

TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES: MECANISMOS DE REMOÇÃO DOS COMPOSTOS EMERGENTES

BIOLOGICAL TREATMENT OF EFFLUENTS: MECHANISMS FOR THE REMOVAL OF EMERGING COMPOUNDS

TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES: MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS EMERGENTES

 <https://doi.org/10.56238/arev7n11-159>

Data de submissão: 14/10/2025

Data de publicação: 14/11/2025

Roger Francisco Ferreira de Campos

Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP)

E-mail: roger@uniarp.edu.br

Thomaz Aurélio Pagioro

Doutor em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

E-mail: thomazap@gmail.com

Fernando Straparava Raia

Mestrando em Desenvolvimento e Sociedade

Instituição: Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP)

E-mail: fer.raia13@gmail.com

Claudriana Locatelli

Doutora em Farmácia

Instituição: Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP)

E-mail: claudriana@uniarp.edu.br

Mayndra Martello

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP)

E-mail: mayndra08@gmail.com

Cristina Keiko Yamaguchi

Doutora em Engenharia e Gestão do Conhecimento

Instituição: Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC)

E-mail: criskyamaguchi@gmail.com

RESUMO

A presença crescente de compostos emergentes em corpos hídricos, como fármacos, hormônios, pesticidas e produtos de cuidados pessoais, representa uma ameaça à qualidade da água e à saúde pública. Esses micropoluentes, mesmo em baixas concentrações, são biologicamente ativos e frequentemente não são completamente removidos pelos sistemas convencionais de tratamento de efluentes. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo analisar as formas de remoção dos

compostos emergentes em sistemas de tratamento biológico. Para o desenvolvimento do presente artigo desenvolveu-se uma revisão bibliográfica narrativa sobre os mecanismos biológicos na remoção de compostos emergentes. O estudo apresenta que a integração entre diferentes processos biológicos pode aumentar a eficiência na remoção de micropoluentes, embora ainda haja desafios quanto à remoção total desses contaminantes. Sendo assim, conclui-se, portanto, que é fundamental analisar e aperfeiçoar os sistemas de tratamento biológico, bem como fortalecer o monitoramento ambiental, a fim de mitigar os riscos associados à presença de compostos emergentes nos recursos hídricos.

Palavras-chave: Tratamento Biológico. Compostos Emergentes. Efluente.

ABSTRACT

The increasing presence of emerging compounds in water bodies, such as pharmaceuticals, hormones, pesticides, and personal care products, poses a threat to water quality and public health. These micropollutants, even at low concentrations, are biologically active and are often not completely removed by conventional wastewater treatment systems. Therefore, the aim of this study is to analyze the removal processes of emerging compounds in biological treatment systems. A narrative literature review was conducted to explore the biological mechanisms involved in the removal of emerging contaminants. The study shows that the integration of different biological processes can enhance the efficiency of micropollutant removal, although significant challenges remain regarding the complete elimination of these contaminants. Thus, it is concluded that it is essential to analyze and improve biological treatment systems, as well as to strengthen environmental monitoring, in order to mitigate the risks associated with the presence of emerging compounds in water resources.

Keywords: Biological Treatment. Emerging Compounds. Effluent.

RESUMEN

La creciente presencia de compuestos emergentes en los cuerpos de agua, como fármacos, hormonas, plaguicidas y productos de cuidado personal, representa una amenaza para la calidad del agua y la salud pública. Estos microcontaminantes, incluso en bajas concentraciones, son biológicamente activos y a menudo no son completamente eliminados por los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es analizar los procesos de eliminación de compuestos emergentes en sistemas de tratamiento biológico. Se realizó una revisión narrativa de la literatura para explorar los mecanismos biológicos implicados en la eliminación de contaminantes emergentes. El estudio muestra que la integración de diferentes procesos biológicos puede mejorar la eficiencia en la eliminación de microcontaminantes, aunque persisten importantes desafíos en cuanto a la eliminación completa de estos contaminantes. Así, se concluye que resulta esencial analizar y optimizar los sistemas de tratamiento biológico, así como fortalecer el monitoreo ambiental, con el fin de mitigar los riesgos asociados a la presencia de compuestos emergentes en los recursos hídricos.

Palabras clave: Tratamiento Biológico. Compuestos Emergentes. Efluente.

1 INTRODUÇÃO

A presença crescente de micropoluentes nos corpos hídricos tem se tornado uma preocupação ambiental relevante, refletindo o desenvolvimento insustentável das atividades humanas nas últimas décadas (Zwart et al., 2020). Entre esses compostos, destacam-se os chamados contaminantes emergentes, como fármacos, hormônios, produtos de cuidados pessoais, pesticidas e outros compostos orgânicos sintéticos, frequentemente detectados em concentrações traço em efluentes domésticos, industriais e hospitalares, mesmo após aplicação de processos de tratamento convencionais (Mousaab et al., 2015; Qarni et al., 2016; Pirsahab et al., 2020; Ribeiro et al., 2021; Campos e Pagioro, 2025a).

Embora presentes em baixas concentrações, esses compostos são biologicamente ativos e potencialmente tóxicos, podendo afetar a biota aquática (Tongur e Yildirim, 2015; Huerta et al., 2018), interferir nos ciclos biogeoquímicos e comprometer a qualidade da água para consumo humano (Li et al., 2018). Além disso, representam riscos significativos à segurança ambiental e à saúde pública (Seid-Mohammadi et al., 2020). A origem farmacêutica de muitos desses contaminantes representa uma preocupação adicional, visto que os sistemas de tratamento de efluentes apresentam baixa eficiência em sua remoção (Watkinson; Murby e Costanzo, 2007; Yan et al., 2014; Komesli et al., 2015; Mohapatra et al., 2016; Aydin et al., 2019; Shokoohi et al., 2020). Situação semelhante é observada para hormônios (Houtman et al., 2020; Leiviskä e Risteelä, 2022), estimulantes e outros compostos bioativos (Ebrahimzadeh et al., 2021; Teoh et al., 2022).

Apesar da necessidade contínua de novos medicamentos e insumos para assegurar a qualidade de vida humana (Ebele; Abdallah e Harrad, 2017; Kurt et al., 2017; Al-Riyami et al., 2018), o desenvolvimento das tecnologias de tratamento de resíduos e efluentes não tem acompanhado esse avanço. As interações entre esses compostos com os sistemas convencionais de tratamento ainda são pouco compreendidas (Hespanhol, 2013; Semerjian et al., 2018), o que evidencia a urgência de estudos que investiguem a dinâmica de remoção dos contaminantes emergentes (Mahnik et al., 2007; Mousaab et al., 2015; Peng et al., 2019; Gosset et al., 2021; Zou et al., 2022; Campos e Pagioro, 2025b).

Nesse contexto, tem-se intensificado o interesse científico em compreender o comportamento, a degradação e a remoção de micropoluentes nos sistemas biológicos tradicionais de tratamento de efluentes (Metcalf e Eddy, 2016; Leiviskä e Risteelä, 2022). Os sistemas óxicos, anóxicos e anaeróbios são amplamente utilizados para a remoção de matéria orgânica e nutrientes, têm sido estudados quanto à sua eficácia em atenuar os compostos emergentes. A complexidade estrutural e as distintas propriedades físico-químicas dos micropoluentes influenciam diretamente sua biodegradabilidade, além de condicionar a composição e a atividade das comunidades microbianas envolvidas na remoção (Belini et al., 2023; Wei et al., 2019; Ashfaq et al., 2017).

Embora esses sistemas demonstrem alta eficiência na remoção de carga orgânica convencional, sua efetividade frente à diversidade de micropoluentes ainda apresenta lacunas importantes (Campos e Pagioro, 2025c). A atuação microbiana sob diferentes condições redox - aeróbia, anóxica e anaeróbia, determina rotas metabólicas específicas que podem favorecer ou limitar a degradação de determinados compostos (Metcalf e Eddy, 2016). Portanto, torna-se essencial reunir e analisar criticamente os dados disponíveis na literatura científica acerca dos mecanismos biológicos envolvidos na remoção desses contaminantes.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo revisar de forma crítica a literatura sobre a remoção biológica de micropoluentes em sistemas de tratamento de efluentes que utilizam processos óxicos, anóxicos e anaeróbios, com ênfase nas rotas metabólicas envolvidas e nos principais grupos microbianos envolvidos. Para a elaboração do estudo realizou-se uma pesquisa de revisão bibliográfica narrativa, por meio do método dedutivo, acerca dos mecanismos de remoção biológica dos compostos emergentes. O desenvolvimento da pesquisa baseou-se na revisão de artigos disponíveis na plataforma ScienceDirect, Google Acadêmico e Scielo, utilizando palavras-chave, como remoção, compostos emergentes e tratamento biológico de efluentes.

2 COMPOSTOS EMERGENTES

A qualidade de água vem sendo alterada pelas interações antropogênicas ao decorrer do tempo (Bhuiyan et al., 2013; Campos e Kuhn, 2021; Souza et al., 2022; Campos et al., 2022; Campos e Barcarolli, 2023; Campos e Moretto, 2025; Campos e Pavelski, 2025; Campos, 2025), caracterizada pela contaminação direta e indireta (Chen et al., 2018), por efluentes sanitários, efluentes indústrias (Campos; Borga e Garcia, 2017; Wendling et al., 2018; Tilha et al., 2019; Campos e Oliveira, 2024; Campos e Zir, 2024), agricultura (Sterz; Roza-Gomes e Rossi, 2011), desenvolvimento urbano e outros (Campos e Reichardt, 2025a; 2025b; 2025c; 2025c).

Caracterizando-se como um desafio para a atualidade, mediante a necessidade das formas de tratamento (Levêque e Burns, 2017; Seben et al., 2021). Processo que afeta as fontes de abastecimento de água para o consumo humano e meio ambiente (Soldera; Oliveira, 2017; Zaneti; Fernandes e Etchepare, 2022; Novicki e Campos, 2016; Lautert et al., 2019; Campos et al., 2025a; 2025b). Dentre os contaminantes responsáveis pela alteração da qualidade da água, podemos ressaltar os compostos emergentes ou micropoluentes (Marson et al., 2022). Compostos químicos naturais ou sintéticos (bióticos e abióticos) encontrados nas concentrações na ordem de ng L⁻¹ a µg L⁻¹ (Grandclément et al., 2017; Majumder et al., 2021).

Atualmente existe uma diversidade significativa de compostos químicos disponibilizados para atender às necessidades do ser humano (Egbuna et al., 2021; Sanganyado e Kajau, 2022). Contudo, os estudos ambientais não acompanham a influência desses produtos, ocasionando a interação negativa com o meio ambiente (Rodriguez-Mozaz et al., 2020). Muitos sistemas de tratamento de resíduos líquidos e sólidos não conduz os procedimentos adequados de tratamento dos compostos químicos (Ensano et al., 2019; Ajala et al., 2022), gerando a contaminação ou poluição ambiental (Solis-Casados et al., 2018; Negrete-Bolagay et al., 2021), principalmente dos recursos hídricos por intermédio dos efeitos ecotoxicológicos dos micropoluentes (Wiest et al., 2021; Azcune et al., 2022).

Os micropoluentes emergentes não são bem estabelecidos pela legislação ambiental e sanitária vigente (Solis-Casados et al., 2018; Wang et al., 2022). Suas interações com as características ambientais não são bem especificadas, porém, seu monitoramento é essencial para o desenvolvimento sustentável (Hube e Wu, 2021; Castro et al., 2021; Intisar et al., 2022). Dentre a gama dos compostos emergentes, podemos enfatizar os fármacos (Seid-Mohammadi et al., 2020; Pérez-Aguirre et al., 2021), hormônios, estimulantes (Vieira; Soares e Freitas, 2022; Teoh et al., 2022), pesticidas (Rico et al., 2022), microplásticos (Stang; Mohamed e Li, 2022; Araújo et al., 2023), drogas ilícitas (Archer et al., 2021), alquilfenóis, adoçantes artificiais (Ojajuni; Saroj e Cavalli, 2015) e outros estabelecidos pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), por meio da Contaminant Candidate List-4 (CCL-4) – compondo a lista de contaminantes que não estão sujeitos a qualquer tipo de monitoramento (UESPA, 2022).

O Brasil não possui procedimentos para a adequada vigilância dos compostos emergentes (Pizzochero et al., 2019; Sotão Neto et al., 2020; Ribas et al., 2021; Zaneti; Fernandes e Etchepare, 2022). A legislação ambiental vigente não estabelece parâmetros para o monitoramento do lançamento de efluentes sanitários e industriais contendo micropoluentes emergentes (Machado et al., 2016; Marson et al., 2022). Da mesma forma, as normas relacionadas a qualidade da água destinada para consumo humano, das condições e padrões de lançamento de efluentes não contemplam os parâmetros inerentes aos compostos emergentes no Brasil (Veras et al., 2019; Lorenzetti et al., 2019; Rocha et al., 2020; Morita et al., 2021; Silva et al., 2022). Diante dessa lacuna regulatória, torna-se imprescindível adotar medidas sustentáveis e avançar em políticas públicas voltadas ao saneamento básico, com ênfase no aprimoramento do tratamento de efluentes sanitários e industriais. A ausência desses avanços compromete tanto a qualidade da água da população quanto a disponibilização de água potável (Farto et al., 2021; Zaneti; Fernandes e Etchepare, 2022).

Estudos realizados em diferentes fontes de água (doce ou salgada) de diversas regiões do Brasil relatam a presença de compostos emergentes nos recursos hídricos, como dibenzo-p-dioxinas

policloradas, dibenzofuranos policlorados (Pizzochero et al., 2019), atrazina, heptacloro (Araújo; Caldas e Oliveira-Filho, 2022), ciproconazol, diuron, simazina, acetaminofeno, diclofenaco, ibuprofeno (Perin et al., 2021), β -bloqueador, cafeína, cocaína, benzoilecgonina, cotinina (Fabregat-Safont et al., 2021), malatião, carbendazime, clorpirimifos (Rico et al., 2022), nicotina, paracetamol (Rico et al., 2021), estrona, estradiol, etinilestradiol, estriol, bisfenol, 4-octilfenol, 4-nonilfenol, gemfibrozil, naproxeno (Santos et al., 2022), 17 β -estradiol, 17 α -etinilestradiol, carbamazepina, paraxantina, ácido mefenâmico, atenolol e sulfametoxazol (Sodré; Sampaio, 2020).

Os estudos sobre interação dos compostos emergentes com o meio ambiente e saúde humana no Brasil ainda são precários, mesmo diante dos avanços obtidos ao longo do século XX, considerando a grandeza territorial do continente Brasileiro (Marson et al., 2022). Por consequência, é necessário intensificar as pesquisas voltadas ao desenvolvimento de análises ambientais, com o objetivo de estabelecer os procedimentos adequados para o tratamento e interação ambiental dos micropoluentes (Bhattacharya et al., 2022; Marson et al., 2022; Tong et al., 2022). Neste sentido, novos estudos são essenciais para atualizar o cenário atual, buscando relacioná-los aos riscos relativos à exposição crônica dos organismos aos compostos emergentes (Santos et al., 2020; Sotão Neto et al., 2020).

Diante dessas lacunas, a compreensão dos processos de tratamento torna-se essencial para avaliar alternativas viáveis de mitigação dos compostos emergentes. Nesse contexto, os sistemas biológicos assumem papel de destaque, uma vez que constituem a base do tratamento de efluentes em escala global e apresentam potencial para atenuar micropoluentes de diferentes naturezas químicas. A análise dos mecanismos envolvidos em sistemas óxicos, anóxicos e anaeróbios, bem como suas combinações, é fundamental para compreender as rotas metabólicas microbianas responsáveis pela degradação parcial ou total desses contaminantes e para identificar os limites de eficiência associados a cada abordagem.

3 SISTEMA DE TRATAMENTO BIOLÓGICO

O tratamento biológico de efluentes tem evoluído significativamente nas últimas décadas, integrando diferentes tipos de reatores com características distintas, como os sistemas óxicos, anóxicos e anaeróbios. Cada um desses sistemas possui mecanismos microbiológicos específicos voltados à remoção de matéria orgânica e nutrientes, sobretudo nitrogênio e fósforo, desempenhando papel crucial na manutenção da qualidade dos corpos hídricos receptores (Metcalf e Eddy, 2016). Os sistemas óxicos, comumente representados pelos sistemas de lodos ativados, são amplamente utilizados no tratamento de efluentes domésticos, hospitalares e industriais (Pirsahib et al., 2020). Caracterizam-se pela presença de oxigênio dissolvido que atua como acceptor de elétrons no processo de oxidação

biológica da matéria orgânica (Shukla e Ahammad, 2023). Nesse ambiente aeróbio, a degradação ocorre principalmente pela ação de bactérias heterotróficas, convertendo compostos orgânicos em dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e biomassa microbiana (Sun et al., 2022).

A eficiência dos sistemas de lodos ativados depende da interação entre fatores físico-químicos e biológicos, como a relação alimento/microrganismo, tempo de detenção hidráulico, idade do lodo (Θ_c) e a composição da microfauna (Zhang et al., 2023). A biomassa microbiana é composta por uma diversidade de organismos, incluindo bactérias, protozoários, fungos e metazoários, organizados em flocos estruturados que facilitam a sedimentação e a clarificação do efluente tratado (Dos Santos et al., 2014). A recirculação do lodo promove maior contato entre microrganismos e matéria orgânica, otimizando a depuração (Sun et al., 2022). Apesar da alta eficiência na remoção de DBO, DQO e nutrientes, os sistemas óxicos apresentam elevada demanda energética e exigem controle operacional rigoroso, principalmente nas etapas de aeração e decantação (Elawwad et al., 2013).

Os reatores anóxicos operam em condições de ausência de oxigênio dissolvido, favorecendo o crescimento de bactérias desnitrificantes facultativas que utilizam nitrato (NO_3^-) ou nitrito (NO_2^-) como aceitores de elétrons (Metcalf e Eddy, 2016). Esses sistemas são fundamentais nos processos de remoção biológica de nitrogênio, complementando a nitrificação realizada em zonas aeróbias. A desnitrificação ocorre por meio de uma sequência de reações que convertem o nitrato em gás nitrogênio (N_2), liberado para a atmosfera. Esse processo exige a presença de substrato orgânico, que pode ser fornecido pelo próprio efluente ou por meio de fontes externas, garantindo a eficiência da remoção de nitrogênio (Greenan et al., 2006). Os sistemas anóxicos são frequentemente integrados a sistemas óxicos, compondo arranjos como o sistema A/O (Anóxico/Óxico), otimizando o tratamento por meio da recirculação de nitrato e de lodo (Campos, 2024; Campos e Pagioro, 2025b)

Nos sistemas anaeróbios, a decomposição da matéria orgânica ocorre na ausência total de oxigênio e aceitores alternativos como nitratos ou sulfatos. Nesse ambiente, microrganismos anaeróbios estritos e facultativos convertem a matéria orgânica em ácidos voláteis, metano (CH_4) e dióxido de carbono. Reatores anaeróbios, como os Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), são amplamente utilizados no tratamento de efluentes com alta carga orgânica, apresentando baixo consumo energético e produção de biogás como subproduto valorizável. Embora menos eficientes na remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, os sistemas anaeróbios podem ser combinados a processos posteriores aeróbios ou anóxicos para tratamento complementar, formando sistemas híbridos de alta eficiência (Bhatia et al., 2025; Mahendiran et al., 2025; Abdallah et al., 2025).

A aplicação combinada de reatores óxicos, anóxicos e anaeróbios permite a otimização do tratamento de efluentes sanitários e industriais, promovendo a remoção eficaz de matéria orgânica e

nutrientes. A escolha e configuração do sistema ideal dependem da carga poluente, das condições operacionais e dos objetivos ambientais estabelecidos. A compreensão da dinâmica microbiológica e físico-química desses sistemas é essencial para o aprimoramento da eficiência dos processos e a sustentabilidade das estações de tratamento de efluentes (Cai et al., 2022).

Apesar da eficiência dos sistemas biológicos na remoção de matéria orgânica e nutrientes, um dos maiores desafios atuais refere-se ao tratamento de micropoluentes emergentes, cuja diversidade estrutural e baixa concentração dificultam sua completa degradação. Diferentemente dos contaminantes convencionais, esses compostos apresentam características físico-químicas complexas que interferem diretamente em sua biodegradabilidade e na interação com as comunidades microbianas. Assim, torna-se essencial compreender não apenas a performance global dos reatores, mas também os mecanismos de remoção biológica que determinam a atenuação desses contaminantes.

4 REMOÇÃO BIOLÓGICA DE MICROPOLUENTES

A biodegradabilidade dos compostos emergentes revela uma notável diversidade. A remoção biológica de compostos emergentes nos efluentes pode envolver vários mecanismos, incluindo sorção biológica, biodegradação, transformação química, fotodegradação e volatilização (Clara et al., 2005; Wanner et al., 2005; Joss et al., 2006). Contudo, a remoção microbiana ocorre pela sorção em lodo, biodegradação ou biotransformação (Rios-Miguel et al., 2023; Wang et al., 2024).

A sorção, um mecanismo no qual os compostos emergentes são adsorvidos ou retidos pela biomassa presente no lodo, envolve a retenção desses compostos na superfície da biomassa devido a interações físico-químicas. Esse processo é subdividido em duas etapas fundamentais: absorção e adsorção (Ternes et al., 2004). Na absorção, ocorre a transferência de massa, em que as moléculas transitam da fase fluida e se modificam para a fase sólida ou líquida. A transferência de massa está intrinsecamente relacionada ao coeficiente de distribuição Sólido-Líquido do Composto (Kd). Este coeficiente é determinado pela relação entre as concentrações do composto no estado líquido e sólido na condição de equilíbrio (Suárez et al., 2008). É importante ressaltar que o Kd não depende apenas das características do composto, mas também do tipo de material no qual o composto foi sorvido (Ternes et al., 2004; Brandt, 2012).

A compreensão da biodegradação de micropoluentes está intrinsecamente ligada à sua estrutura química (Kovalova et al., 2012; Singh et al., 2021), ocorrendo a mineralização do MP, por meio da conversão do composto em CO₂. Sendo que, a resistência de um micropoluente à biodegradação é fortemente influenciada por sua estrutura molecular. Fatores como a complexidade do composto pode

variar entre monocíclicos e policíclicos, e a presença de grupos funcionais, como os halogênios, desempenham um papel crucial na determinação da biodegradabilidade (Shin et al., 2023).

Compostos que exibem uma estrutura linear, frequentemente acompanhada por cadeias laterais curtas, compostos alifáticos insaturados ou aqueles que possuem grupos funcionais doadores de elétrons, tendem a ser mais suscetíveis à degradação (Tadkaew et al., 2010; Tadkaew et al., 2011). Todavia, a situação difere para micropoluentes persistentes, caracterizados por propriedades que os tornam mais resistentes à degradação (Shin et al., 2023). Esses compostos frequentemente apresentam cadeias laterais longas e altamente ramificadas, além de serem saturados ou policíclicos. A presença de grupos funcionais capazes de retirar sulfato, halogênio ou elétrons também contribuem para a persistência desses compostos no ambiente (Tadkaew et al., 2010; Tadkaew et al., 2011).

A biotransformação refere-se à remoção parcial do composto original, gerando metabólitos que podem ser posteriormente biotransformados ou mesmo revertidos (Brown et al., 2020; Zillien et al., 2022). Existem duas principais vias de biotransformação: metabolismo e cometabolismo (Kennes-Veiga et al., 2022). A distinção crucial entre esses processos reside no fato de que, durante a biotransformação metabólica, os micropoluentes são convertidos em produtos que entram nas vias centrais da célula, proporcionando aos microrganismos carbono e energia provenientes da transformação. Por outro lado, na biotransformação cometabólica, os compostos emergentes são transformados apenas na presença de outros doadores de elétrons, resultando em perda de energia para os microrganismos (Rios-Miguel; Jetten e Welte, 2020; Rios-Miguel et al., 2023).

Os compostos emergentes são eliminados através do processo de co-beneficiamento durante as etapas de nitrificação e desnitrificação em sistemas de tratamento por lodos ativados (Ahmed et al., 2017). Esse método envolve a reação redutiva do N-NH₄⁻ para gás de nitrogênio, gerando um ambiente propício para a tolerância de componentes tóxicos em sistemas de tratamento biológicos (Silva et al., 2018). Esses compostos são decompostos por enzimas de degradação primária, como a amônia, sendo absorvidos pelas células, uma vez que não são utilizados como fonte de carbono/energia, e, posteriormente, mineralizados nos sistemas de O-lodos ativados devido à afinidade acidental das enzimas bacterianas (Vader et al., 2000). Esse processo eficiente contribui para a remoção efetiva dos compostos emergentes nos sistemas de tratamento biológico (Rios-Miguel et al., 2023).

Diversas pesquisas evidenciaram que é possível alcançar um aumento na taxa de degradação de micropoluentes mediante o uso de enzimas específicas, tanto em condições óxica quanto anaeróbicas (Alneyadi et al., 2018; Gonzalez-Gil et al., 2019). Notavelmente, algumas enzimas, como oxidoreductase e hidrolase, destacam-se pela capacidade de catalisar a oxidação e hidrólise,

respectivamente, de compostos recalcitrantes, incluindo produtos farmacêuticos como naproxeno, carbamazepina e sulfametoxazol (Naghdi et al., 2018; Tran et al., 2013).

Em um estudo de remoção de clortetraciclina em sistema de tratamento O-lodos ativados, apresentou uma taxa de remoção de 75% do composto em um estudo de bancada como água sintética sob 33 dias de digestão anaeróbica (Arikan, 2008). De forma semelhante Pirsahab et al., (2020) avaliaram um reator de lodos ativados aplicando ao tratamento de efluentes hospitalares e observaram remoções de 70,36% para amoxicilina e 84,49% para ceftriaxona. O estudo de Dubey et al. (2022) mostrou que o ibuprofeno apresenta elevada taxa de remoção em condições óxicas.

Dubey et al. (2022) complementam que a remoção dos compostos emergentes pode variar, conforme o sistema utilizado (anaeróbios, óxicos e anóxicos) e pelo tipo de composto presente no efluentes, tendo em vista que a biodegradabilidade pode estar associada a meia-vida com composto químico e pelo tipo de microorganismo presente no sistema de tratamento. De acordo com Krzeminski et al. (2019), Khan et al. (2023) e Rios-Miguel (2023) os processos biológicos geralmente não conseguem remover integralmente todos os contaminantes presentes nas águas residuais. Mesmo quando os efluentes tratados atendem aos padrões regulamentares de qualidade, alguns compostos persistentes podem permanecer em concentrações reduzidas, representando um potencial risco para a saúde.

Diante disso, torna-se necessário a adoção de tratamentos complementares do descarte para assegurar melhorar qualidade da água. A integração de processos biológicos com outras técnicas ou métodos biológicos complementares, tem demonstrado maior eficiência na remoção de micropoluentes em comparação aos sistemas unitários (Belini et al., 2023). Essa sinergia está associada, principalmente, à ocorrência simultânea de processos de nitrificação e desnitrificação, que ampliam as rotas metabólicas disponíveis para a degradação de contaminantes emergentes (Xie et al., 2024; Shukla, Prasad & Ahammad, 2024).

Dessa forma, observa-se que a eficiência na remoção de compostos emergentes depende não apenas do tipo de processo aplicado, mas também das condições operacionais e da natureza química dos contaminantes. Para ilustrar essas variações, a seguir são apresentados alguns estudos experimentais, conduzidos em diferentes escalas (laboratorial e em operação real), que avaliaram a remoção de micropoluentes em sistemas anaeróbios, óxicos e anóxicos, sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação de estudos envolvendo remoção biológica de micropoluentes orgânicos;

Sistema - Reatores	E	Composto	Escala	TDH hora	UN	Concentrações - Efluente		Eficiência de remoção %
						Bruto	Tratado	
Anaeróbico [1]	Sanitário	Paracetamol	Real	24	$\mu\text{g L}^{-1}$	11,35	0,30	97,36
		Atenolol				38,80	1,41	62,89
		Carbamazepina				0,95	0,90	5,26
Anóxico [2]	Sintético	Naproxeno	Banca da	24	$\mu\text{g L}^{-1}$	100	-	<25
		Ibuprofeno				100	-	<25
		Diclofenaco				100	-	<25
		Eritromicina				100	-	>25 e <90
		Sulfametoxazol				100	-	>90
		Carbamazepina				100	-	<25
		Diazepam				100	-	<25
		Bisfenol-A				100	-	>25 e <90
		Triclosan				100	-	>90
		Citalopram				100	-	>90
		Roxitromicina				100	-	>25 e <90
Óxico [3]	Sanitário	Estrona	Real	-	$\mu\text{g L}^{-1}$	10	-	>25 e <90
		Estradiol				10	-	>25 e <90
		Etinilestradiol				10	-	>25
		Bisfenol-A				84,11	0,02	99,90
Óxico [4]	Sanitário	Estradiol	Real	-	$\mu\text{g L}^{-1}$	1,33	0,48	63,10
		Estrona				0,87	n.d.	100
		Cafeína				8,20	n.d.	100
		Etinilestradiol				0,84	0,47	44,10
		Carbamazepina	Real	10,5	ng L^{-1}	14,5	16,5	-
Óxico [1]	Sanitário	Diclofenaco				6,01	3,20	46,70
		Ibuprofeno				268	14,6	94,50
		Paracetamol				7111	9,10	99,80
Óxico [1]	Sanitário	Paracetamol	Real	17	$\mu\text{g L}^{-1}$	n.d.	0,20	-
		Atenolol				0,52	2,09	-401,94%
	Coleta 01	Carbamazepina				0,54	0,57	-105,64
		Paracetamol				n.d.	n.d.	-
	Coleta 02	Atenolol				1,59	0,63	60,38
		Carbamazepina				0,79	0,85	-107,63
	Coleta 03	Paracetamol		18	$\mu\text{g L}^{-1}$	n.d.	n.d.	-
		Atenolol				n.d.	n.d.	-
	Coleta 04	Carbamazepina				0,37	0,55	-147,13
		Paracetamol				n.d.	n.d.	-
	Coleta 04	Atenolol				5,78	0,40	98,08
		Carbamazepina				0,54	0,88	-162,33
Óxico [1]	Sanitário	Paracetamol	Real	48	$\mu\text{g L}^{-1}$	83,62	0,26	99,68
		Atenolol				2,23	0,20	91,03
	Coleta 01	Carbamazepina				0,53	0,41	22,64
		Paracetamol				0,80	0,33	58,75
	Coleta 02	Atenolol				1,13	0,20	84,07
		Carbamazepina				0,36	0,42	-116,66
	Coleta 03	Paracetamol				19,34	0,29	98,50
		Atenolol				4,47	n.d.	100
		Carbamazepina				0,24	0,32	-133,33

	Sanitário o Coleta 04	Paracetamol Atenolol Carbamazepina	Banca da Banca da	24	mg L ⁻¹	n.d. 3,56 0,28	0,23 n.d. 0,44	- 100 -157,14
Anóxico-óxico [5]	Sintético	Sulfametazol	Banca da Banca da	24	mg L ⁻¹	1,00 5,00	0,35 ± 0,06 2,4 ± 0,30	65,00 52,00
Anóxico-óxico [6]	Sintético	Sulfadiazina Sulfametazina Sulfametoxazol	Banca da	-	µg L ⁻¹	1,00 1,00 1,00	0,67 0,67 0,36	33,00 33,00 64,00
Anóxico-óxico [7]	Hospital ar	Ibuprofeno Cetoprofeno Naproxeno Acetaminofeno Prednisolona Prednisona Estrona Estradiol Etinilestradiol Estriol Progesterona Tetraciclina Eritromicina Azitromicina Sulfametoxazol Ciprofloxacina Cafeína Furosemida Bezafibrato	Banca da Real	24	µg L ⁻¹	32,07 47,74 6,35 13,51 0,28 0,57 0,41 0,27 0,22 0,39 0,25 0,24 44,57 13,98 0,36 0,38 0,79 6,52 1,08	28,29 32,40 7,25 26,55 0,20 0,20 0,31 0,19 0,38 0,43 0,24 0,24 32,64 40,12 0,31 0,39 0,85 9,80 1,32	27,37 32,13 -14,17 -96,52 28,57 64,91 24,39 29,63 -72,72 -10,26 4,00 0,00 26,77 -186,98 13,89 -2,63 -7,59 -50,30 -22,22
Anóxico-óxico [7]	Hospital ar	Progesterona Estradiol Estrona Cafeína	Real	36,4 5	µg L ⁻¹	0,12 5,53 5,24 29261, 15	0,07 0,00 0,00 458,27	21,22 100 100 98,43
Anaeróbio-anóxico- óxico [8]	Sintético	17α- etinilestradiol Ibuprofeno Paracetamol	Banca da	24	µg L ⁻¹	250,00 25,00 10,00	125,00 3,75 0,10	55,00 85,00 99,00
Anaeróbio-anóxico- óxico [9]	Sintético	Metronidazol Bezafibrato Ibuprofeno Sulfametoxazol Carbamazepina Ciprofloxacina	Banca da	48	µg L ⁻¹	100 100 100 100 100	38,10 65,90 10,50 88,50 6,70 n.d.	61,90 34,10 89,50 11,50 93,30 100
Anaeróbio-anóxico- óxico [10]	Sanitário	Paracetamol Cafeína Ciprofloxacina Diclofenaco Fenopropeno Ibuprofeno Indometacina Cetoprofeno Norfloxacino Ofloxacina Oxitetraciclina Sulfadiazina Sulfametoxazol Tetraciclina	Real	-	µg L ⁻¹	5,7 2,78 0,026 0,024 0,0018 0,25 0,009 0,038 0,512 0,504 0,344 0,009 0,049 0,216	0,002 0,018 0,005 0,029 0,0013 0,026 0,012 0,009 0,072 0,126 0,018 0,003 0,022 n.d.	99,96 99,35 80,76 0,00 27,78 0,00 0,00 76,31 85,94 75,00 94,76 66,67 55,10 100

Tiabendazol	0,001	0,001	0,00
-------------	-------	-------	------

Legenda: E (efluente); UN (Unidade); [1] Guedes (2017); [2] Martínez-Quintela et al. (2023); [3] Froehner et al. (2010); [4] Yan et al. (2014); [5] Saidulu et al. (2024); [6] MA et al. (2023); [7] Campos, 2024; [8] Belini et al. (2023); [9] Wei et al. (2019); [10] Ashfaq et al. (2017).

Fonte: Autoria própria (2024)

Segundo Di Marcantonio et al. (2020) em uma investigação sobre a interação do processo de tratamento anóxico-óxico na eliminação de micropoluentes, observou-se que bactérias pertencentes às famílias Rhodocyclaceae, Comamonadaceae, Xanthomonadaceae, Saprospiraceae, Chitinophagaceae, Flavobacteriaceae, Cthophagaceae, Comamonadaceae, Campylobacter e Mylophilaceae demonstraram eficiência significativa na biodegradação dos compostos emergentes em sistema anóxico-óxico, como sulfametoxazol, sulfadiazina, lincomicina, carbamazepina e naproxeno. O autor também ressalta que a modificação das condições de presença e ausência de oxigênio molecular dissolvido impacta diretamente na remoção dos micropoluentes.

O levantamento apresenta uma variação significativa da efluência de remoção sob diferentes condições redox, com a eficiência variando entre valores negativos a 100% de remoção. A remoção negativa do sistema de tratamento é refletida nas diferenças de concentração dos compostos presentes no efluente bruto e no tratado, evidenciando que, embora haja uma redução significativa para muitos compostos, alguns ainda persistem em concentrações detectáveis elevadas após o tratamento (Guedes, 2017; Campos, 2024; Campos e Pagioro, 2025b).

Para Blair et al. (2015), Göbel et al. (2007) e Kim et al. (2014) os compostos emergentes estão incluídos nas partículas sólidas provenientes do efluente, adsorvidos em partículas suspensas e encapsulados por surfactantes. Esses compostos podem ser liberados quando os microrganismos quebram a barreira entre os micropoluentes e os resíduos sólidos (fezes/partículas/surfactantes). Kimura, Hara e Watanabe (2005), Salgado et al. (2012) e Verlicchi, Al Aukidy e Zambello (2012) complementam que o aumento da concentração dos micropoluentes também pode estar associado com a transformação de metabólitos ou com as formas conjugadas do composto original. Anumol et al. (2016) explicam que a operação em tempos de contato curtos reduz a capacidade de biodegradação, alcançando menores eficiências de remoção total.

Clara, Strenn e Kreuzinger (2004) e Madrid e Zayas (2007) destacam que a variação nas concentrações dos compostos emergentes na entrada e saída também pode estar relacionada com o processo de amostragem. Petrovic et al. (2009), Oulton, Kohn e Cwiertny (2010), Verlicchi, Al Aukidy e Zambello (2012), Campo et al. (2013) e Rodayan, Majewsky e Yargeau (2014) complementam que a amostragem sem considerar o TDH e Tempo de Retenção de Lodo (TRS) do sistema de tratamento biológico afeta o processo de remoção dos micropoluentes. Ashfaq et al. (2017) apresentam que a

liberação dos compostos emergentes dos sólidos suspensos durante o processo de recirculação do lodo em diferentes condições redox também contribui para o aumento das concentrações dissolvidas na fase aquosa.

5 CONCLUSÃO

O crescente lançamento de compostos emergentes nos corpos hídricos evidencia a complexidade dos impactos decorrentes da ação antrópica sobre a qualidade da água. Esses micropoluentes, frequentemente presentes em concentrações traço, mas com potencial ecotoxicológico elevado, desafiam os modelos tradicionais de tratamento de efluentes, cuja concepção histórica não contemplava a remoção desses contaminantes. Os sistemas de tratamento aeróbios, anóxicos, anaeróbios ou híbridos, apresentam desempenhos variáveis na remoção desses compostos, oscilando desde eficiência total até aumentos nas concentrações dos efluentes tratados, resultado de processos de desorção, biotransformações incompletas ou da liberação de metabólitos.

Nesse contexto, os resultados apontam para a importância de se ampliar o entendimento sobre os mecanismos de degradação, transformação e persistência dos compostos emergentes nos sistemas de tratamento. A eficiência do processo está diretamente relacionada à configuração dos reatores, à natureza química dos compostos e à microbiota envolvida, evidenciando a necessidade de abordagens integradas e específicas para cada classe de substância. A variabilidade observada nos estudos analisados, tanto em condições reais quanto de bancada, reforça que a adoção de tecnologias mais robustas e combinadas pode representar uma via promissora para a mitigação desse problema. Consolidando os achados, percebe-se que o aprimoramento dos sistemas de tratamento, aliado ao conhecimento sobre o comportamento ambiental dos compostos emergentes, é um passo essencial rumo à segurança hídrica e ao uso sustentável dos recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Fundo de Apoio à Pesquisa (FAP), ao Programa de Apoio à Extensão e Cultura (PAEC) e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Sociedade da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP) pelo apoio institucional, essencial para o desenvolvimento e a conclusão desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, Mohamad et al. Melhoria da partida e do desempenho de um reator anaeróbico de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB) usando biofilme enriquecido eletroquimicamente. *Tecnologia de Enzimas e Microbianos*, p. 110651, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2025.110651>.

AHMED, Mohammad Boshir et al. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: a critical review. *Journal of hazardous materials*, v. 323, p. 274-298, 2017.

AJALA, Oluwaseun Jacob et al. A review of emerging micro-pollutants in hospital wastewater: Environmental fate and remediation options. *Results in Engineering*, v. 16, p. 100671, 2022.

ALNEYADI, Aysha Hamad; RAUF, Muhammad A.; ASHRAF, S. Salman. Oxidoreductases for the remediation of organic pollutants in water—a critical review. *Critical reviews in biotechnology*, v. 38, n. 7, p. 971-988, 2018.

AL-RIYAMI, I.M.; et al. Antibiotics in wastewaters: a review with focus on Oman. *Applied Water Science*, v. 8, n. 7, p. 1-10, 2018.

ANUMOL, Tarun et al. Occurrence and fate of emerging trace organic chemicals in wastewater plants in Chennai, India. *Environment international*, v. 92, p. 33-42, 2016.

ARAÚJO, Amanda Pereira da Costa et al. Toxicity assessment of polyethylene microplastics in combination with a mix of emerging pollutants on *Physalaemus cuvieri* tadpoles. *Journal of Environmental Sciences*, v. 127, p. 465-482, 2023.

ARAÚJO, Esmeralda Pereira; CALDAS, Eloisa Dutra; OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. Pesticides in surface freshwater: a critical review. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, n. 6, p. 1-25, 2022.

ARCHER, Edward et al. A two-year study of emerging micro-pollutants and drugs of abuse in two Western Cape wastewater treatment works (South Africa). *Chemosphere*, v. 285, p. 131460, 2021.

ARIKAN, Osman A. Degradation and metabolism of chlortetracycline during the anaerobic digestion of manure from medicated calves. *Journal of Hazardous Materials*, v. 158, n. 2-3, p. 485-490, 2008.

ASHFAQ, Muhammad et al. Occurrence, fate, and mass balance of different classes of pharmaceuticals and personal care products in an anaerobic-anoxic-oxic wastewater treatment plant in Xiamen, China. *Water research*, v. 123, p. 655-667, 2017.

AYDIN, S.; et al. Antibiotics in hospital effluents: occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment plant, and environmental risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, p. 544-558, 2019.

BELINI, Aldria Diana et al. Assessment of the Anaerobic-Oxic-Anoxic (AOA) system on the removal of pharmaceuticals and the effect of recirculation on denitrification process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 11, n. 5, p. 110463, 2023.

BHATIA, Pranshu et al. High-rate anaerobic digestion of water hyacinth juice in an upflow anaerobic sludge blanket reactor with observations on granule formation. *Journal of Water Process Engineering*, v. 72, p. 107339, 2025.

BHATTACHARYA, Animesh et al. Influence of mass-awareness campaign on community behavior pattern changes for safe drinking water availability in a groundwater arsenic-affected area of South Asia. *Groundwater for Sustainable Development*, v. 18, p. 100766, 2022.

BHUIYAN, Abul Bashar et al. The environmental risk and water pollution: A review from the river basins around the world. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, v. 7, n. 2, p. 126-136, 2013.

BLAIR, Benjamin et al. Evaluating the degradation, sorption, and negative mass balances of pharmaceuticals and personal care products during wastewater treatment. *Chemosphere*, v. 134, p. 395-401, 2015.

BRANDT, E. M. F. Avaliação da remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em sistemas simplificados de tratamento de esgoto (reatores UASB seguidos de pós-tratamento). 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (mg), 2012.

BROWN, Alistair K. et al. In situ kinetics of human pharmaceutical conjugates and the impact of transformation, deconjugation, and sorption on persistence in wastewater batch bioreactors. *Environmental Pollution*, v. 265, p. 114852, 2020.

CAI, Yingying et al. Sequencing batch reactor (SBR) and anoxic and oxic process (A/O) display opposite performance for pollutant removal in treating digested effluent of swine wastewater with low and high COD/N ratios. *Journal of Cleaner Production*, v. 372, p. 133643, 2022.

CAMPO, Julian et al. Occurrence and removal efficiency of pesticides in sewage treatment plants of four Mediterranean River Basins. *Journal of hazardous materials*, v. 263, p. 146-157, 2013.

CAMPOS, R. F. F.; REICHARDT, L. G. Análise do uso do solo na Área de Preservação Permanente (APP) do perímetro urbano do município de Piratuba, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 6, p. 49-59, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16350409>.

CAMPOS, R. F. F.; SILVA, G. G. P.; STEFAN, F.; SANTOS, I. S. Avaliação da qualidade da água de uma nascente em área urbana no município de Caçador/SC. *Nature and Conservation*, v. 18, p. 8642, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2025.001.0001>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de. Monitoramento ambiental da ecobarreira do município de Caçador (SC): relato de experiência das atividades do PROESDE. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (Online)*, v. 20, p. 479-491, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.34024/revbea.2025.v20.20259>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de. Remoção de nutrientes e contaminantes emergentes em um sistema de tratamento de efluente hospitalar composto de um reator anóxico-lodos ativados de aeração prolongada. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BARCAROLLI, Indianara Fernanda. Análise da interação antrópica na qualidade da água de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 16, p. 542-556, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p542-556>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BASSANI, L. L.; ALDROVANDI, P. L.; SERAFINI, I.; MACHADO, L. A. Análise físico-química e microbiológica da água de fonte natural localizada no bairro dos Municípios de Caçador/SC. Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais, v. 16, p. e8689, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2025.001.0004>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGA, Tiago; GARCIA, S. S. Caracterización de los controles ambientales de una empresa de producción de plástico del municipio de Caçador-SC, Brasil. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 21, p. 186-199, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117028265>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGA, Tiago; GARCÍA, Santiago Sánchez. Caracterización de los controles ambientales de una empresa de producción de plástico del Municipio de Caçador-SC, Brasil. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 21, n. 3, p. 186-189, 2017.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGA, Tiago; VAZQUEZ, E. M. Monitoreo de una estación de tratamiento de efluentes proveniente de una empresa de reciclaje de plástico del municipio de Caçador, Santa Catarina, Brasil. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 21, p. 158-165, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117028138>

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; KUHN, Daiane Cristine. Análise da interação de uma fonte pontual de lançamento de esgoto sanitário com a qualidade da água de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. Nature and Conservation, v. 14, p. 96-102, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2021.003.0008>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; KUHN, Daiane Cristine; MATIAS, Caroline Aparecida; REICHARDT, Lecilda. Análise da qualidade da água do Lago das Araucárias do município de Fraiburgo, Santa Catarina, Brasil. Nature and Conservation, v. 15, p. 40-47, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2022.001.0004>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; MORETTO, Daniel. Análises dos efeitos antrópicos na determinação do Índice do Estado Trófico (IET) de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. Meio Ambiente (Brasil), v. 7, p. 66-81, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16351089>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; OLIVEIRA, Pietra. A. Análise da eficiência do tratamento de efluente na produção de MDF: remoção de alta carga orgânica. Natural Resources, v. 14, p. 38-52, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2024.003.0004>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; PAGIORO, Thomaz Aurélio. Compostos emergentes: características, fontes de geração e presença no meio ambiente. *Natural Resources*, v. 15, p. 8636, 2025a. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2025.001.0001>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; PAGIORO, Thomaz Aurélio. Compostos emergentes: características, fontes de geração e presença no meio ambiente. *Natural Resources*, v. 15, p. 8636, 2025a. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2025.001.0001>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; PAGIORO, Thomaz Aurélio. Efluente hospitalar: caracterização e desafios no tratamento. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 16, p. 8637, 2025b. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2025.001.0003>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; PAGIORO, Thomaz Aurélio. Efluente hospitalar: caracterização e desafios no tratamento. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 16, p. 8637, 2025b. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2025.001.0003>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; PAGIORO, Thomaz Aurélio. Influência da temperatura no sistema de tratamento de efluentes por lodos ativados. *Environmental Scientiae*, v. 5, p. 26-35, 2024c. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2674-6492.2024.001.0004>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; PAGIORO, Thomaz Aurélio. Influência da temperatura no sistema de tratamento de efluentes por lodos ativados. *Environmental Scientiae*, v. 5, p. 26-35, 2024c. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2674-6492.2024.001.0004>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; PAVELSKI, João Vitor. V. Análise da interação antrópica com o Índice da Qualidade da Água (IQA) do Rio do Peixe no perímetro do município de Caçador/SC. *Meio Ambiente (Brasil)*, v. 7, p. 66-81, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16351899>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; REICHARDT, L. G. Análise do uso do solo na Área de Preservação Permanente (APP) do perímetro urbano do município de Pinheiro Preto, Santa Catarina, Brasil. *Geoambiente On-line*, v. 52, p. 369-382, 2025.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; REICHARDT, Letícia Geniqueli. Uso e ocupação do solo em Área de Preservação Permanente no perímetro urbano de Tangará (Santa Catarina). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 6, p. 40-48, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16350185>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; REICHARDT, Letícia Geniqueli. Diagnóstico do uso e ocupação do solo da Área de Preservação Permanente (APP) do perímetro urbano do município de Ouro (Santa Catarina). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 6, p. 2-12, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16350860>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; ZIR, Marina. L. Análise da eficiência de uma estação de tratamento de efluente têxtil: estudo de caso em uma indústria têxtil no município de Caçador/SC. *Natural Resources*, v. 14, p. 53-67, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2024.003.0005>.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira et al. Análise da qualidade da água do Lago das Araucárias do município de Fraiburgo, Santa Catarina, Brasil. *Nature and Conservation*, v. 15, n. 1, p. 40-47, 2022.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira; BARCAROLLI, Indianara Fernanda. Análise da interação antrópica na qualidade da água de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 01, p. 542-556, 2023.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira; BORGA, Tiago; VAZQUEZ, Eric Marcos. Monitoreo de una estación de tratamiento de efluentes proveniente de una empresa de reciclaje de plástico del municipio de Caçador, Santa Catarina, Brasil. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, p. 158-165, 2017.

CAMPOS, Roger Francisco Ferreira; KUHN, Daiane Cristine. Análise da interação de uma fonte pontual de lançamento de esgoto sanitário com a qualidade da água de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. *Nature and Conservation*, v. 14, n. 3, p. 96-102, 2021.

CASTRO, G. et al. Identification and determination of emerging pollutants in sewage sludge driven by UPLC-QTOF-MS data mining. *Science of The Total Environment*, v. 778, p. 146256, 2021.

CHEN, Z.; KAHN, M.E.; LIU, Y.; WANG, Z. The consequences of spatially differentiated water pollution regulation in China. *Journal of Environmental Economics and Management*, v.88, p.468-485, Mar. 2018.

CLARA, Manfred et al. The solids retention time—a suitable design parameter to evaluate the capacity of wastewater treatment plants to remove micropollutants. *Water research*, v. 39, n. 1, p. 97-106, 2005.

CLARA, Manfred; STRENN, Birgit; KREUZINGER, Norbert. Carbamazepine as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations on the behaviour of carbamazepine in wastewater treatment and during groundwater infiltration. *Water research*, v. 38, n. 4, p. 947-954, 2004.

DI MARCANTONIO, Camilla et al. Effect of oxic/anoxic conditions on the removal of organic micropollutants in the activated sludge process. *Environmental Technology & Innovation*, v. 20, p. 101161, 2020.

DUBEY, Monika et al. Occurrence, removal, and mass balance of contaminants of emerging concern in biological nutrient removal-based sewage treatment plants: Role of redox conditions in biotransformation and sorption. *Science of the Total Environment*, v. 808, p. 152131, 2022.

EBELE, A.J.; ABDALLAH, A.B.; HARRAD, S. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants*, v. 3, p. 1-16, 2017.

EBRAHIMZADEH, Gholamreza et al. Monitoring of caffeine concentration in infused tea, human urine, domestic wastewater and different water resources in southeast of Iran-caffeine an alternative indicator for contamination of human origin. *Journal of Environmental Management*, v. 283, p. 111971, 2021.

EGBUNA, Chukwuebuka et al. Emerging pollutants in Nigeria: A systematic review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 85, p. 103638, 2021.

ELAWWAD, Abdelsalam et al. Long-term starvation and subsequent recovery of nitrifiers in aerated submerged fixed-bed biofilm reactors. *Environmental technology*, v. 34, n. 8, p. 945-959, 2013.

ENSANO, B. M. B., BOREA, L., NADDEO, V., BELGIORNO, V., DE LUNA, M. D. G. Applicability of the electrocoagulation process in treating real municipal wastewater containing pharmaceutical active compounds. *Journal of hazardous materials*, v. 361, p. 367-373, 2019.

FABREGAT-SAFONT, David et al. Wide-scope screening of pharmaceuticals, illicit drugs and their metabolites in the Amazon River. *Water Research*, v. 200, p. 117251, 2021.

FARTO, Cindy Deina et al. Contaminantes emergentes no Brasil na década 2010-2019—parte i: ocorrência em diversos ambientes aquáticos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 18, p. 12-19, 2021.

FROEHN, Sandro et al. Removal capacity of caffeine, hormones, and bisphenol by aerobic and anaerobic sewage treatment. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 216, p. 463-471, 2011.

GÁLVEZ, J. M. et al. Influence of hydraulic loading and air flowrate on urban wastewater nitrogen removal with a submerged fixed-film reactor. *Journal of hazardous materials*, v. 101, n. 2, p. 219-229, 2003.

GÖBEL, Anke et al. Fate of sulfonamides, macrolides, and trimethoprim in different wastewater treatment technologies. *Science of the total environment*, v. 372, n. 2-3, p. 361-371, 2007.

GONZALEZ-GIL, Lorena et al. Biotransformation of organic micropollutants by anaerobic sludge enzymes. *Water research*, v. 152, p. 202-214, 2019.

GOSSET, A. et al. Ecotoxicological risk assessment of contaminants of emerging concern identified by “suspect screening” from urban wastewater treatment plant effluents at a territorial scale. *Science of The Total Environment*, v. 778, p. 146275, 2021.

GRANDCLÉMENT, C. et al. From the conventional biological wastewater treatment to hybrid processes, the evaluation of organic micropollutant removal: A review. *Water Research*, v.111, p. 297-317, 2017.

GREENAN, Colin M. et al. Comparing carbon substrates for denitrification of subsurface drainage water. *Journal of environmental quality*, v. 35, n. 3, p. 824-829, 2006.

GUEDES, Camila Delanesi. A presença de fármacos nos esgotos domésticos e sua remoção pelos processos de lodo ativado com oxigênio puro, lagoa aerada e reator anaeróbio de fluxo ascendente. 2017. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

HESPAHOL, I. Poluentes Emergentes, saúde pública e reuso potável direto. In: CALIJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

HOUTMAN, C.J.; BROEK, R.T.; OORSCHOT, Y.V.; KLOES, D.; VAN DER OOST, R.; ROSIELLE, M.; LAMOREE, M.H. High resolution effect-directed analysis of steroid hormone (ant)agonists in surface and wastewater quality monitoring. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 80, p. 103460, 2020.

HUBE, Selina; WU, Bing. Mitigation of emerging pollutants and pathogens in decentralized wastewater treatment processes: A review. *Science of The Total Environment*, v. 779, p. 146545, 2021.

HUERTA, B.; et al. Presence of pharmaceuticals in fish collected from urban rivers in the U.S. EPA 2008–2009 National Rivers and Streams Assessment. *Science of the Total Environment*, v. 634, p. 542-549, 2018.

INTISAR, Azeem et al. Occurrence, toxic effects, and mitigation of pesticides as emerging environmental pollutants using robust nanomaterials—A review. *Chemosphere*, v. 293, p. 133538, 2022.

JOSS, Adriano et al. Biological degradation of pharmaceuticals in municipal wastewater treatment: proposing a classification scheme. *Water research*, v. 40, n. 8, p. 1686-1696, 2006.

KENNES-VEIGA, David M. et al. Enzymatic cometabolic biotransformation of organic micropollutants in wastewater treatment plants: A review. *Bioresource Technology*, v. 344, p. 126291, 2022.

KHAN, Muhammad Ali et al. Experimental design by response surface methodology for efficient cefixime uptake from hospital effluents using anion exchange membrane. *Chemosphere*, v. 311, p. 137103, 2023.

KIM, I.-Tae et al. Development of a combined aerobic–anoxic and methane oxidation bioreactor system using mixed methanotrophs and biogas for wastewater denitrification. *Water*, v. 11, n. 7, p. 1377, 2019.

KIM, M. et al. Removal of pharmaceuticals and personal care products in a membrane bioreactor wastewater treatment plant. *Water science and technology*, v. 69, n. 11, p. 2221-2229, 2014.

KIMURA, Katsuki; HARA, Hiroe; WATANABE, Yoshimasa. Removal of pharmaceutical compounds by submerged membrane bioreactors (MBRs). *Desalination*, v. 178, n. 1-3, p. 135-140, 2005.

KOMESLI, O. T.; MUZ, M.; AK, M. S.; BAKIRDERE, S.; GOCKCAY, C. F. Occurrence, fate and removal of endocrine disrupting compounds (EDCs) in Turkish wastewater treatment plants. *Chemical Engineering Journal*, v. 277, p.202-208, 2015.

KOVALOVA, Lubomira et al. Hospital wastewater treatment by membrane bioreactor: performance and efficiency for organic micropollutant elimination. *Environmental science & technology*, v. 46, n. 3, p. 1536-1545, 2012.

KRZEMINSKI, Paweł et al. Performance of secondary wastewater treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern implicated in crop uptake and antibiotic resistance spread: A review. *Science of the Total Environment*, v. 648, p. 1052-1081, 2019.

KURT, A.; et al. Treatment of antibiotics in wastewater using Advanced Oxidation Processes (AOPs). In: FAROOQ, R.; AHMAD, Z. Physico-chemical wastewater treatment and resource recovery. IntechOpen: Croatia, 2017.

LAUTERT, V.; CAMPOS, R. F. F.; GIOPPO, P. S.; BONDAN, M. A. Análise da concentração de carbonato de cálcio em fontes naturais de água no município de Caçador/SC e a sua interação com a produção de pedra nos rins. *Extensão em Foco*, v. 7, p. 34-41, 2019.

LEIVISKÄ, T.; RISTEELÄ, S. Analysis of pharmaceuticals, hormones and bacterial communities in a municipal wastewater treatment plant – Comparison of parallel full-scale membrane bioreactor and activated sludge systems. *Environmental Pollution*, v. 292, p. 118433, 2022.

LEVÈQUE, J.G.; BURNS, R.C. A Structural Equation Modeling approach to water quality perceptions. *Journal of Environmental Management*, v.197, p.440-447, Jul. 2017.

LI, G.; et al. Antibiotics elimination and risk reduction at two drinking water treatment plants by using different conventional treatment techniques. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 158, p. 154-161, 2018.

LORENZETTI, Eloisa et al. Impacto ambiental de metais tóxicos na água e no solo por agroquímicos, poluentes emergentes e métodos de remediação. *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 9, p. 1520-1525, 2019.

MACHADO, Kelly C. et al. A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 572, p. 138-146, 2016.

MADRID, Yolanda; ZAYAS, Zoyne Pedrero. Water sampling: Traditional methods and new approaches in water sampling strategy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 26, n. 4, p. 293-299, 2007.

MAHENDIRAN, R. et al. Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors for Bio-methane production from limed tannery fleshings: Lab and pilot scale reactors. *Sustainable Chemistry One World*, v. 2, p. 100006, 2024.

MAHNIK, S.N.; LENZ, K.; WEISSENBACHER, N.; MADER, R.M.; FUERHACKER, M. Fate of 5-fluorouracil, doxorubicin, epirubicin, and daunorubicin in hospital wastewater and their elimination by activated sludge and treatment in a membrane-bio-reactor system. *Chemosphere*, v. 66, n. 1, p. 30-37, 2007.

MAJUMDER, Abhradeep et al. A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 2, p. 104812, 2021.

MARSON, Eduardo O. et al. A review toward contaminants of emerging concern in Brazil: Occurrence, impact and their degradation by advanced oxidation process in aquatic matrices. *Science of The Total Environment*, v. 836, p. 155605, 2022.

MARTÍNEZ-QUINELA, Miguel et al. Influence of metabolism and microbiology on organic micropollutants biotransformation in anoxic heterotrophic reactors. *Journal of Hazardous Materials*, v. 442, p. 129983, 2023.

METCALF, Leonard; EDDY, H. P. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. Nowaczyk: AMGH Editora, 2016.

MOHAPATRA, S.; et al. Occurrence and fate of pharmaceuticals in WWTPs in India and comparison with a similar study in the United States. *Chemosphere*, v. 159, p. 526-535, 2016.

MORITA, Alice KM et al. Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review. *Waste Management*, v. 131, p. 163-176, 2021.

MOUSAAB, Alrhoun et al. Upgrading the performances of ultrafiltration membrane system coupled with activated sludge reactor by addition of biofilm supports for the treatment of hospital effluents. *Chemical Engineering Journal*, v. 262, p. 456-463, 2015.

NABGAN, Walid et al. A state of the art overview of carbon-based composites applications for detecting and eliminating pharmaceuticals containing wastewater. *Chemosphere*, v. 288, p. 132535, 2022.

NAGHDI, Mitra et al. Removal of pharmaceutical compounds in water and wastewater using fungal oxidoreductase enzymes. *Environmental pollution*, v. 234, p. 190-213, 2018.

NEGRENTE-BOLAGAY, Daniela et al. Persistent organic pollutants: The trade-off between potential risks and sustainable remediation methods. *Journal of Environmental Management*, v. 300, p. 113737, 2021.

NOVICKI, C.; CAMPOS, R. F. F. Análise da potabilidade das águas de fontes naturais, junto ao município de Fraiburgo-SC. *Revista Monografias Ambientais (REMOA/UFSM)*, v. 15, p. 323, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236130819317>.

OJAJUNI, O.; SAROJ, D.; CAVALLI, G. Removal of organic micropollutants using membrane-assisted processes: a review of recent progress. *Environmental Technology Reviews*, v. 4, n. 1, p.17-37, jan. 2015.

OUTON, Rebekah L.; KOHN, Tamar; CWIERTNY, David M. Pharmaceuticals and personal care products in effluent matrices: a survey of transformation and removal during wastewater treatment and implications for wastewater management. *Journal of environmental monitoring*, v. 12, n. 11, p. 1956-1978, 2010.

PENG, J.; WANG, X.; YIN, F.; XU, G. Characterizing the removal routes of seven pharmaceuticals in the activated sludge process. *Science of The Total Environment*, v. 650, p. 2437-2445, 2019.

PÉREZ-AGUIRRE, Rubén et al. Ferromagnetic supramolecular metal-organic frameworks for active capture and magnetic sensing of emerging drug pollutants. *Cell Reports Physical Science*, v. 2, n. 5, p. 100421, 2021.

PERIN, Maurício et al. Pharmaceuticals, pesticides and metals/metalloids in Lake Guaíba in Southern Brazil: Spatial and temporal evaluation and a chemometrics approach. *Science of the Total Environment*, v. 793, p. 148561, 2021.

PETROVIC, Mira et al. Fate and removal of pharmaceuticals and illicit drugs in conventional and membrane bioreactor wastewater treatment plants and by riverbank filtration. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 367, n. 1904, p. 3979-4003, 2009.

PIRSAHEB, M.; et al. The hybrid system successfully consisting of activated sludge and biofilter process from hospital wastewater: Ecotoxicological study. *Journal of Environmental Management*, v. 276, p. 111098, 2020.

PIZZOCHERO, Ana Carolina et al. Occurrence of legacy and emerging organic pollutants in whitemouth croakers from Southeastern Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 682, p. 719-728, 2019.

QARNI, H.A.; COLLIER, P.; O'KEEFFE, J.; AKUNNA, J. Investigating the removal of some pharmaceutical compounds in hospital wastewater treatment plants operating in Saudi Arabia. *Environ Sci Pollut Res*, v. 23, p. 13003–13014, 2016.

RIBAS, Priscila Pauly et al. Estudos sobre remoção de micropoluentes emergentes em efluentes no Brasil: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 9, n. 1, p. 165-175, 2021.

RIBEIRO, T.S.S.; MOURÃO, L.C.; SOUZA, G.B.M.; DIAS, I.M.; ANDRADE, L.A.; SOUZA, P.L.M.; CARDOZO-FILHO, L.; OLIVEIRA, G.R.; OLIVEIRA, S.B.; ALONSO, C.G. Treatment of hormones in wastewater from the pharmaceutical industry by continuous flow supercritical water technology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 5, p. 106095, 021.

RICO, Andreu et al. Ecological risk assessment of pesticides in urban streams of the Brazilian Amazon. *Chemosphere*, v. 291, p. 132821, 2022.

RICO, Andreu et al. Pharmaceuticals and other urban contaminants threaten Amazonian freshwater ecosystems. *Environment International*, v. 155, p. 106702, 2021.

RIOS-MIGUEL, Ana B. et al. Predicting and improving the microbial removal of organic micropollutants during wastewater treatment: A review. *Chemosphere*, v. 333, p. 138908, 2023.

ROCHA, Camille A. et al. Health impact assessment of air pollution in the metropolitan region of Fortaleza, Ceará, Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 241, p. 117751, 2020.

RODAYAN, Angela; MAJEWSKY, Marius; YARGEAU, Viviane. Impact of approach used to determine removal levels of drugs of abuse during wastewater treatment. *Science of the total environment*, v. 487, p. 731-739, 2014.

RODRIGUEZ-MOZAZ, Sara et al. Antibiotic residues in final effluents of European wastewater treatment plants and their impact on the aquatic environment. *Environment international*, v. 140, p. 105733, 2020.

SAIDULU, Duduku et al. Sulfamethoxazole removal from wastewater via anoxic/oxic moving bed biofilm reactor: Degradation pathways and toxicity assessment. *Bioresource Technology*, v. 392, p. 129998, 2024.

SALGADO, R. et al. Assessing the removal of pharmaceuticals and personal care products in a full-scale activated sludge plant. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 19, p. 1818-1827, 2012.

SANGANYADO, Edmond; KAJAU, Tatenda A. The fate of emerging pollutants in aquatic systems: an overview. Elsevier: Amsterdam, 2022.

SANTOS, Ana Dalva de Oliveira et al. Pharmaceuticals, natural and synthetic hormones and phenols in sediments from an eutrophic estuary, Jurujuba Sound, Guanabara Bay, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 184, p. 114176, 2022.

SANTOS, Elci dos Santos et al. Caracterização dos efluentes líquidos em um hospital público: estudo de caso em Belo Horizonte, Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, v. 15, n. 3, p. 1469-1483, 2022.

SEBEN, Débora et al. Water quality variables and emerging environmental contaminant in water for human consumption in Rio Grande do Sul, Brazil. *Environmental Challenges*, v. 5, p. 100266, 2021.

SEID-MOHAMMADI, A.; et al. The removal of cephalexin antibiotic in aqueous solutions by ultrasonic waves/hydrogen peroxide/ nickel oxide nanoparticles (US/H₂O₂/NiO) hybrid process. *Separ. Sci. Technol*, v. 55, p. 1558–1568, 2020.

SEMERJIAN, L.; SHANABLEH, A.; SEMREEN, M.H.; SAMARAI, M. Human health risk assessment of pharmaceuticals in treated wastewater reused for non-potable applications in Sharjah, United Arab Emirates. *Environment International*, v. 121, p. 325-331, 2018.

SHIN, Jingyeong et al. Impact of anaerobic zone on biodegradation of micropollutants: Comparison of micropollutants' removal efficiencies in lab-scale anaerobic bioreactor and in full-scale anaerobic zone. *Chemical Engineering Journal*, p. 148356, 2023.

SHOKOOHI, R.; et al. Antibiotic detection in a hospital wastewater and comparison of their removal rate by activated sludge and earthworm-based vermifiltration: Environmental risk assessment. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 134, p. 169-177, 2020.

SHUKLA, Rishabh; AHAMMAD, Shaikh Ziauddin. Performance assessment of a modified trickling filter and conventional activated sludge process along with tertiary treatment in removing emerging pollutants from urban sewage. *Science of The Total Environment*, v. 858, p. 159833, 2023.

SHUKLA, Rishabh; PRASAD, Deepak Kumar; AHAMMAD, Shaikh Ziauddin. Investigating antimicrobial resistance determinants and micropollutants in urban sewage treatment plants of India: Occurrence, removal and ecotoxicological risk. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 12, n. 1, p. 111654, 2024.

SILVA, Júlio César Oliveira et al. Achieving Sustainable Development Goal 6 Electrochemical-Based Solution for Treating Groundwater Polluted by Fuel Station. *Water*, v. 14, n. 18, p. 2911, 2022.

SILVA, Lívia Carneiro Fidélis et al. Effect of salinity in heterotrophic nitrification/aerobic denitrification performed by acclimated microbiota from oil-produced water biological treatment system. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 130, p. 1-7, 2018.

SIMELANE, Nontobeko P. et al. Biopolymer composites for removal of toxic organic compounds in pharmaceutical effluents—a review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, v. 4, p. 100239, 2022.

SINGH, Anil Kumar et al. Trends in predictive biodegradation for sustainable mitigation of environmental pollutants: Recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, v. 770, p. 144561, 2021.

SODRÉ, Fernando Fabriz; SAMPAIO, Thiago Rosa. Development and application of a SPE-LC-QTOF method for the quantification of micropollutants of emerging concern in drinking waters from the Brazilian capital. *Emerging Contaminants*, v. 6, p. 72-81, 2020.

SOLDERA, B.C.; OLIVEIRA, E. Água Sustentável (AS): Um novo método para a governança da água. *Águas Subterrâneas*, v.31, n.2, p.30-43, 2017.

SOLIS-CASADOS, D. A., ESCOBAR-ALARCON, L. U. I. S., NATIVIDAD, R., & ROMERO, R. Advanced Oxidation Processes II: Removal of pharmaceuticals by photocatalysis. *Ecopharmacovigilance*, v. 66, p. 143-155, 2018.

SOTÃO NETO, Basílio MT et al. Persistent organic pollutants (POPs) and personal care products (PCPs) in the surface sediments of a large tropical bay (Todos os Santos Bay, Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, v. 161, p. 111818, 2020.

SOUZA, Marília Cristina Oliveira et al. Legacy and emerging pollutants in Latin America: A critical review of occurrence and levels in environmental and food samples. *Science of The Total Environment*, v. 848, p. 157774, 2022.

STANG, Camryn; MOHAMED, Badr A.; LI, Loretta Y. Microplastic removal from urban stormwater: Current treatments and research gaps. *Journal of Environmental Management*, v. 317, p. 115510, 2022.

STERZ, C.; ROZA-GOMES, M.F.; ROSSI, E.M. Análise microbiológica e avaliação de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água do Riacho Capivara, município de Mondaí, SC. *Unoesc&Ciência – ACBS, Joaçaba*, v. 2, n. 1, p. 7-16, Jan./Jun. 2011.

SUÁREZ, Sonia et al. How are pharmaceutical and personal care products (PPCPs) removed from urban wastewaters?. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 7, p. 125-138, 2008.

SUN, Haohao et al. Aerobic starvation treatment of activated sludge enhances the degradation efficiency of refractory organic compounds. *Water Research*, v. 224, p. 119069, 2022.

TADKAEW, Nichanan et al. Effect of mixed liquor pH on the removal of trace organic contaminants in a membrane bioreactor. *Bioresource technology*, v. 101, n. 5, p. 1494-1500, 2010.

TADKAEW, Nichanan et al. Removal of trace organics by MBR treatment: the role of molecular properties. *Water research*, v. 45, n. 8, p. 2439-2451, 2011.

TEOH, Tean-Peng et al. Caffeine-containing wastewater treatment and bioelectricity generation in up-flow constructed wetland-microbial fuel cell: Influence of caffeine concentration, operating conditions, toxicity assessment, and degradation pathway. *Journal of Water Process Engineering*, v. 46, p. 102623, 2022.

TERNES, Thomas A. et al. A rapid method to measure the solid–water distribution coefficient (K_d) for pharmaceuticals and musk fragrances in sewage sludge. *Water research*, v. 38, n. 19, p. 4075-4084, 2004.

TILHA, Kathelyn Katy et al. Análises de eficiência de uma estação de tratamento de efluente de celulose de papel no município de Caçador–SC. *IGNIS: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação*, Caçador, v. 8, n. 1, p. 2-12, 2019.

TONG, Xuneng et al. Source, fate, transport and modelling of selected emerging contaminants in the aquatic environment: Current status and future perspectives. *Water Research*, v. 217, p. 118418, 2022.

TONGUR, S.; YILDIRIM, R. Acute Toxicity Assessment of Antibiotics in Water by Luminiscence Bacteria and *Lepidium Sativum*. *Procedia Earth and Planetary Science*, v. 15, p. 468-473, 2015.

TRAN, Ngoc Han et al. Insight into metabolic and cometabolic activities of autotrophic and heterotrophic microorganisms in the biodegradation of emerging trace organic contaminants. *Bioresource technology*, v. 146, p. 721-731, 2013.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Contaminant Candidate List (CCL) and Regulatory Determination. Disponível em: <https://www.epa.gov/ccl/regulatory-determination-4>. Acesso em: 09 out. 2022.

VADER, J. S. et al. Degradation of ethinyl estradiol by nitrifying activated sludge. *Chemosphere*, v. 41, n. 8, p. 1239-1243, 2000.

VERAS, Tatiane Barbosa et al. Analysis of the presence of anti-inflammatory drugs in surface water: A case study in Beberibe river-PE, Brazil. *Chemosphere*, v. 222, p. 961-969, 2019.

VERLICCHI, P. et al. Hospital effluent: investigation of the concentrations and distribution of pharmaceuticals and environmental risk assessment. *Science of the total environment*, v. 430, p. 109-118, 2012.

VERLICCHI, Paola; AL AUKIDY, M.; ZAMBELLO, Elena. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment—a review. *Science of the total environment*, v. 429, p. 123-155, 2012.

VIEIRA, L. R.; SOARES, A. M. V. M.; FREITAS, R. Caffeine as a contaminant of concern: A review on concentrations and impacts in marine coastal systems. *Chemosphere*, v. 286, p. 131675, 2022.

WANG, Lianxu et al. Quantitative structure-biotransformation relationships of organic micropollutants in aerobic and anaerobic wastewater treatments. *Science of The Total Environment*, v. 912, p. 169170, 2024.

WANG, Xinhua et al. Hormesis effects of sulfadiazine on aerobic granular sludge at decreasing temperature: Granulation, performance, microbial community and antibiotic resistance. *Chemical Engineering Journal*, v. 430, p. 132731, 2022.

WANG, Yu-Qing et al. Suspect, non-target and target screening of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in a drinking water system. *Science of The Total Environment*, v. 808, p. 151866, 2022.

WANNER, Oskar et al. Effect of heat recovery from raw wastewater on nitrification and nitrogen removal in activated sludge plants. *Water Research*, v. 39, n. 19, p. 4725-4734, 2005.

WATKINSON, A.J.; MURBY, E.J.; COSTANZO, S.D. Removal of antibiotics in conventional and advanced wastewater treatment: Implications for environmental discharge and wastewater recycling. *Water Research*, v. 41, p. 4164-4176, 2007.

WEI, Zongsu et al. Electrophilicity index as a critical indicator for the biodegradation of the pharmaceuticals in aerobic activated sludge processes. *Water research*, v. 160, p. 10-17, 2019.

WENDLING, C. S.; CAMPOS, R. F. F.; SILVA, R. A. F.; MATIAS, C. A.; PEREIRA, G. Dimensionamento e análise da eficiência de um sistema de tratamento de esgoto doméstico para edifício residencial. *InterfacEHS*, v. 13, p. 73-80, 2018.

Wiest, Laure; et al. Occurrence and removal of emerging pollutants in urban sewage treatment plants using LC-QToF-MS suspect screening and quantification. *Science of the Total Environment*, v. 774, p. 145779, 2021.

XIE, Yadong et al. Nitrogen removal efficiency and mechanisms of an improved anaerobic-anoxic–oxic system for decentralized sewage treatment. *Bioresource Technology*, v. 393, p. 129976, 2024.

YAN, Q.; et al. Occurrence and fate of pharmaceutically active compounds in the largest municipal wastewater treatment plant in Southwest China: Mass balance analysis and consumption back-calculated model. *Chemosphere*, v. 99, p. 160-170, 2014.

ZANETI, R. N.; FERNANDES, C. V. S.; ETCHEPARE, R. G. Urban water quality in Porto Alegre (Brazil) in light of the sustainable development goal (SDG) 6 and the new national sanitation policy. *Urban Water Journal*, p. 1-10, 2022.

ZHANG, Xiuwen et al. Impact of different organic matters on the occurrence of antibiotic resistance genes in activated sludge. *Journal of Environmental Sciences*, v. 127, p. 273-283, 2023.

ZHANG, Yanqing et al. Enhancing the anoxic/oxic process for treating hypersaline amide wastewater using a synthetic bacterial agent to regulate core bacterial interactions. *Journal of Water Process Engineering*, v. 55, p. 104191, 2023.

ZILLIEN, Caterina et al. The role of the sewer system in estimating urban emissions of chemicals of emerging concern. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 21, n. 4, p. 957-991, 2022.

ZOU, M. et al. Quinolone antibiotics in sewage treatment plants with activated sludge treatment processes: A review on source, concentration and removal. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 160, p. 116-129, 2022.

ZWART, N. et al. Identification of mutagenic and endocrine disrupting compounds in surface water and wastewater treatment plant effluents using high-resolution effect-directed analysis. *Water Research*, v. 168, p. 115204, 2020.