

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS: UMA VISÃO GERAL DA PESQUISA ATRAVÉS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Paula Liliana de Sousa de Sá ¹
Sérgio António Neves Lousada ²
Hugo Luís Santos Teixeira ³

ABSTRACT

Objetivo: Apresentar o estado atual da pesquisa sobre o tratamento de águas residuais e dos tratamentos por cloração e ultravioleta, destinados à reutilização.

Enquadramento teórico: Foi realizada uma análise bibliométrica, baseada em indicadores quantitativos e qualitativos da amostra. Em seguida, foi realizada uma revisão da literatura, na forma de uma visão geral da literatura dos principais artigos.

Metodologia: A recolha de dados para a análise bibliométrica ocorreu em junho de 2024, utilizando a Web of Science. Aplicando diversos critérios, foram obtidas as amostras finais sobre o tema tratamento de águas residuais e sobre os temas adicionais do tratamento por cloração e ultravioleta.

Resultados e Discussão: Análise da evolução anual, bem como dos países e instituições de origem, das principais revistas e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável onde se incluem os documentos sobre o tema principal de tratamento de águas residuais. Foi também realizada uma análise adicional sobre o tema da cloração e tratamento ultravioleta para reutilização. A revisão da literatura, focou-se nos temas de absorção, eletrocoagulação, floculação e hidrodecloração, em relação ao tratamento de águas residuais, e nos temas adicionais de cloração e tratamento ultravioleta.

Implicações da pesquisa: Os autores estudados recomendam o desenvolvimento de estudos sobre as reais implicações das tecnologias atuais e das inovações, bem como a necessidade de ultrapassar os estudos da escala de laboratório para a escala real.

Originalidade/Valor: Os artigos estudados são apresentados enquadrados nos tópicos da base de dados, resumindo-os, de forma narrativa e identificando as suas características principais, permitindo que futuros investigadores obtenham uma visão global do trabalho publicado.

Palavras-chave: águas residuais, análise bibliométrica, desinfecção da água, drenagem, tratamento de águas residuais, visão geral da literatura, Sustainable Development Goals (SDGs).

Received: Aug/23/2024

Accepted: Oct/25/2024

DOI: <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n02.pe03641>



¹ Universidade da Madeira (UMa), Funchal, Madeira, Portugal.

E-mail: plilianasa.eng@gmail.com

² Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia (FCEE), Departamento de Engenharia Civil e Geologia (DECG), Universidade da Madeira (UMa), Funchal, Portugal. Centro de Investigação para a Valorização de Recursos Endógenos (VALORIZA), Portalegre, Portugal. Grupo de Investigação em Ambiente e Ordenamento do Território (MAOT), Universidad de Extremadura; Badajoz, Espanha. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro (RISCO), Aveiro, Portugal. Centro de Investigação (CITUR), Desenvolvimento e Inovação em Turismo, Madeira, Portugal. E-mail: slousada@staff.uma.pt

³ Universidade Aberta, Lisboa, Portugal. E-mail: hlsttec@gmail.com



1 INTRODUÇÃO

A história do tratamento de águas residuais inicia-se nos primeiros anos do século XX com a instalação das primeiras Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), (Marecos do Monte et al., 2016). No entanto e apesar de não serem consideradas infraestruturas essenciais ao crescimento dos meios urbanos, existem registos de obras de drenagem de águas residuais com mais de 5 000 anos, (Matos, 2003).

Na viragem do século XIX para XX já eram habituais os tratamentos de águas residuais por aplicação no solo e irrigação agrícola, filtração e precipitação química. Em Paris, desde o século XIX que o efluente é encaminhado para tratamento do solo em Archères, cujas melhorias nas instalações permitem atualmente tratamento por lamas ativadas e tratamento físico-químico. (Matos, 2003).

Sendo o tratamento de águas residuais reconhecido como uma necessidade premente, durante o século XX, começaram a instalar-se ETAR nos sistemas existentes.

Os dados publicados pelos Instituto Nacional de Estatística em 2020 registam 2 832 ETAR em Portugal Continental, 19 na Região Autónoma da Madeira (RAM) e 22 na Região Autónoma dos Açores, estando 84% e 66,9% dos alojamentos servidos por tratamento de águas residuais em Portugal Continental e na RAM, respetivamente.

Na RAM existem atualmente 2 municípios que dispõem de ETAR com tratamento terciário, designadamente a ETAR de Gaula no Município de Santa Cruz e a ETAR da Ponta no Município do Porto Santo.

O objetivo deste artigo é a análise quantitativa e qualitativa da pesquisa global sobre o tratamento de águas residuais, de forma a definir o estado da arte sobre a pesquisa desenvolvida, a nível mundial, na área em estudo. Para tal, será analisado o período de 1950 a 2024, nas variáveis quantitativas evolução, principais países, principais instituições e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e na variável qualitativa principais publicações, para o tratamento de águas residuais e as variáveis quantitativas evolução e países para os tratamentos por cloração e ultravioleta.



2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O presente trabalho recorre à bibliometria, “técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico” para uma “avaliação objetiva da produção científica”, (Araújo, 2006, p. 12).

O cerne de uma análise bibliométrica é simplesmente contar, (Pendlebury, 2008). Este estudo inicia-se com a recolha de dados, que posteriormente serão analisados. Todo este procedimento será apresentado de forma clara e detalhada, de forma a ser útil para o conhecimento do estado atual da pesquisa no tratamento de água residuais. “Esta transparência vai ajudar a assegurar o seu uso apropriado.”, (Pendlebury, 2008, tradução própria).

A base de dados escolhida foi a *Web of Science*, por indexar milhares de periódicos, com melhor cobertura nas áreas científicas, comparativamente à *Scopus*, composta por informação desde 1900 até hodiernamente, para algumas revistas, com atualização semanal, (Costa et al., 2012).

Posteriormente, será efetuada uma revisão da literatura. De entre os 14 tipos identificados por Grant & Booth (2009), o presente trabalho enquadra-se melhor numa *overview* ou visão geral, como o próprio título indica. (Grant & Booth, 2009) descrevem uma visão geral como um resumo da literatura existente, relatando as suas características. O tipo e qualidade da pesquisa e a sua sistematização serão bem explanados, sendo que se procedeu a um resumo, que terá a forma narrativa, e será organizado e analisado conforme os tópicos *Citation Topics Micro*, disponibilizados na base de dados *Web of Science*.

Os mesmos autores identificam como ponto forte de uma revisão do tipo visão geral o benefício que os interessados em conhecer o tema terão ao aceder a um resumo amplo e abrangente que permitirá se enquadrar e desenvolver as suas próprias verificações e investigações. Como desvantagem, os autores referem a possível falta de métodos sistemáticos e relatórios detalhados, lacuna que se pretendeu colmatar com a exposição detalhada da pesquisa.



3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho acedemos à *Core Collection* ou Coleção Principal, em português, da *Web of Science*. Pesquisamos na opção Tópico, os termos “wastewater treatment” e dado o hiato temporal considerado decorrer entre os anos de 1950 até o ano corrente, adicionou-se à pesquisa o parâmetro Ano de publicação 1950-2024, obtendo-se 91 466 documentos.

Para cumprir o objetivo proposto com este trabalho interessa analisar as publicações de investigações, pelo que se excluiu o material editorial e correções, obtendo-se 90 178 registos, que serão a amostra da análise bibliométrica. O filtro Categorias da *Web of Science*, identifica mais de 15 000 documentos nas categorias de Ciências Ambientais, Engenharia Ambiental, Recursos Hídricos e Engenharia Química, detento todas as outras menos de 7 500 documentos cada. Assim, refinou-se a pesquisa apenas para estas categorias principais, ficando com 60 196 documentos. Utilizando o filtro Tópicos de Citação Meso, o tópico com mais documentos que parece enquadrar-se melhor na presente análise, Tratamento da Água, reduz a amostra para 11 137 documentos, dos tipos Artigo, Artigo de revisão, Artigo de conferência e Acesso antecipado. Aplicando o filtro Relevância limitamos a amostra aos 2 000 documentos mais relevantes, dos quais 428 estão em acesso aberto, característica essencial à análise. Considerando os artigos que detêm 5 ou mais citações, obtemos a amostra final de 272 documentos.

Para a amostra adicional dos tratamentos destinados à reutilização, aplicou-se o filtro com o termo “chlorination”, tendo-se obtido 742 resultados e os termos “UV” OR “Ultraviolet”, obtendo 5 742 resultados.

Aplicando a mesma metodologia da amostra inicial reduzimos a amostra adicional a 24 e 178 documentos sobre o tema cloração e ultravioleta, respetivamente.

Conforme referido no ponto anterior, procede-se posteriormente à visão geral da literatura. Refere-se que da amostra de 272 documentos sobre o tema tratamento de águas residuais, apesar de se ter aplicado o filtro Acesso Aberto, permaneceram 15 documentos a que não foi possível aceder devido às instituições dos autores não terem protocolo com as editoras e 1 documento foi



objeto de retratação da publicação, pelo que foi excluído. Assim, o resumo incide sobre 256 documentos, enquadrando-se 226 documentos no tratamento de águas residuais e 30 nos tratamentos por cloração e ultravioleta, destinados à reutilização.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

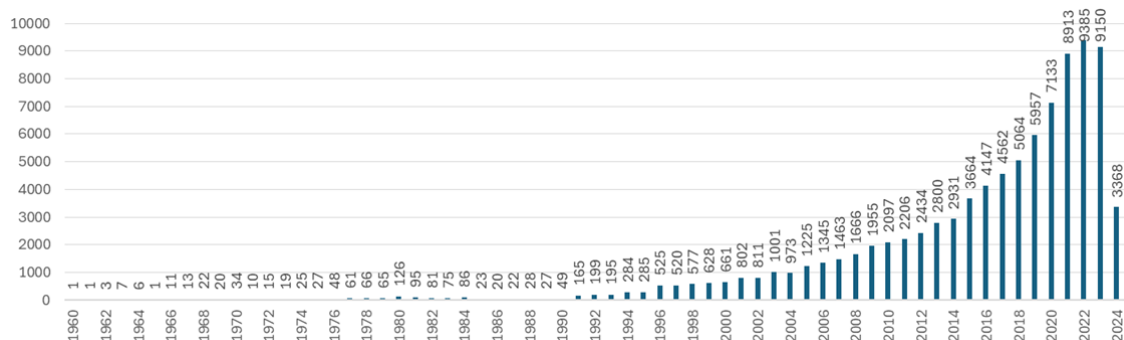
4.1.1 Evolução anual das publicações

Apesar do período em análise se iniciar em 1950, com a exclusão de material não relevante para a investigação, o primeiro documento sobre tratamento de águas residuais, foi publicado em 1960, tendo-se verificado um desenvolvimento gradual até 1980, período em que supera uma centena de documentos publicados. Entre 1981 e 1990 observa-se uma redução para números inferiores à centena, sendo que a partir de 1991, observa-se um crescimento expressivo, ultrapassando em 2003 o milhar de publicações.

Apesar de no ano seguinte, em 2004, ter-se reduzido para 973 documentos, a partir deste ano verifica-se um crescimento acentuado, com incremento anual de centenas de registos, até atingir o seu máximo em 2023 com 9 150 publicações.

Figure 1

Publicações por ano





O gráfico regista uma quebra acentuada em 2024 para 3 368 publicações, devido à pesquisa conter apenas as publicações registadas até junho de 2024.

Assim, verificamos que tem havido um aumento do interesse da comunidade no tratamento de águas residuais, uma vez que entre 1960 até 2003 publicou-se 7 740 documentos, correspondente a 8,6%, sendo que a partir de 2004 registam-se 82 438 documentos, relativos a 91,4% das publicações.

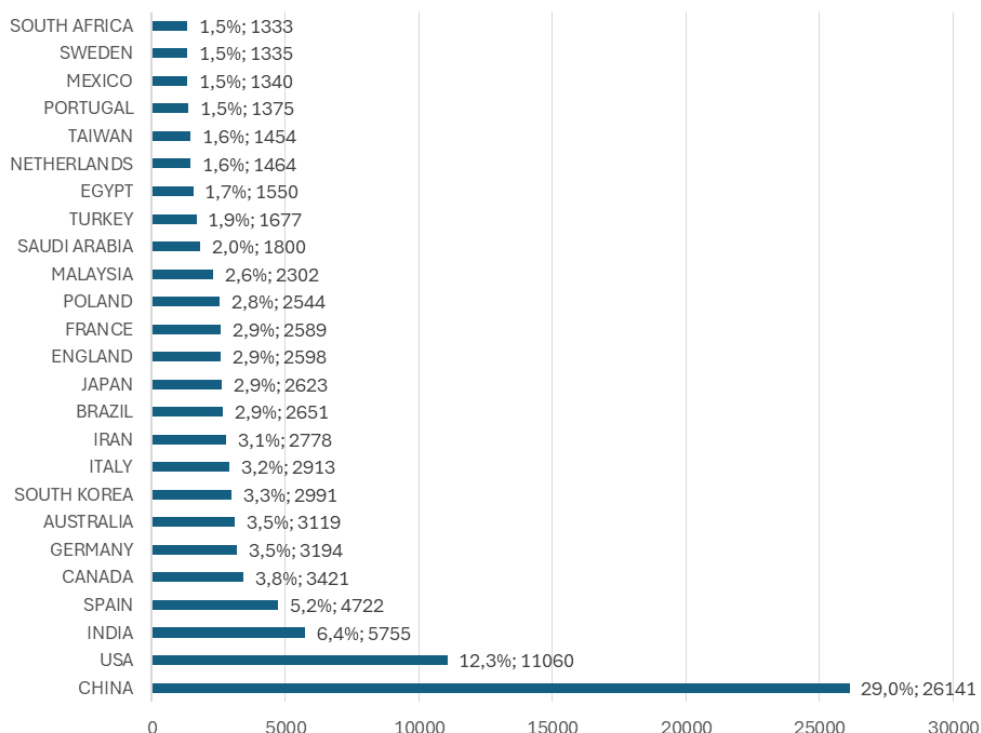
4.1.2 Países das publicações

As publicações sobre tratamento de águas residuais estão identificadas na *Web of Science* como oriundas de 182 países, distribuindo-se pelos 5 continentes.

Na Figura 2 apresentamos as percentagens e número de documentos dos 25 países com mais publicações. O país mais produtivo foi a China com 26 141 documentos, 29% do total, seguida dos Estados Unidos da América com 11 060 documentos, correspondente a 12,3%, da Índia com 5 755 documentos, 6,4% das publicações e da Espanha com 4 722 documentos, 5,2% do total.

Figure 2

25 países com mais publicações



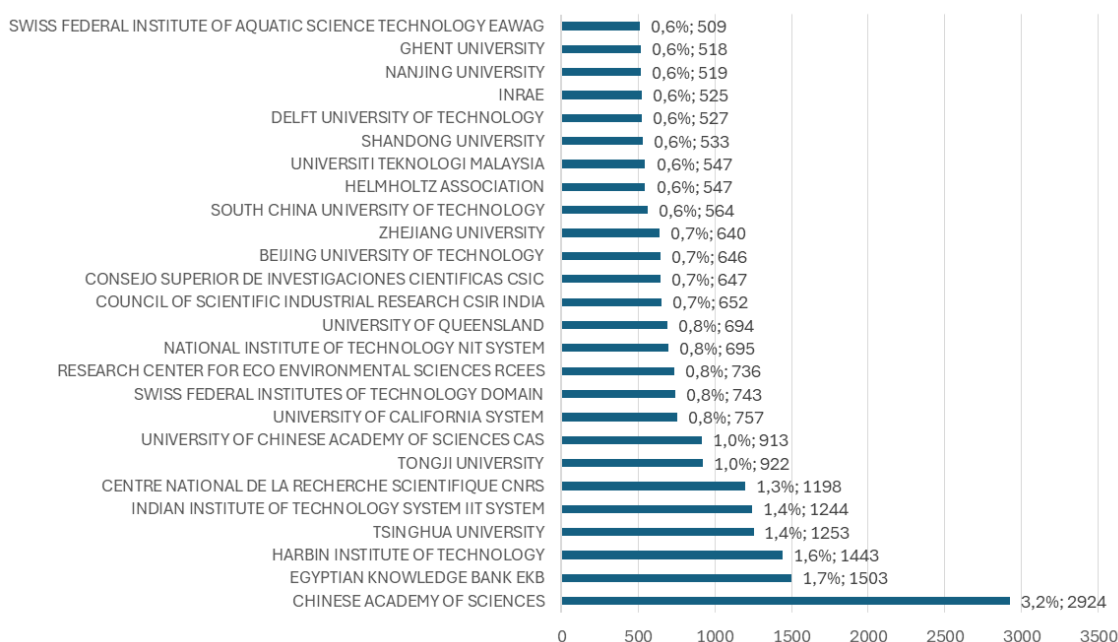
4.1.3 Principais instituições

As instituições que colaboraram nos documentos representam um vasto número, superior a 27 000. Assim, elaborou-se o gráfico constante na Figura 3, onde podemos observar as 26 instituições com mais de 500 publicações, responsáveis por 25% das publicações.

A instituição presente em mais artigos é a *Chinese Academy of Sciences*, da China, com 2 924 artigos, 3,24% do total, seguida do *Egyptian Knowledge Bank EKB*, do Egipto, com 1 503 documentos correspondentes a 1,67% da amostra e da *Harbin Institute of Technology*, também da China, com 1 443 registos que equivalem a 1,6%.

Figure 3

Principais instituições



Estas principais instituições estão distribuídas por 12 países, dos 5 continentes. Assim, originárias de 11 instituições da China vêm 11 093 documentos, 12,3% das publicações, seguida de temos 3 instituições da Índia, identificadas em 2,9 % dos documentos e da França estão presentes duas instituições com 1,9% das publicações.

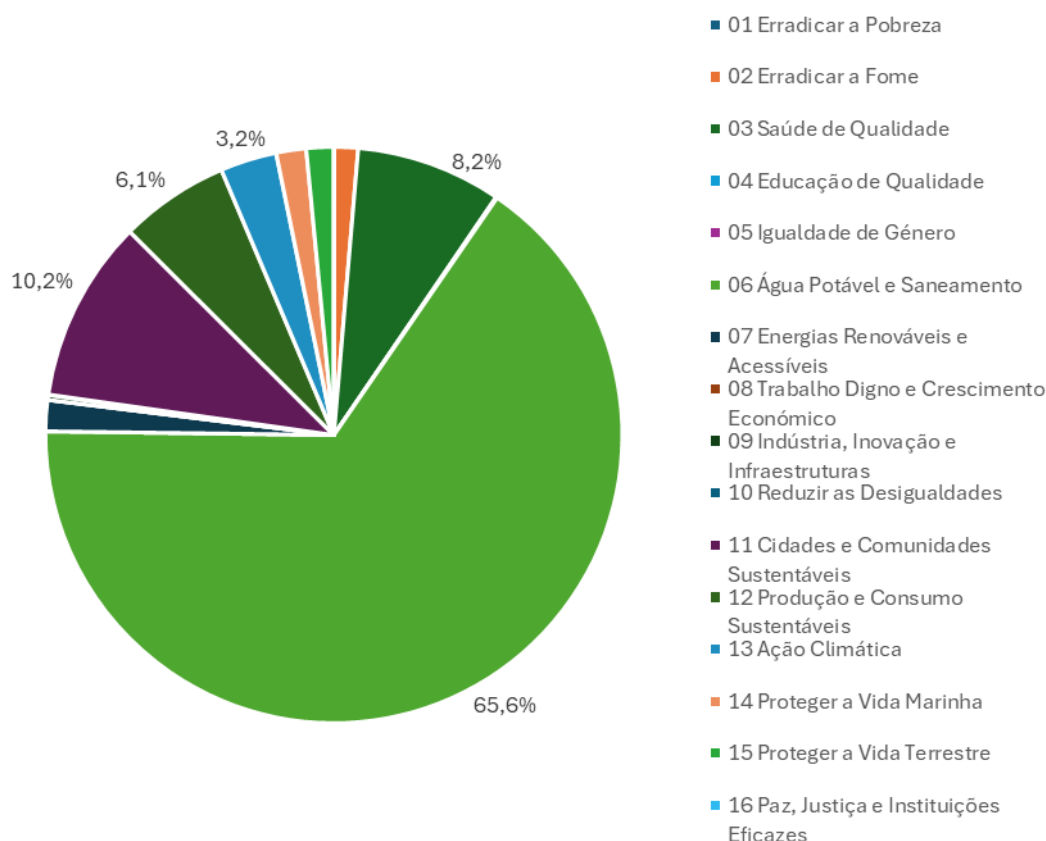
4.1.4 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são objetivos globais assumidos pelos 193 países das Nações Unidas, em 2015, através da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e definem “prioridades e aspirações do desenvolvimento sustentável global para 2030”. (Business Council for Sustainable Development (BCSD) Portugal, 2024).

A *Web of Science* identifica em que objetivo se inclui os documentos da base de dados e apesar de 10,5% dos documentos em estudo ainda não possuem esta referência, pareceu relevante analisar em que objetivos se enquadram os documentos sobre o tratamento de águas residuais, representados na Figura 4.

Figure 4

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Verificamos que 65,6% dos documentos são indicados no objetivo 06, Água Potável e Saneamento, seguido do objetivo 11, Cidades e Comunidades Sustentáveis com 10,2% e do objetivo 03, Saúde de Qualidade, com 8,2%. Todos



os demais objetivos possuem referências inferiores, não estando o objetivo 17, Parcerias para a Implementação dos Objetivos identificado em nenhum documento.

O objetivo identificado em maior número de documentos, 06 Água Potável e Saneamento, pretende “Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos.” (tradução de United Nations, 2024). Na sua descrição, podemos ler que a água e o saneamento são o cerne do desenvolvimento sustentável, apesar de nas últimas décadas “a sobreexploração, a poluição e as alterações climáticas levaram a um grave stress hídrico em diversos locais do mundo.” (tradução de United Nations, 2024).

Atualmente 2,2 milhões de pessoas não têm acesso à gestão segura da água potável e mais de 4,2 milhões não têm acesso à gestão segura do saneamento. As alterações climáticas com cada vez maior ocorrência de inundações e secas, agravam ainda mais a situação. 80% das águas residuais retornam ao ecossistema sem tratamento ou reutilização e perdeu-se 70% das zonas húmidas mundiais, (United Nations, 2024).

É então essencial alterar a gestão de recursos hídricos e o fornecimento de água potável e saneamento a milhares de milhões de pessoas em todo o mundo. Para superar esta crise global que afeta todos os países, social, económica e ambientalmente é necessária uma ação urgente, (United Nations, 2024).

Considerando a elevada percentagem de documentos relacionados com este objetivo sustentável, é incontestável o interesse da comunidade académica na investigação sobre o tema do tratamento de águas residuais.

4.1.5 Principais Revistas

A revista com mais publicações é a *Water Science and Technology*, com 4 398 artigos, seguida da *Water Research*, com 3 355 artigos, ambas oriundas da Inglaterra, e da *Science of The Total Environment*, com 3 235 provenientes dos Países Baixos.

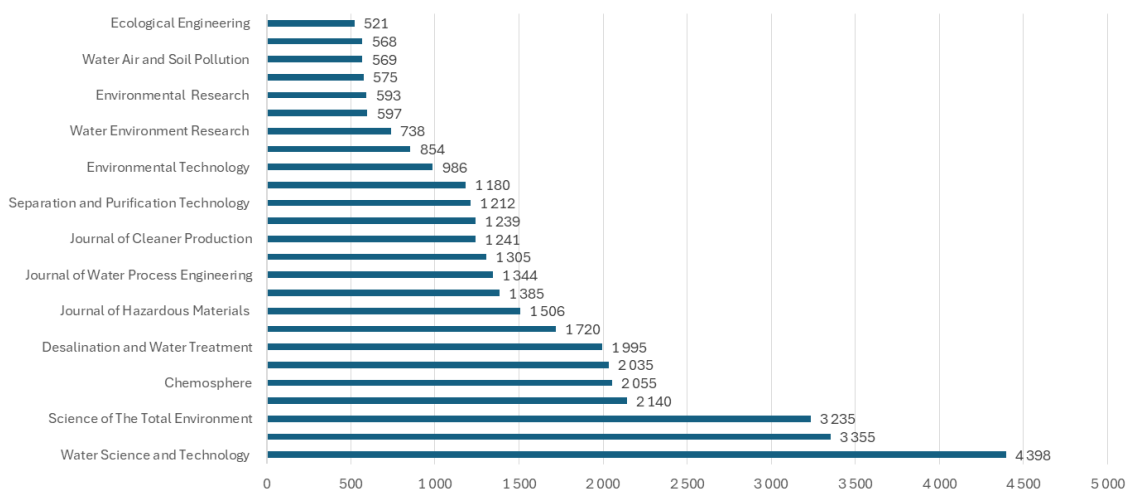
Além dos países suprarreferidos, denotam-se evidências de principais



publicações com origem na Suíça, Itália, Alemanha e Estados Unidos da América.

Figure 5

Principais revistas



4.1.6 Evolução anual publicações sobre tratamento por cloração e ultravioleta

Apesar do período de pesquisa se centrar entre os anos de 1950 e 2024, o primeiro documento com o tópico cloração foi publicado em 1968, tendo ultrapassado a dezena de publicações em 2004, tendo vindo a subir gradualmente até 2022 onde obteve o máximo de 63 publicações. Até junho de 2024, ocorrem 21 registos, quantia que previsivelmente aumentará até final deste ano.

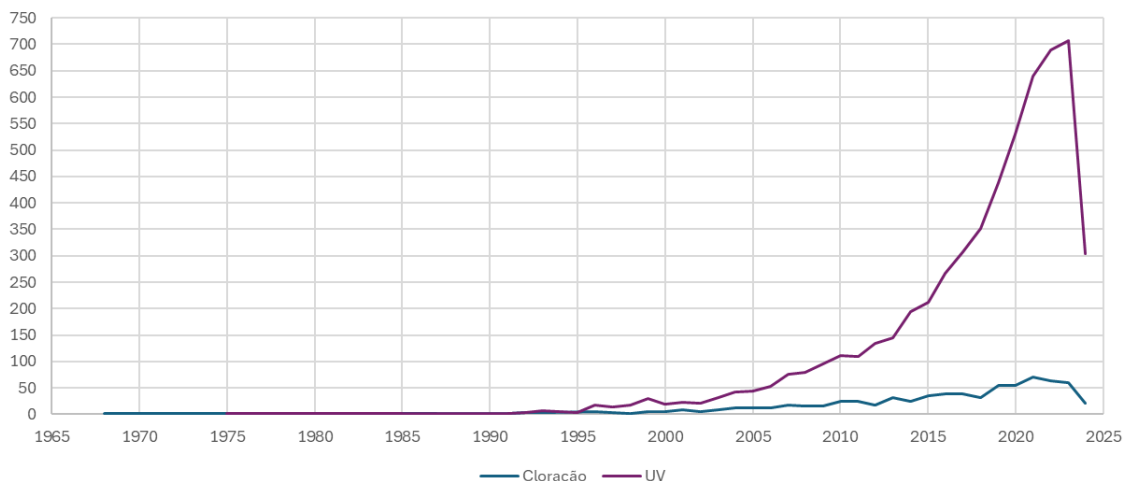
No tópico do tratamento por ultravioleta, o primeiro documento foi publicado em 1975, ultrapassando uma dezena em 1996, apresentando algumas flutuações até 2003, após o que aumenta sucessivamente até o seu máximo de 2023, com 707 documentos. Em 2024, regista 303 publicações, apesar de, como já referido, se prever o aumento deste número até o final do ano.

Verificamos que, embora as publicações sobre o tópico tratamento por ultravioleta terem se iniciado posteriormente ao tratamento por cloração, e ambas se manterem reduzidas até 1995, a partir de 1996, os números começam a distanciar-se, sendo que em 2010 o ultravioleta ultrapassa a centena, com

112 documentos mantendo-se a tendência até ao ano de 2023.

Figure 6

Publicações por ano



Assim, é explícito o incremento de interesse da comunidade investigadora uma vez que até 2010 se publicaram 174 documentos sobre o tema cloração, correspondendo a 23,61% do total, tendo-se publicado posteriormente 563 documentos, relativos aos restantes 76,39%.

Sobre o tema do tratamento por ultravioleta, publicaram-se até 2010, 697 documentos, 12,18% do total, e posteriormente 5 027 publicações, correspondendo a 87,82% da amostra.

Observamos ainda que os 737 documentos sobre tratamento por cloração e os 5 724 sobre o tratamento por ultravioleta equivalem a 0,82% e 6,35% respetivamente, da pesquisa sobre tratamento de águas residuais.

4.1.7 Principais países com publicações sobre tratamento por cloração e ultravioleta

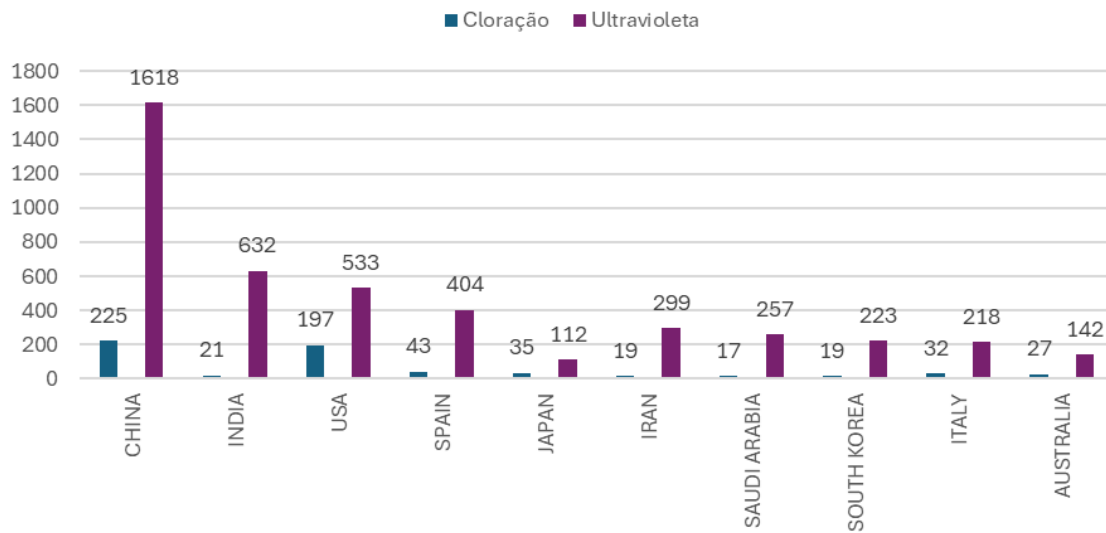
Comparando os 10 países com mais publicações, verificamos na Figura 7 a sua distribuição.

Assim, observamos que em ambos os casos, assim como sobre o tratamento de águas residuais, o país mais produtivo é a China. A Índia, apesar de ser o segundo país com mais publicações sobre o tratamento por ultravioleta,

está na 10.^a posição relativamente às publicações com o tópico cloração. Os Estados Unidos da América e a Espanha têm posições consecutivas em ambos os tópicos, sendo que o Japão, apesar de ser o 4.^o país com mais publicações sobre cloração, está na posição 18.^o no tratamento sobre ultravioleta.

Figure 7

Países com mais publicações



Notamos que apesar de ocuparem posições diferentes no número de publicações, estão sempre nos lugares cimeiros, pelo que os principais países a trabalhar sobre os tópicos do tratamento de águas residuais destinada à reutilização, por cloração e por ultravioleta, são os mesmos.

4.2 VISÃO GERAL DA LITERATURA

4.2.1 Absorção

A absorção de contaminantes em águas residuais revela que o carbono ativado, tradicionalmente utilizado é eficaz, mas caro, havendo necessidade de encontrar alternativas mais económicas e eficientes para a remoção de poluentes, especialmente metais pesados, (Crini et al., 2019), (Chen et al., 2020), (Thomas et al., 2018).

Em estudo está a utilização da nanotecnologia, com materiais como



nanotubos de carbono, (Aslam et al., 2021), nanocompósitos de argila, (Ayalew, 2022) e óxidos metálicos, (Mateus et al., 2021), (Ghosh et al., 2022), (Gutierrez et al., 2017), que apresentam grande potencial adsorvente. Os biofloculantes naturais tais como diversos resíduos de biomassa, (Kasera et al., 2022), (S. Li et al., 2019), como cascas de frutas, (Diaz De Tuesta et al., 2022), (Saka et al., 2012), madeira e outros materiais agrícolas, (Hagemann et al., 2020), têm sido investigados como adsorventes, tanto isoladamente quanto em combinação com outros compostos, além dos biofloculantes minerais tais como zeólitas, (De-La-Vega et al., 2018), bentonitas, (El Bastamy et al., 2021), argilas, (Maged et al., 2023) e outros materiais inorgânicos, (Khan et al., 2022), também demonstram boa capacidade de absorção e dos materiais à base de grafeno e carbono, (Ali et al., 2019) que apresentam alta eficiência na remoção de contaminantes.

Na reutilização de resíduos, os estudos exploram a transformação de biossólidos, (Chiang et al., 2003), lamas de estações de tratamento de água, (Cho & Suzuki, 1980), pós de tijolo, (Maslon & Czarnota, 2020) e outros resíduos industriais, (Yasipourtehrani et al., 2021) em adsorventes.

4.2.2 Eletrocoagulação

A eletrocoagulação mostra-se uma técnica promissora para tratar diversos tipos de águas residuais, removendo uma ampla gama de contaminantes como corantes, matéria orgânica, turbidez, (Ebba et al., 2021), fósforo, (Uludag-Demirer et al., 2020) e até mesmo microplásticos, (Elkhatib et al., 2021), sendo eficiente em diversos tipos de efluentes industriais tais como têxtil, (Bilińska & Gmurek, 2021), alimentar, (Meiramkulova et al., 2020), (Cristóvão et al., 2015) e hospitalar, (Cano et al., 2020), (De Witte et al., 2010).

Combinada com outras técnicas, tais como os processos de oxidação avançada, (Deng & Zhao, 2015), aumenta significativamente a eficiência na remoção de contaminantes mais complexos e resistentes, sendo que a otimização dos parâmetros operacionais é fundamental para maximizar a eficiência da eletrocoagulação, (Tahreen et al., 2020).

A eletrocoagulação também pode ser aplicada no tratamento de águas



residuais geradas em processos de reutilização de resíduos, como o tratamento de efluentes de produção de biodiesel a partir de óleo de cozinha usado, (Sari-Erkan, 2019).

4.2.3 Floculação

A utilização de coagulantes tradicionais à base de alumínio gera preocupações ambientais devido à produção de resíduos e lamas não biodegradáveis, (Kurniawan et al., 2020). A procura por alternativas mais sustentáveis e eficientes para o tratamento de águas residuais é constante.

Os coagulantes naturais, tais como sementes de Moringa, (Abiyu et al., 2018), quitosano, (Vigneshwaran et al., 2020), taninos, (Lugo et al., 2020), extratos de plantas, (Kristianto et al., 2019), (Chua et al., 2019), (Chua et al., 2020) e outros materiais naturais, (Sultana et al., 2022) têm demonstrado grande potencial como coagulantes. Os biofloculantes tais como polímeros extracelulares microbianos, (Ajao et al., 2018), biofloculantes produzidos por bactérias, (Agunbiade et al., 2016), (Gupta et al., 2023), leveduras, (Tsilo et al., 2022), e plantas, (Makhtar et al., 2020), além de produtos de origem vegetal como a goma de *Guar*, (Mukherjee et al., 2013) e a fécula de mandioca, (Zaman, 2018), são alternativas promissoras.

Materiais como lama vermelha, (Kyrii et al., 2020), cinzas volantes, (L. Li et al., 2009) e sais de titânio, (Xu et al., 2019) têm sido investigados como coagulantes, promovendo a valorização de resíduos industriais.

4.2.4 Hidrodecloração

A hidrodecloração versa sobre a viabilidade de utilização de pastilhas de (ferro zero valente) ZVI para a dessalinização da água, (Antia, 2022), remoção de cromo hexavalente, (Hamdan et al., 2023), nanopartículas de ZVI para tratamento de efluentes de uma pequena ETAR, (Oprčkal et al., 2017), um novo catalisador combinado com ZVI para remoção de nitrato, (Yun et al., 2018) e partículas de ferro “verde” produzidas a partir de extrato de folhas de uva para a remoção de corantes têxteis reativos, (Raman et al., 2021).



4.2.5 Cloração

No tópico da cloração verificou-se que o aumento da utilização de cloro, durante a pandemia do COVID-19 intensificou a formação de subprodutos de desinfecção (DBP), (Peng et al., 2021). Investigou-se o impacto do cloreto na degradação de um desses subprodutos, (Huang et al., 2017) e verificou-se que a cloração foi mais eficaz para a inativação de bactérias, quando comparada com a combinação de UV com persulfato e ferro, mais eficaz para remover pesticidas, (Miralles-cuevas et al., 2021).

4.2.6 Ultravioleta

No tratamento por ultravioleta (UV) verifica-se que o cloro e seus derivados aumentam a presença de subprodutos da desinfecção (DBP) enquanto o uso de ácido peracético e UV os elimina, sendo essencial escolher as tecnologias de desinfecção que minimizem a formação de DBP, principalmente quando se almeja reutilizar a água, (Albolafio et al., 2022).

Os processos de oxidação avançada com utilização de UV/peróxido de hidrogénio são mais comuns, no entanto, surge a combinação UV/cloro mais eficiente e económica, necessitando de mais estudos sobre a formação de DBP, (Farzanehsa et al., 2023). A combinação de peróxido de hidrogénio com UV/cloro é mais eficaz para remover antibióticos, enquanto UV/Cloro isolada é mais eficaz na remoção de genes de resistência, (Rodríguez-Chueca et al., 2019).

5 CONCLUSÃO

A análise bibliométrica comprovou o crescente aumento do interesse da comunidade académica no tratamento de águas residuais, uma vez que até 2003 publicaram-se 8,6% dos documentos, registando-se os restantes 91,4% após este ano. Verificou-se que 29% das publicações são oriundas das China e a instituição com mais publicações é a Chinese Academy of Sciences, da China, sendo a revista mais escolhida para publicar a *Water Science and Technology*.



A maioria dos documentos são referenciados ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 06 Água Potável e Saneamento, sendo incontestável o interesse da comunidade académica na investigação sobre o tema do tratamento de águas residuais e a necessidade de intervenção urgente para melhorar e provider as populações de sistemas adequados de distribuição de água e de saneamento de águas residuais (Loures et al., 2019; Vulevic et al., 2021; Lousada et al., 2022; Lousada & Castanho, 2022; Lousada et al., 2019).

Da amostra sobre o tema do tratamento de águas residuais, 0,82% correspondem ao tema cloração e 6,35% ao tema do tratamento por ultravioleta, sendo a China e os Estados Unidos cimeiros nas publicações sobre cloração e a China e a Índia no tratamento por UV.

Na área da absorção, a pesquisa procura identificar materiais alternativos ao carbono ativado para a remoção de contaminantes em águas residuais, com foco em materiais de baixo custo e alta eficiência. A utilização de resíduos agrícolas e industriais como adsorventes representa uma abordagem promissora, tanto do ponto de vista ambiental quanto económico.

A eletrocoagulação apresenta-se como uma tecnologia versátil e eficiente para o tratamento de águas residuais, com potencial de otimização e combinação com outras técnicas para atender às exigências de um tratamento cada vez mais rigoroso e sustentável. A reutilização de resíduos e a procura por soluções mais ecológicas são tendências promissoras nesse campo.

A pesquisa na área de floculação concentra-se no desenvolvimento de coagulantes naturais e biofloculantes como alternativas mais sustentáveis aos coagulantes tradicionais. Esses materiais apresentam um grande potencial para a melhoria dos processos de tratamento de águas residuais, contribuindo para a proteção do meio ambiente e a promoção da economia circular.

Na hidrodecloração, o ferro zero valente emerge como uma tecnologia promissora para o tratamento de água, oferecendo soluções inovadoras e sustentáveis para diversos desafios relacionados à qualidade da água. As pesquisas apresentadas demonstram a versatilidade do ZVI e do seu potencial para revolucionar o setor de tratamento de água.

O uso do cloro para desinfecção da água é uma prática comum, mas a formação de DBP é um desafio a superar. A procura por alternativas e a



otimização dos processos de desinfecção são essenciais para garantir a qualidade da água e a saúde pública.

A desinfecção por UV, combinada com outros oxidantes, oferece uma alternativa mais segura e eficiente à cloração tradicional, reduzindo a formação de subprodutos prejudiciais à saúde. No entanto, é preciso continuar a pesquisa desenvolvendo novas tecnologias para garantir a qualidade da água e a proteção da saúde pública.

Como desenvolvimentos futuros identificamos a análise dos métodos de tratamento mais adequados a cada tipo de contaminante, principalmente para os efluentes industriais, o estudo do impacto socioeconómico através dos benefícios para a saúde pública, promoção da economia circular e desafios para a implementação destas tecnologias em escala real e a análise do ciclo de vida dos materiais, considerando os seus impactos ambientais, desde a produção até à deposição final.



REFERÊNCIAS

- Abiyu, A., Yan, D., Girma, A., Song, X., & Wang, H. (2018). Wastewater treatment potential of *Moringa stenopetala* over *Moringa olifera* as a natural coagulant, antimicrobial agent and heavy metal removals. *Cogent Environmental Science*, 4(1). <https://doi.org/10.1080/23311843.2018.1433507>
- Agunbiade, M. O., Pohl, C. H., & Ashafa, A. O. T. (2016). A review of the application of bioflocculants in wastewater treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(4), 1381-1389. <https://doi.org/10.15244/pjoes/61063>
- Ajao, V., Bruning, H., Rijnaarts, H., & Temmink, H. (2018). Natural flocculants from fresh and saline wastewater: Comparative properties and flocculation performances. *Chemical Engineering Journal*, 349, 622-632. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.05.123>
- Albolafio, S., Marín, A., Allende, A., García, F., Simón-Andreu, P. J., Soler, M. A., & Gil, M. I. (2022). Strategies for mitigating chlorinated disinfection byproducts in wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132583>
- Ali, I., Basheer, A. A., Mbianda, X. Y., Burakov, A., Galunin, E., Burakova, I., Mkrtchyan, E., Tkachev, A., & Grachev, V. (2019). Graphene based adsorbents for remediation of noxious pollutants from wastewater. *Environment International*, 127, 160-180. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.029>
- Antia, D. (2022). Purification of Saline Water Using Desalination Pellets. *Water*, 14(17), 2639. <https://doi.org/10.3390/w14172639>
- Araújo, C. A. (2006). *Bibliometria: Evolução histórica e questões atuais* (Vol. 12, Número 1, pp. 11-32).
- Aslam, M. M. A., Kuo, H. W., Den, W., Usman, M., Sultan, M., & Ashraf, H. (2021). Functionalized carbon nanotubes (Cnts) for water and wastewater treatment: Preparation to application. *Sustainability (Switzerland)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/su13105717>
- Ayalew, A. A. (2022). A critical review on clay-based nanocomposite particles for application of wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 85(10), 3002-3022. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.150>
- Bilińska, L., & Gmurek, M. (2021). Novel trends in AOPs for textile wastewater treatment. Enhanced dye by-products removal by catalytic and synergistic actions. *Water Resources and Industry*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100160>
- Business Council for Sustainable Development (BCSD) Portugal. (2024, Junho 12). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. <https://ods.pt/ods/>



- Cano, P. A., Jaramillo-Baquero, M., Zúñiga-Benítez, H., Londoño, Y. A., & Peñuela, G. A. (2020). Use of simulated sunlight radiation and hydrogen peroxide in azithromycin removal from aqueous solutions: Optimization & mineralization analysis. *Emerging Contaminants*, 6, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2019.12.004>
- Chen, B., Chen, Y., Xu, L., Zhang, Y., & Li, H. (2020). Research and development on industrial heavy metal wastewater treatment technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 585(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/585/1/012051>
- Chiang, H. L., Choa, C. G., Chen, S. Y., & Tsai, M. C. (2003). The reuse of biosludge as an adsorbent from a petrochemical wastewater treatment plant. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 53(9), 1042-1051. <https://doi.org/10.1080/10473289.2003.10466259>
- Cho, B. R., & Suzuki, M. (1980). Activated Carbon by Pyrolysis of Sludge From Pulp-Mill Wastewater-Treatment. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 13, 463-467. <https://doi.org/10.1252/jcej.13.463>
- Chua, S. C., Malek, M. A., Chong, F. K., Sujarwo, W., & Ho, Y. C. (2019). Red lentil (*Lens culinaris*) extract as a novel natural coagulant for turbidity reduction: An evaluation, characterization and performance optimization study. *Water (Switzerland)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/w11081686>
- Chua, S. C., Show, P. L., Chong, F. K., & Ho, Y. C. (2020). Lentil waste as novel natural coagulant for agricultural wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 82(9), 1833-1847. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.409>
- Costa, T., Lopes, S., Fernández-Llimós, F., Amante, M. J., & Lopes, P. F. (2012). *A Bibliometria e a Avaliação da Produção Científica: Indicadores e ferramentas*. Congresso Nacional de Bibliotecários, Arquivistas e Documentalistas.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L. D., & Morin-Crini, N. (2019). Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 195-213. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0786-8>
- Cristóvão, R. O., Gonçalves, C., Botelho, C. M., Martins, R. J. E., Loureiro, J. M., & Boaventura, R. A. R. (2015). Fish canning wastewater treatment by activated sludge: Application of factorial design optimization. Biological treatment by activated sludge of fish canning wastewater. *Water Resources and Industry*, 10, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2015.03.001>
- De Witte, B., Van Langenhove, H., Demeestere, K., Saerens, K., De Wispelaere, P., & Dewulf, J. (2010). Ciprofloxacin ozonation in hospital wastewater treatment plant effluent: Effect of pH and H₂O₂. *Chemosphere*, 78(9), 1142-1147. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.026>
- De-La-Vega, D. P., González, C., Escalante, C. A., Gallego, J., Salamanca, M.,



- & Manrique-Losada, L. (2018). Use of faujasite-type zeolite for ion adsorption in municipal wastewater. *Tecnologia y Ciencias del Agua*, 9(4). <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-08>
- Deng, Y., & Zhao, R. (2015). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports*, 1(3), 167-176. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>
- Diaz De Tuesta, J. L., Roman, F. F., Marques, V. C., Silva, A. S., Silva, A. P. F., Bosco, T. C., Shinibekova, A. A., Aknur, S., Kalmakhanova, M. S., Massalimova, B. K., Arrobas, M., Silva, A. M. T., & Gomes, H. T. (2022). Performance and modeling of Ni(II) adsorption from low concentrated wastewater on carbon microspheres prepared from tangerine peels by FeCl₃-assisted hydrothermal carbonization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108143>
- Ebba, M., Asaithambi, P., & Alemayehu, E. (2021). Investigation on operating parameters and cost using an electrocoagulation process for wastewater treatment. *Applied Water Science*, 11(11). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01517-y>
- El Bastamy, E., Ibrahim, L. A., Ghandour, A., Zelenakova, M., Vranayova, Z., & Abu-Hashim, M. (2021). Efficiency of natural clay mineral adsorbent filtration systems in wastewater treatment for potential irrigation purposes. *Sustainability (Switzerland)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/su13105738>
- Elkhatib, D., Oyanedel-Craver, V., & Carissimi, E. (2021). Electrocoagulation applied for the removal of microplastics from wastewater treatment facilities. *Separation and Purification Technology*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118877>
- Farzanehsa, M., Vaughan, L. C., Zamyadi, A., & Khan, S. J. (2023). Comparison of UV-Cl and UV-H₂O₂ advanced oxidation processes in the degradation of contaminants from water and wastewater: A review. *Water and Environment Journal*, 37(4), 633-643. <https://doi.org/10.1111/wej.12868>
- Ghosh, N., Das, S., Biswas, G., & Haldar, P. K. (2022). Review on some metal oxide nanoparticles as effective adsorbent in wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 85(12), 3370-3395. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.153>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Gupta, A., Kumar, M., Sharma, R., Tripathi, R., Kumar, V., & Thakur, I. S. (2023). Screening and characterization of biofloculant isolated from thermotolerant *Bacillus* sp. ISTVK1 and its application in wastewater treatment. *Environmental Technology and Innovation*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103135>



- Gutierrez, A. M., Dziubla, T. D., & Hilt, J. Z. (2017). Recent advances on iron oxide magnetic nanoparticles as sorbents of organic pollutants in water and wastewater treatment. *Reviews on Environmental Health*, 32(1-2), 111-117. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0063>
- Hagemann, N., Schmidt, H. P., Kägi, R., Böhler, M., Sigmund, G., Maccagnan, A., McArdell, C. S., & Bucheli, T. D. (2020). Wood-based activated biochar to eliminate organic micropollutants from biologically treated wastewater. *Science of the Total Environment*, 730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138417>
- Hamdan, M. A., Sublaban, E. T., Al-Asfar, J. J., & Banisaid, M. A. (2023). Wastewater Treatment Using Activated Carbon Produced from Oil Shale. *Journal of Ecological Engineering*, 24(2), 131-139. <https://doi.org/10.12911/22998993/156664>
- Huang, Y., Wang, Z., Liu, Q., Wang, X., Yuan, Z., & Liu, J. (2017). Effects of chloride on PMS-based pollutant degradation: A substantial discrepancy between dyes and their common decomposition intermediate (phthalic acid). *Chemosphere*, 187, 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.120>
- Instituto Nacional de Estatística (2023). Estações de tratamento de águas residuais (N.º) por Localização geográfica (NUTS - 2013) e Níveis de tratamento das águas residuais; Anual. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0009607&xlang=pt&contexto=bd&selTab=tab2
- Instituto Nacional de Estatística (2023). Águas residuais drenadas (Série 2011) (m³) por Localização geográfica (NUTS - 2013) e Origem das águas residuais (Sector); Anual. Águas residuais drenadas por habitante (Série 2011) (m³/hab.) por Localização geográfica (NUTS - 2013); Anual. Águas residuais tratadas em estações de tratamento de águas residuais (m³) por Localização geográfica (NUTS - 2013) e Níveis de tratamento das águas residuais; Anual. Proporção de alojamentos servidos por drenagem de águas residuais (%) por Localização geográfica (NUTS - 2013); Anual. Proporção de alojamentos servidos por tratamento de águas residuais (%) por Localização geográfica (NUTS - 2013); Anual. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_unid_territorial&menuBOUI=13707095&contexto=ut&selTab=tab3
- Kasera, N., Kolar, P., & Hall, S. G. (2022). Nitrogen-doped biochars as adsorbents for mitigation of heavy metals and organics from water: A review. *Biochar*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00145-2>
- Khan, M., Ali, S. W., Shahadat, M., & Sagadevan, S. (2022). Applications of polyaniline-impregnated silica gel-based nanocomposites in wastewater treatment as an efficient adsorbent of some important organic dyes. *Green Processing and Synthesis*, 11(1), 617-630. <https://doi.org/10.1515/gps-2022-0063>



- Kristianto, H., Rahman, H., Prasetyo, S., & Sugih, A. K. (2019). Removal of Congo red aqueous solution using *Leucaena leucocephala* seed's extract as natural coagulant. *Applied Water Science*, 9(4). <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0972-2>
- Kurniawan, S. B., Abdullah, S. R. S., Imron, M. F., Said, N. S. M., Ismail, N. 'Izzati, Hasan, H. A., Othman, A. R., & Purwanti, I. F. (2020). Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 1-33. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>
- Kyrii, S., Dontsova, T., Kosogina, I., Astrelin, I., Klymenko, N., & Nechyporuk, D. (2020). Local wastewater treatment by effective coagulants based on wastes. *Journal of Ecological Engineering*, 21(5), 34-41. <https://doi.org/10.12911/22998993/122184>
- Li, L., Fan, M., Brown, R. C., Koziel, J. A., & van Leeuwen, J. (Hans). (2009). Production of a new wastewater treatment coagulant from fly ash with concomitant flue gas scrubbing. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2-3), 1430-1437. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.035>
- Li, S., Yao, Y., Zhao, T., Wang, M., & Wu, F. (2019). Biochars preparation from waste sludge and composts under different carbonization conditions and their Pb(II) adsorption behaviors. *Water Science and Technology*, 80(6), 1063-1075. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.353>
- Loures, L., Castanho, R.A., Naranjo Gomez, J., Lousada, S., Fernandez-Pozo, L., Cabezas, J., Loures, A. (2019). Impactos Socioculturais da Cooperação Transfronteiriça (CT) no Espaço Europeu. *Journal of Social, Technological and Environmental Science*. Vol. 8, n. 3, pp. 292-312. <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3>
- Lousada, S., Cabezas, J., Castanho, R.A., Gómez, J.M.N. (2022). *Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island—Ribeira Brava*. *Sustainability*, 14, 16839. <https://doi.org/10.3390/su142416839>
- Lousada, S., Castanho R. A. (2022). *The Role of Ports in Tourism: Porto Santo Harbour*. *Water*, 14, 3176. <https://doi.org/10.3390/w14193176>
- Lousada, S., Silva, P., Castanho, R.A., Naranjo Gomez, J. (2019). Modelação de sistemas de abastecimento de água. O caso de Ilha da Madeira. *Bitacora Urbano Territorial* 29(2): 89-98. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n2.69381>
- Lugo, L., Martín, A., Diaz, J., Pérez-Flórez, A., & Celis, C. (2020). Implementation of modified acacia tannin by mannich reaction for removal of heavy metals (Cu, Cr and Hg). *Water (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/w12020352>



- Maged, A., El-Fattah, H. A., Kamel, R. M., Kharbish, S., & Elgarahy, A. M. (2023). A comprehensive review on sustainable clay-based geopolymers for wastewater treatment: Circular economy and future outlook. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11303-9>
- Makhtar, N. S. M., Idris, J., Musa, M., Andou, Y., Hamid, K. H. K., & Puasa, S. W. (2020). Plant-based *Tacca leontopetaloides* biopolymer flocculant (TBPF) produced high removal of turbidity, TSS, and color for leachate treatment. *Processes*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/PR8050527>
- Marecos do Monte, H., Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *Tratamento de Águas Residuais: Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico*. www.ersar.pt
- Maslon, A., & Czarnota, J. (2020). Efficiency of brick dust and powdered ceramsite in the phosphorus removal from wastewater. *Journal of Ecological Engineering*, 21(2), 63-71. <https://doi.org/10.12911/22998993/116346>
- Mateus, A., Torres, J., Marimon-Bolivar, W., & Pulgarín, L. (2021). Implementation of magnetic bentonite in food industry wastewater treatment for reuse in agricultural irrigation. *Water Resources and Industry*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100154>
- Matos, J. de S. (2003). *Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano*.
- Meiramkulova, K., Jakupova, Z., Orynbekov, D., Tashenov, E., Kydyrbekova, A., Mkilima, T., & Inglezakis, V. J. (2020). Evaluation of electrochemical methods for poultry slaughterhouse wastewater treatment. *Sustainability (Switzerland)*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/su12125110>
- Miralles-cuevas, S., De la Obra, I., Gualda-alonso, E., Soriano-molina, P., Casas López, J. L., & Sánchez Pérez, J. A. (2021). Simultaneous disinfection and organic microcontaminant removal by uvc-led-driven advanced oxidation processes. *Water (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/w13111507>
- Mukherjee, S., Pariatamby, A., Sahu, J. N., & Sen Gupta, B. (2013). Clarification of rubber mill wastewater by a plant based biopolymer - comparison with common inorganic coagulants. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88(10), 1864-1873. <https://doi.org/10.1002/jctb.4041>
- Oprčkal, P., Mladenovič, A., Vidmar, J., Mauko Pranjić, A., Milačić, R., & Ščančar, J. (2017). Critical evaluation of the use of different nanoscale zero-valent iron particles for the treatment of effluent water from a small biological wastewater treatment plant. *Chemical Engineering Journal*, 321, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.104>



- Pendlebury, D. (2008). *White Paper Using bibliometrics in evaluating Research*. Thomson Reuters.
- Peng, L., Wang, F., Zhang, D., Fang, C., van der Hoek, J. P., & Chu, W. (2021). Effect of oxidation ditch and anaerobic-anoxic-oxic processes on CX3R-type disinfection by-product formation during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145344>
- Raman, C. D., Sellappa, K., & Mkandawire, M. (2021). Facile one step green synthesis of iron nanoparticles using grape leaves extract: Textile dye decolorization and wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 83(9), 2242-2258. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.140>
- Rodríguez-Chueca, J., Varella della Giustina, S., Rocha, J., Fernandes, T., Pablos, C., Encinas, Á., Barceló, D., Rodríguez-Mozaz, S., Manaia, C. M., & Marugán, J. (2019). Assessment of full-scale tertiary wastewater treatment by UV-C based-AOPs: Removal or persistence of antibiotics and antibiotic resistance genes? *Science of the Total Environment*, 652, 1051-1061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.223>
- Saka, C., Şahin, Ö., & Küçük, M. M. (2012). Applications on agricultural and forest waste adsorbents for the removal of lead (II) from contaminated waters. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9(2), 379-394. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0041-y>
- Sari-Erkan, H. (2019). Wastewater treatment from the biodiesel production using waste cooking oil by electrocoagulation: A multivariate approach. *Water Science and Technology*, 79(12), 2366-2377. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.238>
- Sultana, S., Karmaker, B., Saifullah, A. S. M., Galal Uddin, M., & Moniruzzaman, M. (2022). Environment-friendly clay coagulant aid for wastewater treatment. *Applied Water Science*, 12(1). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01540-z>
- Tahreen, A., Jami, M. S., & Ali, F. (2020). Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. *Journal of Water Process Engineering*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101440>
- Thomas, M., Zdebik, D., & Bialecka, B. (2018). Using sodium trithiocarbonate to precipitate heavy metals from industrial wastewater - from the laboratory to industrial scale. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(4), 1753-1763. <https://doi.org/10.15244/pjoes/76408>
- Tsilo, P. H., Basson, A. K., Ntombela, Z. G., Maliehe, T. S., & Pullabhotla, V. S. R. R. (2022). Production and Characterization of a Biofloculant from *Pichia kudriavzevii* MH545928.1 and Its Application in Wastewater Treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph19063148>



- Uludag-Demirer, S., Olson, N., Ives, R., Nshimiyimana, J. P., Rusinek, C. A., Rose, J. B., & Liao, W. (2020). Techno-economic analysis of electrocoagulation on water reclamation and bacterial/viral indicator reductions of a high-strength organic wastewater-anaerobic digestion effluent. *Sustainability* (Switzerland), 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12072697>
- United Nations (2024, Junho 12). *Water and Sanitation*. <https://sdgs.un.org/topics/water-and-sanitation>
- Vigneshwaran, S., Karthikeyan, P., Sirajudheen, P., & Meenakshi, S. (2020). Optimization of sustainable chitosan/Moringa. Oleifera as coagulant aid for the treatment of synthetic turbid water - A systemic study. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2, 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.08.002>
- Vulevic, A., Castanho, R.A., Naranjo Gomez, J.M., Lousada, S., Loures, L., Cabezas, J., Fernandez-Pozo, L. (2021). *Cross-Border Cooperation and Adaptation to Climate Change in Western Balkans Danube Area*. Capítulo no Livro: *Governing Territorial Development in the Western Balkans. Advances in Spatial Science (The Regional Science Series)*. Ed. Springer, Alemanha. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72124-4_14,
- Xu, B., Zhang, Y., Li, X., Yao, Y., Huang, X., Xia, S., & Dong, P. (2019). A simple preparation route for polysilicate titanium salt from spent titanium solutions. *Water Science and Technology*, 80(7), 1347-1356. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.383>
- Yasipourtehrani, S., Strezov, V., Kan, T., & Evans, T. (2021). Investigation of dye removal capability of blast furnace slag in wastewater treatment. *Sustainability* (Switzerland), 13(4), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su13041970>
- Yun, Y., Li, Z., Chen, Y. H., Saino, M., Cheng, S., & Zheng, L. (2018). Elimination of nitrate in secondary effluent of wastewater treatment plants by Fe0 and pd-cu/diatomite. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(1), 29-37. <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.122>
- Zaman, B. (2018). *Potential of Natural Flocculant in Coagulation-Flocculation Wastewater Treatment Process*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2018730>