PERFIL DOS ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS AQUÁTICOS EM ESTUDOS DE FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA

Stefan Fabi Braga Bezerra[1,2], Adriana Barbosa Araújo[3], Ricardo Luvizotto-Santos[1,4]

[1] *Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil (stefan.fabi@discente.ufma.br).*
[2] *Instituto Federal do Maranhão, Campus de Alcântara, MA, Brasil*
[3] *Grupo de Química Analítica e Ambiental, Instituto Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil.*
[4] *Grupo de Ecotoxicologia Aquática, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil.*

Resumo: Avaliar a toxicidade de efluentes pós-tratamento é fundamental para se determinar a eficiência e risco ambiental. Este estudo fez uma análise cienciométrica em 175 artigos (Scopus e Web of Science) para determinar o perfil dos ensaios ecotoxicológicos na fotocatálise heterogênea nos últimos 20 anos. Os resultados revelam a predominância de ensaios agudos (51,4%), seguidos por mistos (20,6%), não classificados (14,9%) e ensaios crônicos (13,1%). Embora haja uma tendência recente de diversificação dos tipos de ensaios, ela não foi significativa, evidenciando que o campo baseia-se em triagens rápidas, sem considerar os efeitos subletais e/ou de longo prazo.

Palavras-chave: Bioensaios; Cienciometria; Ecotoxicologia; Fotocatálise heterogênea; Organismos aquáticos.

INTRODUÇÃO

A presença de contaminantes orgânicos persistentes em ambientes aquáticos representa um desafio crescente para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento ambientalmente seguras. Entre os contaminantes de interesse estão fármacos, pesticidas, produtos de higiene pessoal, corantes industriais e outros compostos de difícil remoção por tratamentos convencionais (Luo et al., 2014; Richardson e Ternes, 2018). A fotocatálise heterogênea, especialmente aquela mediada por semicondutores como o dióxido de titânio (TiO_2), destaca-se por operar sob condições relativamente brandas e por apresentar potencial de aplicação no tratamento de águas e efluentes. O processo ocorre a partir da ativação do catalisador por radiação, gerando espécies reativas de oxigênio capazes de oxidar contaminantes orgânicos (Hoffmann et al., 1995; Fujishima et al., 2008). Entretanto, a degradação do contaminante original não deve ser interpretada como eliminação do risco ambiental, considerando que a transformação parcial da molécula parental pode originar intermediários ou subprodutos com atividade biológica relevante, inclusive com toxicidade igual ou superior à do composto original (Fernández-Alba et al., 2002; Rizzo, 2011).

Assim, a eficiência de um tratamento fotocatalítico não deve ser avaliada somente por parâmetros químicos, sendo necessário integrar respostas biológicas capazes de indicar se a matriz tratada apresenta redução real do potencial ecotoxicológico.

Nesse contexto, bioensaios com organismos aquáticos constituem ferramentas importantes para avaliar a segurança ambiental de matrizes submetidas a tratamentos avançados. Ensaios com bactérias luminescentes, microcrustáceos, microalgas, embriões de peixes e outros organismos padronizados fornecem informações sobre linhas de evidência biológicas que não podem ser obtidas por indicadores químicos isolados. Ainda assim, a escolha do organismo-teste, do *endpoint* e do tempo de exposição influencia diretamente a interpretação dos resultados. Ensaios agudos, por exemplo, são rápidos e operacionalmente simples, mas podem não detectar efeitos subletais, reprodutivos, desenvolvimentais ou associados à exposição prolongada (Cleuvers, 2004; Fent et al., 2006).

Embora a literatura sobre fotocatálise aplicada à degradação de contaminantes tenha crescido nas últimas décadas, ainda há lacunas sobre como essa área incorpora a avaliação ecotoxicológica em seus trabalhos (Mohammed et al., 2023). Parte dos estudos utiliza a ecotoxicidade apenas como confirmação complementar da eficiência do tratamento, enquanto outros aplicam protocolos de bioensaios mais amplos. A diversidade de abordagens dificulta compreender se o campo está avançando para avaliações mais robustas ou se permanece predominantemente dependente de testes rápidos de triagem.

A cienciometria permite mapear padrões de produção científica, identificar tendências temáticas e revelar lacunas metodológicas em áreas emergentes ou interdisciplinares (Aria e Cuccurullo, 2017). No

presente trabalho, a abordagem cienciométrica foi utilizada como ferramenta para investigar como a literatura sobre fotocatálise heterogênea tem reportado ensaios ecotoxicológicos em seus metadados bibliográficos. O objetivo foi analisar, com base em títulos, resumos e palavras-chave dos autores, a distribuição dos tipos de ensaio ecotoxicológico e qual a tendência atual.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi baseado em metadados bibliográficos, considerando como unidades de análise os registros científicos recuperados nas bases de dados, e não os dados experimentais completos de cada artigo. Dessa forma, o objetivo metodológico não foi reavaliar concentrações testadas, valores de toxicidade, curvas dose-resposta ou protocolos laboratoriais integrais, mas mapear como os estudos de fotocatálise heterogênea reportam a avaliação ecotoxicológica em campos bibliográficos essenciais, especialmente título, resumo e palavras-chave dos autores.

Os registros foram recuperados nas bases Scopus e Web of Science, selecionadas por sua ampla cobertura internacional em ciências ambientais, engenharia química, ciência dos materiais, tecnologias de tratamento e ecotoxicologia. A busca foi estruturada para identificar estudos que associam fotocatálise heterogênea, avaliação de toxicidade ou ecotoxicidade, resíduos, subprodutos, intermediários ou produtos de transformação e organismos aquáticos utilizados em bioensaios.

A estratégia de busca foi organizada a partir de quatro eixos principais: (1) fotocatálise, (2) toxicidade/ecotoxicidade, (3) resíduos ou produtos de transformação e (4) organismos aquáticos. Para preservar a especificidade do recorte, foram excluídos outros processos oxidativos avançados não pertencentes ao escopo da fotocatálise heterogênea, como ozonização, Fenton, eletro-oxidação, processos eletroquímicos, sonólise, ativação por persulfato, radiólise e oxidação por ar úmido. Foram considerados apenas artigos originais de pesquisa publicados em inglês e indexados até 2025. Artigos de revisão, capítulos de livro, editoriais, trabalhos de congresso e estudos que não apresentavam relação direta com o escopo proposto foram excluídos.

Os dados exportados das bases Scopus e Web of Science foram consolidados no ambiente R, com auxílio do pacote Bibliometrix e da interface Biblioshiny (Aria e Cuccurullo, 2017). Após a integração das bases, os registros duplicados foram removidos com base em informações como DOI, título e autoria. Em seguida, os registros remanescentes foram triados por meio da leitura de títulos, resumos e palavras-chave dos autores, resultando em 175 artigos originais.

A classificação dos tipos de ensaio ecotoxicológico foi feita exclusivamente a partir das informações explicitamente disponíveis nos metadados bibliográficos. Os estudos foram agrupados em quatro categorias: (1) agudos, (2) crônicos, (3) mistos e (4) não classificados. Essa classificação foi fundamentada em critérios compatíveis com protocolos normativos amplamente utilizados em ecotoxicologia aquática, incluindo diretrizes da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), da *International Organization for Standardization* (ISO) e da *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT).

Os ensaios foram classificados como agudos quando os metadados indicavam *endpoint*s de curta duração, como mortalidade, imobilização, inibição da mobilidade, inibição de bioluminescência ou toxicidade embrionária aguda. Essa categoria incluiu registros compatíveis com ensaios de imobilização aguda com *Daphnia* spp. descritos na OECD 202 e na ISO 6341, testes de inibição de bioluminescência com bactérias associados à ISO 11348-3, ensaios de toxicidade embrionária aguda com *Danio rerio* compatíveis com a OECD 236 e ensaios de toxicidade aguda com *Artemia* sp. associados à ABNT NBR 16530:2021.

Os ensaios foram classificados como crônicos quando os metadados indicavam exposição prolongada, reprodução, produção de descendentes, sobrevivência em exposição de maior duração ou outros *endpoint*s compatíveis com efeitos crônicos. Essa classificação considerou, especialmente, ensaios de reprodução com *Daphnia magna* associados à OECD 211 e ensaios crônicos com cladóceros compatíveis com a ISO 20665. A presença do organismo nos metadados, isoladamente, não foi suficiente para definir a classificação; a atribuição dependeu da indicação explícita ou inferível de *endpoint*, duração ou tipo de ensaio.

Os ensaios com microalgas foram avaliados de forma específica, devido à natureza subletal dos *endpoint*s de crescimento. Registros envolvendo microalgas foram classificados como crônicos/subletais baseados em crescimento quando os metadados mencionaram inibição do crescimento algal, taxa de crescimento, biomassa, rendimento e produtividade primária, OECD 201, ISO 8692 ou duração de exposição de 72 h ou mais. Essa decisão metodológica foi adotada para evitar a classificação simplificada de todos os ensaios com microalgas como crônicos clássicos, uma vez que esses testes geralmente avaliam respostas subletais de crescimento em períodos relativamente curtos, e não efeitos reprodutivos prolongados.

Os estudos foram classificados como mistos quando os metadados indicavam a combinação de abordagens agudas e crônicas/subletais no mesmo trabalho. Essa

categoria incluiu registros que combinavam, por exemplo, ensaios de bioluminescência ou imobilização com avaliações de crescimento algal, reprodução, desenvolvimento ou outros *endpoints* subletais. Quando título, resumo e palavras-chave dos autores indicavam avaliação de toxicidade ou ecotoxicidade, mas não permitiam identificar com segurança o organismo, o *endpoint*, a duração da exposição ou o tipo de ensaio, o registro foi mantido como não classificado com base nos metadados. Essa decisão foi adotada de forma conservadora para evitar inferências não sustentadas pelas informações bibliográficas disponíveis.

Além da distribuição geral dos tipos de ensaio, foi avaliada a evolução temporal das categorias classificadas. Para isso, os artigos foram organizados em cinco intervalos de publicação: ≤2005, 2006–2010, 2011–2015, 2016–2020 e 2021–2025. Os registros classificados como não classificados com base nos metadados foram excluídos da análise percentual temporal, pois não apresentavam informação suficiente para atribuição conservadora do tipo de ensaio. A associação entre período de publicação e tipo de ensaio foi avaliada por meio do teste do qui-quadrado com simulação de Monte Carlo, adotado em razão da presença de frequências esperadas baixas em algumas células da matriz de contingência. O tamanho do efeito foi estimado pelo V de Cramér, e os resultados foram interpretados de forma exploratória e descritiva, em consonância com a natureza cienciométrica do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos 175 artigos revelou que os ensaios agudos foram a forma mais frequente de avaliação ecotoxicológica em estudos de fotocatálise heterogênea. Foram identificados 90 registros classificados como agudos, correspondendo a 51,4% do corpus. Os estudos mistos somaram 36 registros (20,6%), enquanto 26 registros (14,9%) foram mantidos como não classificados.

Tabela 1. Distribuição dos tipos de ensaio ecotoxicológico identificados em estudos de fotocatálise heterogênea.

Tipo de ensaio	Número de registros	Frequência (%)
Agudo	90	51,4
Misto	36	20,6
Não classificado	26	14,9
Crônico	23	13,1
Total	175	100

A predominância de ensaios agudos indica que a avaliação ecotoxicológica se apoia fortemente em respostas rápidas, geralmente associadas à triagem inicial de toxicidade. Esse padrão é compreensível, pois ensaios agudos costumam apresentar menor duração, menor custo, maior simplicidade operacional e protocolos amplamente difundidos. Ensaios com bactérias luminescentes, por exemplo, são frequentemente utilizados por fornecerem respostas rápidas e sensíveis, sendo aplicáveis em diferentes contextos de avaliação de toxicidade (Parvez et al., 2006).

Apesar dessas vantagens, a dependência de respostas agudas pode restringir a interpretação ambiental dos resultados. A fotocatálise pode reduzir a concentração do contaminante parental, mas gerar intermediários ou produtos de transformação biologicamente ativos (Pavel et al., 2023). Assim, a ausência de mortalidade, imobilização ou inibição rápida não garante ausência de efeitos em exposições mais longas ou em *endpoints* subletais. Essa limitação é especialmente relevante em estudos com contaminantes emergentes, fármacos e micropoluentes, nos quais efeitos crônicos ou específicos podem ocorrer em baixas concentrações (Cleuvers, 2004; Fent et al., 2006).

Os estudos mistos corresponderam a 20,6% do corpus, indicando que parte da literatura combina mais de uma abordagem ecotoxicológica. Essa categoria é particularmente importante porque pode reunir *endpoints* de curta duração com respostas crônicas ou subletais, ampliando a interpretação sobre a segurança ambiental da matriz tratada. Em processos fotocatalíticos, esse tipo de abordagem é relevante pois diferentes organismos e *endpoints* podem responder de maneira distinta aos compostos residuais formados durante a degradação.

Entretanto, a proporção de estudos mistos ainda foi consideravelmente menor do que a de ensaios agudos. Isso sugere que a adoção de baterias de bioensaios mais integradas permanece limitada. Em uma perspectiva ecotoxicológica, avaliações baseadas em múltiplos *endpoints* podem oferecer uma leitura mais robusta do risco ambiental, especialmente quando incluem organismos de diferentes níveis tróficos ou funções ecológicas. Dessa forma, a baixa frequência relativa de estudos mistos reforça uma lacuna metodológica importante na interface entre fotocatálise e ecotoxicologia.

Os ensaios crônicos representaram apenas 13,1% dos registros. Efeitos crônicos, reprodutivos, subletais ou baseados em crescimento podem ser mais adequados para avaliar riscos associados à exposição contínua a baixas concentrações de contaminantes residuais ou produtos de transformação. Em organismos como *Daphnia* spp., protocolos agudos e crônicos distinguem respostas de curta duração, como imobilização, de efeitos reprodutivos e de sobrevivência em exposições prolongadas (OECD, 2004; 2012), essencial para se determinar a segurança ambiental.

Os ensaios com microalgas também merecem atenção especial. Embora muitos testes sejam conduzidos em 72 h, seus *endpoint*s frequentemente envolvem crescimento, biomassa, rendimento ou produtividade primária, características que representam respostas subletais relevantes para produtores primários. Ensaios desse tipo são contemplados por protocolos como OECD 201 e ISO 8692, que avaliam inibição de crescimento em microalgas e cianobactérias. Portanto, a interpretação desses estudos exige cuidado, pois eles não se enquadram de forma simples na lógica de toxicidade aguda baseada em mortalidade ou imobilização, mas também não correspondem necessariamente a ensaios crônicos reprodutivos clássicos.

A existência de 26 registros não classificados com base nos metadados evidencia uma segunda lacuna: a forma como os bioensaios são relatados nos artigos. Em alguns estudos, os metadados indicam avaliação de toxicidade ou ecotoxicidade, mas não descrevem claramente o organismo, o *endpoint*, a duração da exposição ou o tipo de ensaio. Como esta análise foi baseada em títulos, resumos e palavras-chave dos autores, esses registros foram mantidos como não classificados para evitar inferências não sustentadas. Essa decisão metodológica preserva o caráter conservador da análise, mas também revela a necessidade de maior padronização na descrição dos bioensaios em estudos de fotocatálise, por exemplo, nas palavras-chave.

Além da distribuição geral, observou-se uma mudança descritiva na frequência relativa dos tipos de ensaio ao longo do tempo. No intervalo ≤ 2005, os ensaios agudos representaram 87,5% dos estudos classificados, sendo que no período mais recente, (2021–2025), essa proporção foi de 50,0%. Em paralelo, ensaios crônicos e mistos tornaram-se mais frequentes nos períodos recentes (Tabela 2)

Tabela 2. Evolução temporal dos tipos de ensaio ecotoxicológico (%) classificados em estudos de fotocatálise heterogênea.

Período	Agudo	Crônico	Misto
≤2005	87,5	0,0	12,5
2006–2010	82,4	5,9	11,8
2011–2015	57,6	21,2	21,2
2016–2020	61,5	10,3	28,2
2021–2025	50,0	21,2	28,8

A redução proporcional dos ensaios agudos e o aumento relativo de estudos crônicos e mistos sugerem possível diversificação metodológica na literatura recente. Entretanto, essa tendência deve ser interpretada com cautela. O teste do qui-quadrado com simulação de Monte Carlo não indicou associação estatisticamente significativa entre período de publicação e tipo de ensaio ($\chi^2 = 10{,}431$; $p = 0{,}2316$). O V de Cramér também indicou associação fraca entre as variáveis ($V = 0{,}187$). Assim, os dados sugerem uma mudança descritiva, mas não confirmam estatisticamente uma tendência temporal consolidada dos tipos de ensaio.

Em estudos cienciométricos, padrões temporais podem indicar movimentos emergentes na literatura, mas nem sempre representam mudanças estatisticamente robustas. No presente caso, os resultados indicam que os ensaios agudos continuam dominantes, embora exista aumento relativo de abordagens mais amplas em anos recentes. Esse achado reforça que o campo pode estar em processo de transição, mas ainda não consolidou um padrão de avaliação ecotoxicológica mais complexa e abrangente.

Do ponto de vista ambiental, a predominância de ensaios agudos revela uma limitação importante. A fotocatálise heterogênea é frequentemente avaliada por sua capacidade de remover contaminantes ou reduzir parâmetros químicos. Entretanto, a segurança ambiental da matriz tratada depende também da ausência de efeitos biológicos relevantes. Estudos anteriores já destacaram que bioensaios são ferramentas importantes para avaliar a eficiência real de processos oxidativos avançados, pois permitem verificar se a transformação química resultou em redução, manutenção ou aumento da toxicidade (Fernández-Alba et al., 2002; Rizzo, 2011).

A necessidade de integrar indicadores químicos e respostas ecotoxicológicas também é reforçada por revisões críticas sobre a aplicação da fotocatálise à redução de toxicidade em águas residuárias reais, nas quais a remoção química de contaminantes nem sempre corresponde diretamente à eliminação de efeitos biológicos residuais (Rueda-Márquez et al., 2020). Assim, a avaliação ecotoxicológica deve ser entendida como componente complementar, mas essencial, para verificar se a matriz tratada apresenta redução efetiva do risco ambiental.

A baixa presença de ensaios crônicos e mistos pode comprometer a interpretação do risco ecotoxicológico, principalmente quando se considera que organismos aquáticos podem responder de maneira distinta aos contaminantes e subprodutos. Produtores primários, consumidores, bactérias e modelos vertebrados apresentam diferentes sensibilidades e funções ecológicas. Dessa forma, a adoção de abordagens multitróficas tende a oferecer uma avaliação mais representativa da segurança ambiental de processos fotocatalíticos.

Ainda que o presente recorte não tenha como foco principal a análise detalhada dos organismos, os resultados sobre os tipos de ensaio indicam que a integração entre *endpoint*s agudos, crônicos/subletais e mistos deve ser fortalecida. Para estudos de

fotocatálise, isso significa que a demonstração de eficiência química precisa ser acompanhada por evidências biológicas consistentes.

De forma integrada, os dados demonstram que a literatura analisada apresenta avanços na incorporação de avaliações ecotoxicológicas, mas ainda carece de maior equilíbrio entre os tipos de ensaio. A ampliação de estudos crônicos, subletais e mistos pode contribuir para avaliações mais realistas da segurança ambiental, sobretudo quando há possibilidade de formação de intermediários ou subprodutos com atividade biológica.

CONCLUSÃO

A partir da cienciometria, foi demonstrado que os estudos de fotocatálise heterogênea que incorporam avaliação ecotoxicológica ainda dependem predominantemente de ensaios agudos. Essa predominância indica que a área permanece fortemente apoiada em ferramentas rápidas de triagem, úteis para avaliação inicial de toxicidade, mas limitadas para detectar efeitos subletais, crônicos ou associados a exposições prolongadas.

Embora os dados indiquem aumento relativo de ensaios crônicos e mistos em períodos recentes, essa evolução temporal deve ser entendida como uma tendência descritiva, e não como uma mudança consolidada no padrão metodológico da área. A presença de registros não classificados com base nos metadados evidencia a necessidade de maior clareza no relato de informações essenciais em estudos de fotocatálise e ecotoxicidade, como organismo-teste, *endpoint*, duração da exposição e tipo de ensaio. Relatos mais completos nos títulos, resumos e palavras-chave favorecem a rastreabilidade científica e fortalecem revisões cienciométricas futuras.

Conclui-se que a avaliação ecotoxicológica em fotocatálise heterogênea deve avançar para desenhos mais integrados, combinando ensaios agudos, crônicos/subletais e mistos. Essa integração é essencial para que a eficiência química dos processos fotocatalíticos seja acompanhada por evidências biológicas mais robustas sobre a segurança ambiental das matrizes tratadas, resíduos e produtos de transformação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Maranhão (UFMA), ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGC&TAmb/UFMA) pelo apoio institucional e infraestrutura concedida para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

Aria, M.; Cuccurullo, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. Journal of Informetrics, 11, 959–975, 2017. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 16530: ecotoxicologia aquática — toxicidade aguda — método de ensaio com *Artemia sp*. (Crustacea, Brachiopoda). São Paulo: ABNT, 2021.

Cleuvers, M. Mixture toxicity of the anti-inflammatory drugs diclofenac, ibuprofen, naproxen, and acetylsalicylic acid. Ecotoxicology and Environmental Safety, 59, 309–315, 2004. https://doi.org/10.1016/S0147-6513(03)00141-6

Fent, K.; Weston, A. A.; Caminada, D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. Aquatic Toxicology, 76, 122–159, 2006. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.09.009

Fernández-Alba, A. R.; Hernando, D.; Agüera, A.; Cáceres, J.; Malato, S. Toxicity assays: A way for evaluating AOPs efficiency. Water Research, 36, 4255–4262, 2002. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00165-3

Fujishima, A.; Zhang, X.; Tryk, D. A. TiO_2 photocatalysis and related surface phenomena. Surface Science Reports, 63, 515–582, 2008. https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2008.10.001

Hoffmann, M. R.; Martin, S. T.; Choi, W.; Bahnemann, D. W. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. Chemical Reviews, 95, 69–96, 1995. https://doi.org/10.1021/cr00033a004

International Organization for Standardization. ISO 11348-3: water quality — determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (luminescent bacteria test) — Part 3: method using freeze-dried bacteria. Geneva: ISO, 2007.

International Organization for Standardization. ISO 20665: water quality — determination of chronic toxicity to *Ceriodaphnia dubia*. Geneva: ISO, 2008.

International Organization for Standardization. ISO 6341: water quality — determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna Straus* (Cladocera, Crustacea) — acute toxicity test. Geneva: ISO, 2012.

International Organization for Standardization. ISO 8692: water quality — fresh water algal growth inhibition test with unicellular green algae. Geneva: ISO, 2004.

Luo, Y.; Guo, W.; Ngo, H. H.; Nghiem, L. D.; Hai, F. I.; Zhang, J.; Liang, S.; Wang, X. C. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during

wastewater treatment. Science of the Total Environment, 473–474, 619–641, 2014. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065

Mohammed, A. M.; Aziz, F.; Mohtar, S. S.; Mhamad, S. A.; Ahmadu, B.; Nasir, M. U.; Muhammad, K. Y.; Aziz, M. A review of research trends on the usage of photocatalysis for wastewater treatment: bibliometric analysis. Sustainable Water Resources Management, v. 9, art. 88, 2023. https://doi.org/10.1007/s40899-023-00868-5

Organisation for Economic Co-operation and Development. Test No. 202: *Daphnia* sp. acute immobilisation test. OECD Publishing, Paris, 2004. https://doi.org/10.1787/9789264069947-en

Organisation for Economic Co-operation and Development. Test No. 201: Freshwater alga and cyanobacteria, growth inhibition test. OECD Publishing, Paris, 2011. https://doi.org/10.1787/9789264069923-en

Organisation for Economic Co-operation and Development. Test No. 211: *Daphnia magna* reproduction test. OECD Publishing, Paris, 2012. https://doi.org/10.1787/9789264185203-en

Organisation for Economic Co-operation and Development. Test No. 236: fish embryo acute toxicity (FET) test. Paris: OECD Publishing, 2013. https://doi.org/10.1787/9789264203709-en

Parvez, S.; Venkataraman, C.; Mukherji, S. A review on advantages of implementing luminescence inhibition test *(Vibrio fischeri)* for acute toxicity prediction of chemicals. Environment International, 32, 265–268, 2006. https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.08.022

Pavel, M.; Anastasescu, C.; State, R.-N.; Vasile, A.; Papa, F.; Balint, I. Photocatalytic degradation of organic and inorganic pollutants to harmless end products: assessment of practical application potential for water and air cleaning. Catalysts, v. 13, n. 2, art. 380, 2023. https://doi.org/10.3390/catal13020380

Richardson, S. D.; Ternes, T. A. Water analysis: Emerging contaminants and current issues. Analytical Chemistry, 90, 398–428, 2018. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.7b04577

Rizzo, L. Bioassays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment. Water Research, 45, 4311–4340, 2011. https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.035

Rueda-Márquez, J. J.; Levchuk, I.; Fernández Ibañez, P.; Sillanpää, M. A critical review on application of photocatalysis for toxicity reduction of real wastewaters. Journal of Cleaner Production, 258, 120694, 2020.