a toxicidade do fármaco sulfametoxazol bem como dos seus produtos de degradação, observando-se uma redução na luminescência da bactéria quando exposta às amostras obtidas durante o processo de degradação, o que evidencia a formação de produtos de degradação mais tóxicos quando comparado ao GEM inicialmente.

Ma e colaboradores (2016) avaliaram a toxicidade do fármaco gemfibrozil e seus produtos de degradação, obtendo-se uma luminescência 50% maior no produto de degradação em relação ao GEM, evidenciando-se que o fármaco possui maior toxicidade do que os seus intermediários gerados.

Júnior e colaboradores (2017) avaliaram a toxicidade do pesticida fipronil antes e após a aplicação do processo de fotocatalise heterogênea com  $TiO_2$  associada a  $H_2O_2$ . Nas melhores condições otimizadas em água desionizada, obteve-se a inibição total da luminescência do micro-organismo.

Koltisakidou e colaboradores (2017) estudaram a toxicidade do fármaco citarabina após aplicação do processo de fotocatalise heterogênea em água desionizada. Os resultados apontaram uma toxicidade de 16% em relação ao fármaco e de 45% para os produtos de degradação, nas melhores condições otimizadas. Logo, os produtos de transformação são mais tóxicos do que o composto-alvo de origem.

Zhao e colaboradores (2017) avaliaram a toxicidade dos fármacos fluoxetina e norfluoxetina e de seus produtos de degradação, sendo obtida uma diminuição da luminescência, em pH 8, de 20 e 32% respectivamente. Em pH 3,0 a inibição da luminescência caiu para 14 e 22% respectivamente.

Kong e colaboradores (2018) avaliaram a toxicidade dos reguladores lipídicos: ácido clofibrato, benzafibrato e gemfibrozil, sendo obtida uma toxicidade de 80% em pH 8,4 após

13 min de radiação UV isolada.

Ricardo e colaboradores (2018) investigaram a degradação do fármaco cloranfenicol (CAP) pelo processo foto-Fenton em água de rio (AR) e efluente de estação de tratamento de esgoto (ETE). Nas melhores condições otimizadas a toxicidade inicial do composto-alvo foi de 62% (AR) e de 91% (ETE), após a aplicação do processo foto-Fenton a luminescência apresentou 27% (AR) e 34% (ETE) indicando que os produtos de degradação são menos tóxicos em relação ao composto inicial.

Sági e colaboradores (2018) estudaram a degradação do sulfametoxazol em efluente de ETE pelo processo de fotólise UV-C, obtendo-se 97% de inibição da luminescência da bactéria *V. fischeri* nas melhores condições otimizadas demonstrando que os produtos de degradação são mais tóxicos em relação ao composto-alvo.

Paniagua e colaboradores (2019) investigaram a toxicidade da mistura dos fármacos Gemfibrozil (GEM), Hidroclorotiazida (HCTZ) e Naproxeno (NAP) em água desionizada (AD), água de rio (AR) e efluente proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) utilizando a bactéria *V. fischeri* para ensaios ecotoxicológicos. Nas melhores condições otimizadas para o processo de peroxidação fotoassistida, obteve-se 77% (AD), 62% (AR) e 65% (ETE) após 120 min de tratamento.

Chaves e colaboradores (2020) estudaram a degradação de uma mistura constituído de bisfenol A (BPA), 17 $\beta$ -estradiol (E2) e 17 $\alpha$ -etenilestradiol (EE2) a uma concentração inicial de 100  $\mu$ g/L nas matrizes de água desionizada e provenientes de estação de tratamento de águas residuárias (ETAR)

Gonçalves e colaboradores (2020) investigaram a influência do ligante EDDS no processo foto-fenton aplicado em uma mistura de pesticidas nas matrizes de água desionizada (AD) e efluente proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE). Nas melhores condições otimizadas, a inibição da luminescência da bactéria atingiu 50% em relação aos compostos-alvos avaliados.

Michael e colaboradores (2020) avaliaram a remoção dos antibióticos Ciprofloxacina e Sulfametoxazol nas matrizes de águas residuárias (AR) e efluente proveniente de estação de tratamento de águas de residuárias (ETAR) na cidade de Almería na Espanha. A uma concentração inicial de 100  $\mu$ g/L, a redução da luminescência foi de 45% (AR) e 35% (ETAR), respectivamente.

Paniagua e colaboradores (2020) investigaram a toxicidade dos fármacos Gemfibrozil (GEM), Hidroclorotiazida (HCTZ) e Naproxeno (NAP) e seus diferentes produtos de degradação nas matrizes de água desionizada (AD), água de rio (AR) e efluente de ETE aplicando-se o processo de fotocatalise heterogênea (TiO<sub>2</sub>/UV-A). Os resultados apresentaram 70% (AD) e 66% (AR) após 240 min de tratamento sob as melhores condições otimizadas. Já a matriz de ETE apresentou 85% de inibição da bioluminescência após 360 min de tratamento sob as melhores condições. O aumento da complexidade da matriz eleva a inibição da bactéria, visto que a matéria orgânica e constituinte inorgânicos

são responsáveis pela toxicidade majoritária apresentada.

Zhu e colaboradores (2021) investigaram a toxicidade dos fármacos Sulfamerazina (SMR), sulfadiazina (SDZ) e sulfapiridina (SPD) nas melhores condições otimizadas em amostras provenientes de águas de rio e de efluentes de estação de tratamento de esgoto. Os resultados apontaram que a redução da bioluminescência de *V. fischeri* foi superior a 80% em águas de rio e nas amostras de efluente de estação de tratamento (ETE), sendo que a toxicidade proveniente da composição das matrizes foi superior a da mistura de fármacos.

## 4 | CONCLUSÕES

Os estudos apresentados evidenciaram a importância da utilização da bactéria *V. fischeri* como bioensaio de toxicidade aguda para diferentes classes de compostos, em diferentes matrizes aquáticas e em maiores concentrações do que as encontradas nos ecossistemas aquáticos. O estudo com este micro-organismo é capaz de apontar a toxicidade dos produtos de transformação em relação aos compostos iniciais, visto que podem apresentar maior toxicidade em relação ao composto-alvo inicial. O uso da *V. fischeri* não deve ser utilizado como único teste de toxicidade em função de ser um dos organismos mais simples (procarióticos), sendo necessário utilizar outros organismos de diferentes níveis tróficos e com ensaios toxicológicos que se expressam de diferentes formas. Logo, a bactéria se constitui em um organismo bioindicador de poluição em concentrações traços e ultra-traços.

## REFERÊNCIAS

ABBAS, M. et al. *Vibrio fischeri* bioluminescence inhibition assay for ecotoxicity assessment: A review. **Science of the Total Environment**, v.626, p. 1295-1309, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.066>

BARISÇI, S. et al. Eletro-oxidation of cytostatic drugs: Experimental and theoretical identification of by-products and evaluation of ecotoxicological effects. **Chemical Engineering Journal**, v.224, p. 1820-1827, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.11.105>

CHAVES, F. P. et al. Comparative endocrine disrupting compound removal from real wastewater by UV/Cl and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Effect of pH, estrogenic activity, transformation products and toxicity. **Science of the Total Environment**, v.746, p. 141041, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141041>

FANG, Z. et al. Comparison of UV/Persulfate and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for the removal of naphthenic acids and acute toxicity towards *Vibrio fischeri* from petroleum production process water. **Science of the Total Environment**, v. 694, p. 133686, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133686>

GATIDOU, G.; STASINAKIS, A. S.; LATROU, E. I. Assessing single and joint toxicity of three phenylurea herbicides using *Lemna minor* and *Vibrio fischeri* bioassays. **Chemosphere**, v. 119, p. 569-574, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.030>

- GMUREK, M.; HORN, H.; MAJEWSKY, M. Phototransformation of sulfamethoxazole under simulated sunlight: Transformation products and their antibacterial activity toward *Vibrio fischeri*. **Science of the Total Environment**, v.538, p. 58-63, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.014>
- GONÇALVES, B. R. et al. Reducing toxicity and antimicrobial activity of a pesticide mixture via photo-Fenton in different aqueous matrices using iron complexes. **Science of the Total Environment**, v.740, p.140152, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140152>
- GORENOGLU, E. et al. Effect of triclosan and its photolysis products on marine bacterium *V. fischeri* and freshwater alga *R. subcapitata*. **Journal of Environmental Management**, v. 211, p. 218-224, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.056>
- HWANG, K. et al. Large-scale sediment toxicity assessment over the 15,000 km of coastline in the Yellow and Bohai seas, East Asia. **Science of the Total Environment**, v. 782, 148371, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148371>
- JÚNIOR, O. G. et al. Optimization of fipronil degradation by heterogeneous photocatalysis: Identification of transformation products and toxicity assessment. **Water Research**, v. 110, p. 133-140, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.12.017>
- KASONGA, T. K. et al. Endocrine-disruptive chemicals as contaminants of emerging concern in wastewater and surface water: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 277, p. 11485, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111485>
- KOLTISAKIDOU, A. et al. Cytarabine degradation by simulated solar assisted photocatalysis using TiO<sub>2</sub>. **Chemical Engineering Journal**, v. 316, p.823-831, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.132>
- KONG, X. et al. Degradation of lipid regulators by the UV/Chlorine process: Radical mechanisms, chlorine oxide radical (ClO<sup>•</sup>) – mediated transformation pathways and toxicity changes. **Water Research**, v. 137, p. 242- 250, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.004>
- LASHUK, B.; YARGEAU, V. A review of ecotoxicity reduction in contaminated waters by heterogeneous photocatalytic ozonation. **Science of the Total Environment**, v.787, p. 147645, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147645>
- MA, J. et al. Photodegradation of gemfibrozil in aqueous solution under UV irradiation: kinetics, mechanism, toxicity and. Degradation pathways. **Environmental Science Pollution Research**, v.23, p. 14294-14306, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6451-5>
- MAGINA, S. et al. Evaluating the hazardous impact of ionic liquids – Challenges and opportunities. **Journal of Hazardous Materials**, v. 412, p.125215, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125215>.
- MARSON, E. O. et al. Chemical and toxicological evaluation along with unprecedented transformation products during photolysis and heterogeneous photocatalysis of chloramphenicol in different aqueous matrices. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 23582-23594, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09756-3>.

METHNENI, N. et al. Ecotoxicity profile of heavily contaminated surface water of two rivers in Tunisia. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.82, p.103550, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103550>.

MICHAEL, S. G. et al. Investigating the impact of UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and sunlight/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on the removal of antibiotics, antibiotic resistance determinants and toxicity present in urban wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v.388, p. 124383, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124383>

MIYASHIRO, T.; RUBY, E. G. Shedding light on bioluminescence regulation in *Vibrio fischeri*. **Molecular Microbiology**, v. 84, n. 5, p. 795-806, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2012.08065.x>

MULKIEWICZ, E. et al. Metabolism of non-steroidal anti-inflammatory drugs by non-target wild-living organisms. **Science of the Total Environment**, v.791, p. 148251, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148251>

OLIVER, M. et al. Ecotoxicological equilibria of triclosan in Microtox, XenoScreen YES/YAS, Caco2, HEPG2 and liposomal systems are affected by the occurrence of other pharmaceutical and personal care emerging contaminants. **Science of the Total Environment**, v.719, p. 137358, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137358>

PAIVA, V. A. B. et al. Simultaneous degradation of pharmaceuticals by classic and modified photo-Fenton process. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 1086-1092, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.013>

PANIAGUA, C. E. S. et al. Simultaneous degradation of the pharmaceuticals gemfibrozil, hydrochlorothiazide and naproxen and toxicity changes during UV-C and UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes in different aqueous matrixes. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.7, p. 103164, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103164>.

PANIAGUA, C. E. S. et al. Matrix Effects on the Degradation of Gemfibrozil, Hydrochlorothiazide, and Naproxen by Heterogeneous Photocatalysis. **Journal Brazilian Chemical Society**, v. 31, n.6, p. 1161-1169, 2020. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20200002>.

RICARDO, I. A. et al. Chloramphenicol photo-Fenton degradation and toxicity changes in both surface water and a tertiary effluent from a municipal wastewater treatment plant at near-neutral conditions. **Chemical Engineering Journal**, v.347, p. 763-770, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.169>.

RICARDO, I. A. et al. Degradation and initial mechanism pathway of chloramphenicol by photo-Fenton process at circumneutral pH. **Chemical Engineering Journal**, v. 339, n.1, p. 531-538, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.144>

RUEDA-MARQUEZ, J. J. et al. A critical review on application of photocatalysis for toxicity reduction of real wastewaters. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120694, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120694>

SÁGI, G. et al. The impact of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and the role of mineralization in biodegradation or ecotoxicity assessment of advanced oxidation processes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 144, p.361-366, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.09.023>

TANG, K. et al. Removal of pharmaceuticals, toxicity and natural fluorescence through the ozonation of biologically-treated hospital wastewater, with further polishing via a suspended biofilm. **Chemical Engineering Journal**, v.359, p. 321-330, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.112>

TÓTH, G. et al. Acute and chronic toxicity of herbicides and their mixtures measured by *Aliivibrio fischeri* ecotoxicological assay. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 185, p. 109702, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109702>

WANG, X. H. et al. Relationship between acute and chronic toxicity for prevalent organic pollutants in *Vibrio fischeri* based upon chemical mode of action. **Journal of Hazardous Materials**, v. 338, p. 458-465, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.058>

ZADOROZHNYAYA, O. et al. Water pollution monitoring by an artificial sensory system performing in terms of *Vibrio fischeri* bacteria. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 207, p. 1069 -1075, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.08.056>

ZHAO, Y. et al. Ozonation of antidepressant and its metabolite product norfluoxetine: kinetics, intermediates and toxicity. **Chemical Engineering Journal**, v. 316, p. 951-963, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.02.032>

ZHU, F. et al. Electron beam irradiation of typical sulfonamide antibiotics in the aquatic environment: Kinetics, removal mechanisms, degradation products and toxicity assessment. **Chemosphere**, v.274, p.129713, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129713>

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA** - Técnico em química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado em Química pela Universidade de Uberaba (2011), Licenciado em Ciências Biológicas pela Faculdade Única (2021). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), Especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021). Mestre em Química (2015), Doutor em Química (2018) e estágio pós-doutoral (2020-2022) pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atuou onze anos como técnico em laboratório/química do Instituto Federal de Goiás (2010 a 2022), sendo responsável por análises de parâmetros físico-químicos e biológicos de águas e efluentes provenientes de estação de tratamento de água e esgoto e na preparação de laboratórios para os cursos de licenciatura e técnico em Química. Atualmente, vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de monitoramento de CIE; (iii) desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) aplicação de processos oxidativos avançados ( $H_2O_2/UV-C$ ,  $TiO_2/UV-A$  e foto-Fenton entre outros) para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto para fins de reutilização; (v) estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) educação ambiental e (vii) processos de alfabetização e letramento científico no ensino de ciências, química e biologia.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Absorção 73, 75, 76, 83, 92

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) 23

Alaranjado de metila 64, 65, 67, 70, 71, 73, 75, 77, 78, 79, 80, 83, 94, 96, 98, 99, 100

Aminas quirais 53, 63

Antioxidantes 12, 14, 15, 20, 25

Atividade fitoquímica 13

Azul de metileno 94, 96, 98, 100

### B

Bambu 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92

Band gap 65, 67, 72, 73, 77, 80, 83, 95

Bioativos 12, 14, 15, 20

Biodegradável 85, 87, 92

Biodiesel 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 62

### C

Carboximetilcelulose (CMC) 85

Catalisador 24, 27, 35, 36, 39, 42, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 68, 95

Catálise homogênea 36

Combustível 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Conhecimento químico 1, 10

Corante 64, 65, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 97, 98, 99, 100

### D

Densidade 14, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 33

Dióxido de Titânio (TiO<sub>2</sub>) 64

Dolomita 53, 56, 57, 61, 63

### E

Electrospinning 64, 65, 66, 68, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 82

Ensino aprendizagem 1

Ensino de química 1

Entropia 45

Estágio supervisionado 1, 2, 6, 11

## F

Fenólicos 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20  
Fibras de carbono 45  
Filmes finos 85, 87, 89, 90, 91, 92  
Formação de professores 1, 4  
Fotoatividade 65, 72, 73, 74, 75, 80, 83, 84, 100  
Fotocatálise heterogênea 64, 65, 72, 95  
Fotodegradação 64, 94, 99, 100  
Fotoestável 94, 98  
Fotorreação 95

## L

Luminescência 76, 77, 80, 81  
Luz 15, 18, 67, 68, 71, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 94, 95, 102, 103

## M

Microestruturas 45  
Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) 53, 57  
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 64, 69, 70, 75, 79, 92

## N

Nanocompósitos 85, 86, 87, 89, 91  
Nanomateriais 64, 65, 73, 85, 86, 92  
Nanotecnologia 65

## O

Óleo diesel 23, 24, 25  
Óleo vegetal 33, 35, 36, 39, 43  
Ouricuri 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34  
Óxido de ferro 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92

## P

Paládio 53, 55, 56, 61, 63  
Piche mesofásico 45  
Polietilenoglicol (PEG) 85  
Polímeros 85  
Poluição ambiental 95

Propriedades ópticas 64, 72, 75

Propriedades terapêuticas 12, 20

## **R**

Radiação eletromagnética 76

Reflectância 76

Remediação 95, 97, 98, 99, 117

Resolução cinética dinâmica (RCD) 53, 54

Rodamina B 98, 99

## **S**

Semicondutor 95

## **T**

Teoria mesoscópica 45

Termodinâmica 45

Transesterificação 24, 27, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44

Transmissão 53, 57, 76

Tungstênio 64, 72, 73, 75, 80, 83

## **V**

Viscosidade 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33

O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS 2

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

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

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

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



O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS 2

🌐 [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)

