



Amostragem passiva para o monitoramento de PFAS em águas

Por João Paulo Ferreira e Fabiana Imagawa
Traduzido e adaptado do Enviromail 13 Europe



Imagem 1. Ilustração de água poluída.

A ALS em Praga expandiu seu portfólio de métodos para monitoramento de substâncias per- e polifluoroalquil (PFAS) em ambientes aquáticos por meio da análise de **amostradores passivos DGT** (Gradientes de Difusão em Camadas Finas).

PFAS são compostos químicos sintéticos. As moléculas orgânicas que compõem os diferentes tipos de PFAS apresentam fortes ligações entre os átomos de carbono e flúor (C-F). Devido à sua alta estabilidade térmica, propriedades hidrofóbicas e alta atividade superficial, são amplamente utilizados em produtos industriais. Devido à sua persistência, potencial de bioacumulação e potencial de transporte de longo alcance, PFOS, PFOA e outros PFAS estão sendo monitorados em sistemas aquáticos para ajudar a identificar fontes de

contaminação e avaliar tendências temporais. Para esses projetos, a tecnologia **DGT (Gradientes Difusivos em Camadas Finas)** pode ser usada porque fornece concentrações médias ponderadas, sendo confiáveis para fins de monitoramento em escala de bacias hidrográficas e identificação de fontes. A ALS possui uma vasta e longa experiência com a análise de PFAS, principalmente em amostras de água e solo, e possuindo um amplo portfólio de métodos internacionais.

PFAS e PFOS: Um desafio ambiental no Brasil e no mundo

Os compostos per- e polifluoroalquilados (PFAS) são substâncias químicas sintéticas amplamente utilizadas devido à sua resistência ao calor, à água e ao

óleo. Entre eles, destacam-se o PFOS (sulfonato de perfluorooctano) e o PFOA (ácido perfluorooctanoico), que, embora tenham desempenhado papéis importantes na indústria, representam sérios desafios ambientais. Denominados "compostos químicos eternos", eles são extremamente persistentes e se acumulam no ambiente, sendo um fator preocupante do ponto de vista ambiental.

Impactos ambientais e riscos associados

Os PFAS são conhecidos por sua capacidade de permanecer no ambiente por décadas, acumulando-se em águas superficiais e subterrâneas, no solo e até mesmo em organismos vivos. Essa persistência os torna um problema significativo para ecossistemas e para

a saúde humana. Estudos associam a exposição prolongada a esses compostos a efeitos adversos, como alterações hormonais, toxicidade hepática e aumento do risco de câncer. No Brasil, as áreas industriais e regiões que utilizam espumas de combate a incêndio contendo PFAS são frequentemente focos de contaminação. Apesar de o problema ser amplamente reconhecido no cenário internacional, no Brasil, ainda é necessária uma maior conscientização e regulamentação específica.

Regulamentações e limites ambientais

Globalmente, o controle dos PFAS tem avançado por meio de iniciativas como a Convenção de Estocolmo, que classifica o PFOS e o PFOA como poluentes orgânicos persistentes. Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) estabelece limites provisórios na água potável para compostos como PFOA e PFOS, recomendando níveis abaixo de 4 partes por trilhão (ppt). Na União Europeia, regulamentos ainda mais rigorosos vêm sendo implementados, com foco em restrições abrangentes. No Brasil, o cenário regulatório é menos desenvolvido. A Resolução CONAMA nº 357/2005 define padrões gerais de qualidade da água, mas não estabelece limites específicos para PFAS. No entanto, alguns estados estão começando a monitorar esses compostos, e a ANVISA tem investigado sua presença em alimentos e embalagens.

A Importância dos amostradores passivos

No monitoramento de compostos como PFAS, ferramentas precisas e eficazes são indispensáveis. É aqui que os amostradores passivos se destacam.

Esses dispositivos acumulam compostos dissolvidos ao longo de semanas ou meses, fornecendo uma visão mais representativa da qualidade da água em comparação com métodos tradicionais, que capturam apenas amostras pontuais. Além de sua eficiência, os amostradores passivos são práticos, não requerem energia ou partes móveis, e podem ser implantados em diferentes tipos de corpos d'água. Eles permitem o monitoramento contínuo e ajudam a identificar variações de poluentes ao

longo do tempo, fornecendo dados fundamentais para a gestão ambiental.

Amostragem passiva

A amostragem passiva baseia-se na difusão molecular de analitos através de uma superfície difusiva até um adsorvente. Diferentemente da amostragem ativa (bombeada), os amostradores passivos não requerem eletricidade, não possuem partes móveis e são fáceis de usar (sem

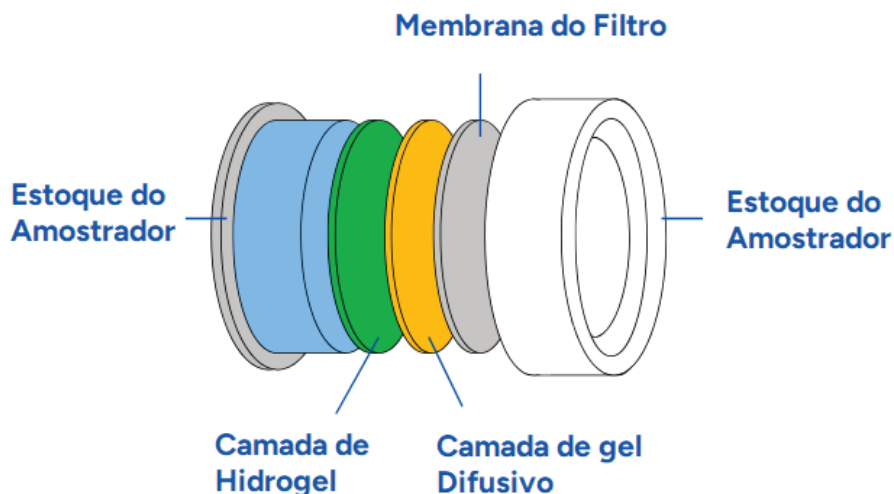


Imagem 2. Esquema do amostrador DTG.

SOLUÇÕES TÉCNICAS

AMOSTRAGEM PASSIVA

- Difusão/permeação
- O tempo pondera a concentração média
- Dissolve livremente compostos
- Amostragem de longo prazo
- Biomonitoramento

AMOSTRAGEM LOCAL (PONTUAL) / ATIVA

- Concentração pontual
- Total de compostos dissolvidos (inclui partículas)
- Amostragem de curto prazo
- Conformidade com regulamentos

CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO	
Tipo:	LSNW-AP
Membrana filtrante	Membrana PES (Polietersulfona) (0,14 mm)
Gel difusivo	0,8 mm gel difusivo de agarose

Tabela 1: Parâmetros de amostradores DTG utilizados para PFAS.

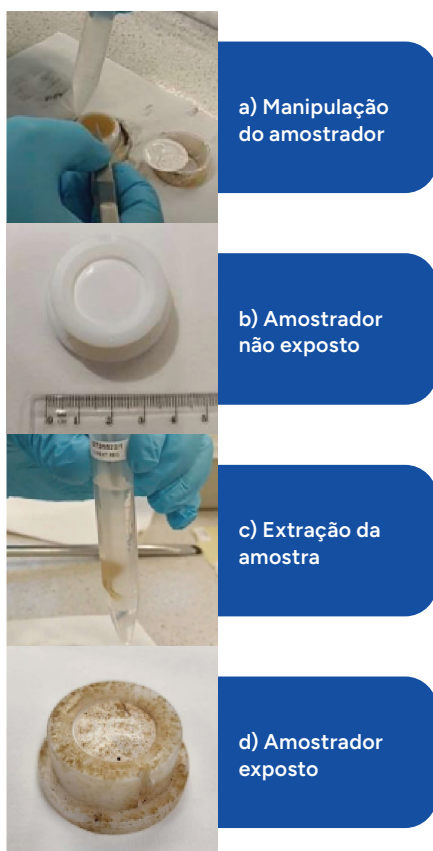


Imagem 3. Amostrador LSNW-AP para amostragem de água para PFAS e extração em laboratório.

necessidade de operação ou calibração de bombas). Após a amostragem, os analitos adsorvidos são dessorvidos do adsorvente e quantificados usando diversas técnicas analíticas. Os dispositivos de amostragem passiva acumulam quantidades de compostos-alvo que refletem as concentrações médias ponderadas

Analito	CAS	D (10 ⁻⁶ cm ² /s) (25 °C)	Limites de Reporte (ng/L, 25 °C)*	
			7 dias	21 dias
6:2 FTS (Ácido 6:2 Fluorotelômero Sulfônico)	27619-97-2	4,96	2,00	0,66
HFPO-DA (Ácido Dímico de Óxido de Hexafluoropropileno)	62037-80-3	5	0,99	0,33
PFBA (Ácido Perfluorobutanoico)	375-22-4	6,46	1,53	0,51
PFBS (Ácido Perfluorobutano Sulfônico)	375-73-5	6,22	0,80	0,26
PFDA (Ácido Perfluorodecanoico)	335-76-2	3,46	4,29	1,43
PFHpA (Ácido Perfluoroheptanoico)	375-85-9	5,87	0,89	0,89
PFHpS (Ácido Perfluoroheptano Sulfônico)	375-92-8	5,62	0,93	0,31
PFHxA (Ácido Perfluorohexanoico)	307-24-4	5,33	0,93	0,31
PFHxS (Ácido Perfluorohexano Sulfônico)	355-46-4	5,04	1,03	0,34
PFNA (Ácido Perfluorononanoico)	375-95-1	4,12	15,62	5,21
PFOA (Ácido Perfluorooctanoico)	335-67-1	4,75	10,42	3,47
PFOS (Ácido Perfluorooctano Sulfônico)	1763-23-1	4,55	1,15	0,38
PFPeA (Ácido Perfluoropentanoico)	2706-90-3	6,06	0,82	0,27
PFPeS (Ácido Perfluoropentano Sulfônico)	2706-91-4	5,87	0,89	0,30

Tabela 2: Lista dos PFAS (analitos alvo), coeficientes de difusão (D), e limites de reporte validados para amostradores DTG.

*Os limites de reporte dependem de tempos de ativação limites. Tempos entre 3 até 21 dias são considerados ótimos. É necessário registrar a temperatura durante o período, visando resultados acurados. Idealmente a média da temperatura pode ser obtida a partir do registro dos dados.

ao longo do período de implantação. Dependendo do procedimento de preparação de amostras no laboratório, a amostragem pontual permite a análise de concentrações totais dissolvidas (compostos livres + ligados a coloides que podem passar pelo filtro) ou concentrações totais (compostos dissolvidos + coloides + particulados). Ao contrário da amostragem pontual, a amostragem passiva permite medir apenas a concentração de compostos livremente dissolvidos.

Amostradores DGT

Os amostradores DGT consistem em três componentes principais: uma camada de hidrogel, uma camada de gel difusivo e uma membrana filtrante. A camada de hidrogel atua como uma fase de ligação para os analitos-alvo, enquanto a camada de gel difusivo facilita a difusão controlada dos analitos em direção à camada de ligação. Os analitos são então imobilizados no hidrogel, permitindo sua preservação durante a recuperação da amostra.



Amostragem e Análise de Amostras
Os amostradores DGT são adequados para todos os tipos de matrizes aquáticas (água doce, água do mar ou águas residuais). Eles são implantados em águas correntes, fixados por uma linha de pesca a um dispositivo de implantação. Após a recuperação do ambiente de implantação e enxágue com água ultrapura, os amostradores DGT são transportados para o laboratório em sacos plásticos com umidade controlada. No laboratório, os amostradores expostos são removidos dos sacos, desmontados e o gel de ligação é separado das outras partes. A camada de ligação é extraída por 24 horas, totalmente imersa em metanol contendo 0,5% de NH₄OH. O extrato é concentrado por nitrogênio, filtrado e analisado por UHPLC-MS/MS (cromatografia líquida de ultra/alta performance acoplada à espectrometria de massas em tandem). A identificação e quantificação dos PFAS-alvo baseiam-se na abordagem de calibração com padrão interno. O método é validado e envolve 14 compostos PFAS para os quais os coeficientes de difusão (D) são especificados pelo fabricante (tabela 2).

Conclusões

O Brasil ainda necessita investir em regulamentações mais específicas e promover o uso de tecnologias inovadoras além de fomentar estudos sobre a presença e os efeitos dos PFAS em diferentes contextos.

Com estratégias alinhadas às melhores práticas globais, o país pode avançar no gerenciamento desses compostos, protegendo. O enfrentamento do problema dos é um passo crucial para garantir a qualidade de nossos recursos hídricos. A amostragem passiva,

particularmente com amostradores DGT, se destaca como uma implementação tecnológica nesse cenário. Fornece uma abordagem valiosa para entender as dinâmicas da qualidade da água ao longo do tempo. Ao superar muitas das limitações da amostragem pontual convencional, os amostradores DGT contribuem para uma avaliação mais abrangente e precisa da qualidade da água, apoiando decisões sustentáveis de gestão ambiental. Pesquisas contínuas e a integração de métodos de amostragem passiva em programas de monitoramento desempenharão, sem dúvida, um papel vital na proteção dos ecossistemas aquáticos.

Referências

1. [Enviromail 1 Brasil - As substâncias perfluoralquiladas \(PFAS\)](#)
2. [Enviromail 24 Brasil - PFAS - O que são e por que devemos nos preocupar?](#)
3. [Enviromail 26 Brasil - Amostragem passiva de vapores orgânicos](#)
4. [Enviromail 32 Brasil - Análise de PFAS e seus impactos no meio ambiente](#)
5. [Enviromail 44 Brasil - Perguntas frequentes em testes e ensaios ambientais](#)
6. [Enviromail 13 Europe](#)
7. www.dgtresearch.com/organic-analytes/
8. Development and Applications of Novel DGT Passive Samplers for Measuring 12 Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Natural Waters and Wastewaters; Zhou Fang, et al.; Environmental Science & Technology 2021 55 (14), 9548-9556.
9. Passive Sampling in Regulatory Chemical Monitoring of Nonpolar Organic Compounds in the Aquatic Environment; Kees Booij, et al.; Environmental Science & Technology 2016, 50, 1, 3-17 (Critical Review)
10. https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2023/01/Regulamentacao_port_FI_AEM-29Dec-1.pdf
11. [Brasil ainda não tem regulamentação para tratar PFAS | Saneamento Ambiental](#)
12. [Substâncias Perfluoralquiladas E Polifluoralquiladas Pfas Uma Revisão Sobre Tratamento, Regulamentação E Monitoramento.pdf](#)
13. <https://www.bbc.com/portuguese/geral-58741781>

UNIDADES DE ANÁLISES AMBIENTAIS

São Paulo

Rua Galatéia, 1824
São Paulo
+55 11 4082-4300

Rio de Janeiro

Rua General Argolo, 45
Rio de Janeiro
+55 21 3845-0629

Minas Gerais

Rua Clemente Aníbal Branco, 185
Contagem
+55 31 3045-8400

Bahia

Av. Santos Dumont, 7595
Lauro de Freitas
+55 71 3418-2555

Para mais informações sobre estes e outros diversos parâmetros analisados em nossas unidades ambientais, entre em contato com **Fabiana Imagawa**, a Gerente Técnica da ALS Ambiental para a América Latina.

✉ fabiana.imagawa@alsglobal.com

A ALS fornece uma ampla gama de serviços de testes especializados que abrangem todas as etapas do ciclo de vida do seu projeto. Visite o site alsglobal.com para obter mais informações sobre nossos serviços e especialidades.

ALS right solutions. right partner. © Copyright 2025 ALS Limited. All rights reserved.

alsglobal.com