

PFAS (PFOA, PFOS, PFOSF, PFBS e outros)

Identificação das substâncias

Acrônimo	Nome	Fórmula	Nº CAS
Ácidos carboxílicos perfluoroalquilados			
PFBA	Perfluorobutanoato	C ₄ F ₇ O ₂	45048-62-2
	Ácido perfluorobutanoico	C ₄ HF ₇ O ₂	375-22-4
PFHxA	Perfluorohexanoato	C ₆ F ₁₁ O ₂	92612-52-7
	Ácido perfluorohexanoico	C ₆ HF ₁₁ O ₂	307-24-4
PFHpA	Perfluoroheptanoato	C ₇ F ₁₃ O ₂	120885-29-2
	Ácido perfluoroheptanoico	C ₇ HF ₁₃ O ₂	375-85-9
PFOA	Perfluorooctanoato	C ₈ F ₁₅ O ₂	45285-51-6
	Ácido perfluorooctanoico	C ₈ HF ₁₅ O ₂	335-67-1
PFNA	Perfluorononanoato	C ₉ F ₁₇ O ₂	72007-68-2
	Ácido perfluorononanoico	C ₉ HF ₁₇ O ₂	375-95-1
PFDA	Perfluorodecanoato	C ₁₀ F ₁₉ O ₂	73829-36-4
	Ácido perfluorodecanoico	C ₁₀ HF ₁₉ O ₂	335-76-2
PFUnA	Perfluoroundecanoato	C ₁₁ F ₂₁ O ₂	196859-54-8
	Ácido perfluoroundecanoico	C ₁₁ HF ₂₁ O ₂	2058-94-8
Ácidos sulfônicos perfluoroalquilados			
PFBS	Sulfonato de perfluorobutano	C ₄ F ₉ O ₃ S	45187-15-3
	Ácido perfluorobutano sulfônico	C ₄ HF ₉ O ₃ S	375-73-5
PFPeS	Sulfonato de perfluoropentano	C ₅ F ₁₁ O ₃ S	175905-36-9
	Ácido perfluoropentano sulfônico	C ₅ HF ₁₁ O ₃ S	2706-91-4
PFHxS	Sulfonato de perfluorohexano	C ₆ F ₁₃ O ₃ S	108427-53-8
	Ácido perfluorohexano sulfônico	C ₆ HF ₁₃ O ₃ S	355-46-4
PFHpS	Sulfonato de perfluoroheptano	C ₇ F ₁₅ O ₃ S	146689-46-5
	Ácido perfluoroheptano sulfônico	C ₇ HF ₁₅ O ₃ S	375-92-8
PFOS	Sulfonato de perfluorooctano	C ₈ F ₁₇ O ₃ S	45298-90-6
	Ácido perfluorooctano sulfônico	C ₈ HF ₁₇ O ₃ S	1763-23-1
Perfluorooctano sulfonila			
PFOSF	Fluoreto de perfluorooctano sulfonila	C ₈ F ₁₈ O ₂ S	307-35-7
Perfluorooctanosulfonamidas			
PFOSA	Perfluorooctanosulfonamida	C ₈ H ₂ F ₁₇ NO ₂ S	754-91-6
N-MeFOSA	N-metil perfluorooctanosulfonamida	C ₉ H ₄ F ₁₇ NO ₂ S	31506-32-8
N-EtFOSA	N-etil perfluorooctanosulfonamida; Sulfluramida	C ₁₀ H ₆ F ₁₇ NO ₂ S	4151-50-2
Perfluorooctano sulfonamida etanoicas			
N-MeFOSE	N-Metil-n-(2-hidroxietil)perfluorooctanosulfonamida	C ₁₁ H ₈ F ₁₇ NO ₃ S	24448-09-7
N-EtFOSE	N-etil-n-(2-hidroxietil)perfluorooctano sulfonamida	C ₁₂ H ₁₀ F ₁₇ NO ₃ S	1691-99-2
Éteres de ácidos carboxílicos per- e polifluoroalquilados			
HFPO-DA	Ácido dímero de óxido de hexafluoropropileno; GenX (forma ácida)	C ₆ HF ₁₁ O ₃	13252-13-6
ADONA	Ácido 4,8-Dioxa-3H-perfluorononanoico	C ₇ H ₂ F ₁₂ O ₄	919005-14-4

Lista não exaustiva de compostos

Descrição e usos

Os **PFAS** são uma classe de substâncias organofluoradas, perfluoroalquiladas ou polifluoroalquiladas, ou seja, cadeias lineares totalmente ou parcialmente saturadas por átomos de flúor. Moléculas bastante estáveis, podem conter dezenas de átomos de flúor, ligados a grupos como carboxílico (PFOA), sulfônico (PFOS) e sulfonila (PFOSF), por exemplo. De origem antropogênica, somam dezenas de milhares de substâncias químicas, que têm a característica de repelir tanto água, como gordura, e são largamente utilizadas em muitos produtos de consumo e em processos industriais.

Fabricados desde a década de 40, estão presentes na vida diária das pessoas, em peças de roupas, revestimentos de estofados, tapetes, cortinas; em embalagens de papel que entram em contato com alimentos; em painéis antiaderentes, ceras, tintas, cosméticos e produtos de higiene pessoal. Também entram na composição de espumas de combate a incêndios, componentes eletrônicos, tratamento de imagens, fluidos hidráulicos, produtos de limpeza doméstica e industrial, formulação de inseticidas, aplicações industriais em têxteis, papel e celulose.

No Brasil, o PFOS e suas substâncias relacionadas foram utilizados em galvanoplastia até 2017, e ainda são utilizados na fabricação de sulfluramida, inseticida e formicida para o controle de formigas cortadeiras das espécies *Atta spp* ou *Acromyrmex spp*, com autorização de uso somente para agricultura e aplicação em rodovias, ferrovias, oleodutos, linhas de alta tensão e pátios industriais.

O PFOSF e o PFOS e seus sais, estão na lista de poluentes orgânicos persistentes (POPs) da Convenção de Estocolmo, em seu Anexo B (restrição na produção e uso), desde 2009. Já o PFOA e o PFHxS foram listados no anexo A (eliminação) em 2019 e 2022, respectivamente. A convenção é um tratado internacional que visa a eliminação segura desses poluentes e a limitação de sua produção e uso, do qual o Brasil é signatário. Alguns compostos têm sido desenvolvidos na tentativa de substituir estes PFAS, porém, embora menos danosos, ainda são considerados preocupantes em termos de risco à saúde humana e ao meio ambiente. Como exemplo, na tentativa de substituição do PFOS e do PFOA, foram criados PFAS de cadeia mais curta como o PFBS, ácido perfluorobutano sulfônico e seus compostos e o HFPO-DA, ácido dímero de óxido de hexafluoropropileno.

Comportamento no ambiente

Os PFAS são considerados poluentes emergentes e ganharam o apelido de “substâncias químicas eternas”, por serem extremamente estáveis, resistentes à biodegradação, fotooxidação, hidrólise e fotólise. Possuem alta mobilidade, podendo ser encontrados nos vários compartimentos físicos naturais: ar, solo e sedimento, água superficial e subterrânea.

Nos diversos ecossistemas, bioacumulam e biomagnificam na cadeia alimentar e podem, portanto, ser encontrados no corpo humano e de animais.

Os PFAS são liberados no ambiente durante a produção e uso e também podem ser gerados pela degradação de outras substâncias relacionadas. Pela sua presença em vários objetos do cotidiano, os PFAS podem ser encontrados na poeira doméstica (residências, escritórios e comércio) e no interior de veículos, ou seja, no ar de ambiente interno. Além disso, a lavagem de tecidos pode resultar na presença dessas substâncias no lodo de esgoto e até mesmo no efluente tratado. Nas localidades onde houve o uso de espumas de combate a incêndio e em bases para treinamento e simulação de incêndio, pode haver fonte de contaminação do solo e da água subterrânea, com potencial de migração para alimentos cultivados e pastagens para gado.

Em 2024, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) estabeleceu limites máximos individuais para cinco PFAS na água para consumo humano: PFOA (4,0 ppt), PFOS (4,0 ppt), PFNA (10 ppt), PFHxS (10 ppt) e HFPO-DA (10 ppt). E, considerando a ocorrência simultânea de múltiplos PFAS na água, a USEPA adotou um índice de perigo, que combina as concentrações individuais desses PFAS e suas diferenças de toxicidade, e o valor de 1 foi estabelecido como limite para a exposição combinada a dois ou mais dos compostos PFNA, PFHxS, HFPO-DA e PFBS.

Na União Europeia, a Diretiva (UE) 2020/2184 definiu dois critérios para a presença de PFAS na água para consumo humano: um limite de 0,1 µg/L (100 ppt) para a soma de 20 PFAS específicos e um limite de 0,5 µg/L (500 ppt) para a concentração total de todas as substâncias per e polifluoroalquiladas presentes na amostra, “PFAS Total”.

Exposição humana e efeitos na saúde

A exposição da população aos PFAS ocorre predominantemente por ingestão de água contaminada ou de alimentos, e pode ocorrer em menor escala por contato dérmico e inalação. Os peixes são fonte importante de exposição, principalmente ao PFOS. As crianças estão mais expostas pelas vias de contato dérmico e de ingestão oral, pelo contato com carpetes, estofados e outros objetos tratados com impermeabilizantes, bem como partículas difusas.

Diferentemente de outros POPs, os PFAS não se acumulam nas gorduras, mas se ligam às proteínas do sangue e se acumulam no fígado e na vesícula biliar. São rapidamente absorvidos pelo organismo pela via oral e eliminados lentamente. A maior preocupação para com os PFAS é sua persistência no organismo. Sulfonatos perfluoroalquilados com seis ou mais carbonos fluorados (como o PFHxS e outros PFAS de cadeia mais longa) e os ácidos

carboxílicos perfluoroalquilados com sete ou mais carbonos fluorados (PFOA e outros PFAS de cadeia mais longa) bioacumulam nos seres humanos e outros mamíferos mais do que os PFAS de cadeia mais curta.

Em animais, estudos mostram que o órgão mais afetado é o fígado, porém, pode haver efeitos nos rins e no sistema imunológico, efeitos reprodutivos e de desenvolvimento, e risco de ocorrência de câncer. Os seres humanos e roedores reagem de modo diferente aos PFOS e PFOA e nem todos os efeitos observados em ratos e camundongos podem ocorrer em seres humanos.

Estudos epidemiológicos sugerem associações entre o aumento da exposição a alguns PFAS e determinados efeitos na saúde como: aumento dos níveis de colesterol (PFOA, PFOS, PFNA e PFDA); diminuição da resposta de anticorpos de algumas vacinas (PFOA, PFOS, PFHxS e PFDA); alteração em enzimas do fígado (PFOA, PFOS e PFHxS); hipertensão gestacional e pré-eclâmpsia (PFOA e PFOS); e pequena diminuição no peso ao nascer (PFOA, PFOS).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o PFOA no Grupo 1 – cancerígeno para o ser humano e o PFOS no Grupo 2B, possível cancerígeno para o ser humano.

Referências/Sites relacionados

<http://chm.pops.int>

<https://ntp.niehs.nih.gov/publications/reports/tr/500s/tr598/index.html>

<https://scdhec.gov/sites/default/files/media/document/PFAS%20Fact%20Sheet%20v.2.pdf>

<https://www.atsdr.cdc.gov/>

<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/653.htm>

<https://www.epa.gov/chemical-research/human-health-toxicity-assessments-genx-chemicals>

<http://www.epa.gov/pfas>

<https://www.epa.gov/pfas/increasing-our-understanding-health-risks-pfas-and-how-address-them>

<https://www.epa.gov/pfas/pfas-strategic-roadmap-epas-commitments-action-2021-2024>

<http://www.healthcanada.gc.ca>

<http://www.iarc.fr/>

<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/qualidade-ambiental-e-meio-ambiente-urbano/seguranca-quimica/convencao-de-estocolmo>

<https://comptox.epa.gov/dashboard/>