

Compostos per- e polifluoroalquilados (PFAS) em águas de abastecimento: tecnologias de remoção e impactos para os objetivos de desenvolvimento sustentável

Francieli Inês Grigolo¹, Cristiane Lisboa Giroletti², Leila Franciele Pereira Mayer³, Jean Carlo Salome do Santos Menezes⁴, Ana Paula Testa Pezzin³ e Patrícia Devantier Neuenfeldt⁵

¹Universidade do Estado de Santa Catarina. Avenida Luiz de Camões, 2090. Conta Dinheiro. Lages-SC, Brasil (CEP 88520-000). E-mail: francieli.grigolo@gmail.com.

²Universidade Federal de Santa Catarina. Rua Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, S/Nº. Trindade. Florianópolis-SC, Brasil (CEP 88040-900).

³Instituto Federal Catarinense. *Campus* Araquari. Rodovia BR 280, km 27, 5200. Colégio Agrícola. Araquari-SC, Brasil (CEP 89245-000).

⁴Instituto Federal do Paraná. Avenida Paula Freitas, 2800. São Braz. União da Vitória-PR, Brasil (CEP 84603-580).

⁵Instituto Federal Catarinense. *Campus* São Francisco do Sul. Rodovia Duque de Caxias, 6628. Iperoba. São Francisco do Sul-SC, Brasil (CEP 89240-000).

Resumo. Os compostos per- e polifluoroalquilados (PFAS) constituem uma classe de contaminantes emergentes caracterizados por elevada persistência, mobilidade e resistência à degradação, representando um desafio crescente para a segurança hídrica e a saúde pública. Sua presença em águas de abastecimento tem sido amplamente documentada em diversos países, sendo agravada pela ineficácia dos processos convencionais de tratamento na remoção desses compostos. Este artigo apresenta uma revisão da literatura científica sobre a ocorrência de PFAS em sistemas de abastecimento, seus efeitos toxicológicos, as tecnologias disponíveis para sua remoção e os desafios regulatórios envolvidos, com destaque para aspectos críticos e lacunas ainda existentes. Técnicas como nanofiltração, osmose reversa, adsorção por carvão ativado e resinas de troca iônica demonstram eficiências variadas, dependendo das características da água e do tipo de PFAS presente. Entretanto, os altos custos operacionais, a geração de rejeitos e a complexidade tecnológica limitam sua ampla adoção, especialmente em países em desenvolvimento. A ausência de regulamentação específica, a baixa capacidade analítica de muitos laboratórios e a falta de transparência nas cadeias produtivas intensificam a exposição populacional e dificultam a gestão integrada desses poluentes. À luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os

Recebido
07/08/2025

Aceito
25/11/2025

Publicado
31/12/2025



Acesso aberto



PFAS comprometem diretamente metas dos ODS 3, 6 e 12, relacionadas à saúde, acesso à água potável e consumo responsável. Conclui-se que o enfrentamento da crise dos PFAS exige fortalecimento da governança ambiental, adoção do princípio da precaução e investimento em tecnologias acessíveis e eficazes, além de políticas públicas que integrem ciência, regulação e justiça ambiental.

Palavras-chave: PFAS; Contaminantes emergentes; Tratamento de água; Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Abstract. *Per- and polyfluoroalkyl compounds (PFAS) in drinking water: Removal technologies and impacts on the Sustainable Development Goals.* Per- and polyfluoroalkyl compounds (PFAS) constitute a class of emerging contaminants characterized by high persistence, mobility, and resistance to degradation, posing a growing challenge to water security and public health. Their presence in water supplies has been widely documented in several countries, aggravated by the ineffectiveness of conventional treatment processes in removing these compounds. This article reviews the scientific literature on the occurrence of PFAS in water supply systems, their toxicological effects, available technologies for their removal, and the regulatory challenges involved, highlighting critical aspects and remaining gaps. Techniques such as nanofiltration, reverse osmosis, activated carbon adsorption, and ion exchange resins demonstrate varying efficiencies, depending on the water characteristics and the type of PFAS present. However, high operating costs, waste generation, and technological complexity limit their wide spread adoption, especially in developing countries. The lack of specific regulations, the low analytical capacity of many laboratories, and the lack of transparency in production chains intensify population exposure and hinder the integrated management of these pollutants. In light of the Sustainable Development Goals (SDGs), PFAS directly compromises SDGs 3, 6, and 12 targets related to health, access to safe drinking water, and responsible consumption. It is concluded that addressing the PFAS crisis requires strengthening environmental governance, adopting the precautionary principle, and investing in accessible and effective technologies, and public policies that integrate science, regulation, and environmental justice.

Keywords: PFAS; Emerging contaminants; Water treatment; Sustainable Development Goals.

ORCID

0000-0002-0086-4824
Francieli Inês Grigolo

0000-0003-4951-526X
Cristiane Lisboa
Giroletti

0009-0003-8979-3712
Leila Franciele Pereira
Mayer

0000-0002-8808-4725
Jean Carlo Salome dos
Santos Menezes

0000-0001-9343-3929
Ana Paula Testa Pezzin

0000-0002-1789-0033
Patrícia Devantier
Neuenfeldt

Introdução

Nas últimas décadas, os compostos per- e polifluoroalquilados (PFAS) destacaram-se como uma das classes mais persistentes e desafiadoras de contaminantes emergentes, tornando-se uma preocupação global para a ciência ambiental, a saúde pública e a conservação dos recursos hídricos. Este grupo, composto por milhares de substâncias de origem antropogênica, é caracterizado pela presença de ligações carbono-flúor, que estão

entre as mais fortes da química orgânica, o que lhes confere notável estabilidade térmica, resistência à degradação e persistência ambiental (Glüge et al., 2020; Kurwadkar, 2022; Wang et al., 2024).

A ampla utilização dos PFAS em diversos setores industriais, como os segmentos têxtil, eletroeletrônico, aeroespacial e alimentício, tem resultado na disseminação desses compostos em escala planetária, inclusive em regiões remotas e distantes das fontes primárias de emissão (Glüge et al., 2020). Estudos indicam a presença de PFAS em águas superficiais e subterrâneas, precipitação atmosférica, solos, sedimentos, alimentos e até mesmo no sangue de animais e seres humanos (Sunderland et al., 2019; Cousins et al., 2022;). Essa ubiquidade é explicada pela alta mobilidade de determinados PFAS, associada à resistência à degradação e à existência de precursores voláteis que se transformam em compostos terminalmente persistentes, dificultando seu controle e remoção (Glüge et al., 2020; Kurwadkar, 2022).

Pesquisas recentes demonstram que as concentrações de PFAS detectadas em diversas regiões do mundo frequentemente excedem os níveis considerados seguros por agências reguladoras internacionais (Kurwadkar, 2022). Tal condição configura a transgressão do limite planetário para poluentes químicos, indicando que a estabilidade do sistema terrestre pode estar ameaçada pelo acúmulo irreversível dessas substâncias no ambiente (Cousins et al., 2022).

A contaminação de águas destinadas ao consumo humano é especialmente preocupante, uma vez que processos convencionais de tratamento, como filtração por areia ou carvão ativado, cloração, ozonização e aeração, mostram-se ineficazes na remoção dos PFAS (Boiteux et al., 2017). Isso permite que tais compostos altamente persistentes ultrapassem as barreiras tecnológicas e alcancem a água distribuída à população. Em alguns casos, as concentrações de PFAS na água tratada podem ser similares ou até superiores às encontradas na água bruta, indicando não apenas a baixa eficiência dos processos convencionais, mas também a possibilidade de formação ou liberação secundária desses compostos durante o tratamento (Boiteux et al., 2017). Essa situação resulta na exposição contínua e crônica da população a níveis preocupantes de PFAS por meio da água potável, evidenciando um risco significativo à saúde pública e a necessidade urgente de modernização das tecnologias de tratamento e dos marcos regulatórios (Domingo e Nadal, 2019).

Este artigo propõe uma análise crítica das evidências científicas disponíveis sobre a ocorrência, os efeitos toxicológicos, as tecnologias de remoção e os desafios regulatórios relacionados aos PFAS, com especial atenção à sua presença em águas de abastecimento. O estudo foi conduzido à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), buscando fomentar uma reflexão aprofundada sobre como esses contaminantes ameaçam diretamente a universalização do acesso à água segura para consumo humano, à proteção da saúde humana e a promoção de práticas responsáveis de produção e consumo.

Ocorrência e distribuição de PFAS em águas de abastecimento

A presença de PFAS tem sido extensivamente documentada em diversos tipos de corpos d'água ao redor do mundo, incluindo aqueles que compõem sistemas de abastecimento público, nos quais as concentrações variam consideravelmente em função da proximidade com fontes industriais, áreas de descarte de resíduos e zonas urbanas densamente povoadas. Estudos indicam que essa classe de compostos está presente em níveis detectáveis em mais de 98% dos pontos de amostragem de águas superficiais testadas nos Estados Unidos, além de registros significativos na Europa e em outros continentes (Cousins, 2022; Kurwadkar, 2022; Waterkeeper, 2022).

Wang (2024) analisou 48 artigos sobre contaminação por PFAS em águas superficiais na China, confirmando a ampla disseminação desses compostos, inclusive em

regiões remotas, como o Tibete. A mesma pesquisa demonstrou que, apesar das variações regionais, compostos de cadeia longa como o ácido perfluorooctanoico (PFOA) e o ácido perfluorooctanosulfônico (PFOS) continuam sendo os mais frequentemente relatados em águas de abastecimento. Além disso, a poluição por PFAS mostra-se fortemente correlacionada à concentração industrial e ao nível de desenvolvimento econômico das regiões, refletindo, inclusive, a realocação de indústrias de países desenvolvidos para países em desenvolvimento após 2010.

Observa-se, ainda, uma crescente substituição desses compostos por PFAS de cadeia curta e por alternativas fluoradas emergentes, cujas propriedades ambientais e toxicológicas ainda não são plenamente compreendidas. No entanto, tais substâncias também apresentam elevada mobilidade e persistência ambiental, o que impõe novos desafios aos sistemas de tratamento de água, especialmente quanto à eficácia dos processos convencionais de remoção.

A contaminação das águas por PFAS pode ocorrer por múltiplas rotas, incluindo a infiltração de efluentes industriais, a aplicação de lodo de esgoto como fertilizante agrícola, o uso de espumas aquosas contra incêndio (AFFF) em bases militares e aeroportos, além da lixiviação de aterros sanitários (Sunderland et al., 2019). A persistência desses compostos no ambiente, associada à sua elevada solubilidade em água, favorece sua mobilidade em matrizes aquosas, facilitando o transporte a longas distâncias e contribuindo para sua distribuição ambiental em escala global (Pan et al., 2016; Glüge et al., 2020).

Evidências toxicológicas e exposição humana

Evidências científicas crescentes apontam que a exposição humana a diversos PFAS está associada a uma ampla gama de efeitos adversos à saúde, incluindo distúrbios endócrinos, imunossupressão, hepatotoxicidade, disfunções reprodutivas, efeitos sobre o desenvolvimento fetal e aumento do risco de alguns tipos de câncer (Gomis et al., 2018; Sunderland et al., 2019; USEPA, 2023).

Estudos de biomonitoramento têm detectado a presença de PFAS no organismo de populações de diferentes países, inclusive em regiões onde não há fontes industriais aparentes. Isso se deve à persistência e ubiquidade desses compostos, que favorecem sua bioacumulação ao longo da cadeia alimentar (Kurwadkar, 2022). As populações com elevado consumo de peixes de água doce, por exemplo, apresentam níveis significativamente maiores de PFAS no organismo (Glüge et al., 2020).

A ingestão de água potável contaminada é considerada uma das principais vias de exposição humana aos PFAS, especialmente em comunidades próximas a fontes industriais ou áreas de descarte de resíduos contendo esses compostos (Domingo e Nadal, 2019). Outras vias relevantes incluem o consumo de alimentos contaminados, a inalação de poeira doméstica e o contato dérmico com produtos que contenham PFAS. As crianças e as gestantes são particularmente vulneráveis devido à maior taxa de absorção e aos potenciais efeitos em fases críticas do desenvolvimento.

Além disso, pesquisas experimentais com animais indicam que a exposição a diferentes PFAS pode induzir alterações hepáticas e outros efeitos adversos associados à hepatotoxicidade. Algumas alternativas fluoradas, inclusive, apresentam potência tóxica igual ou superior à de seus predecessores, considerando-se a dose interna nos tecidos-alvo (Gomis et al., 2018). Diante das incertezas científicas e do elevado potencial de risco, recomenda-se a adoção do princípio da precaução, mesmo para aqueles PFAS ainda não suficientemente estudados.

Tecnologias de remoção de PFAS na água

A remoção de PFAS em sistemas convencionais de tratamento de água é extremamente limitada, devido à alta estabilidade química desses compostos. Boiteux et al. (2017) investigaram um corpo hídrico receptor de efluente industrial contendo compostos perfluorados na França, que também era utilizado a jusante como fonte de captação para abastecimento público. A estação de tratamento de água local operava com sistema convencional, complementado com ozonização e nanofiltração. Os autores observaram que, embora a água tratada apresentasse concentrações de PFAS abaixo de 60 ng.L^{-1} , os métodos tradicionais mostraram-se ineficazes na remoção dessas substâncias. Além disso, a ozonização resultou no aumento das concentrações de PFAS. Um efeito semelhante ao observado nos processos de filtração com carvão ativado e com mistura de areia e antracito. Tais resultados corroboram os achados de Pan et al. (2016). Por fim, o estudo demonstrou que apenas a etapa de nanofiltração foi efetiva na redução significativa da presença de PFAS na água tratada.

Em consonância com Boiteux et al. (2017), a revisão de Lee et al. (2022) confirma que tecnologias baseadas em membranas, como a nanofiltração e a osmose reversa, apresentam elevada eficiência na remoção de compostos per- e polifluoroalquil (PFAS), podendo alcançar taxas superiores a 90% de remoção.

Dessa forma, técnicas avançadas vêm sendo implementadas ou estudadas com o objetivo de promover a retenção ou a destruição dos PFAS em matrizes aquosas. Entre as tecnologias mais aplicadas, destacam-se a adsorção com carvão ativado granular (CAG) e a osmose reversa. A eficácia dessas abordagens varia conforme a composição da água, o tipo e o comprimento da cadeia dos PFAS presentes (Pan et al., 2016).

Pan et al. (2016) evidenciaram que, entre os diferentes processos avaliados em estações de tratamento de águas residuárias, os sistemas que utilizam CAG e, especialmente, carvão ativado em pó apresentaram remoção significativa dos compostos perfluoroalquilados. Foram observadas eficiências entre 80% e 100% para substâncias como o ácido perfluorooctanoico, o ácido perfluorooctanossulfônico e outros compostos de cadeia longa, com destaque para o carvão ativado em pó, devido à sua maior área superficial e capacidade de adsorção.

Além do CAG, as resinas de troca iônica também são amplamente utilizadas para a remoção de PFAS, apresentando, em muitos casos, desempenho superior ao do CAG. No entanto, sua eficácia pode ser afetada pela presença de ânions concorrentes e carbono orgânico dissolvido na água (Liu et al., 2019).

A osmose reversa é igualmente reconhecida como uma tecnologia eficaz na remoção de PFAS, inclusive os de cadeia curta, sendo recomendada por sua alta eficiência de retenção (Pan et al., 2016). Lee et al. (2022) demonstram que, assim como a osmose reversa, a nanofiltração é capaz de remover significativamente compostos per- e polifluoroalquilados, com eficiência superior a 90%, destacando, contudo, que, apesar da alta eficiência, ainda há desafios relacionados à geração de efluente concentrado e à necessidade de aprimoramento dos sistemas de regeneração.

Além dos métodos de separação, tecnologias destrutivas como oxidação térmica, degradação eletroquímica e processos baseados em plasma vêm sendo investigadas com o objetivo de mineralizar os PFAS, quebrando suas ligações carbono-flúor. A degradação de PFAS por essas tecnologias, embora promissora, frequentemente enfrenta o desafio da degradação incompleta, o que pode resultar na formação de subprodutos intermediários, alguns tão persistentes e recalcitrantes quanto os compostos originais. Por isso, exige-se monitoramento contínuo e a adoção de abordagens complementares para garantir a completa mineralização (Lau et al., 2022).

Regulação e desafios de governança

A regulação dos PFAS apresenta profunda heterogeneidade entre países e regiões, refletindo diferentes níveis de conhecimento técnico, pressões políticas e capacidades institucionais. Nos Estados Unidos, a *Environmental Protection Agency* (USEPA) tem adotado limites progressivamente mais restritivos para certos PFAS prioritários, como o PFOA e o PFOS, chegando a propor valores de referência abaixo de 4 ng.L^{-1} para água potável (USEPA, 2023). A União Europeia, por sua vez, avançou na abordagem por grupo, estabelecendo restrições amplas à produção, uso e comercialização dos PFAS, conforme descrito na proposta de restrição submetida à Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA, 2023).

Entretanto, em muitos países em desenvolvimento, inclusive no Brasil, ainda não há diretrizes regulatórias específicas para PFAS em águas de abastecimento, tampouco exigências obrigatórias de monitoramento sistemático. O relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2018) destaca lacunas significativas na disponibilidade de dados sobre a produção, uso e presença ambiental dos PFAS, bem como a necessidade de fortalecer a cooperação internacional e desenvolvimento de abordagens regulatórias coordenadas para enfrentar os riscos associados a essas substâncias. Essas lacunas comprometem seriamente o princípio da equidade do acesso à água segura, conforme preconizado pelo ODS 6, além de limitar a responsabilização de agentes econômicos e a transparência quanto aos riscos ambientais.

Além da ausência normativa, outro entrave importante é a baixa capacidade analítica de muitos laboratórios, que não dispõem de métodos validados para a detecção de PFAS em níveis da ordem de ng.L^{-1} , que inviabiliza o diagnóstico precoce da contaminação e dificulta a implantação de medidas preventivas. A rastreabilidade das fontes emissoras também é prejudicada pela falta de transparência nas cadeias produtivas e pela presença de precursores ainda pouco estudados.

A governança eficaz da contaminação por PFAS exige um conjunto articulado de ações: fortalecimento institucional, capacitação técnica, harmonização regulatória e mecanismos de financiamento para atualização tecnológica dos sistemas de tratamento. A adoção do princípio da precaução, conforme definido na Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992), deve orientar a formulação de políticas públicas diante da persistência e toxicidade desses compostos.

PFAS e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A presença generalizada dos PFAS compromete diretamente o avanço de diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, destacando-se os seguintes:

- ODS 3 - Saúde e bem-estar: A exposição crônica a PFAS está associada a uma série de efeitos adversos à saúde, como já demonstrado por estudos toxicológicos e epidemiológicos (Sunderland et al., 2019; USEPA, 2023). A meta 3.9, que trata da redução de doenças causadas por substâncias químicas perigosas, é diretamente afetada pela contaminação de águas de consumo.
- ODS 6 - Água potável e saneamento: A persistência dos PFAS em águas subterrâneas e superficiais compromete o cumprimento da meta 6.1, que prevê o acesso universal e seguro à água potável. Sistemas convencionais de tratamento não conseguem remover esses contaminantes de forma eficaz, e a ausência de regulação e

financiamento adequado agrava a exclusão socioambiental (OECD, 2018; Glüge et al., 2020).

- ODS 12 - Consumo e produção responsáveis: A contínua produção e disseminação de PFAS, mesmo diante das evidências de seus impactos ambientais e sanitários, reflete uma falha na gestão segura de substâncias químicas. A meta 12.4 exige o manejo ambientalmente correto de produtos químicos ao longo de seu ciclo de vida. No entanto, a substituição de PFAS por compostos seguros e biodegradáveis ainda avança lentamente, dificultando a transição para um modelo de produção mais sustentável (Glüge et al., 2020; Cousins et al., 2022).

Além desses, o ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e o ODS 16 (Paz, justiça e instituições eficazes) também são tangenciados, uma vez que a remediação de águas contaminadas por PFAS demanda alto consumo energético e depende de políticas públicas transparentes e baseadas em evidências científicas.

Considerações finais

A contaminação das águas de abastecimento por PFAS representa um desafio complexo, persistente e global, que exige respostas rápidas e coordenadas. A durabilidade no ambiente, sua toxicidade e sua ampla disseminação tornam esses compostos emblemáticos de uma crise química silenciosa, que transcende fronteiras e setores. A negligência regulatória e a assimetria no acesso a tecnologias de remediação aprofundam desigualdades sociais e comprometem os direitos humanos à água e à saúde.

As evidências apresentadas indicam que a abordagem atual, centrada na gestão individualizada de substâncias, é insuficiente. Torna-se imprescindível adotar um modelo regulatório preventivo, baseado em agrupamentos químicos e orientado por critérios de persistência e periculosidade, conforme já propõem organismos como a OECD (2018) e a ECHA (2023).

Recomenda-se:

- Estabelecer limites regulatórios baseados em agrupamentos químicos, incluindo precursores e PFAS de cadeia curta;
- Fortalecer as capacidades analíticas de laboratórios públicos, com padronização metodológica e infraestrutura adequada;
- Financiar tecnologias de remoção escaláveis e de baixo custo, compatíveis com sistemas públicos de abastecimento;
- Ampliar o monitoramento ambiental e a comunicação pública de riscos, com transparência e linguagem acessível;
- Promover pesquisa e inovação para alternativas aos PFAS, com estímulo à substituição por compostos menos tóxicos e biodegradáveis; e
- Articular estratégias de gestão de PFAS com a Agenda 2030, fortalecendo a governança ambiental em escala local, nacional e internacional.

O enfrentamento da crise dos PFAS exige um pacto entre ciência, política e sociedade civil, somente por meio de ações integradas será possível garantir água livre de contaminantes, justiça ambiental e preservar a qualidade dos recursos hídricos para as futuras gerações.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há interesses concorrentes ou relações pessoais conhecidas que possam ter influenciado as inferências relatadas neste artigo.

Referências

- Boiteux, V.; Dauchy, X.; Bach, C.; Colin, A.; Hemard, J.; Sagres, V.; Rosin, C.; Munoz, J.-F. Concentrations and patterns of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in a river and three drinking water treatment plants near and far from a major production source. **Science of the Total Environment**, v. 583, p. 393-400, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.079>
- Cousins, I. T.; Johansson, J. H.; Salter, M. E.; Sha, B.; Scheringer, M. Outside the safe operating space of a new planetary boundary for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). **Environmental Science & Technology**, v. 56, n. 16, p. 11172-11179, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>
- Domingo, J. L.; Nadal, M. Human exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water: A review of the recent scientific literature. **Environmental Research**, v. 177, 108648, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108648>
- ECHA - European Chemicals Agency. EuChemS submits response to ECHA consultation on PFAS. 2023. Disponível em: <<https://www.magazine.euchems.eu/euchems-submits-response-to-echa-consultation-on-pfas/>>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- Glüge, J.; Scheringer, M.; Cousins, I. T.; Dewitt, J. C.; Goldenman, G.; Herzke, D.; Lohmann, R.; Ng, C. A.; Trier, X.; Wang, Z. An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 22, n. 12, p. 2345-2373, 2020. <https://doi.org/10.1039/d0em00291g>
- Gomis, M. I.; Vestergren, R.; Borg, D.; Cousins, I. T. Comparing the toxic potency *in vivo* of long-chain perfluoroalkyl acids and fluorinated alternatives. **Environment International**, v. 113, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.01.011>
- Kurwadkar, S.; Dane, J.; Kanel, S. R.; Nadagouda, M. N.; Cawdrey, R. W.; Ambade, B.; Struckhoff, G. C.; Wilkin, R. Per- and polyfluoroalkyl substances in water and wastewater: A critical review of their global occurrence and distribution. **Science of the Total Environment**, v. 809, 151003, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151003>
- Liu, C. J.; Werner, D.; Bellona, C. Removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from contaminated groundwater using granular activated carbon: A pilot-scale study with breakthrough modeling. **Environmental Science: Water Research & Technology**, v. 5, n. 11, p. 1844-1853, 2019. <https://doi.org/10.1039/c9ew00349e>
- OECD - Organisation for Economic Co-Operation and Development. **Toward a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs)**: Summary report on updating the OECD 2007 List of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs). Paris: OECD, 2018. (Series on Risk Management; No. 39). Disponível em: <[https://one.oecd.org/document/ENV/JM/MONO\(2018\)7/en/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/JM/MONO(2018)7/en/pdf)>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- Pan, C.-G.; Liu, Y.-S.; Ying, G.-G. Perfluoroalkyl substances (PFASs) in wastewater treatment plants and drinking water treatment plants: Removal efficiency and exposure risk. **Water Research**, v. 106, p. 562-570, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.045>

Sunderland, E. M.; Hu, X. C.; Dassuncao, C.; Tokranov, A. K.; Wagner, C. C.; Allen, J. G. A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, v. 29, n. 2, p. 131-147, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0094-1>

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **PFAS national primary drinking water regulation rule making**. 2023. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pfas>>. Acesso em: 23 jul. 2025.

Wang, J.; Shen, C.; Zhang, J.; Lou, G.; Shan, S.; Zhao, Y.; Man, Y. B.; Li, Y. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in Chinese surface water: Temporal trends and geographical distribution. **Science of The Total Environment**, v. 915, 170127, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170127>

Waterkeeper - Waterkeeper Alliance. **Invisible, unbreakable, unnatural: PFAS contamination of U.S. surface waters**. New York: Waterkeeper Alliance, 2022. (Phase one report). Disponível em: <<https://waterkeeper.org/wp-content/uploads/2022/10/Waterkeeper-Alliance-PFAS-Report-FINAL-10.14.22.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2025.



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.