



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



AUGUSTO CÉSAR REZENDE AZEVEDO

Orientadora: Prof. Dr^a. Denise Conceição de Gois Santos Michelan

Coorientador: Prof. Me. Anderson de Jesus Lima

**TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE MICROPOLUENTES EMERGENTES
PRESENTAS NA ÁGUA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

São Cristóvão-SE

2021

AUGUSTO CÉSAR REZENDE AZEVEDO

**TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE MICROPOLUENTES EMERGENTES
PRESENTAS NA ÁGUA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO À
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE COMO REQUISITO
PARCIAL À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE BACHAREL EM
ENGENHARIA CIVIL

São Cristóvão, 08 de julho de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

_____Nota:_____

Orientadora: Prof. Dr^a. Denise Conceição de Gois Santos Michelan
Universidade Federal de Sergipe

_____Nota:_____

Coorientador: Prof. Me. Anderson de Jesus Lima
Centro Universitário Ages

_____Nota:_____

Examinadora 1: Prof. Dr^a. Débora de Gois Santos
Universidade Federal de Sergipe

_____Nota:_____

Examinador 2: Prof. Dr^a. Luciana Coêlho Mendonça
Universidade Federal de Sergipe

TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE MICROPOLUENTES EMERGENTES PRESENTAS NA ÁGUA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Augusto César Rezende Azevedo ¹

Denise Conceição de Gois Santos Michelan

Anderson de Jesus Lima

¹ Discente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe

RESUMO

Micropoluentes emergentes são substâncias comumente detectadas em sistemas ambientais como água e solo, sendo motivo de preocupação quando provocam danos aos sistemas ambientais e à saúde dos seres vivos. Como os processos convencionais de tratamento de água, via de regra, não são eficientes para a remoção desses contaminantes, busca-se por tecnologias de remoção alternativas e efetivas para seu tratamento. Dessa forma, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de exibir um panorama sobre os micropoluentes que estão sendo objeto de estudos, as técnicas de tratamento aplicadas e as eficiências alcançadas. Assim, foi realizada busca de periódicos em três bases de dados internacionais, os quais foram selecionados a partir de critérios de aceitação e rejeição adotados em um protocolo de revisão. Como resultado, o portfólio bibliográfico foi constituído por 35 artigos primários, que englobaram 109 micropoluentes emergentes, pertencentes a 39 grupos, submetidos a 44 técnicas de tratamento. De modo que, as informações de interesses foram sintetizadas de forma objetiva a partir da construção de um ábaco. Foi observada grande diversidade de princípios ativos, removidos pelas mais variadas de técnicas de tratamento, sendo sua maioria passível de incorporação aos sistemas de tratamento convencionais. Ademais, esta revisão instiga a pesquisa voltada para o tratamento de micropoluentes emergentes, amplia a visão sobre a problemática dos micropoluentes na água e o arcabouço técnico de técnicas de tratamentos que podem ser aplicados.

Palavras-chave: microcontaminantes, tratamento de água, desreguladores endócrinos, fármacos, POP, ábaco de micropoluentes.

1 INTRODUÇÃO

Órgãos consultivos e deliberativos, nacionais e internacionais, que visam ao monitoramento da água com destino ao consumo humano, têm se deparado com substâncias presentes na água ainda no meio ambiente, ocasionadas pelas atividades antrópicas geradas no entorno desse meio ambiente. Com isso, faz-se necessário recomendar limites máximos para essas substâncias, de modo a não trazer efeitos deletérios ao ser humano e meio ambiente.

Dentre essas substâncias existe uma variedade de tipos que estão associadas a princípios ativos utilizados pelo homem, seja de fármaco, de agrotóxico, fertilizante etc. Diante disso, a literatura vem buscando progressivamente informações a respeito dessas substâncias, das quais tem-se dificuldade de identificação por se apresentarem em concentrações ínfimas, e que mesmo sendo pouco significante, quantitativamente, motivo pelo qual foram designadas inicialmente como micropoluentes (MP), são potencialmente mais perigosas ao homem e ao meio ambiente do que os poluentes comumente encontrados na água.

Com o aumento expressivo nos últimos anos de percepções de concentrações de micropoluentes na ordem de $\mu\text{g L}^{-1}$ e ng L^{-1} , aumenta-se também a preocupação diante do problema. Considerando os danos causados ao meio ambiente, fármacos, desreguladores endócrinos e poluentes orgânicos persistentes (POP) são classes de substâncias com destaque para investigações e estudos. Tal preocupação se justifica pelos efeitos adversos que essas substâncias podem acarretar nos organismos expostos, mesmo em concentrações baixas. Segundo a União Europeia (EU), os desreguladores endócrinos, por exemplo, podem alterar a atuação precisa dos órgãos endócrinos como também causar danos aos mesmos (BILA; DEZOTTI, 2007).

Desde a década de 1970, existe preocupação com micropoluentes no meio ambiente. A partir do estudo de Hignite e Azarnoff (1977), nos Estados Unidos, foi possível detectar fármacos nos efluentes de estação de tratamento de esgoto (ETE), como o 2-(4 ácido clorofenoxi)-2-metil propanóico (CPIM), clofibrato, ácido 2-hidroxibenzóico (ácido salicílico) e um metabólito da aspirina.

Todavia, só a partir dos avanços das técnicas de detecção de micropoluentes, do conhecimento dos seus efeitos ao meio ambiente e ao homem, e da frequência com que

diversos princípios ativos estão sendo encontrados na água, os micropoluentes se tornaram uma preocupação emergente.

Assim, perante o exposto, surgiu o termo micropoluentes emergentes, que têm essa denominação por se disporem em dosagens mínimas de poluentes que podem trazer danos, tanto ao meio ambiente quanto ao ser humano e que, apesar de terem sido encontrados há muito tempo na água ainda no meio ambiente, não eram identificados com a devida insistência e relevância no grau de importância, por serem mais sensíveis de detecção. Desse modo, na atualidade, têm-se investido estudos dos quais o termo emergente está atrelado à necessidade urgente de estudo.

Nesse contexto, o enredo dos micropoluentes emergentes ganhou destaque na década passada e, no decorrer dos anos, vem sendo abordada em diferentes particularidades por pesquisadores de todo o mundo. Referem-se a vários compostos que têm sido detectados nos variados sistemas ambientais, como água e solo, além de detectados em Estações de Tratamento de Água (ETA), sendo resultado das ações humanas, presentes em efluentes domésticos, industriais, hospitalares e proveniente de atividades agrícolas e pecuária (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017; BILA; DEZOTTI, 2003).

Os principais micropoluentes que são objetos de estudos na atualidade estão associados a princípios ativos utilizados em atividades agrícolas, fármacos e produtos de cuidados pessoais (*Pharmaceuticals and personal care products* – PPCPs).

Os fármacos e PPCPs são representados por antibióticos, analgésicos, esteroides, antidepressivos, antipiréticos, estimulantes, antimicrobicas, desinfetantes, fragrâncias, cosméticos e muitas outras substâncias químicas utilizados diariamente pelos humanos. Tais produtos podem adentrar direta e indiretamente nos sistemas aquáticos mediante atividades como agricultura, pecuária, fertilizantes, lixiviações de aterros sanitários, além de descarga de esgotos, resultando, assim, na presença em águas superficiais e subterrâneas em níveis de concentração de ngL^{-1} a μgL^{-1} (RAMAKRISHNAN *et al.*, 2015).

Na busca pela identificação e remoção das concentrações de micronutrientes emergentes, utilizam-se tecnologias mais precisas, de modo que os processos de tratamentos de água convencionais não são capazes de remover por completo esses compostos. Assim, é necessário buscar tecnologias adicionais de tratamento para tornar

a água efetivamente segura quanto à presença de micropoluentes emergentes. Ademais, no tocante assunto, é necessário que a ciência e a engenharia ambiental e sanitária desenvolvam processos que efetivem a remoção dos fármacos e demais micropoluentes emergentes, antecedendo seu despejo ao meio ambiente (REN *et al.*, 2020; TAMBOSI, 2008).

Tendo em vista que, mesmo após o tratamento, é possível detectar concentrações de micropoluentes emergentes na água potável, apesar de estar em concentrações baixas (TRÖGER *et al.*, 2021), novos processos de tratamento estão sendo inseridos ou adaptados nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), como por exemplo processos de ozonização, filtração por carvão ativado granulado (GAC), adsorção de carvão ativado granular ou em pó e adsorção aprimorada com óxido de grafeno (BORRULL *et al.*, 2021; GUILLON *et al.*, 2019; KUMAR *et al.*, 2020), buscando a efetiva remoção desses contaminantes.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como principal objetivo a elaboração da revisão sistemática da literatura, pautada no panorama sobre as técnicas de remoção de micropoluentes emergentes da água e as eficiências de remoção.

2 DESENVOLVIMENTO

O trabalho consiste em uma revisão sistemática da literatura, com objetivo de identificar e analisar as produções científicas acerca das técnicas de remoção de micropoluentes emergentes da água. O processo de varredura por artigos baseou-se em bases de dados internacionais pré-definidas: *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*.

Para a realização da revisão sistemática foi elaborado um planejamento que possuía as seguintes etapas: criação de um protocolo de pesquisa, levantamento e identificação dos artigos nas bases de dados de busca, seleção dos artigos a partir dos critérios de inclusão e exclusão, e, por fim, a extração dos dados dos artigos selecionados e análise e síntese dos mesmos.

O protocolo de pesquisa é um documento que contém todas indagações e definições acerca do que se é necessário para a busca, seleção e extração dos artigos. No mesmo, foram definidas questões de pesquisa como orientação: (1) Quais micropoluentes são

objetos de estudo? (2) Quais as técnicas utilizadas? (3) Quais as eficiências alcançadas pelas técnicas?

A atividade de busca nas bases de dados pré-definidas teve como limitação artigos primários de caráter prático com a linguagem em inglês, espanhol e português, sem restrição em relação ao ano de publicação, sem restrição quanto ao tipo de acesso aos trabalhos e sem restrição para área do conhecimento.

Inicialmente, fez-se a análise para elaboração das *Strings* de busca de cada base de dados, que seriam incorporadas para a pesquisa das mesmas. Esse processo da escolha das palavras que compõem as *Strings* de busca foi realizado a partir de pesquisas realizadas no Google Acadêmico, no qual foram analisadas de forma preliminar as palavras-chave utilizadas nos trabalhos retornados, para que essas fizessem parte das *Strings* de busca.

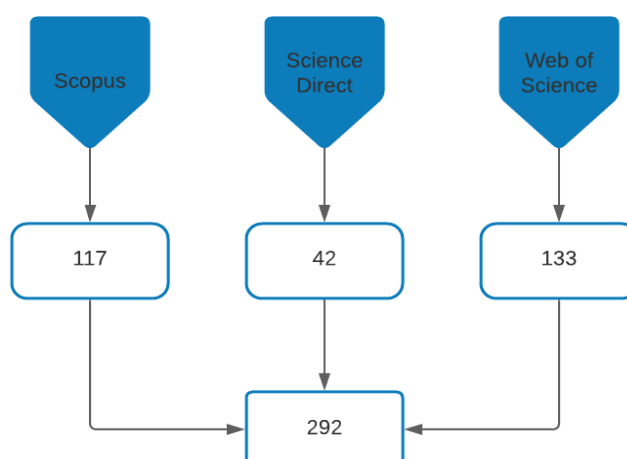
Definiu-se então as *Strings*, relacionando-as com as palavras principais da linha de pesquisa, descritas no Quadro 01. As *Strings* de pesquisa para as bases de dados *Scopus* e *Web of Science* são análogas, com a inserção do asterisco (*) para incorporar a variação das palavras ou termos, sejam esses no singular ou plural. Já as *Strings* de pesquisa para a base de dados *ScienceDirect* devem conter em particular a sua variação, seja no singular ou plural, por não existir o recurso do asterisco nesta base.

Quadro 01 – *Strings* de busca.

Base	String
<i>Scopus e Web of Science</i>	("emerging micropollutant*" OR "emerging micro-pollutant*") AND (water)
<i>Science Direct</i>	("emerging micropollutant" OR "emerging micro-pollutant" OR "emerging micropollutants" OR "emerging micro-pollutants") AND (water)

Após a definição das *Strings*, foi realizada a busca dos artigos nas três bases de dados pré-definidas, a qual retornou, ao total, 292 publicações. Na Figura 01, está representada a quantidade de trabalhos obtidos em cada uma das bases de pesquisa. Todo o processo seguinte a realização da busca nas bases de dados foi realizada com o auxílio do programa *Start* desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* da Universidade Federal de São Carlos.

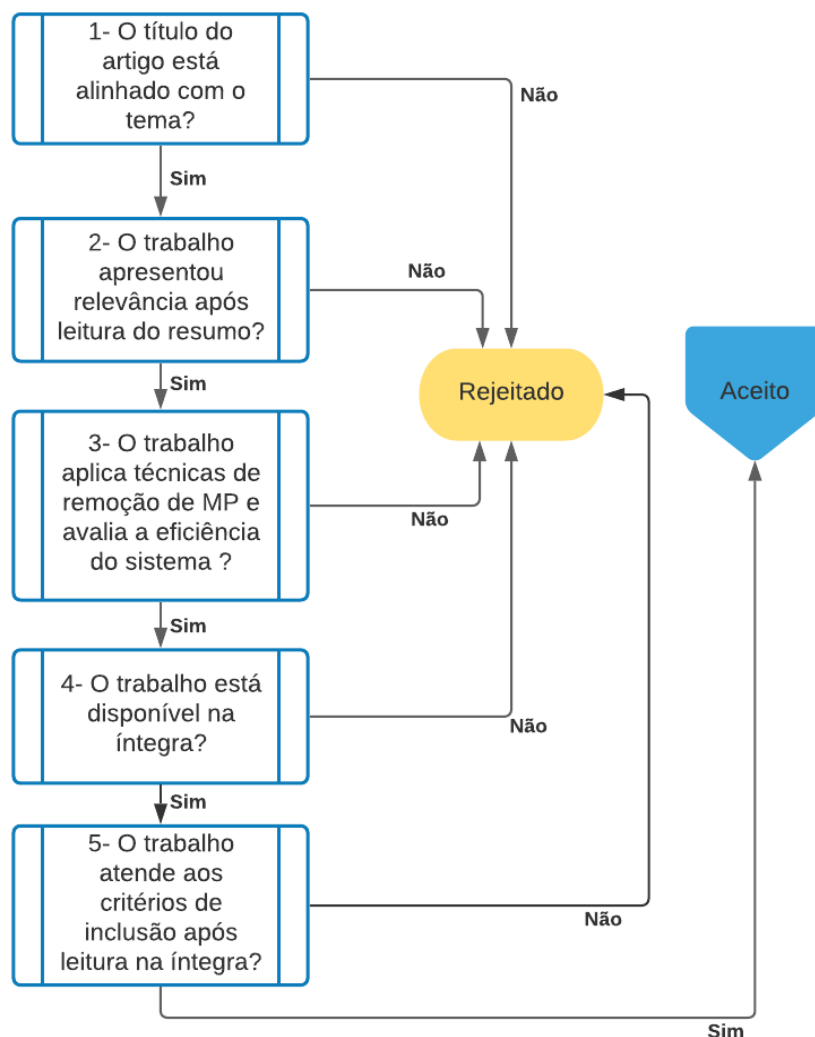
Figura 01 – Números de publicações por base de dados.



Em seguida, foi feita a exclusão dos trabalhos duplicados, equivalente a 143 artigos, e assim fez-se a análise dos mesmos a partir do título e resumo, que levou a rejeição de mais 96 trabalhos. Realizado esse processo, definiu-se a análise aprofundada dos 53 trabalhos restantes, por meio da leitura na íntegra dos mesmos. Destes 53 trabalhos, cinco artigos não estavam disponíveis na íntegra. Assim, foi feita a leitura integral de 48 artigos.

Para definição de inclusão ou exclusão dos trabalhos disponíveis na íntegra que não foram rejeitados na etapa anterior, foi necessário a análise dos mesmos a partir dos critérios expostos na Figura 02.

Figura 02 – Critérios de inclusão e exclusão dos artigos.



Na etapa de leitura na íntegra, foram rejeitados mais 13 artigos por não terem como resposta positiva (sim) aos questionamentos apresentados nos critérios do fluxograma da Figura 2, dos quais sete apresentaram pouco relevantes após o processo de leitura e seis por não avaliar a eficiência do sistema, que é objeto de estudo.

Em suma, o portfólio bibliográfico da revisão sistemática foi formado por 35 periódicos. Após a elaboração do portfólio e seleção dos trabalhos, foi concebido o formulário extração dos dados, para posterior análise. Nesse formulário, buscaram-se informações necessárias para a elaboração da revisão sistemática, pautada no título, autores, ano de publicação, revista de publicação, micropoluentes analisados, tipos dos micropoluentes, técnicas de remoção utilizada e percentual de remoção.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 02 contém informações dos artigos selecionados para o portfólio bibliográfico, após transcorrido o processo de seleção de acordo com os critérios descritos anteriormente, listados por ordem alfabética de título, com seus respectivos autores, ano de publicação, número do trabalho e em qual revista foi publicado.

Quadro 02 – Trabalhos que compõem o portfólio bibliográfico.

Trabalho	Título	Autores	Ano	Revista
1	Application of silica and germanium dioxide nanoparticles/polyether sulfone blend membranes for removal of emerging micropollutants from water	Wanda et al.	2018	Physics and Chemistry of the Earth
2	Biodegradation and adsorption of micropollutants by biological activated carbon from a drinking water production plant	Piai et al.	2020	Journal of Hazardous Materials
3	Comparative removal of imidacloprid, bisphenol-S, and azithromycin with ferrate and FeCl ₃ and assessment of the resulting toxicity	Zhang e Jiang	2021	Journal of Chemical Technology and Biotechnology
4	Competitive adsorption of a pool of pharmaceuticals onto a raw clay mineral	Thiebault et al.	2016	RSC Advances
5	Cross-Linked Magnetic Chitosan/Activated Biochar for Removal of Emerging Micropollutants from Water: Optimization by the Artificial Neural Network	Mojiri et al.	2019	Water
6	Elimination of persistent emerging micropollutants in a suspended photocatalytic reactor: influence of operating conditions and combination with aerobic biological treatment	Pronina et al.	2016	Photochemical & Photobiological Sciences
7	Emerging micropollutants in water/wastewater: growing demand on removal technologies	Trapido et al.	2014	Environmental Science and Pollution Research
8	Environmental mineralization of caffeine micro-pollutant by Fe-MFI zeolites	Motuzas et al.	2018	Environmental Science and Pollution Research
9	Graphene: A new activator of sodium persulfate for the advanced oxidation of parabens in water	Bekris et al.	2017	Water Research
10	Graphene Oxide/Iron Oxide Nanocomposites for Water Remediation	Mura et al.	2018	ACS Applied Nano Materials
11	High-flux robust ceramic membranes functionally decorated with nanocatalyst	Wang et al.	2020	Journal of Membrane Materials

for emerging micro-pollutant removal from water				
12	High-performance of activated biocarbon based on agricultural biomass waste applied for 2,4-D herbicide removing from water: adsorption, kinetic and thermodynamic assessments	Brito et al.	2020	Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Foodcontaminants and Agricultural Wastes
13	Ibuprofen photodegradation in aqueous solutions	Iovino et al.	2016	Environmental Science and Pollution Research
14	Immobilized Ag ₃ PO ₄ photocatalyst for micro-pollutants removal in a continuous flow annular photoreactor	Petala et al.	2019	Catalysis Today
15	Innovative reactive layer to enhance soil aquifer treatment: Successful installation in the Llobregat aquifer (Catalonia, ne Spain)	Hernández et al.	2014	Boletín Geológico y Minero
16	Investigation on the removal of the major cocaine metabolite (benzoylecgonine) in water matrices by UV254/H ₂ O ₂ process by using a flow microcapillary film array photoreactor as an efficient experimental tool	Russo et al.	2016	Water Research
17	Morphological tunable three-dimensional flower-like zinc oxides with high photoactivity for targeted environmental Remediation: Degradation of emerging micropollutant and radicals trapping experiments	Chang et al.	2017	Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers
18	Nanocomposite Au NP/TiO ₂ thin film in the efficient remediation of aqueous solutions contaminated with emerging micro-pollutants	Nil et al.	2018	Environmental Science and Pollution Research
19	Nanocomposite thin films Ag NP/TiO ₂ in the efficient removal of micro-pollutants from aqueous solutions: A case study of tetracycline and sulfamethoxazole removal	Tiwari et al.	2018	Journal of Environmental Management
20	Nitrogen-Doped Carbon Nanotubes/Polyether sulfone Blend Membranes for Removing Emerging Micropollutants	Wanda et al.	2017	Clean-Soil Air Water
21	Non-Parametric Regression Analysis of Diuron and Gabapentin Degradation in Lake Constance Water by Ozonation and Their Toxicity Assessment	Goswami et al.	2019	Water
22	Novel Water Treatment Processes Based on Hybrid Membrane-Ozonation Systems: A Novel Ceramic Membrane Contactor for Bubbleless Ozonation of Emerging Micropollutants	Stylianou et al.	2015	Journal of Chemistry

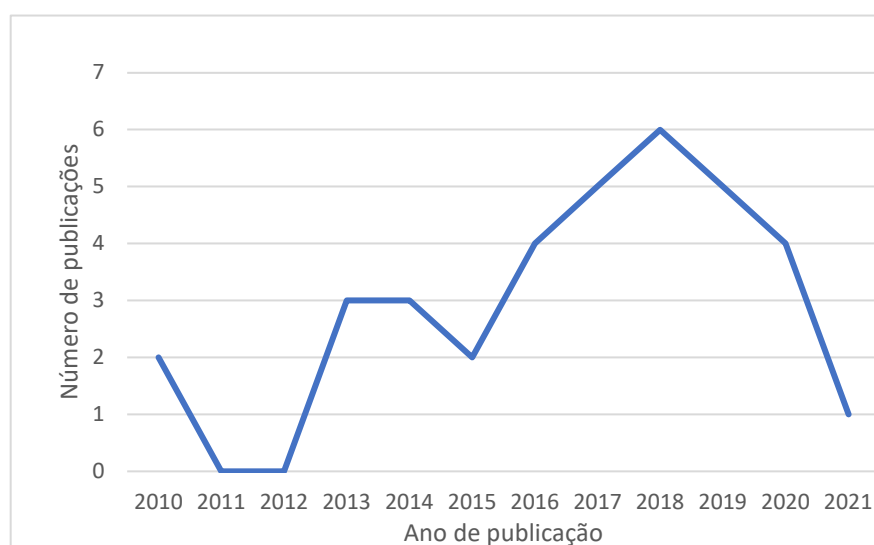
23	Oxidative degradation of emerging micropollutant acesulfame in aqueous matrices by UVA-induced $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ and $\text{S}_2\text{O}_8/\text{Fe}^{2+}$ processes	Kattel et al.	2017	Chemosphere
24	"Ozone" and "GAC filtration" synergy for removal of emerging micropollutants in a drinking water treatment plant?	Boucherie et al.	2010	Water Science and Technology: Water Supply
25	Photocatalytic degradation of clofibric acid by g- $\text{C}_3\text{N}_4/\text{P}25$ composites under simulated sunlight irradiation: The significant effects of reactive species	Chen et al.	2017	Chemosphere
26	Photocatalytic performance of Ag_2O towards sulfamethoxazole degradation in environmental samples	Tomara et al.	2019	Journal of Environmental Chemical Engineering
27	Photodegradation of emerging micropollutants using the medium-pressure UV/ H_2O_2 Advanced Oxidation Process	Shu et al.	2013	Water Research
28	Preparation, Characterization of C/Fe- Bi_2WO_6 Nanosheet Composite and Degradation Application of Norfloxacin in Water	Chen et al.	2013	Journal of Nanoscience and Nanotechnology
29	Removal of emerging micropollutants from water using cyclodextrin	Nagy et al.	2014	Science of the Total Environment
30	Removal of pesticides from water combining low pressure UV photolysis with nanofiltration	Sanches et al.	2013	Separation and Purification Technology
31	Retention of emerging micropollutants from UP water and a municipal secondary effluent by ultrafiltration and nanofiltration	Acero et al.	2010	Chemical Engineering Journal
32	Sorption and Degradation Potential of Pharmaceuticals in Sediments from a Stormwater Retention Pond	Liu et al.	2019	Water
33	Sunlight photodegradation of marbofloxacin and enrofloxacin adsorbed on clay minerals	Sturini et al.	2015	Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry
34	Ultrasonic degradation of aqueous phenolsulfonphthalein (PSP) in the presence of nano- $\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2$	Ayanda et al.	2018	Ultrasonics Sonochemistry
35	Uptake of micropollutant-bisphenol A, methylene blue and neutral red onto a novel bagasse-beta-cyclodextrin polymer by adsorption process	Mpatani, et al.	2020	Chemosphere

Apesar da busca por artigos voltados à temática do estudo ter sido realizada sem restrição de ano para publicação, o portfólio bibliográfico foi formado por trabalhos recentes, publicados entre os anos de 2010 e 2021. Possivelmente tem-se este registro pelo fato dos micropoluentes terem sido detectados e quantificados por meio de técnicas analíticas de maior sensibilidade e complexidade, que há algum tempo era mais escassa

de disponibilidade em laboratórios (VETTORELLO et al., 2017). Além disso, ao incorporar o termo “emergentes” nas *strings* de busca, pode-se ter restringido o acesso a artigos mais antigos, dado que essa denominação vem sendo aplicada na década atual.

A Figura 03 ilustra a quantidade de publicação por ano, dentro do intervalo de tempo supracitado, para as publicações dos periódicos do portfólio. Pode-se observar que o ano de 2018 foi em que mais ocorreram publicações.

Figura 03 – Publicações por ano.



Ainda com base nos trabalhos do portfólio bibliográfico, foi possível analisar as palavras-chave escolhidas pelos autores. Utilizando as palavras-chave encontradas em todos os periódicos, construiu-se a nuvem de palavras representada na Figura 04. Esta nuvem configura a frequência de utilização dos termos, de modo que quanto maior a fonte do termo, maior a sua frequência de utilização.

Figura 04 – Nuvem de palavras chave.



Assim, mediante análise da nuvem de palavras-chave dos artigos do portfólio bibliográfico, evidencia-se a coerência das palavras-chave integrantes das *Strings* de busca. Como as palavras que se destacam com o maior tamanho da fonte, representa a maior frequência de aparição, os termos “*Emerging Micropollutant*” e “*Water Treatment*” são os mais adequados para constituírem *strings* de busca para o tema escolhido.

Da extração dos 35 trabalhos do portfólio bibliográfico, foram identificados estudos a cerca de 109 micropoluentes emergentes, que integram 39 grupos, e que foram ensaiados por 44 técnicas de tratamento. Assim, no Quadro 03, apresentam-se todos os micropoluentes (MP) objeto de estudo dos trabalhos do portfólio, enumerados por um código em ordem alfabética.

Quadro 03 – Micropoluentes objetos de estudo dos trabalhos do portfólio.

Código MP	Micropoluente	Código MP	Micropoluente
MP01	Acessulfame	MP56	Fenofibrato
MP02	Acetocloro	MP57	Fenolsulfonftaleína
MP03	Ácido (4-cloro-2-metilfenoxi) acético	MP58	Flumequina
MP04	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	MP59	Fluquiconazol
MP05	Ácido Aminometilfosfórico	MP60	Flusinazol
MP06	Ácido clofíbrico	MP61	Furosemida
MP07	Ácido salicílico	MP62	Gabapentina
MP08	Alacloro	MP63	Galaxolide
MP09	Amitrol	MP64	Gemfibrozil

MP10	Amoxicilina	MP65	Glifosato
MP11	Antipireno	MP66	Guanilureia
MP12	Atrazina	MP67	Hexametilenotetramina
MP13	Azitromicina	MP68	Hidroxiapatrazina
MP14	Azoxistrobina	MP69	Hidroxibifenil
MP15	Azul metila	MP70	Ibuprofeno
MP16	Azul Metileno	MP71	Imazamethabenz-metil
MP17	Bentazone	MP72	Imidacloprida
MP18	Benzoilecgonina	MP73	Iopamidol
MP19	Benzotriazol	MP74	Iopromida
MP20	Bezafibrato	MP75	Isoproturon
MP21	Bisfenol-A	MP76	Marbofloxacina
MP22	Bisfenol-S	MP77	Mecoprop
MP23	Bromuconazol	MP78	Melanina
MP24	Cafeína	MP79	Metazachlore
MP25	Carbamazepina	MP80	Metformina
MP26	Carbendazine	MP81	Metolachlore
MP27	Carbetamida	MP82	Metoprolol
MP28	Carbofurano	MP83	Naproxen
MP29	Cetoprofeno	MP84	Nonilfenol
MP30	Cetorolaco	MP85	Norfloxacina
MP31	Ciproflexacina	MP86	Ofloxacino
MP32	Clofervinfos	MP87	Paracetamol
MP33	Cloridazona	MP88	Piclorame
MP34	Clortoluron	MP89	Pirazol
MP35	Colesterol	MP90	Prednisolona
MP36	Deetilatraxina	MP91	Prochloraze
MP37	Deetildeisopropilatraxina	MP92	Propanolol
MP38	Deilterbumetone	MP93	Propazina
MP39	Deisopropilatraxina	MP94	Propilparabeno
MP40	Desphenyl-chloridazon	MP95	Propoxicarbazona Sódica
MP41	Dicloroprop	MP96	Roxitromicina
MP42	Diclofenaco	MP97	Sulfaclopiridazina
MP43	Difenoconazol	MP98	Sulfamerazina
MP44	Dimetachlore	MP99	Sulfametizol
MP45	Diuron	MP100	Sulfametoxanol
MP46	Doxiciclina	MP101	Tetraciclina
MP47	Endosulfan	MP102	Tilosina
MP48	Enrofloxacina	MP103	Triclosan
MP49	Eritromicina	MP104	Tonalide
MP50	Espiramicina	MP105	Vermelho Neutro
MP51	Estriol	MP106	17B - estradiol
MP52	Eter metil terc-butílico (MTBE)	MP107	2,4-Diclorofenol
MP53	Etinilestradiol	MP108	2,4-diclorofenoxiacético
MP54	Etofumesato	MP109	3,4-diclorofenil-metilureia

MP55	Fenazona
------	----------

Já no Quadro 04, são apresentadas todas as técnicas de remoção de micropoluentes aplicadas pelos trabalhos do portfólio bibliográfico, enumerados por um código em ordem alfabética, representado pela letra “T”.

Quadro 04 – Técnicas de remoção aplicadas nos trabalhos do portfólio.

Código Técnica de Tratamento	Técnica
T1	Adsorção com polímero de bagaço-β-ciclodextrina como otimizante
T2	Adsorção com utilização de resíduos de biomassa
T3	Adsorção por GAC
T4	Adsorção por oxidação fotocatalítica
T5	Adsorção utilizando argila montmorilonita SWy-2 como geoabsorvente
T6	Adsorção via quitosana magnética reticulada / biochar ativado
T7	Biodegradação por GAC biologicamente ativo (bGAC)
T8	Degradação Catalítica por incorporação de Zeólitas Fe-MFI
T9	Degradação Fotocatalítica por Ag ₂ O
T10	Degradação ultrassônica
T11	Degradação ultrassônica com dosagem de H ₂ O ₂
T12	Degradação ultrassônica com dosagem de nano-Fe
T13	Degradação ultrassônica com dosagem de nano-Fe/H ₂ O ₂
T14	Filtração com sorventes de polímero de grânulo de B-ciclodextrina (BCDP)
T15	Filtração e biodegradação por incorporação de uma camada de carbono orgânico
T16	Filtração por Membrana N-CNT/PES ¹
T17	Filtragem por membranas de mistura PES ² incorporadas com nanopartículas de sílica e dióxido de germânio
T18	Floculação e filtração com ferrato e FeCl ₃
T19	Fotocatalização com nanocompósito Au NP / TiO ₂
T20	Fotocatalização por fosfato de prata imobilizado (Ag ₃ PO ₄)
T21	Fotocatalização por nanoplacas Bi ₂ WO ₆
T22	Fotocatalização sob irradiação de luz solar simulada
T23	Fotodegradação
T24	Fotodegradação a luz do sol dos micropoluentes emergentes adsorvidos em argilas montmorilonita (MMT) e caulinita (KAO)
T25	Fotodegradação por nanoestruturas de ZnO
T26	Fotólise H ₂ O ₂
T27	Fotólise indireta UV
T28	Fotólise Simples
T29	Fotólise UV

¹ N-CNT/PES - Mistura de nanotubos de carbono dopados com nitrogênio / polietersulfona

² PES - Membranas de mistura de polietersulfona

T30	Fotólise UV de baixa pressão seguida de Nanofiltração
T31	Oxidação catalítica <i>in-situ</i> com separação por membrana
T32	Oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio
T33	Oxidação induzida por UVA ³
T34	Oxidação orgânica catalítica
T35	Oxidação por Fotólise MP ⁴ -UV e MP-UV / H ₂ O ₂
T36	Oxidação seguida por cromatografia líquida
T37	Ozonização
T38	Ozonização com membrana cerâmica
T39	Ozonização seguida de Filtração GAC
T40	Processo de Foto-Fenton
T41	Processo Fenton
T42	Processo UV H ₂ O ₂
T43	Sorção seguida de Degradação assistida por micro-ondas
T44	Ultrafiltração e Membranas de Nanofiltração

No Quadro 04, foi possível conhecer todas as técnicas de remoção utilizadas pelos autores dos trabalhos selecionados para o portfólio bibliográfico. Deste modo, pode-se observar variações de técnicas que possuem mesma essência de execução, baseadas na adsorção, oxidação, ozonização, fotólise ou filtração.

Assim, a partir dos micropoluentes emergentes em exibição no Quadro 03 e das técnicas de remoção expostas no Quadro 04, foi possível elaborar o Quadro 05, que correlaciona micropoluentes *versus* técnica de remoção. Para tanto, os micropoluentes emergentes foram agrupados de acordo com seu uso. Assim, o Quadro 05 proporciona a apresentação dos grupos, um código de identificação de cada grupo (representado pela letra “G”), em qual trabalho foi citado e qual a técnica de remoção foi utilizada naquele grupo dos compostos.

Quadro 05 – Grupos dos compostos dos micropoluentes emergentes, trabalho em que foi citado e técnica de tratamento aplicada.

Grupos	Código Grupo	Trabalho(os)	Técnica(as)
Aditivo para combustível	G01	22	T32
Adoçante Artificial	G02	23	T33
Agente de contraste	G03	2	T3;T7
Agente Hipolipemiante	G04	24	T39
Almíscar sintético	G05	1;20	T16;T17

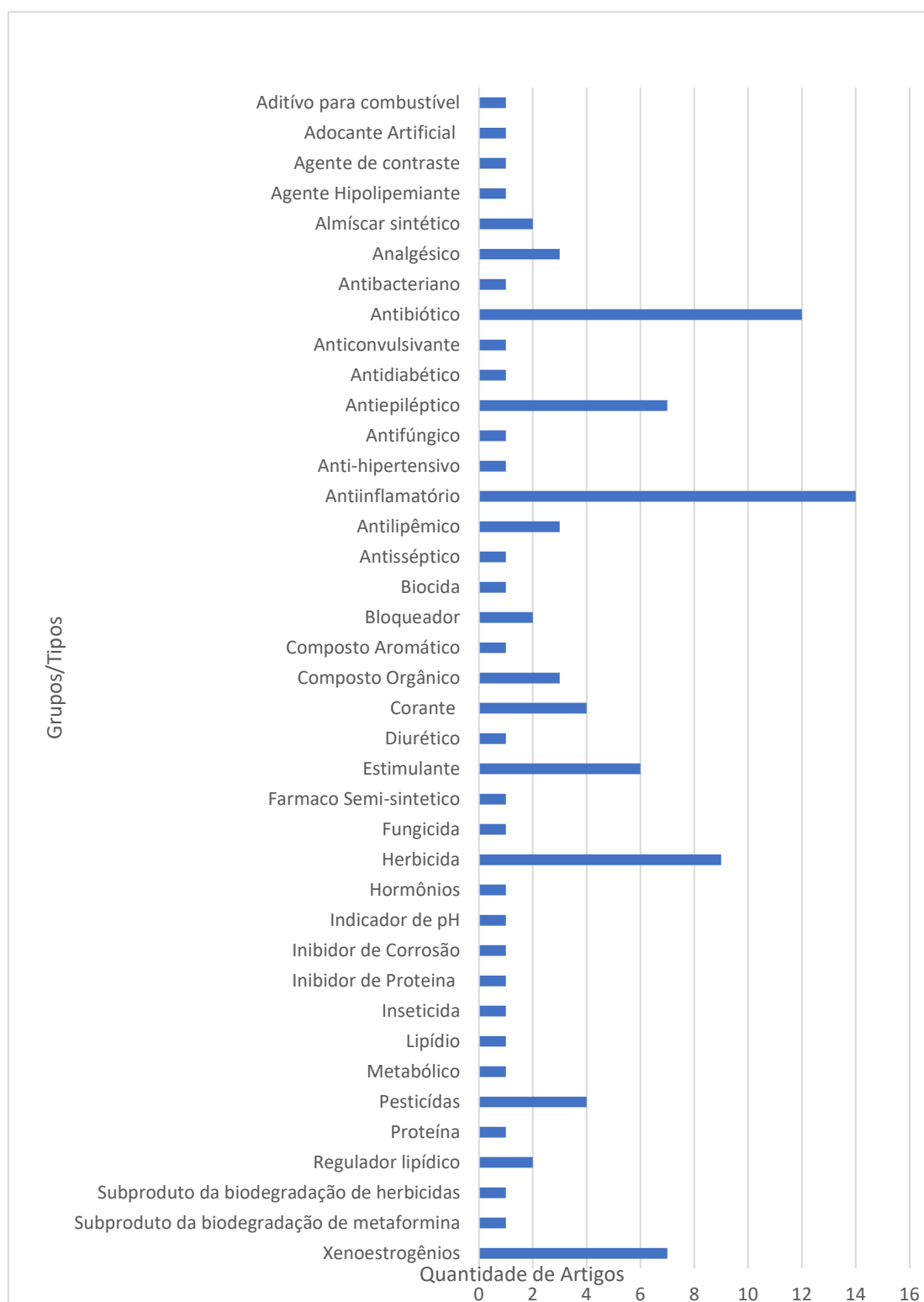
³ UVA – Luz ultravioleta A

⁴ MP - Média pressão

Analgésico	G06	4;24;31	T5;T39;T44
Antibacteriano	G07	24	T39
Antibiótico	G08	3;6;7;14;18;19;24;26;28;31;32;33	T4;T9;T18;T19;T20;T21;T24;T26;T28;T29;T39;T40;T41;T43;T44
Anticonvulsivante	G09	21	T37
Antidiabético	G10	2	T3;T7
Antiepiléptico	G11	1;4;15;20;24;27;32	T5;T15;T16;T17;T39;T35;T43
Antifúngico	G12	24	T39
Anti-hipertensivo	G13	24	T39
Antiinflamatório	G14	2;4;5;6;7;10;11;13;17;24;27;29;31;32	T3;T4;T5;T6;T14;T23;T25;T26;T29;T31;T35;T36;T39;T40;T41;T43;T44
Antilipêmico	G15	4;15;27	T5;T15;T35
Antisséptico	G16	18	T19;T28
Biocida	G17	31	T44
Bloqueador	G18	24;31	T39;T44
Composto Aromático	G19	2	T3
Composto Orgânico	G20	2;3;24	T3;T18;T39
Corante	G21	1;11;20;35	T1;T16;T17;T31
Diurético	G22	32	T43
Estimulante	G23	1;8;16;20;27;31	T8;T16;T17;T27;T35;T42;T44
Fármaco Semissintético	G24	24	T39
Fungicida	G25	24	T39
Herbicida	G26	7;12;21;22;24;25;27;30;31	T2;T22;T26;T29;T30;T35;T37;T38;T39;T40;T41;T44
Hormônios	G27	29	T14
Indicador de pH	G28	34	T10;T11;T12;T13
Inibidor de Corrosão	G29	2	T3
Inibidor de Proteína	G30	35	T1
Inseticida	G31	22	T38
Lipídio	G32	29	T14
Metabólico	G33	2	T3
Pesticidas	G34	3;24;30;31	T18;T30;T39;T44
Proteína	G35	2	T3
Regulador lipídico	G36	24;32	T39;T43
Subproduto da biodegradação de herbicidas	G37	24	T39
Subproduto da biodegradação de metformina	G38	2	T3;T7
Xenoestrogênios	G39	1;7;9;14;20;29;35	T1;T14;T16;T17;T20;T26;T29;T34;T40;T41

Com base nos grupos dos compostos de micropoluentes emergentes elencados no Quadro 05 e sua recorrência em trabalhos, foi elaborada a Figura 05, que traz a quantidade de trabalhos em que cada grupo de micropoluentes emergentes é citado.

Figura 05 – Tipos de MP em função da recorrência de citação nos artigos analisados.



Do Quadro 05 e Figura 05, depreende-se que os grupos com mais representações em artigos do portfólio bibliográfico são: os antiinflamatórios, antibióticos, herbicidas, xenoestrogênios, antiepilépticos e estimulantes. Esses, que por sua vez, apresentam constância em vários trabalhos do portfólio bibliográfico.

Em leitura dos artigos, verificou-se pontos importantes dos grupos que apresentaram destaque, de acordo com mais aparições em trabalhos do portfólio, mais técnicas utilizadas ou mais micropoluentes objetos de estudo, os quais são discutidos a seguir.

O grupo dos antiinflamatórios (G14) esteve presente na análise de 14 trabalhos do portfólio bibliográfico, avaliado quanto à eficiência por 15 técnicas de remoção em oito micropoluentes emergentes. Dentre as técnicas, destacam-se as aplicações das variações de adsorção, fotólise, ozonização e oxidação. Como resultado, considerando todas as técnicas, 87,5% de todas análises do grupo G14 obtiveram taxa de remoção igual ou superior a 90%.

Para o grupo dos antibióticos (G08), observou-se a aplicação de 16 técnicas de remoção em 16 micropoluentes distintos, objetos de estudo de 12 trabalhos do portfólio. No geral, em 55% dos tratamentos realizados nos micropoluentes do grupo G08 obteve-se taxa de remoção igual ou superior a 90%. Dentre os trabalhos, percebe-se com destaque e maior frequência a aplicação de variações das técnicas de ozonização, fotólise e fotocalização.

Sendo objeto de estudo de nove trabalhos do portfólio bibliográfico, aplicados em 12 técnicas de remoção, englobando 27 micropoluentes emergentes, o grupo dos herbicidas (G26) obteve remoção igual ou superior a 90% em 48,5% das análises realizadas por todas técnicas aplicadas em micropoluentes do mesmo. Dentre as técnicas aplicadas nos herbicidas, a ozonização foi a mais frequente, sendo aplicada em 65% dos estudos.

No caso dos xenoestrogênios (G39), observou-se o estudo de três micropoluentes, objetos de análise de dez técnicas de remoção, estudados por seis trabalhos distintos. Neste caso, em 84,5% das análises realizadas por todas técnicas aplicadas no grupo G39 se obteve remoção igual ou superior a 90%, com frequente aplicação das variações das técnicas de filtração e fotólise.

Além dos pontos já citados, é válido demonstrar de forma ampla e objetiva as informações que fazem parte do objeto desta pesquisa para todos os trabalhos do portfólio bibliográfico. Dessa forma, para expor os micropoluentes emergentes estudados, técnicas de tratamento utilizadas e remoções, foi elaborado o ábaco

apresentado no Apêndice A. Tal medida se fez necessário dada a gama de compostos identificados, que, como já citado, totalizavam 109 micropoluentes emergentes.

A título de explicação, no Quadro 06 está indicado a legenda do ábaco do Apêndice A. A primeira linha refere-se ao nome do micropoluento com o código do grupo ao qual pertence entre parêntese, a segunda diz respeito ao número do trabalho no qual foi estudado, na linha seguinte o código da técnica de tratamento aplicada e, por fim, na última linha a remoção em porcentagem. Ressalta-se que o dado de remoção apresentado se refere ao maior valor inteiro exposto pelos autores.

Quadro 06 – Legenda do ábaco, por micropoluento.

Micropoluento (Código Grupo)
Código Trabalho
Código Técnica
Remoção (%)

Após a visualização do ábaco do Apêndice A, é possível perceber sete micropoluentes em destaque. O Sulfametoxazol (MP100), presente em 20% dos trabalhos do portfólio, foi analisada sua remoção por 11 técnicas distintas, sendo mais eficientes as técnicas Fotocatalização com nanocompósito Au NP/TiO₂ (T9) e Sorção seguida de degradação assistida por microondas (T43) nos trabalhos 26 e 32, realizados respectivamente por Tomara *et al.* (2019) e Liu, Nielsen e Vollertsen (2019), nos quais se obteve 99% e aproximadamente 100% de remoção, respectivamente. Para as menores remoções, destaca-se o trabalho 19, realizado por Tiwari *et al.* (2018), que aplicou a técnica Fotólise simples (T28) e obteve somente 18% de remoção.

O micropoluento emergente Diclofenaco (MP42) esteve presente em análises de oito trabalhos, sendo aplicadas 11 variadas técnicas, com destaque para a maior remoção de 99% para os trabalhos 4, 10 e 31, que aplicaram Adsorção utilizando argila montmorilonita SWy-2 como geoabsorvente (T5), Oxidação seguida por cromatografia líquida (T36) e Ultrafiltração em membranas de nanofiltração (T44), análises realizadas por Thiebault *et al.* (2016), Mura *et al.* (2018) e Acero *et al.* (2010), respectivamente. Em relação as menores eficiências alcançadas, destaca-se os trabalhos 6 e 27, realizados por Pronina *et al.* (2016) e Shu *et al.* (2013), respectivamente. Ambos alcançaram 90% de remoção, porém, no trabalho 7, realizou-se análise em quatro técnicas diferentes, Fotólise H₂O₂ (T26), Fotólise UV (T29), Processo de foto-fenton (T40) e Processo fenton (T41).

Já no trabalho 27 somente uma técnica foi avaliada: a Oxidação por Fotólise MP-UV e MP-UV/ H₂O₂ (T35).

A Carbamazepina (MP25) estava presente em 20% dos estudos, foi submetida a sete técnicas de remoção, sendo 99% a maior eficiência alcançada, no periódico 4, com a técnica de remoção Adsorção utilizando argila montmorilonita SWy-2 como geoabsorvente (T5), desenvolvido por Thiebault *et al.* (2016). No tocante à menor eficiência obtida, como resultado de estudo do trabalho 14 realizado por Petala *et al.* (2019), obteve-se 85% de remoção, aplicando a técnica Filtração e biodegradação por incorporação de uma camada de carbono orgânico (T15).

O micropoluentes Bisfenol-A (MP21) foi objeto de estudo de cinco trabalhos, sendo feitas análises de cinco técnicas de remoção distintas. A maior remoção foi relatada no trabalho 19, realizado por Tiwari *et al.* (2018), que obteve 98% de remoção utilizando a técnica Filtração por membrana N-CNT/PES (T16). Ao passo que a menor eficiência de remoção foi obtida por Iovino *et al.* (2016), trabalho 13, ao aplicar Fotocatalização por fosfato de prata imobilizado (Ag₃PO₄) (T20), obtendo 65% de remoção.

Para o estudo da cafeína (MP24) nos trabalhos do portfólio bibliográfico, foi analisada sua remoção em cinco estudos, os quais aplicaram cinco técnicas. A maior remoção foi obtida por Motuzas *et al.* (2018), no trabalho 8, que aplicou a técnica Degradação catalítica por incorporação de zeólitas Fe-MFI (T8) e obteve 98% de eficiência. Ao passo que a técnica de Ultrafiltração em membranas de nanofiltração (T44), aplicada pelo autor do trabalho 31, Acero *et al.* (2010), atingiu 85% de remoção, o menor percentual.

O estudo do micropoluentes Naproxen (MP83) foi realizado em cinco trabalhos, analisado por cinco técnicas de remoção distintas. Para análise de maiores remoções, observa-se o resultado de eficiência de 98%, aplicando as técnicas Adsorção utilizando argila montmorilonita SWy-2 como geoabsorvente (T5) e Sorção seguida de degradação assistida por microondas (T43), objeto de estudo dos trabalhos 4 e 32, idealizados pelos respectivos autores Thiebault *et al.* (2016) e Liu, Nielsen, Vollertsen (2019), respectivamente. No tocante às menores remoções, destaca-se o resultado de análise do trabalho 29, de Nagy *et al.* (2014), que aplicou a técnica Filtração com sorventes de polímero de grânulo de B-ciclodextrina (T14) e obteve remoção de 85%.

Relativo ao micropoluente Atrazina (MP12), notou-se que a análise da mesma está presente em quatro periódicos, aplicada em quatro técnicas diferentes. A maior remoção foi alcançada no trabalho 30, dos autores Sanches *et al.* (2013), que aplicaram Fotólise UV de baixa pressão seguida de nanofiltração (T30) e obtiveram remoção de 99%. Já para as menores remoções leva-se em consideração dois trabalhos, o 24 e o 22, que utilizaram Ozonização seguida de filtração GAC (T39) e Ozonização com membrana cerâmica (T38), dos respectivos autores Boucherie *et al.* (2010) e Stylianou *et al.* (2015), e obtiveram reduções inferiores a 50%.

Observando as variadas técnicas aplicadas nos diversos trabalhos do portfólio, são pertinentes as análises individuais de alguns periódicos que apresentaram alguma particularidade, sendo essas o grande número de micropoluentes estudados, múltiplas técnicas estudadas ou alto percentual de remoção.

Com destaque para a quantidade de micropoluentes estudados o trabalho 24, de Boucherie *et al.* (2010), que realizou análise em 54 micropoluentes emergentes dos mais diversos grupos, como herbicidas, pesticidas, fungicidas, antiinflamatórios, antibióticos, analgésicos e outros. Os autores aplicaram somente uma técnica de remoção, a Ozonização seguida de filtração GAC (T39), e obteve as maiores remoções de 99% para Bezafibrato (MP20), Paracetamol (MP87) e Sulfacloropiridazina (MP97).

Nas análises do trabalho 2, realizadas por Piai *et al.* (2020), foram aplicadas duas técnicas de remoção, a Adsorção por GAC (T3) e Biodegradação por GAC biologicamente ativo (T7) em 10 micropoluentes, que obtiveram destaque para remoção de 99% nos seguintes micropoluentes em estudo Benzotriazol (MP19), Desphenyl-chloridazon (MP40) e Metformina (MP80).

Com relevância para o potencial de remoção, o trabalho 4, realizado por Thiebault *et al.* (2016) analisou sete micropoluentes, com a aplicação da técnica Adsorção utilizando argila montmorilonita SWy-2 como geoabsorvente (T5), e obteve porcentagens de remoção em todos micropoluentes maiores que 97%.

A pesquisa realizada por Trapido *et al.* (2014), autores do trabalho 7, efetuou o tratamento por quatro técnicas de remoção: Fotólise H₂O₂ (T26), Fotólise UV (T29), Processo de foto-fenton (T40) e Processo fenton (T41), todas aplicadas em um total de cinco micropoluentes. Nesse estudo, fixou-se a porcentagem de remoção em 90%, pois o

estudo buscou avaliar outras variantes, como o tempo da atividade de remoção ou variação na quantidade de concentração do micropoluinte.

Os trabalhos 18 e 19, realizados por Nil *et al.* (2018) e Tiwari *et al.* (2018), respectivamente, obtiveram destaque por apresentarem a aplicação das mesmas técnicas de remoção, a Fotocatalização com nanocompósito Ag NP/TiO₂ (T19) e Fotólise simples (T28), cada uma das técnicas aplicada em dois diferentes tipos de micropoluentes. Para o trabalho 19, utilizou-se os micropoluentes Sulfametoxanol (MP100) e Triclosan (MP103), já para o trabalho 20, utilizou-se o Sulfametoxanol (MP100) e o Tetraciclina (MP101). Como micropoluinte em comum, o MP100 (Sulfametoxazol) foi aplicado nas duas técnicas por ambos autores, obtendo as seguintes remoções: o trabalho 19 alcançou uma remoção 75% com aplicação da técnica Fotocatalização com nanocompósito Ag NP/TiO₂ (T19) e 30% com a técnica Fotólise simples (T28); já o trabalho 20 alcançou 57% de remoção para a técnica Fotocatalização com nanocompósito Ag NP/TiO₂ (T19) e 18% para a técnica Fotólise simples (T28).

Na pesquisa do trabalho 27, realizada por Shu *et al.* (2013), analisou-se nove micropoluentes com a aplicação de uma técnica de remoção, a Oxidação por fotólise MP-UV e MP-UV/H₂O₂ (T35). Analogamente ao trabalho 8, fez-se a fixação da porcentagem de remoção em 90%, para verificar a variação na dose de UV e a concentração dos micropoluentes.

Aplicando técnica única de remoção, a Filtração com sorventes de polímero de grânulo de B-ciclodextina (T14), o trabalho 29, idealizado por Nagy *et al.* (2014), analisou a remoção em seis micropoluentes, com destaque para o 17B – estradiol (MP106) para o qual se obteve remoção de 99%.

Desempenhado por Sanches *et al.* (2013), o periódico 30 do portfólio, analisou a remoção de cinco micropoluentes emergentes, herbicidas e pesticidas, aplicando a técnica de remoção Fotólise UV de baixa pressão seguida de nanofiltração (T30). Como resultado, três dos cinco micropoluentes obtiveram remoção de 99%, e os outros dois foram removidos com taxa maior que 95%.

Utilizando a técnica de tratamento Ultrafiltração em membranas de nanofiltração (T44), aplicada em 11 micropoluentes, o trabalho 31, realizado por Acero *et al.* (2010), alcançou remoções de Metoprolol (MP82) e Dicoflenaco (MP42), na ordem de 100% e 99%, respectivamente.

Com cinco micropoluentes objeto de estudo, o trabalho 32, idealizado por Liu Nielsen e Vollertsen (2019), aplicou a técnica de remoção Sorção seguida de degradação assistida por microondas (T43). Como resultado, dois dos cinco micropoluentes obtiveram remoção inferior a 60% e os outros três indicaram remoção superior a 90%, com destaque para o Sulfametoxazol (MP100), no qual se atingiu 99% na atividade de remoção.

Como objeto de estudo, os autores do trabalho 34, Ayanda, Nelana e Naidoo (2018), fizeram a aplicação das técnicas de tratamento Degradação ultrassônica (T10), Degradação ultrassônica com dosagem de H_2O_2 (T11), Degradação ultrassônica com dosagem de nano-Fe (T12) e Degradação ultrassônica com dosagem de nano-Fe/ H_2O_2 (T13) em um único micropoluente, o MP57 (Fenolsulfonftaleína), e obteve 4 diferentes resultados de remoção, vale destaque para a maior, que alcançou 96% de remoção, realizado pela técnica T13. Como fundamento, o sistema combinado de degradação ultrassom/ nano-Fe / H_2N_2 era mais eficiente do que somente a degradação ultrassônica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo, foi observada a gama de micropoluentes emergentes objetos de estudo na atualidade e a diversidade de técnicas de remoção aplicadas. Dessa forma, a revisão sistemática contabilizou em seu portfólio bibliográfico o total de 35 publicações voltadas para técnicas de remoção de micropoluentes emergentes em água, enquadradas em 44 técnicas de tratamento realizadas pelos autores aplicadas em 39 grupos de substâncias, totalizando 109 micropoluentes. Os quais, juntamente com os dados de eficiência de remoção, foram sintetizados em um ábaco.

Com esse quantitativo, observou-se que, apesar da temática ser explorada desde a década de 1970, após 50 anos de estudo, o tema ainda se mostra pertinente, principalmente no tocante à remoção de micropoluentes da água que será utilizada para consumo humano. Razão pela qual foi adicionada o termo emergente.

Com o resultado do devido trabalho, recomenda-se que um novo e mais amplo trabalho de revisão sistemática da literatura seja realizado, incorporando nas *Strings* de busca termos como microcontaminantes, princípios ativos e micropoluentes orgânicos. Tal configuração pode acarretar no encontro de trabalhos mais antigos, pois como já foi citado, o termo “emergente” nas *Strings* de busca do presente trabalho pode ter restringido o acesso aos artigos mais antigos. Assim, diversificados os termos das *Strings* de busca, será possível identificar qual período ocorreu o incremento do termo “emergente” para denominação desses compostos.

Além disso, com uma nova revisão sistemática ampliada pode-se verificar e identificar o país de origem de cada trabalho para assim realizar uma análise de quais micropoluentes são de maior preocupação em cada país, se atentando para as especificidades, como, por exemplo, se há diferenças entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Como se discutiu, os micropoluentes emergentes são um problema humano-social que causa grande preocupação na atualidade. Dessa forma, tendo em vista a ampliação de sua detecção nos mananciais e em águas de abastecimento, o conhecimento de técnicas efetivas na remoção desses compostos deverá fazer parte do arcabouço técnico de qualquer profissional que trabalhe com a temática de tratamento de água.

Deste modo, o presente trabalho se torna útil para todos estudantes e profissionais das áreas que abrangem as técnicas de remoção de micropoluentes, além de abrir um leque de pesquisas voltadas para as diversas técnicas realizadas e remoções alcançadas, pois apresenta perspectiva dos trabalhos já realizados voltados para área.

Apêndice A – Ábaco contendo micropoluentes emergentes estudados, artigos, grupos, técnicas de remoção e eficiências alcançadas.

Sulfametoxazol (G08)		Carbamazepina (G11)		Naproxen (G14)		Isoproturon (G34)		Galaxolide (G05)		Benzoilecgonina (G23)		Propoxicarbazona Sódica (G26)		Cloridazona (G26)		Dimetachlore (G26)		Hidroxiapatrazina (G34)		Propanolol (G13)		Desphenyl-chloridazon (G33)		Doxiciclina (G08)		Eter metil terc-butílico(G01)		Etinilestradiol (G27)		Enrofloxacin (G08)		
24	7	24	1	4	5	24	30	1	20	16	7	24	24	24	24	24	2	6	22	29	33											
T39	T26;T29;T40;T41	T39	T17	T5	T6	T39	T30	T17	T16	T27;T42	T26;T29;T40;T41	T39	T39	T39	T39	T39	T3	T4	T32	T14	T24											
98%	90%	98%	91%	98%	95%	96%	95%	98%	99%	70%;95%	90%	93%	73%	27%	95%	99%	98%	65%	97%	85%												
14	18;19	4	15	27	29	31	-	Mecoprop (G26)		Guanilureia (G38)		Fenolsulfonftaleína (G28)		Clortoluron (G26)		Eritromicina (G07)		Imazamethabenz-metil (G34)		Propazina (G34)		Hexametilenote-tramina (G20)		Prednisolona (G14)		Acessulfame (G02)		17B-estradiol (G27)		Marbofloxacina (G08)		
T20	T19;T28	T5	T15	T35	T14	T44	-	24	27	2	34	24	24	24	24	24	2	6	23	29	33											
75%	75%;30%;57%;18%	99%	85%	90%	85%	83%	-	T39	T35	T3;T7	T10;T11;T12;T13	T39	T39	T39	T39	T39	T3	T4	T33	T14	T24											
26	31	20	27	32	-	Gemfibrozil (G15)		67%	90%	77%;79%	11%;42%;72%;96%	91%	95%	33%	30%	23%	57%	100%	99%	85%												
T9	T44	T16	T35	T43	-	4	15	Metformina (G10)		Acetocloro (G26)		Bezafibrato (G04)		Deetilatrastina (G26)		Espiramicina (G08)		Isoproturon (G34)		Roxitromicina (G24)		Melanina (G35)		Sulfametizol (G08)		Ácido clofibrato (G26)		Clofervinfos (G34)		Azul Metileno (G30)		
100%	97%	88%	90%	98%	-	T5	T15	2	-	24	24	24	24	24	24	24	2	7	25	30	35											
32	-	32	-	Atrazina (G26)		96%	60%	T3;T7	-	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T3	T4	T22	T30	T1										
T43	-	T43	-	24	22	27	-	30%;99%	-	71%	99%	-	94%	96%	93%	94%	94%	8%	85%	99%	99%											
99%	-	64%	-	T39	T38	T35	-	Propilparabeno (G39)		Ácido acético (G26)		Bromuconazol (G26)		Deetilaldeisopropil-atrazina (G26)		Etofumesato (G26)		Metazachlore (G34)		Sulfacoropiridazina (G09)		Pirazol (G19)		Azul metila (G21)		Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (G26)		Iopamidol (G03)		Triclosan (G16)		
Diclofenaco (G14)		Bisfenol A (G39)		38%	<50%	90%	-	9	14	24	24	24	24	24	24	24	2	12	27	3	18											
24	2	1	14	30	31	Diuron (G26)		T34	T20	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T31	T35	T3;T7	T19;T28								
T39	T3	T17	T20	T30	T44	24	21	95%	60%	88%	61%	-	65%	85%	99%	51%	99%	90%	90%;68%	71%;25%												
98%	97%	95%	65%	99%	91%	T39	T37	Tonalide (G21)		Ácido Aminometilfosfórico (G37)		Carbendazina (G25)		Deetilterbumeton e (G26)		Fenazona (G14)		Metolachlore (G34)		Sulfamerazina (G08)		Azitromicina (G08)		Diclorofenoxiacético (G26)		2,4-Diclorofenol (G26)		Antipireno (G06)		Cetorolaco (G14)		
4	5	20	29	Alacloro (G26)		96%	100%	1	20	24	24	24	24	24	24	24	3	12	27	31	31											
T5	T6	T16	T14	24	30	30	-	T17	T16	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T18	T2	T35	T44	T44										
99%	96%	98%	94%	T39	T30	T30	-	94%	98%	88%	95%	16%	96%	63%	95%	95%	95%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	90%	90%	88%	95%					
10	7	35	-	Vermelho Neutro (G21)		Amitrol (G20)		Carbetamida (G34)		Deisopropilatrastina (G26)		Fluquiconazol (G26)		Ofloxacino (G08)		Tilosina (G08)		Bisfenol-S (G20)		Tetraciclina (G08)		Norfloxacin (G08)		Flumequina (G08)								
T36	T26;T29;T40;T41	T1	-	Ácido salicílico (G14)		Paracetamol (G06)		35	31	24	24	24	24	24	24	24	3	19	28	31												
99%	90%	90%	-	4	17	24	4	T1	T44	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T18	T19;T28	T21	T44											
27	31	Cafeína (G23)		T5	T25	T39	T5	Isoproturon (G34)		Azoxistrobina (G25)		Carbofurano (G34)		Dicloroprop (G26)		Flusinazol (G12)		Piclorame (G26)		3,4-diclorofenil-metilureia (G26)		Imidacloprida (G34)		Gabapentina (G09)		Colesterol (G32)		Hidroxibifenil (G17)				
T35	T44	1	9	97%	97%	99%	99%	Cetoprofeno (G14)		30	31	24	24	24	24	24	3	21	29	31												
90%	99%	T17	T8	24	4	T44	-	T30	T44	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T18	T37	T14	T44											
Noniflenol (G39)		90%	98%	T39	T5	34%	-	95%	83%	91%	98%	45%	73%	40%	45%	45%	45%	45%	45%	78%	100%	75%	100%									
1	7	20	27	Metoprolol (G18)		Iopromida (G03)		Bentazone (G26)		Ciproflexacina (G08)		Difenoconazol (G26)		Gifosato (G26)		Prochloraze (G25)		Benzotriazol (G29)		Amoxicilina (G08)		Endosulfan (G31)		Estriol (G27)		Furosemida (G22)		LEGENDA				
T17	T26;T29;T40;T41	T16	T35	70%	99%	24	31	2	-	24	24	24	24	24	24	24	7	22	29	32	Micropoluente (Grupo)											
97%	90%	87%	90%	T39	T44	T3;T7	-	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T39	T3	T4	T38	T14	T43	Cód. Trabalho										
20	-	31	-	T39	T43	92%	100%	93%;92%	-	92%	82%	79%	91%	86%	99%	32%	100%	94%	66%													
T16	-	T44	-																													
98%	-	85%	-	72%	96%																											

REFERÊNCIAS

- ACERO, J. L.; BENITEZ, F. J.; TEVA, F.; LEAL, A. I. Retention of emerging micropollutants from UP water and a municipal secondary effluent by ultrafiltration and nanofiltration. **Chemical Engineering Journal**, v. 163, n. 3, p. 264–272, out. 2010.
- AYANDA, O. S.; NELANA, S. M.; NAIDOO, E. B. Ultrasonic degradation of aqueous phenolsulfonphthalein (PSP) in the presence of nano-Fe/H₂O₂. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 47, p. 29–35, out. 2018.
- BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523–530, ago. 2003.
- BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 651–666, jun. 2007.
- BORRULL, J.; COLOM, A.; FABREGAS, J.; BORRULL, F.; POCURULL, E. Presence, behaviour and removal of selected organic micropollutants through drinking water treatment. **Chemosphere**, v. 276, p. 130023, ago. 2021.
- BOUCHERIE, C.; LECARPENTIER, C.; FAUCHON, N.; DJAFER, M.; HEIM, V. “Ozone” and “GAC filtration” synergy for removal of emerging micropollutants in a drinking water treatment plant? **Water Supply**, v. 10, n. 5, p. 860–868, 1 dez. 2010.
- GUILLON, A.; VIDELOUP, C.; LEROUX, C.; BERTIN, H.; PHILIBERT, M.; BAUDIN, I.; BRUCHET, A.; ESPERANZA, M. Occurrence and fate of 27 triazines and metabolites within French drinking water treatment plants. **Water Supply**, v. 19, n. 2, p. 463–471, 1 mar. 2019.
- HIGNITE, C.; AZARNOFF, D. L. Drugs and drug metabolites as environmental contaminants: Chlorophenoxisobutyrate and salicylic acid in sewage water effluent. **Vol .**, p. 5, 1977.
- IOVINO, P.; CHIANESE, S.; CANZANO, S.; PRISCIANDARO, M.; MUSMARRA, D. Ibuprofen photodegradation in aqueous solutions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 22, p. 22993–23004, nov. 2016.
- KUMAR, P.; PÉREZ, J. A. E.; CLEDON, M.; BRAR, S. K.; DUY, S. V.; SAUVÉ, S.; KNYSTAUTAS, É. Removal of microcystin-LR and other water pollutants using sand coated with bio-optimized carbon submicron particles: Graphene oxide and reduced graphene oxide. **Chemical Engineering Journal**, v. 397, p. 125398, out. 2020.
- LIU, F.; NIELSEN, A.; VOLLERTSEN, J. Sorption and Degradation Potential of Pharmaceuticals in Sediments from a Stormwater Retention Pond. **Water**, v. 11, n. 3, p. 526, 14 mar. 2019.
- MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, 11 jul. 2017.

MOTUZAS, J.; DROBEK, M.; MARTENS, D. L.; VALLICARI, C.; JULBE, A.; DINIZ DA COSTA, J. C. Environmental mineralization of caffeine micro-pollutant by Fe-MFI zeolites. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 4, p. 3628–3635, fev. 2018.

MURA, S.; JIANG, Y.; VASSALINI, I.; GIANONCELLI, A.; ALESSANDRI, I.; GRANOZZI, G.; CALVILLO, L.; SENES, N.; ENZO, S.; INNOCENZI, P.; MALFATTI, L. Graphene Oxide/Iron Oxide Nanocomposites for Water Remediation. **ACS Applied Nano Materials**, v. 1, n. 12, p. 6724–6732, 28 dez. 2018.

NAGY, Z. M.; MOLNÁR, M.; FEKETE-KERTÉSZ, I.; MOLNÁR-PERL, I.; FENYVESI, É.; GRUIZ, K. Removal of emerging micropollutants from water using cyclodextrin. **Science of The Total Environment**, v. 485–486, p. 711–719, jul. 2014.

NIL, L.; TIWARI, A.; SHUKLA, A.; TIWARI, D.; LEE, S. M. Nanocomposite Au NP/TiO₂ thin film in the efficient remediation of aqueous solutions contaminated with emerging micro-pollutants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 20, p. 20125–20140, jul. 2018.

PETALA, A.; SPYROU, D.; FRONTISTIS, Z.; MANTZAVINOS, D.; KONDAKIDES, D. I. Immobilized Ag₃PO₄ photocatalyst for micro-pollutants removal in a continuous flow annular photoreactor. **Catalysis Today**, v. 328, p. 223–229, maio 2019.

PIAI, L.; BLOKLAND, M.; WAL, A. VAN DER; LANGENHOFF, A. Biodegradation and adsorption of micropollutants by biological activated carbon from a drinking water production plant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 388, p. 122028, abr. 2020.

PRONINA, N.; KLAUSON, D.; RUDENKO, T.; KÜNNIS-BERES, K.; KAMENEV, I.; KAMENEV, S.; MOISEEV, A.; DEUBENER, J.; KRICHEVSKAYA, M. Elimination of persistent emerging micropollutants in a suspended-bed photocatalytic reactor: influence of operating conditions and combination with aerobic biological treatment. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 15, n. 12, p. 1492–1502, 2016.

RAMAKRISHNAN, A.; BLANEY, L.; KAO, J.; TYAGI, R. D.; ZHANG, T. C.; SURAMPALLI, R. Y. Emerging contaminants in landfill leachate and their sustainable management. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 3, p. 1357–1368, fev. 2015.

REN, H.; TRÖGER, R.; AHRENS, L.; WIBERG, K.; YIN, D. Screening of organic micropollutants in raw and drinking water in the Yangtze River Delta, China. **Environmental Sciences Europe**, v. 32, n. 1, p. 67, dez. 2020.

SANCHES, S.; PENETRA, A.; RODRIGUES, A.; CARDOSO, V. V.; FERREIRA, E.; BENOLIEL, M. J.; BARRETO CRESPO, M. T.; CRESPO, J. G.; PEREIRA, V. J. Removal of pesticides from water combining low pressure UV photolysis with nanofiltration. **Separation and Purification Technology**, v. 115, p. 73–82, ago. 2013.

SHU, Z.; BOLTON, J. R.; BELOSEVIC, M.; GAMAL EL DIN, M. Photodegradation of emerging micropollutants using the medium-pressure UV/H₂O₂ Advanced Oxidation Process. **Water Research**, v. 47, n. 8, p. 2881–2889, maio 2013.

STYLIANOU, S. K.; SZYMANSKA, K.; KATSOYIANNIS, I. A.; ZOUBOULIS, A. I. Novel Water Treatment Processes Based on Hybrid Membrane-Ozonation Systems: A

Novel Ceramic Membrane Contactor for Bubbleless Ozonation of Emerging Micropollutants. **Journal of Chemistry**, v. 2015, p. 1–12, 2015.

TAMBOSI, J. L. Remoção de fármacos e avaliação de seus produtos de degradação através de tecnologias avançadas de tratamento. p. 141, 2008.

THIEBAULT, T.; BOUSSAFIR, M.; LE FORESTIER, L.; LE MILBEAU, C.; MONNIN, L.; GUÉGAN, R. Competitive adsorption of a pool of pharmaceuticals onto a raw clay mineral. **RSC Advances**, v. 6, n. 69, p. 65257–65265, 2016.

TIWARI, A.; SHUKLA, A.; LALLIANSANGA; TIWARI, D.; LEE, S. M. Nanocomposite thin films Ag₀(NP)/TiO₂ in the efficient removal of micro-pollutants from aqueous solutions: A case study of tetracycline and sulfamethoxazole removal. **Journal of Environmental Management**, v. 220, p. 96–108, ago. 2018.

TOMARA, T.; FRONTISTIS, Z.; PETALA, A.; MANTZAVINOS, D. Photocatalytic performance of Ag₂O towards sulfamethoxazole degradation in environmental samples. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 3, p. 103177, jun. 2019.

TRAPIDO, M.; EPOLD, I.; BOLOBAJEV, J.; DULOVA, N. Emerging micropollutants in water/wastewater: growing demand on removal technologies. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 21, p. 12217–12222, nov. 2014.

TRÖGER, R. *et al.* What's in the water? – Target and suspect screening of contaminants of emerging concern in raw water and drinking water from Europe and Asia. **Water Research**, v. 198, p. 117099, jun. 2021.

VETTORELLO, G.; BRANDT, V. V.; DALLAZEN, M. C.; KUHN, D.; ETGETON, H. P.; SPELLMEYER, J. G.; CARLESSO, W. M.; HOEHNE, L. Micropoluentes em água – O novo desafio emergente. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 8 jun. 2017.