

1 Introdução

Esta ficha informativa fornece um resumo dos seguintes aspectos: i) a descoberta e aplicação de PFAS, ii) o surgimento de efeitos conhecidos na saúde, iii) a redução de PFAS e iv) os impactos ambientais. As substâncias PFAS são uma família de milhares de produtos químicos que variam amplamente nas suas propriedades físicas e químicas, bem como em seus riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente. As propriedades físicas e químicas exclusivas das PFAS conferem repelência a óleo, água, estabilidade química e térmica, bem como redução de atrito a uma variedade de produtos. Essas substâncias têm aplicações em muitas indústrias, incluindo as indústrias aeroespacial, de semicondutores, médica, automotiva, construção civil, eletrônica e aviação, bem como em produtos de consumo (como tapetes, roupas, móveis, cobertura para equipamentos ao ar livre e embalagens de alimentos) e de combate a incêndios (3M Company 1999a; Buck *et al.* 2011; KEMI 2015a; USEPA 2017b). Informações adicionais estão disponíveis no Documento de Orientação.

2 Descoberta e Fabricação

A química das PFAS foi descoberta no final da década de 1930. Desde a década de 1950, muitos produtos comumente usados pelos consumidores e pela indústria foram fabricados com ou a partir de PFAS. Dois processos principais, fluoração eletroquímica (ECF) e fluorotelomerização, foram (e ainda são) usados para fabricar substâncias PFAS que contenham cadeias perfluoroalquiladas: polímeros fluorados de cadeia lateral, ácidos perfluoroalquilados e surfactantes polifluoroalquilados (USEPA 2003b; Benskin, DeSilva e Martin 2010; KEMI 2015b; OCDE 2018). A **Tabela 1** resume os tipos de ácidos perfluoroalquilados (PFAAs) produzidos por esses processos. Mais de 600 processos intermediários também foram usados para produzir certas PFAS e seus produtos finais associados.

O ITRC desenvolveu uma série de fichas informativas que resumem a ciência recente e tecnologias emergentes referentes às PFAS. As informações apresentadas nesta ficha informativa e em outras sobre PFAS encontram-se descritas em maiores detalhes no **ITRC PFAS Technical and Regulatory Guidance Document (Documento de Orientação)**

(<https://pfas-1.itrcweb.org/>).

Esta ficha informativa fornece uma visão geral dos seguintes aspectos:

- descoberta e desenvolvimento de PFAS
- detecção no meio ambiente
- preocupações emergentes relacionadas aos efeitos de PFAS na saúde humana
- esforços para reduzir o uso, substituição ou ambos
- potenciais maiores fontes de liberação para o meio ambiente

Tabela 1. Processos de fabricação e potenciais PFAAs produzidos

Processo de manufatura	Substâncias polifluoradas comumente encontradas	Potenciais PFAAs Produzidos
Fluorotelomerização	FTSA ¹ , FTCA ² e FTOH	PFCAs lineares ³
Fluoração eletroquímica	FASE & FASAA	PFCAs e PFSAAs ramificados e lineares

¹ Fluorotelômero sulfonato: por exemplo, pode ser encontrado em locais de espuma formadora de película aquosa (AFFF); ² Ácidos carboxílicos fluoroteloméricos: por exemplo, ácido 5:3 pode ser encontrado no lixiviado de aterros; ³ Em certos casos, podem produzir uma mistura de carboxilatos perfluoroalquilados lineares e ramificados (PFCAs)

3 Preocupações Emergentes Ambientais e de Saúde

Conscientização dos Impactos na Saúde Pública

O conhecimento da presença de ácidos perfluoroalquilados (PFAAs) pode ser atribuído a estudos ocupacionais realizados na década de 1970 que reportaram detecções de algumas PFAS no sangue de trabalhadores expostos, e a outros estudos na década de 1990 que relataram detecções no sangue da população humana em geral (Buck *et al.* 2011). Nos últimos anos, a presença de vários PFAAs de cadeia longa (PFOA, PFOS, PFNA e PFHxS) foi medida na faixa de poucas partes por bilhão (ppb, equivalente a nanogramas por mililitro (ng/ml)) no soro sanguíneo de quase todos os residentes dos Estados Unidos e de outras nações industrializadas (Kato 2015; CDC 2018). Essas PFAS estão presentes independentemente de as pessoas terem sido expostas no local de trabalho, provavelmente devido ao uso generalizado

Histórico e Uso de Substâncias Per e Polifluoroalquiladas (PFAS) Encontradas no Meio Ambiente *cont.*

de PFAS em produtos de consumo e indústrias (Kannan *et al.* 2004; Kärman *et al.* 2006; Olsen *et al.* 2003). As concentrações de PFAS (especialmente PFOS) no sangue humano vêm diminuindo constantemente desde 2000 (ATSDR 2020a) com a eliminação voluntária de processos químicos geradores de compostos perfluorooctanílicos por um grande fabricante dos EUA.

Estudos de laboratório usando animais e estudos epidemiológicos de populações humanas mostram que a exposição a algumas PFAS pode estar associada a uma ampla gama de efeitos adversos à saúde humana (USEPA 2016c, d; ASTDR 2018e). Os estudos de toxicidade estão abordados em maiores detalhes na Seção 7.1 do Documento de Orientação. Mais recentemente, a toxicologia de outras PFAS, como fluorotelômeros e PFAAs de cadeia mais curta, bem como produtos químicos substitutos de PFAS (como o produto químico GenX), têm recebido maior atenção (CONCAWE 2016; USEPA 2016e; USEPA 2018g).

Conscientização e Detecção no meio Ambiente

Embora algumas PFAS tenham sido fabricadas desde a década de 1950, as PFAS não foram amplamente documentadas em amostras ambientais até o início dos anos 2000, pois os testes de PFAS não estavam amplamente disponíveis até aquela época. Desde os anos 2000, métodos foram (e continuam sendo) desenvolvidos com limites de detecção mais baixos na água correspondente aos níveis de potenciais efeitos à saúde humana.

Inicialmente, as investigações se concentraram principalmente nos despejos de grande porte oriundas de indústrias e locais de uso de espuma de combate a incêndios. Entretanto, desde o início dos anos 2000, a ocorrência de PFAS no meio ambiente tem sido uma área de pesquisa muito ativa, com ocorrência de certas PFAS relatadas em uma ampla variedade de matrizes (Kannan *et al.* 2004; Yamashita *et al.* 2005; Higgins *et al.* 2005; Rankin *et al.* 2016). Com a disponibilidade de métodos analíticos mais sensíveis, as PFAS (especialmente PFAAs) vêm sendo amplamente detectadas em todo o mundo. Testes realizados no suprimento de água potável em toda parte dos EUA em 2012, sob a *Third Unregulated Contaminant Monitoring Rule* (UCMR3) da USEPA, levou a quatro PFAAs adicionais (PFHpA, PFNA, PFBS, PFHxS) ganharem maior atenção. A amostragem da UCMR3 detectou PFAS em 4% do abastecimento de água potável em todo o país (Hu *et al.* 2016).

Em 2016, a USEPA emitiu um *Lifetime Health Advisory* (LHA) para dois dos PFAAs mais amplamente detectados, PFOA e PFOS. O limite do LHA foi fixado em 70 nanogramas por litro (ng/L, equivalente a partes por trilhão [ppt]) em água potável, sendo aplicável a PFOS e PFOA individualmente ou em qualquer combinação (USEPA 2016c, d). Desde a publicação da UCMR3 e do LHA, outras substâncias polifluoroalquiladas passaram a receber maior atenção e muitas agências reguladoras estaduais agora solicitam ou exigem testes para uma lista extensa de PFAAs de cadeias longa e curta e para alguns precursores potenciais de PFAAs, como fluorotelômeros, conforme ilustrado abaixo na **Figura 1**.

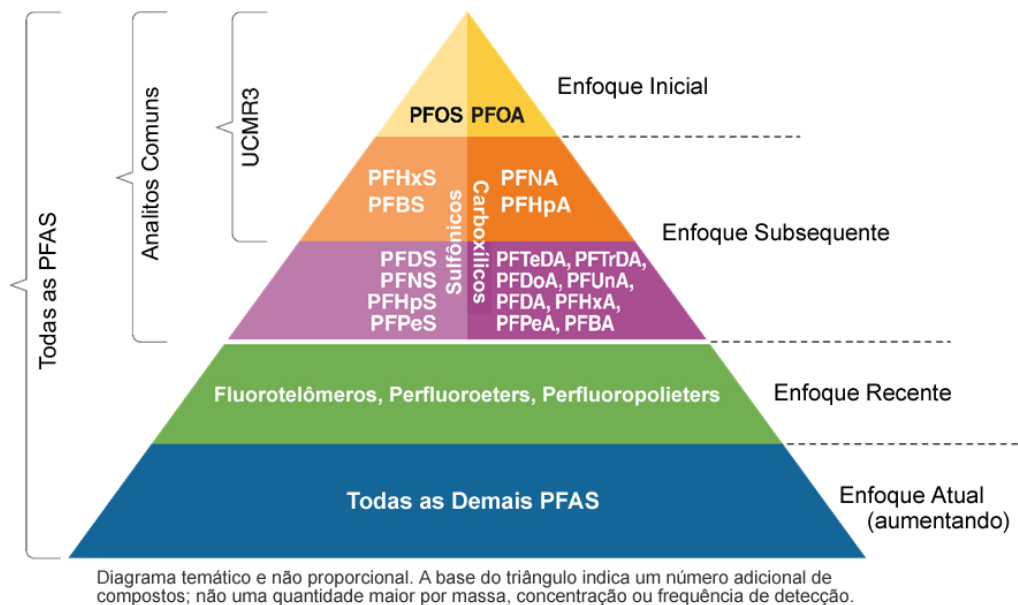


Figura 1. Conscientização emergente e ênfase na ocorrência de PFAS no meio ambiente.

Fonte: J. Hale, Kleinfelder. Usado com permissão.

Eliminação gradual de PFAS de cadeia longa

Histórico e Uso de Substâncias Per e Polifluoroalquiladas (PFAS) Encontradas no Meio Ambiente *cont.*

Devido a preocupações com os potenciais impactos à saúde e ao meio ambiente, houve uma redução dos índices de fabricação e uso de certos PFAAs de cadeia longa. PFAAs de cadeia longa incluem PFCAs com oito ou mais carbonos plenamente fluorados (por exemplo, PFOA) e sulfonatos perfluorados (PFSA) com seis ou mais carbonos totalmente fluorados (por exemplo, PFHxS e PFOS), seus sais e compostos precursores capazes de formar PFAAs de cadeia longa (Buck *et al.* 2011; OCDE 2013; Wang, Cousins, *et al.* 2015).

- Em maio de 2000, a 3M, principal fabricante mundial e única fabricante norte-americana de PFOS, anunciou a eliminação voluntária de produtos químicos perfluorooctânicos, que incluíam PFOS, PFHxS, PFOA e precursores relacionados. (USEPA 2003b; USEPA 2017e; 3M Company 2017).
- Desde 2002, a USEPA emitiu várias *Significant New Use Rules* (SNURs) como parte da *Toxic Substances Control Act* (TSCA) requerendo que a USEPA seja notificada antes de qualquer fabricação, uso e/ou importação de certas PFAS quimicamente relacionadas (USEPA 2020c).
- Em janeiro de 2006, a USEPA iniciou o *PFOA Stewardship Program* (USEPA 2006b) no qual as oito principais empresas de fabricação dessas substâncias se comprometeram a reduzir PFOA, outros PFCAs de cadeia longa e precursores relacionados (USEPA 2017e).
- A Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) é um tratado das Nações Unidas, assinado em 2001, com o objetivo de reduzir ou eliminar a produção, uso e liberação dos mais importantes POPs (KEMI 2004, 2015b; USEPA 2017j). A Convenção de Estocolmo foi alterada para incluir PFOS, PFOA e a descontinuação de tipos de uso anteriormente permitidos.

As substâncias PFAS são fabricadas globalmente e, recentemente, o aumento da produção internacional de PFAS contrabalanceou a redução global prevista com a eliminação progressiva desses compostos nos EUA (OCDE 2015b). Além disso, os esforços de eliminação gradual não impedem a importação de materiais contendo PFAS para os Estados Unidos. Detalhes adicionais relacionados à eliminação progressiva de determinadas substâncias PFAS podem ser encontrados na Seção 2 do Documento de Orientação.

Compostos Químicos Alternativos

Os fabricantes vêm desenvolvendo tecnologias de substituição, incluindo a reformulação de substâncias de cadeia mais longa ou substituindo-as por produtos químicos não fluorados, tecnologias alternativas ou perfluoroalquilados de cadeia mais curta ou substâncias polifluoradas. Algumas PFAS alternativas incluem, mas não se limitam a compostos produzidos com ECF e fluorotelomerização, como: FTOH, derivados à base de PBSF, éteres per e polifluoroalquilados (por exemplo, produtos químicos GenX e ADONA) e outros tipos de PFAS (Hori *et al.* 2006; OCDE 2007; Herzke, Olson e Posner 2012; Wang, Cousins, *et al.* 2013; Wang, Cousins, *et al.* 2015; Holmquist *et al.* 2016).

Muitas alternativas às PFAS são estruturalmente semelhantes aos seus antecessores e fabricadas pelas mesmas empresas (CONCAWE 2016; Wang, Cousins, *et al.* 2015). Com base nas evidências, alguns dos produtos químicos alternativos atingem a mesma eficácia de desempenho de alguns de seus antecessores; no entanto, ainda não está claro se isso é verdadeiro para todos os substitutos das PFAS (EPA dinamarquês, 2015). Vários estudos sugerem que alguns dos produtos químicos alternativos às PFAS podem ou não ser menos perigosos do que os predecessores de cadeia longa, embora as informações publicamente disponíveis sobre a maioria dos produtos químicos de substituição sejam limitadas (Wang, Cousins, *et al.* 2015; RIVM 2016; OECD 2015b). Informações adicionais relacionadas a produtos químicos alternativos, incluindo os desafios de análises laboratoriais e tecnologias de tratamento, podem ser encontradas no Documento de Orientação.

4 Despejo de PFAS no Meio Ambiente

As PFAS são usadas em muitas aplicações industriais e de consumo. Por exemplo:

- As PFAS são produzidas em instalações de fabricação primárias e usadas em processos de fabricação em instalações secundárias;

Alguns usos de PFAS estão resumidos na Tabela 2-4 do Documento de Orientação, incluindo, mas não limitando-se às seguintes áreas:

- Construção Civil
- Cabeamento e Fiação
- Acabamento e Galvanização de Metais
- Surfactantes Industriais e Produção de Fluoropolímeros
- Produtos e Embalagens de Papel
- Indústrias de Fotolitografia / Semicondutores
- Têxteis, Couro e Vestuário (Incluindo Carpetes e Móveis)

Histórico e Uso de Substâncias Per e Polifluoroalquiladas (PFAS) Encontradas no Meio Ambiente *cont.*

- Produtos industriais incluindo espuma formadora de película aquosa (AFFF);
- Produtos de consumo, incluindo materiais repelentes a manchas e água, embalagens de alimentos, produtos de varejo.

À medida que ocorre o aumento da amostragem ambiental para PFAS, é provável que fontes adicionais possam surgir.

As PFAS foram e ainda são amplamente utilizadas, mas nem todos os tipos e usos de PFAS resultam no mesmo nível de impacto e exposição ambiental. Ao considerar os potenciais impactos ambientais das PFAS, é fundamental ser o mais específico possível, não apenas sobre as PFAS envolvidas, mas também onde e como eles são liberados para o meio ambiente. A **Figura 2** ilustra o ciclo de vida conceitual de PFAS.

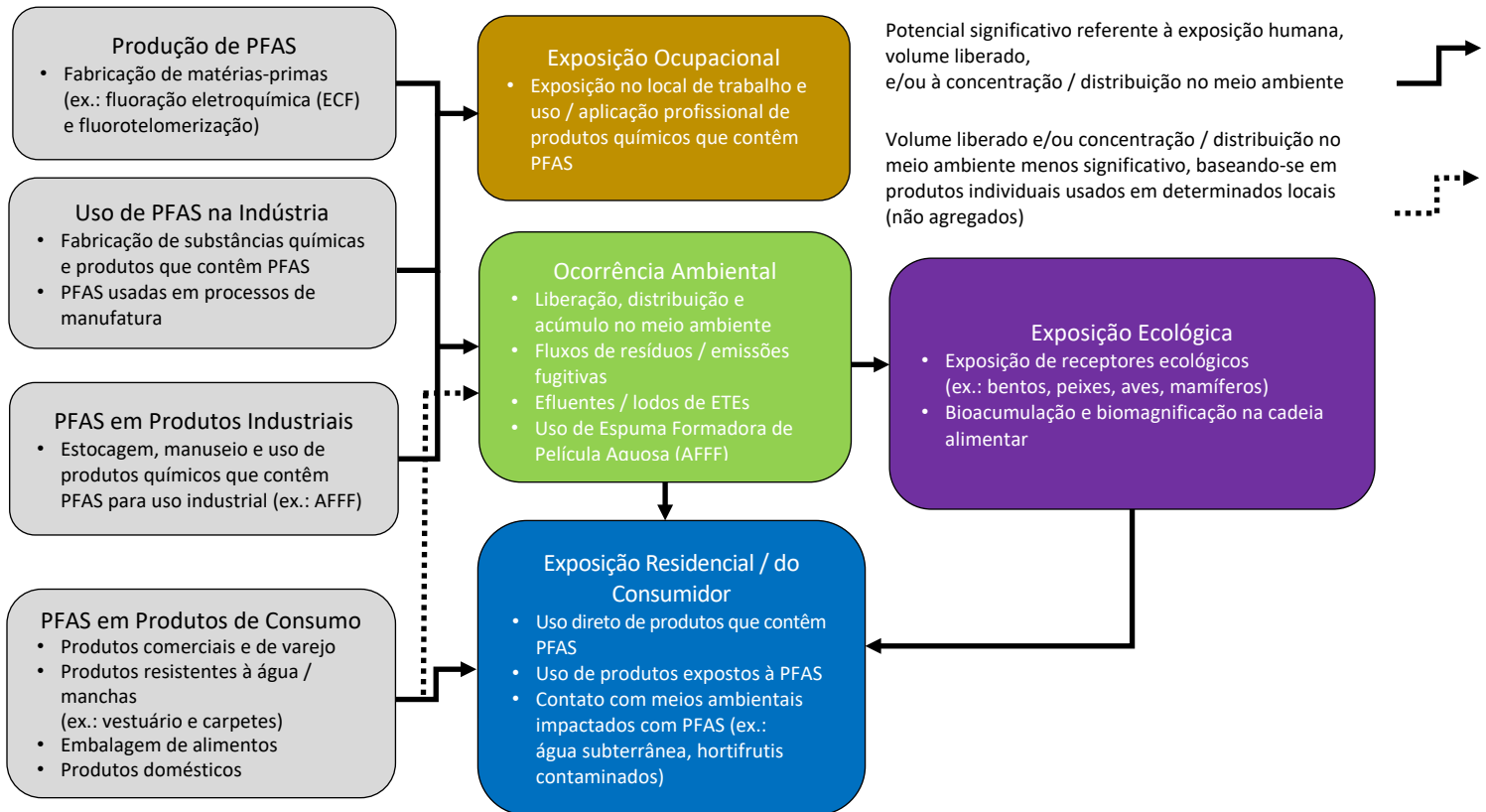


Figura 2. Usos generalizados de substâncias PFAS e exposição relativa, bem como potencial de impacto ambiental a partir do seu ciclo de vida.

Os mecanismos de despejo de instalações de fabricação primária e secundária incluem emissões atmosféricas e dispersão no ar, derramamentos e descarte de resíduos de fabricação e efluentes. Potenciais impactos no ar, solo, águas superficiais, águas pluviais e águas subterrâneas existem não apenas nas áreas de liberação, mas potencialmente em toda a área circundante (Shin *et al.* 2011).

O despejo de PFAS no meio ambiente também pode estar associado ao uso de produtos de consumo contendo PFAS e pode ser consequência do gerenciamento desses resíduos. Quando oriundas de aterros, os tipos de PFAS e suas respectivas concentrações variam muito, bem como a taxa de efluentes devido a própria variação no fluxo de processamento desses resíduos. Aterros e antigos lixões podem ser fontes de PFAS, uma vez que são repositórios de resíduos industriais, lodo de instalações de tratamento de efluentes e resíduos provenientes de remediação ambiental, todos contaminados por PFAS, bem como de resíduos de consumo contendo PFAS, como por exemplo produtos tratados com revestimentos hidrofóbicos resistentes a manchas (Busch *et al.* 2010; Eggen, Moeder e Arukwe 2010). O uso industrial e pelo consumidor de materiais contendo PFAS, incluindo a disposição do lixiviado de aterros e da espuma de combate a incêndios, podem resultar no descarte de efluentes contendo PFAS nas estações de tratamento municipais e industriais (Lin, Panchangam e Lo 2009; Ahrens *et al.* 2009), sistemas sépticos privados, ou outros sistemas de disposição de águas residuárias.

Histórico e Uso de Substâncias Per e Polifluoroalquiladas (PFAS) Encontradas no Meio Ambiente *cont.*

5 Referências e Acrônimos

As referências citadas nesta ficha informativa e outros documentos podem ser encontradas em <https://pfas-1.itrcweb.org/references/>.

Os acrônimos utilizados nesta ficha informativa e no Documento de Orientação podem ser encontrados em <https://pfas-1.itrcweb.org/acronyms/>.

Traduzido para o português por:

Associação Brasileira das Empresas de Consultoria e Engenharia Ambiental (AESAS)

Fabio Iwashita – New York DEC Fabio.Iwashita@dec.ny.gov

Angus McGrath – Stantec angus.mcgrath@stantec.com



Substâncias Per e Polifluoroalquiladas (PFAS) - Contatos

Sandra Goodrow • New Jersey Department of Environmental Protection
609-940-4164 • Sandra.Goodrow@dep.nj.gov

Kate Emma Schlosser • New Hampshire Department of Environmental Services
603-271-2910 • KateEmma.Schlosser@des.nh.gov

Agosto de 2020



ITRC
1250 H St. NW, Suite 850
Washington, DC 20005
itrcweb.org



ECOS