

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESCOLA POLITÉCNICA**

**DÉBORA MARIA AGUIAR DE LIMA**

**Procedimentos de Amostragem para coleta de amostras de solo, água subterrânea e  
água superficial para análise do contaminante PFAS**

São Paulo

2024

**Procedimentos de Amostragem para coleta de amostras de solo, água subterrânea e  
água superficial para análise do contaminante PFAS**

**Versão Final**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
como parte dos requisitos para a obtenção  
do título de Especialista em Gestão de  
Áreas Contaminadas, Desenvolvimento  
Urbano Sustentável e Revitalização de  
Brownfields.

Orientador: Vicente de Alquino Neto

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catlogação na publicação  
Biblioteca  
Escola Politécnica

Procedimentos de Amostragem para coleta de amostras de solo, água subterrânea e água superficial para análise do contaminante PFAS, Débora Maria Aguiar de Lima; Orientador, Vicente de Alquino Neto. São Paulo :POLI,2024.

58 f.:

Monografia – MBA Gestão de Áreas Contaminadas Urbano e Sustentável e Revitalização de Brownfields, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024

Versão original

## RESUMO

Lima, D.M.A. **Procedimentos de Amostragem para coleta de amostras de solo, água subterrânea e água superficial para análise do contaminante PFAS.** 2024. Monografia (MBA Gestão de Áreas contaminadas Urbano e Sustentável e Revitalização de *Brownfields*), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024

Este estudo abordou o PFAS (substâncias per- e polifluoroalquil) e seus desafios associados à seleção adequada de técnicas de amostragem e procedimentos de asseguramento da qualidade eficazes para identificar e monitorar a contaminação por esses compostos em água e solo. Os PFAS são contaminantes persistentes que representam um sério risco à saúde humana e ambiental. Devido à suas propriedades, ele foi amplamente utilizado em escala mundial em indústrias e atualmente é um desafio ambiental, tanto na parte investigativa, quanto de remediação em um processo de descontaminação. A escassez de métodos de amostragem robustos e precisos dificulta a avaliação adequada e a quantificação desses poluentes, que possuem padrões de qualidade muito baixos. Este estudo explorou as limitações atuais das técnicas de amostragem existentes, destacando a necessidade de desenvolvimento de métodos mais eficazes para detectar e quantificar os PFAS em ambientes aquáticos e terrestres. Por meio da revisão crítica da literatura e da análise das lacunas atuais, este trabalho oferece insights cruciais para futuras pesquisas e ações voltadas para mitigar os impactos dos PFAS na saúde pública e no meio ambiente.

Palavras-chave: PFAS. Técnicas de amostragem. Contaminantes emergentes.

## **ABSTRACT**

Lima, D.M.A **Sampling Procedures for collecting soil, groundwater and surface water samples for PFAS contaminant analysis.**2024. Monografia (MBA Management of Urban and Sustainable Contaminated Areas and Revitalization of Brownfields), University of São Paulo, São Paulo, 2024

This study addressed PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances) and its challenges associated with the appropriate selection of effective sampling techniques and quality assurance procedures to identify and monitor contamination by these compounds in water and soil. PFAS are persistent contaminants that pose a serious risk to human and environmental health. Due to its properties, it has been widely used on a global scale in industries and is currently an environmental challenge, both in terms of investigation and remediation in a decontamination process. The scarcity of robust and accurate sampling methods makes it difficult to adequately assess and quantify these pollutants, which have very low quality standards. This study explored the current limitations of existing sampling techniques, highlighting the need to develop more effective methods to detect and quantify PFAS in aquatic and terrestrial environments. Through a critical review of the literature and analysis of current gaps, this work offers crucial insights for future research and actions aimed at mitigating the impacts of PFAS on public health and the environment.

**Keywords:** PFAS. Sampling Techniques. Emerging contaminantes.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura de PFAS .....	17
Tabela 3 - Processos industriais e potencial PFAAs produzidos.....	22
Tabela 4 - Densidade do PFAS e PFOA.....	23
Tabela 5 -Propriedades físicas de PFOA e PFOS.....	24
Tabela 6 - Pressão de vapor dos compostos PFOS e PFOA.....	25
Tabela 7 - Constante de Henry dos compostos PFOS e PFOA .....	25
Tabela 8 - Valores de coeficiente de sorção de carbono orgânico (Koc). ....	26
Tabela 9 - Lista de EPIs e roupas que contém e não contém PFAS.....	51
Tabela 10 - Elementos da composição de roupas que devem ser evitados .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da família PFAS.....	16
Figura 2 - Estrutura química de PFOS e PFOA.....	18
Figura 3 - Estrutura molecular do PFOA.....	19
Figura 4 - Fluxograma dos processos ECF e FT e seus produtos.....	20
Figura 5 - Isômeros ramificados e lineares de PFOS .....	21
Figura 6 - Comportamento hidrofílico e hidrofóbico do PFAS.....	23
Figura 7 - Modelo conceitual para áreas industriais. ....	28
Figura 8 - Diagrama do Piston Sampler da ASTM.....	33
Figura 9 - Diagrama de Dual tube da ASTM .....	34
Figura 10 - Protetores solares livre de PFAS.....	50
Figura 11 - Repelentes de insetos livres de PFAS .....	50

## LISTA DE SIGLAS

AFFF	Aqueous Fire Fighting Foam
CAS	Chemical Abstracts Service
DQO	Demanda química de Oxigênio
EFC	Fluoração Eletroquímica
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	Equipamento de proteção individual
FT	Fluoretelomerização
FTOH	Álcool Fluoro Telômero
HDPE	Polietileno de alta densidade
ITRC	Interstate Technology Regulatory council
LDPE	Polietileno De Baixa Densidade
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
PFAS	Substâncias perfluoroalquis
PFOA	Ácido Perfluooctano Sulfônico
PFOS	Ácido perfluorooctanóico
PTFE	Politetrafluoretileno
PVC	Cloreto de Polivinila
SPE	Solid-Phase Extraction
SQI	Substância Química de Interesse
TSS	Sólidos Totais Suspensos
USEPA	United Status Envorinmental Protection Agency
NIP	National Implementation Plan



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	11
2.	OBJETIVOS .....	13
3.	JUSTIFICATIVA.....	13
4.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	13
5.	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	14
6.	NOMENCLATURA, TERMINOLOGIA, SINÔNIMOS .....	15
6.1.1.1	.PFOA-ÁCIDOPERFLUOROOCTANÓICO .....	18
7.	PROCESSOS INDUSTRIAIS LIGADOS A FORMAÇÃO DE PFAS .....	20
7.1.	Fluoração eletroquímica (EFC) .....	20
7.2.	Fluotelomerização .....	21
8.	PROPRIEDADES FÍSICO QUÍMICAS .....	22
8.1.	Densidade .....	22
8.2.	Solubilidade .....	24
8.3.	Pressão de vapor .....	24
8.4.	Constante de Henry .....	25
8.5.	Coeficiente de adsorção.....	26
9.	IMPACTO AMBIENTAL .....	27
9.1.	Impactos a saúde de seres vivos .....	29
9.2.	Impactos na biota.....	30
10.	PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM PARA ÁGUA E SOLO .....	30
10.1.	Amostragem de Solo .....	31
10.2.	Água Subterrânea .....	35
10.4.	Composição e materiais dos poços de monitoramento.....	37
10.4.1.	Posicionamento dos poços de monitoramento para a coleta de amostras de água subterrânea.....	38
10.4.2.	Técnicas de amostragem para água subterrânea.....	38
10.5.	Água superficial.....	39
10.5.1.	Coleta de Espumas de combate a incêndio em água superficial .....	40
10.6.	Procedimentos de Amostragem para Água Potável .....	42
10.7.	Determinação das partículas sólidas em suspensão de água subterrânea, superficial e solo	
44		
10.8.	Água superficial.....	45

10.9. Água subterrânea .....	46
11. PROCEDIMENTOS DE ASSEGURAMENTO E CONTROLE DE QUALIDADE NA AMOSTRAGEM DE PFAS.....	47
11.1. Condutas desejáveis antes e durante e após a amostragem .....	47
11.2. Produtos pessoais.....	49
11.3. Embalagens de alimentos .....	51
11.4. Vestimenta e EPI – Equipamentos de proteção individual.....	51
11.5. Equipamentos de campo.....	52
11.6. Frascos, recipientes.....	53
11.7. Verificação de dados do local.....	53
11.8. Procedimento para descontaminação de equipamentos.....	53
12. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54

## 1. INTRODUÇÃO

Inventado na década de 30, PFAS é um grupo de substâncias químicas sintetizadas pelo homem e foram amplamente produzidos e consumidos no setor industrial a partir da década de 50, devido a suas propriedades vantajosas nos processos industriais, como estabilidade térmica e química e redução do atrito a uma gama de substâncias químicas (MUELLER e SCHLOSSER, 2020).

Como consequência, ao longo dos anos, foram descobertas outras duas características desse grupo de substâncias: sua alta persistência e mobilidade no meio ambiente, e sua toxicidade. PFAS apresenta propriedades lipofóbicas e hidrofóbicas, o que o torna interessante na indústria de diversos produtos (MUELLER e SCHLOSSER, 2020).

Entre os processos industriais mais comuns onde o PFAS é presente de forma relevante são o ECF (*electrochemical fluorination* - fluoretação eletroquímica) e FT (fluorotelomerização), ambos amplamente utilizados nas indústrias aeroespacial, automotiva, eletrônica, aviação, farmacêutica, assim como, indústrias de bens de consumo como roupas, móveis, embalagens de alimentos, tapetes, entre outras como produtos antichamas (MUELLER e SCHLOSSER, 2020).

Todo PFAS apresentará em sua molécula, ligações C-F, carbono com flúor. As propriedades físico-químicas irão variar de acordo com o tamanho da cadeia principal e qual ramificação de grupo funcional esse composto apresenta em sua estrutura molecular. Os principais grupos funcionais ligados a cadeia principal serão os grupos carboxílicos, sulfonatos e hidroxilas (ITRC, 2024).

A conscientização sobre os danos à saúde humana surgiu mais tarde através de estudos realizados na década de 70, onde foram analisados exames de sangue de trabalhadores de indústrias onde se utilizavam PFAS no processo produtivo. Foram realizadas diversas pesquisas em torno desse contaminante emergente (MUELLER e SCHLOSSER, 2020).

As pesquisas acerca dos riscos aos seres vivos foram iniciadas em meados de 2000, inicialmente com o foco em espumas de combate ao incêndio utilizados por bombeiros nos EUA, uma das fontes de PFAS. E em seguida, foram realizados estudos em outras matrizes e outros tipos de PFAS. Duas substâncias que mais foram encontradas no meio ambiente são o PFOA e PFOS, que será retratado nesse presente estudo. Após muitas pesquisas, surgiram métodos de análise analíticos mais sensíveis, e com isso, PFAS foi investigado em escala global (MUELLER e SCHLOSSER, 2020).

Sabe-se que existem mais de 12000 substâncias químicas da família PFAS, porém somente 4700 destas substâncias possuem número CAS (*Chemical Abstracts Service*), ou seja, a identificação do composto químico. PFAS já foi encontrado no sangue humano, leite materno, fios de cabelo e tecidos, assim como já foi encontrado em tecidos de animais como peixes. Muitos países tomaram providências em relação a restrição do uso de PFAS através da Convenção da Basileia, Roterdã e Estocolmo (BRS) e Convenção de Poluentes Orgânicos Persistentes (POP) (KLINGELHOFER, BRAUN, *et al.*, 2024).

Na convenção de Estocolmo, os países assinam um acordo, além de ter o plano nacional de implementação (PNI, em inglês NIP), onde são listadas obrigações a serem cumpridas dentro do acordo. O primeiro PIN brasileiro foi em 2015, e foram listadas as 23 substâncias POPs utilizadas até 2013. Dentre elas, foi citado o PFOS, seus sais e PFOSF. Essas substâncias foram amplamente utilizadas no Brasil a sulfluramida na produção de inseticidas para formigas. Outro uso muito amplo no território brasileiro foi de PFOS na galvanização. Estima-se que entre 2009 a 2018, foram usados em torno de 50 toneladas anualmente para produção de inseticidas e 1,876 toneladas de PFOS para galvanização no período de 2011. Por essas razões, é imprescindível a adequada investigação ambiental no Brasil. Entre as etapas mais importantes de uma investigação ambiental temos as amostragens de matrizes contaminadas (MACHADO TORRES, GUIDA, *et al.*, 2022).

Amostrar solo ou água contaminada com PFAS tem sido um grande desafio para pesquisadores e técnicos de campo, devido ao fato de que até mesmo o material utilizado na coleta pode conter PFAS. Portanto, um trabalho de campo envolvendo essa substância química de interesse deve ser detalhado para obter maior precisão e exatidão.

A amostragem para esse composto químico é semelhante a outros compostos, porém exigem considerações e protocolos específicos por existir um potencial elevado de contaminação cruzada, por seus padrões de referência serem baixos e porque geralmente equipamentos e materiais utilizados na coleta podem ou contêm PFAS. Durante a amostragem, alguns materiais irão entrar em contato com a amostra e outros não terão contato direto. (GOODROW e SCHLOSSER, 2020)

Ainda há uma escassez em estudos mostrando a contaminação cruzada na amostragem de PFAS. Esse presente estudo apontou as mais recentes pesquisas já realizadas e publicadas e tecnologias utilizadas em outros países assim como seus resultados.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo dessa monografia foi revisar estudos anteriormente desenvolvidos sobre PFAS com o foco em técnicas de amostragem de matrizes como solo e água. Foram exemplificadas as técnicas já elaboradas, seus resultados e o que potencialmente pode ser melhorado.

## **3. JUSTIFICATIVA**

Devido a ampla abrangência dos compostos PFAS na sociedade e os impactos negativos ao meio ambiente e saúde humana, o estudo visa abranger aspectos convenientes as dificuldades de amostragem que profissionais enfrentam em um processo de identificação de PFAS em matrizes como solo e água, que possuem padrões de qualidade e valores de screening e de tomada de decisão na grandeza de Parte Por Trilhão (PPT). Amostrar esse composto químico ainda é um desafio e carece de estudos.

Esse grupo de compostos possui alta persistência e mobilidade e o seu uso foi amplamente utilizado em escala industrial e global, portanto é imprescindível para a manutenção da saúde humana e ambiental o conhecimento de técnicas assertivas de amostragem de PFAS e reparação de seus respectivos danos ao meio ambiente.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Essa monografia teve como materiais e métodos a revisão bibliográfica de estudos anteriormente desenvolvidos e reconhecidos cientificamente. A revisão bibliográfica foi realizada através da rede VPN da USP.

## 5. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Mudanças acontecem a todo momento em escala global. Cada década temos inovações, modos diferentes de criar, pensar e viver. Com o boom da indústria na década de 40, surgiram novos compostos químicos que seriam utilizados nos processos industriais. A princípio todas as criações têm o intuito de melhorar o desempenho de algo. Porém como toda substância ou objeto novo não sabemos as consequências de seu uso em larga escala ao decorrer dos anos (MUELLER e SCHLOSSER, 2020).

No final da década de 30, Roy J. Plunket conduzia experimentos comerciais de refrigerantes com clorofluorcarbono no laboratório da empresa Dupont, quando encontrou PTFE (politetrafluoroetileno). E então, desde a década de 40, inúmeros produtos foram produzidos com ou por meio de PFAS (MUELLER e SCHLOSSER, 2020).

PFAS é definido como um conjunto de substâncias denominadas per ou polifluorenoalquil que variam em sua composição química e suas propriedades físicas. O seu amplo uso e sua atual presença no meio ambiente se deve a vantagens desse composto no processo industrial, como redução de atrito, estabilidade química e termal a diversas matérias primas e produtos. Essas substâncias PFAS foram fabricados em indústrias diversas, como aeroespacial, aviação, automotiva, de construção, farmacêutica, como também em produtos de uso pessoal como carpetes, roupas, móveis, embalagens alimentícias (ITRC, 2024).

O número de substâncias estudadas provindas de PFAS aumentou em grande quantidade no decorrer dos anos e estima-se que existam 5000 a 10000 substâncias da família PFAS. Atualmente, 4700 delas possuem número CAS, ou seja, são registradas no banco de dados da Chemical Abstracts Service (ITRC, 2024).

Devido à alta toxicidade e persistência do PFAS, aumentou-se a preocupação em relação a saúde de seres vivos e contaminação do meio ambiente. Em vista disso, em meados dos anos 2000, as indústrias pensaram em diminuir o uso de PFAS em suas produções e de inserir alternativas de seu uso (MUELLER e SCHLOSSER, 2020).

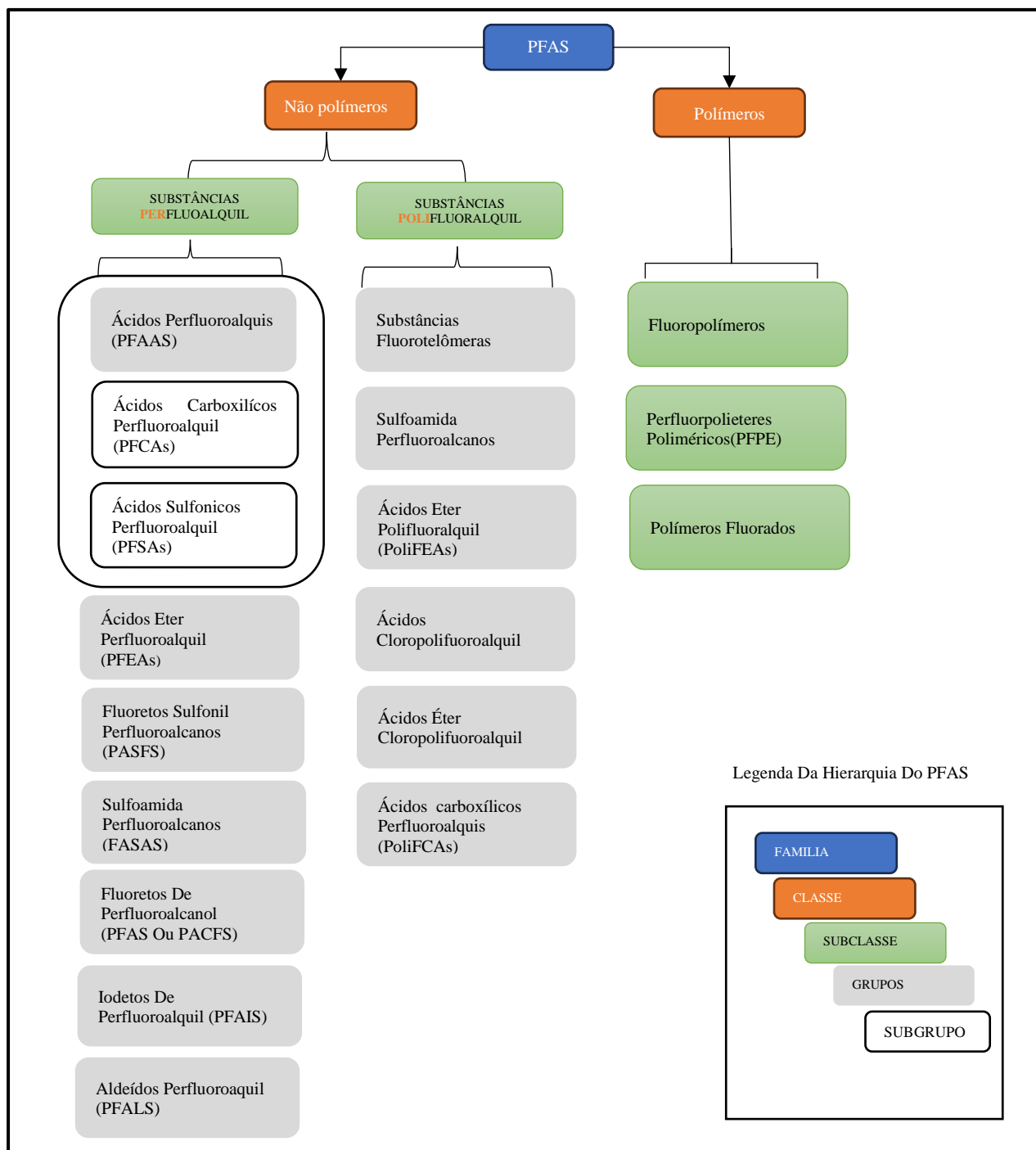
## 6. NOMENCLATURA, TERMINOLOGIA, SINÔNIMOS

Os PFAs são substâncias alifáticas altamente fluoradas com um ou mais átomos de carbono ligados a átomos de flúor em que os hidrogênios foram substituídos por átomos de fluorina. Segundo o guia de PFAS do ITRC, Glugle et al (2022) adiciona algumas definições sobre PFAS como substâncias em que a cadeia de perfluorocarbono conectada com grupos funcionais em suas extremidades, substâncias aromáticas que tem ramificações laterais de perfluoroalquil e substâncias cicloalifáticas fluoradas. PFAS pode existir em vários estados iônicos (ácidos, ânions, cátions). Dependendo do estado iônico, as propriedades químicas e físicas como solubilidade, volatilidade e potencial de bioacumulação mudam (WENZEL e DENLY, 2023).

Substâncias da família PFAS tem ampla variedade de composição e tem em comum a estrutura perfluoroalquil em sua molécula. Podem apresentar diferentes tipos de estado físico (sólido, gasoso, líquido), solubilidade, assim como volatilidade e potenciais de bioacumulação. O mais detectado no meio ambiente são os PFAS não polímeros que são precursores e podem se transformar em formas mais persistentes (WENZEL e DENLY, 2023).

A figura 1 apresenta um fluxograma da família PFAS, adaptado do guia de PFAS da ITRC:

Figura 1 - Fluxograma da família PFAS



Fonte: Fluxograma adaptado do Guia PFAS ITRC (WENZEL e DENLY, 2023)



PFAS não polímeros são subdivididos em dois subgrupos: polifluoralquil e perfluoroalquil. Substâncias perfluoroalquil representam uma subclasse dos PFAS não polímeros e são moléculas de alcano totalmente fluoradas (WENZEL e DENLY, 2023). A nomenclatura do PFAS é composta por:

PFXY

PF = Perfluoro

X = Comprimento da cadeia de carbono

Y = Grupo funcional

A = Ácido carboxílico

S = Ácido sulfônico

A tabela 1 mostra composição das substâncias PFOA e PFOS, que vamos destacar nesse estudo, por elas serem mais presentes no meio ambiente.

Tabela 1 - Nomenclatura de PFAS

X	Y	Acrônimo	Nome	Fórmula	Número CAS
O= octa (8 carbonos)	A= Ácido carboxílico	PFOA	Perfluorooctanoato	$C_7F_{15}CO_2$	45285-51-6
			Ácido perfluorooctanóico	$C_7F_{15}COOH$	335-67-1
	S = Ácido sulfônico	PFOS	Sulfonato	$C_8F_{17}SO_3^-$	45298-90-6
			perfluorooctanoano		
			Ácido sulfônico	$C_8F_{17}SO_3H$	1763-23-1
			perfluorooctanoano		

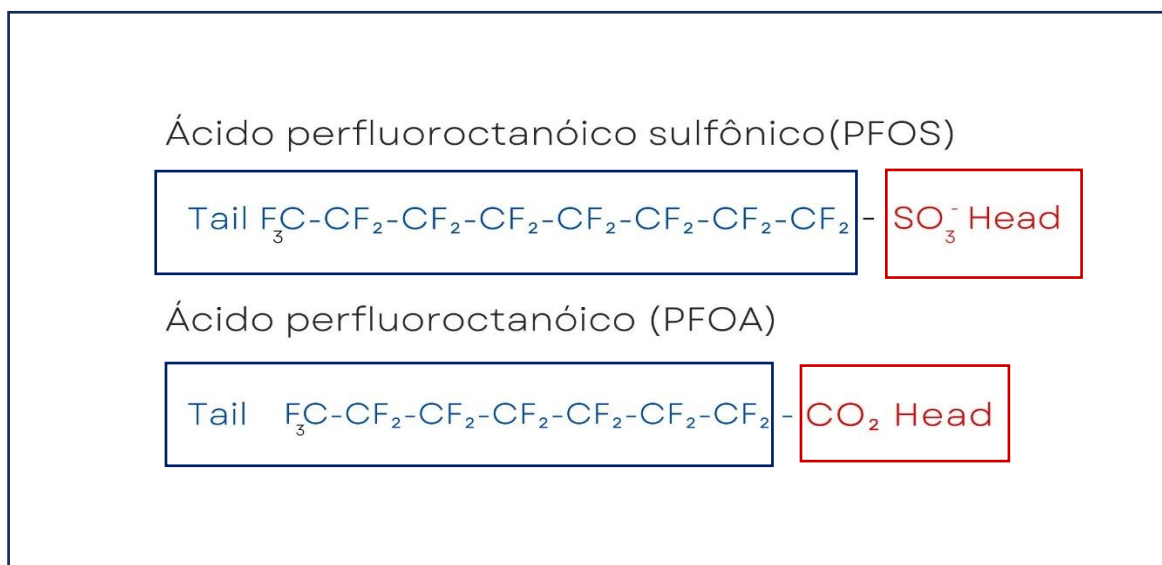
Fonte: Tabela adaptada no Guia de PFAS – ITRC (WENZEL e DENLY, 2023)

### 6.1.PFAAS (ÁCIDOS PERLIFLUOROALQUIL)

Inserido na subclasse perfluoroalquis, está o grupo dos ácidos perfluoroalquis (PFAAs). Segundo estudos, esse grupo está em predominância no meio ambiente. Dentro desse grupo PFAAs, encontram-se dois subgrupos PFOS e PFOA. Suas estruturas químicas são representadas por cadeia principal também chamada de “tail”, que é composta por átomos de carbono e flúor e tem em sua extremidade chamada de “head”, um grupo funcional conectado, podendo ser dióxido de carbono  $CO_2$  ou trióxido de enxofre  $SO_3$  (ITRC, 2024).

Quando ligados a dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  será nomeado de ácido perfluorooctanoico (PFOA) e quando temos trióxido de enxofre em sua extremidade, a molécula será chamada de ácido perfluorooctanoico sulfônico (PFOS). A figura 2 demonstra como é a composição dessas moléculas (ITRC, 2024).

Figura 2 - Estrutura química de PFOS e PFOA



Fonte: Adaptada do guia de PFAS da ITRC (ITRC, 2024).

### 6.1.1. PFCA – ÁCIDO PERFLUOROALQUIL CARBOXILÍCO

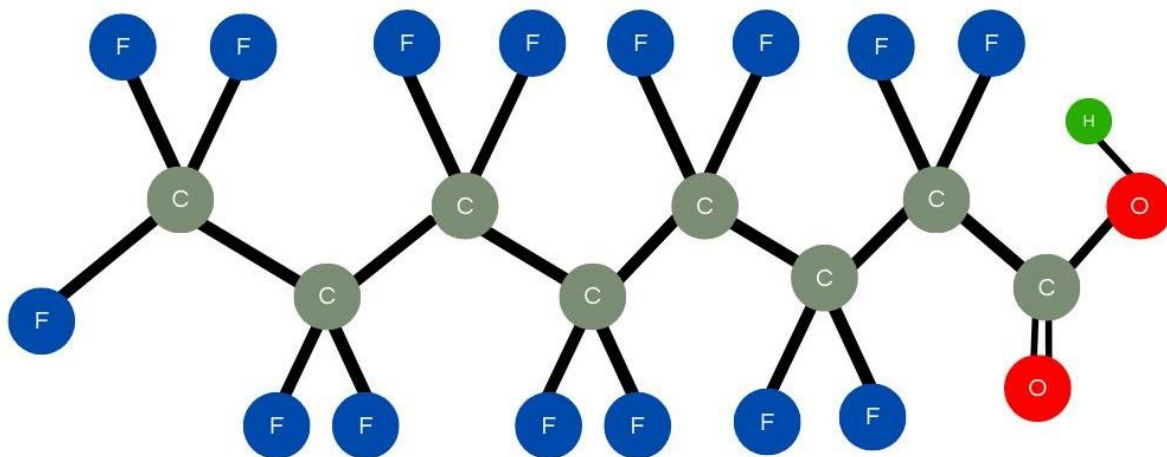
Amplamente utilizado comercialmente, PFCA é um grupo que pode ser formado pelo produto de degradação de substâncias polifluoroalquil, tal como Álcoois fluoro telômeros (FTOH). Um exemplo desse grupo é o PFOA (ITRC, 2024).

#### 6.1.1.1. PFOA – ÁCIDO PERFLUOROOCTANÓICO

PFOA é nomeado como ácido perfluorooctanoico e é um dos produtos gerados pelo processo industrial de fluorotelomerização. A figura 3 mostra esferas cinzas que representam átomos de carbono ligados em uma cadeia; são oito deles, por isso essa substância apresenta "octano" em sua nomenclatura. As esferas azuis representam átomos de flúor ligados aos átomos de carbono. Os átomos de oxigênio estão representados pelas esferas vermelhas. Já a esfera verde representa um átomo de hidrogênio que se dissolve na água, o que torna a molécula um ácido. Átomos de flúor estão ligados ao carbono tornando isso perfluorado. Se alguns dos átomos de flúor fossem substituídos por outros átomos (como oxigênio ou hidrogênio), seria polifluorado. Sem o hidrogênio, a "extremidade da cabeça" adquire uma carga negativa e pode

se ligar através de atração eletrostática (WENZEL e DENLY, 2023). A "extremidade da cauda" de flúor é forte e estável, conferindo-lhe propriedades repelentes à água e a lipídios, mas também tornando-a persistente no ambiente.

Figura 3 - Estrutura molecular do PFOA



Fonte: Figura adaptada do guia de PFAS da ITRC (WENZEL e DENLY, 2023)

## 6.2. PFSA – ÁCIDOS PERFLUOROALCANO SULFÔNICOS

Ácidos perfluoroalcanos sulfônicos ou sulfonatos perfluoroalcanos também foi amplamente utilizado e é o produto final de substâncias perfluoroalquils como FASES – Etanóis sulfamido perfluorooctano. Um exemplo de PFSA é PFOS.

### 6.2.1. PFOS – ÁCIDO PERFLUOROOCTANO SULFÔNICO

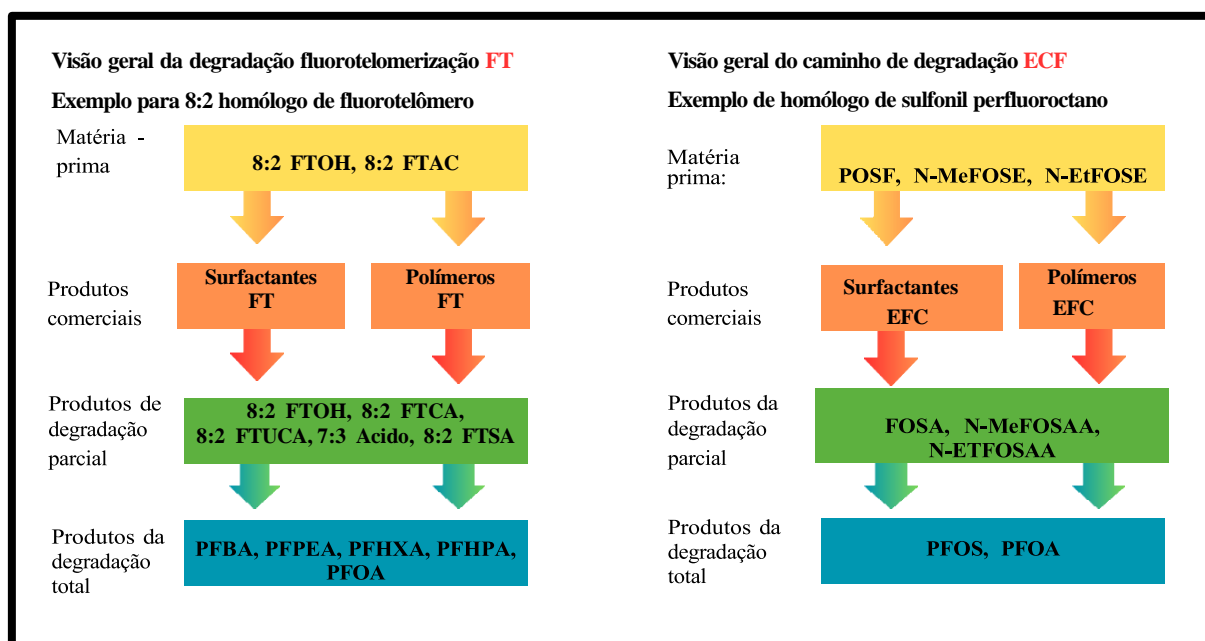
PFOS (ÁCIDO PERFLUOROOCTANO SULFÔNICO) é definido como oito átomos de carbono ligados a flúor na cadeia principal e uma ramificação de hidróxido em uma de suas extremidades. Caso os átomos de flúor fossem substituídos por outro elemento como oxigênio e hidrogênio, então a molécula seria um polifluorada (WENZEL e DENLY, 2023).

## 7. PROCESSOS INDUSTRIAIS LIGADOS A FORMAÇÃO DE PFAS

Dois processos industriais amplamente utilizados em diversas indústrias geraram algum tipo de PFAS (BURGESS e THOMAS, 2023). São chamados de fluoração eletroquímica (EFC) e fluotelomerização (FT), ambos explicados de forma mais extensa nos itens 7.1 e 7.2 desse trabalho.

A figura 4 apresenta um fluxograma desses processos, explicando a matéria prima utilizada, seus produtos parciais e totais.

Figura 4 - Fluxograma dos processos ECF e FT e seus produtos



Fonte: Fluxograma adaptado do guia PFAS do ITRC (BURGESS e THOMAS, 2023)

### 7.1. Fluoração eletroquímica (EFC)

Inicialmente chamada de Simons EFC, a fluoração eletroquímica é um processo industrial que foi comprado e licenciado pela empresa 3M em 1945 e em 1949 a mesma empresa fez o projeto piloto. Em 1951 esse processo passou para a escala comercial. (SAMOURA e LUCAS, 2023) O funcionamento dele consiste na passagem de corrente elétrica por uma solução contendo matéria prima orgânica e fluoreto de hidrogênio anidro em estado líquido, causando assim a substituição dos átomos de hidrogênio por átomos de fluoreto e assim cria-se ligações carbono – flúor (BURGESS e THOMAS, 2023).

O processo EFC, que sintetiza PFAS, pode conter uma mistura variável de derivados de carboxilato perfluorados de cadeia linear e ramificada através de produtos ou impurezas da reação. Essa composição variada se deve as matérias primas, condições do processo e equipamentos utilizados no processo EFC. Para refinar o composto gerado em sequência são realizados outros processos, como por exemplo, hidrólise e neutralização. Após estudos dos

efeitos de PFAS em seres vivos e no meio ambiente, a empresa 3M reduziu até não utilizar mais produtos que tinham como base PFAS.

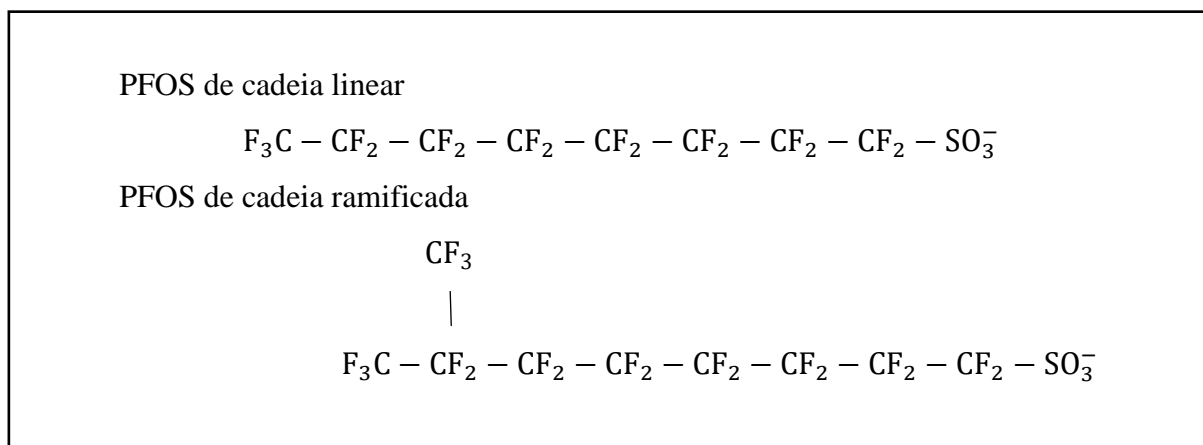
## 7.2. Fluotelomerização

Esse processo consiste na reação de iodeto perfluoroetil com tetrafluoroetileno. Seu produto será uma mistura de iodetos de perfluoroalquil lineares de carbono de números pares, conhecido como Telômero A. O telômero A reage com etileno e gera Telômero B (iodeto fluorotelômero). E então Telômero B sofre reação e produz álcool fluorotelômero (FTOHs). Os produtos Telômero A, B e FTOH são matérias primas para a fabricação de surfactantes a base de fluorotelômero (não polímero), assim como produtos polímeros. (BURGESS e THOMAS, 2023)

Muitas empresas americanas tiraram esse processo entre 2010 e 2015 para se adequar ao *Stewarship Program*, programa criado pela EPA e que visa a diminuição voluntária e gradativa de geração de PFAS por indústrias americanas.

Esse processo pode gerar isômeros de PFAS em cadeia linear e ramificada. Na figura 5, pode-se observar a estrutura molecular do PFOS em cadeia linear e em cadeia ramificada (BURGESS e THOMAS, 2023).

Figura 5 - Isômeros ramificados e lineares de PFOS



Fonte: Figura adaptada do Guia técnico de PFAS da ITRC (ITRC, 2024)

Saber se é uma cadeia linear ou ramificada é relevante para saber quais fontes do contaminante e a quanto tempo ele está lá. Além de ajudar a ter conhecimento de comportamentos do componente químico como partição, transporte e bioacumulação (BURGESS e THOMAS, 2023). A tabela 3 mostra qual PFAS é produzido em cada processo industrial.

Tabela 2 - Processos industriais e potencial PFAAs produzidos

Processo industrial	Percursos – Substâncias polifluoradas	PFAS potencialmente produzidos
FT - Fluorotelomerização	FTS <sup>1</sup>	PFCA <sup>3</sup> de cadeia linear
	FTCA <sup>2</sup>	PFCA <sup>3</sup> de cadeia linear
	FTOH	PFCA <sup>3</sup> de cadeia linear
	FASE	PFCAs e PFSAAs ambos de cadeia linear e ramificada
EFC – Fluoração eletroquímica	FASAA	PFCAs e PFSAAs ambos de cadeia linear e ramificada

<sup>1</sup> Ácido sulfônico fluorotelômero: por exemplo, pode ser encontrado em áreas de AFFF

<sup>2</sup> Ácido carboxílico fluorotelômero, por exemplo, 5:3 FTCA que pode ser encontrado em lixiviação provinda de aterros

<sup>3</sup> Em alguns casos, pode produzir uma mistura de PFCAs de cadeia linear e ramificada

Fonte: Tabela adaptada do Guia de PFAS do ITRC (ITRC, 2024).

## 8. PROPRIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

As propriedades físico químicas do PFAS é essencial para determinar o transporte e destino desse grupo de substâncias. Dados como solubilidade, constante da lei de Henry, pressão de vapor, coeficiente de adsorção são essenciais para prever seu comportamento no meio ambiente.

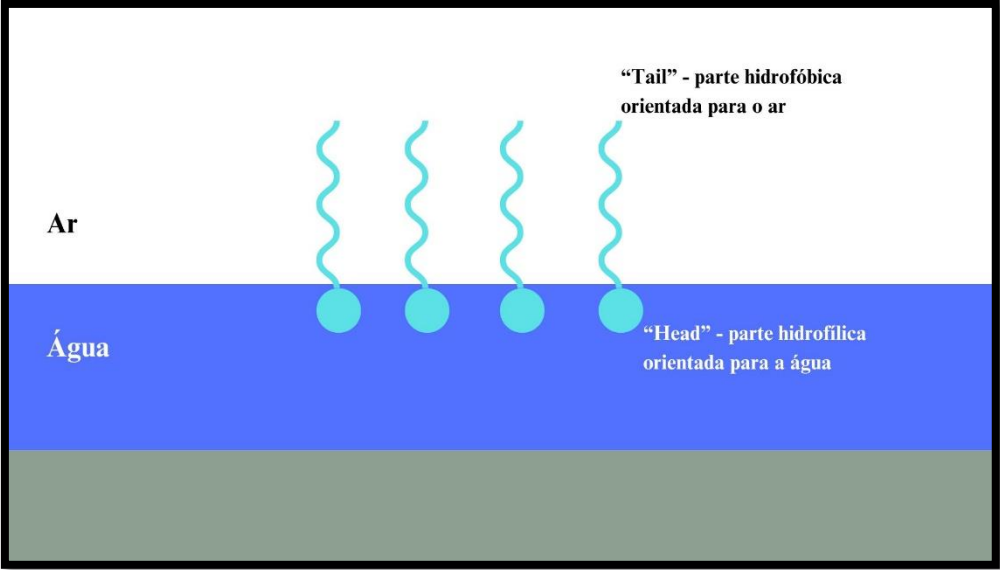
Esse presente trabalho irá focar em dois compostos mais presentes no meio ambiente PFOS e PFOA. A maioria dos PFAS tendem a estar, em temperatura ambiente, em forma sólida, cristalina ou pulverizado. Contudo os PFAS de cadeia curta e em forma ácida (PFSA, PFCA, FTS e FTOH de 4 a seis carbonos) tendem a ser líquidos.

### 8.1.Densidade

Densidade é a massa por volume de uma substância, e observados essa propriedade em relação a água para analisar o comportamento do PFAS em áreas de interesse. Fases sobrenadantes de interfaces água – ar foram observadas em estudos anteriores. Porém esse fenômeno não é por conta da densidade e sim pela característica anfifílicas presente em PFAS. Essa característica faz com que esse grupo de substâncias apresentem comportamento parecido com surfactantes e possuam propriedades hidrofílicas e hidrofóbicas ao mesmo tempo.

A parte hidrofílica ficará na água e sua parte hidrofóbica irá se acumular no ar. Porém eles poderão ser mais complexos quando o “tail” fluorado é maior em comprimento. A figura 6 exemplifica esse comportamento.

Figura 6 - Comportamento hidrofílico e hidrofóbico do PFAS



Fonte: Figura adaptada no Guia PFAS ITRC (ITRC, 2024)

Tabela 3 - Densidade do PFAS e PFOA

Nomes PFAS	Acrônimo	Peso molecular (g/mol)	Fórmula Molecular	Nº CAS	Densidade (g/cm³)		Referência
					Valor reportado	T (°C)	
Ácido perfluorooctano sulfônico	PFOS	500,1	C <sub>8</sub> F <sub>17</sub> SO <sub>3</sub> H	1763-23-1	1.84-1.85	NR	(USEPA, 2023)
Ácido perfluorooctanóico	PFOA	414,1	C <sub>7</sub> F <sub>15</sub> COOH	335-67-1	1,8	20	(ATSDR, 2021)
					1,792	NR	(3M COMPANY, 2021)

Fonte: Tabela 4 do External Data Base – Physical and Chemical Properties (ITRC, 2023)

## 8.2.Solubilidade

A solubilidade é a habilidade de determinada substância em soluto dissolver em solvente em temperaturas específicas (BURGESS e THOMAS, 2023). A tabela a seguir traz dados da solubilidade de PFOS e PFOA em água.

Tabela 4 -Propriedades físicas de PFOA e PFOS

Nome do PFAS	Acrônimo	Peso molecular (g/mol)	Fórmula Molecular	Nº CAS	Ponto de ebulição T(°C)	Ponto de fusão T(°C)	Solubilidade mol/l	Referência
Ácido perfluorooctanóico	PFOS	500,1	C <sub>8</sub> F <sub>17</sub> SO <sub>3</sub> H	1763-23-1	133-249	15,2 - 185	8,17x10 <sup>-04</sup>	EPA
Ácido perfluorooctano sulfônico	PFOA	414,4	C <sub>7</sub> F <sub>15</sub> COOH	335-67-1	188-204	(-8,69 - +65,7)	0,03	EPA

Fonte: Tabela 4 do External Data Base – Physical and Chemical Properties (ITRC, 2024)

A tabela 5 nos mostra que o composto ácido perfluooctano sulfônico (PFOA) é mais solúvel em água que o ácido perfluorooctanóico(PFOS). Portanto, PFOA terá maior tendência a solubilizar em água do que PFOA.

A tabela também indica os pontos de ebulição e fusão de PFOA e PFOS. O ponto de ebulição e de fusão indicará a tendência que a substância terá em estar nas fases gasosa, líquida ou sólida em determinadas temperaturas. Quando maior o comprimento da cadeia fluorada PFAS apresentar, maior será seus pontos de fusão e ebulição (BURGESS e THOMAS, 2023).

## 8.3.Pressão de vapor

A pressão de vapor é uma propriedade que indica a tendência do composto químico a se particionar no ar. Pressão de vapor indica a volatilidade do composto, ou seja, quanto maior a pressão de vapor, mais volátil o composto será. Compostos com baixa pressão de vapor tem a tendência a permanecer na fase líquida ou sólida, e seu transporte será realizado pelo solo ou água superficial e subterrânea. (ITRC PFAS TEAM, 2023).

A tabela 6 contém os valores de pressão de vapor para os compostos PFOS e PFOA. Podemos ver que PFOA apresenta maior pressão de vapor se comparado a PFOS, e então terá a tendência ficar em na fase gasosa.



Tabela 5 - Pressão de vapor dos compostos PFOS e PFOA

Nome do PFAS	Acrônimo	Peso molecular (g/mol)	Nº CAS	Valor reportado	Unidade	Unidades de conversão		
						Pa	log (Pa)	mm Hg
Ácido perfluorooctanóico	PFOS	500,1	1763-23-1	2,48x10 <sup>-06</sup>	mm Hg	0,0	-3,5	0,0
				0,35	mm Hg	46,0	1,7	0,3
Ácido perfluorooctano sulfônico	PFOA	414,1	335-67-1	0,27	mm Hg	36,5	1,6	0,3
				0,11	mm Hg	14,8	1,2	0,1

Fonte: External Data Base – Physical and Chemical Properties – Table 4 (ITRC, 2023)

#### 8.4. Constante de Henry

Outra propriedade físico-química importante será a constante de Henry. A constante de Henry indicará o particionamento de água-vapor que uma substância irá apresentar. Para calcular a constante de Henry devemos ter dados como peso molecular, pressão de vapor e solubilidade como mostra a fórmula a seguir:

$$K_h = \frac{V_p \times M}{S}$$

$K_h$  – Constante de Henry

$V_p$  - Pressão de vapor

$MM$  - Peso molecular

$S$  – Solubilidade

A tabela 7 mostrará os valores da constante de Henry aos compostos PFOA e PFOS

Tabela 6 - Constante de Henry dos compostos PFOS e PFOA

Nome do PFAS	Acrônimo	Formula Molecular	Nº CAS	Constante de Henry
				atm-m3/mol
Ácido perfluorooctanóico	PFOS	C <sub>8</sub> F <sub>17</sub> SO <sub>3</sub> H	1763-23-1	1,8x10 <sup>-11</sup>
Ácido perfluorooctano sulfônico	PFOA	C <sub>7</sub> F <sub>15</sub> COOH	335-67-1	1,9x10 <sup>-10</sup>

Fonte: Tabela 4 do External Data Base – Physical and Chemical Properties (ITRC, 2024)

Segundo a tabela 7, PFOA tem maior constante de Henry quando comparado ao PFOS. Quanto maior a constante de Henry, mais volátil a substância será menos solúvel a Água. Portanto, entre os compostos analisados, PFOA será mais volátil do que solúvel em água (BURGESS e THOMAS, 2023).

### 8.5. Coeficiente de adsorção

$K_{oc}$  é um parâmetro que diz qual a tendência do composto se associar ou ser absorvido por compostos orgânicos. Devido à complexidade do grupo de compostos PFAS, seu comportamento irá variar de acordo com a matriz e se o isômero da substância será linear ou ramificado (BURGESS e THOMAS, 2023).

Tabela 7 - Valores de coeficiente de sorção de carbono orgânico ( $K_{oc}$ ).

Nome PFAS	Acrônimo	Isômero	Log $K_{oc}$	Matrizes aplicáveis
Ácido perfluorooctanóico	PFOA	linear	3.11 ( $\pm 0.38$ )	Sedimento
		linear	3.68 ( $\pm 0.81$ )	Material particulado suspenso
		ramificado	2.77 ( $\pm 0.53$ ) a	Sedimento
			2.96 ( $\pm 0.48$ )	
		ramificado	2.44 ( $\pm 0.78$ ) a	Material particulado suspenso
			3.11 ( $\pm 0.79$ )	
Ácido perfluorooctano sulfônico	PFOS	Não disponível	2.15 ( $\pm 2.4$ )	Sedimento
		Não disponível	1.85 a 3.77	Solo
		linear	3.38 ( $\pm 0.43$ )	Sedimento
		linear	4.03 ( $\pm 0.56$ )	Material particulado suspenso
		ramificado	2.22 ( $\pm 0.64$ ) a	Sedimento
			3.17 ( $\pm 0.51$ )	
		ramificado	2.47 ( $\pm 0.98$ ) a	Material particulado suspenso
			3.42 ( $\pm 0.75$ )	
		linear	3.29 ( $\pm 2.7$ )	Sedimento
		Não disponível	2.6 a 3.5	Sedimento do aquífero

Fonte: Tabela adaptada do guia para PFAS ITRC (COUNCIL, 2023)

Podemos observar que o log de  $K_{oc}$  do PFOA e PFOS de cadeia ramificada em sedimento será maior em PFOA. Já comparando os isômeros de cadeia ramificada na matriz material particulado suspenso, o log de  $K_{oc}$  será maior em PFOS.

## 9. IMPACTO AMBIENTAL

Devido a suas propriedades surfactantes, de redução de fricção que beneficiam o processo produtivo industrial, PFAS tem sido produzido e utilizado em larga escala desde a década de 50 até os dias atuais. Uma gama de produtos que são considerados essenciais para saúde, segurança e vida moderna, apresenta PFAS em sua composição.

Os estudos acerca do impacto ambiental iniciaram-se na década de 2000, nos Estados Unidos. Como consequência da consciência sobre impactos negativos a saúde humana e ao meio ambiente. A década de 2000 foi marcada pela retirada de PFAS da linha de produção de empresas americanas. Eles foram encontrados em larga escala em áreas de instalações industriais de processamento e produção de PFAS e também indústrias que continham produtos com PFAS no processo de fabricações de seus produtos (STERLING e HALL, 2023)

Observou-se que sua liberação ocorre decorrente das águas industriais liberadas após o processo produtivo, assim como, emissões atmosféricas provindas das indústrias, estações de tratamento de águas residuais, áreas de produção e aplicação de biossólidos na agricultura, aterros e espumas para combate a incêndios utilizados com frequência por bombeiros (STERLING e HALL, 2023). Analisou-se a presença de PFAS em biossólidos da agricultura e concluiu que é uma relevante fonte de contaminação sobre o solo e corpos aquáticos. PFAS pôde ser encontrado em biossólidos e estações de tratamento de esgoto, mesmo após o tratamento. Portanto, a destinação dos efluentes pode acarretar em contaminação no solo, água e campos de agricultura (EHSAN, RIZA, *et al.*, 2024).

Em relação a compostagem e produtos provindos de compostagem, pode-se observar que ele será composto por, e não somente, estrume de animais, materiais orgânicos em decomposição como a grama, restos de comida e etc. Esses materiais são utilizados no processo de compostagem e possivelmente apresentam presença de PFAS (EHSAN, RIZA, *et al.*, 2024)

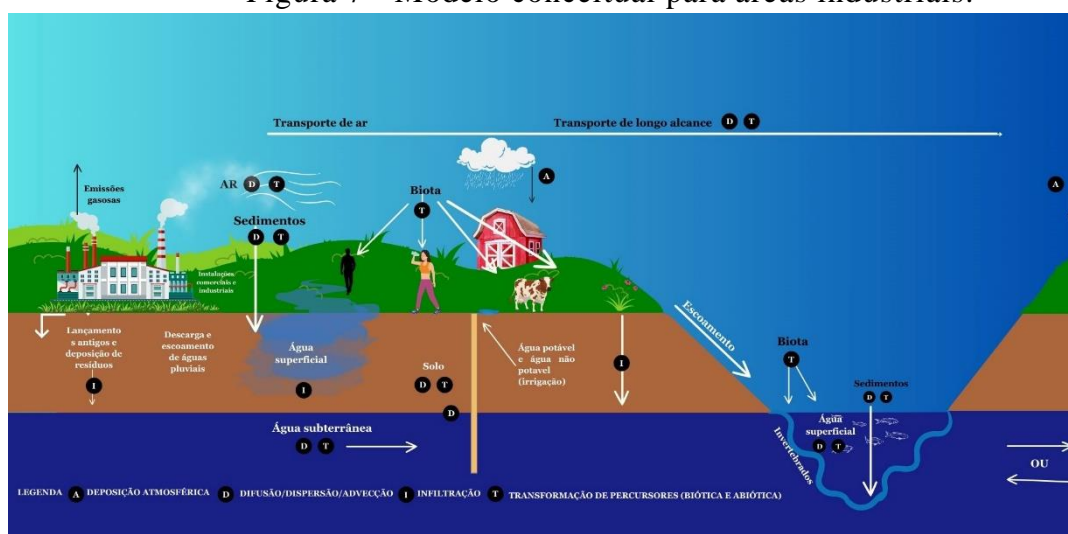
Lixiviação de aterros pode ser considerada outra fonte de contaminação, visto que os aterros possuem resíduos provindos de diferentes setores como residencial, comercial, industrial e resíduos de construção civil. O processo de lixiviação de aterros localizados em áreas úmidas acarreta em contaminação do solo e água por PFAS. Áreas ao entorno de incineração de resíduos também se mostrou contaminada. Outra fonte de contaminação são áreas ao entorno de indústrias, pela deposição gasosa e onde há descarga de efluentes industriais e áreas de treinamento de bombeiros (EHSAN, RIZA, *et al.*, 2024).

PFAS impacta as comunidades microbianas do solo. Os grupos de microrganismos são responsáveis por conservar os processos bioquímicos do solo, portanto, a contaminação pode alterar características naturais do solo. Um solo contaminado por PFAS pode deixar os microrganismos suscetíveis a absorção e acumulação do poluente. Associa-se a atividade microbiana no solo a parâmetros do solo como pH, matéria orgânica, disponibilidade de N, P e K. Compostos como PFOA e PFOS, podem acelerar a decomposição de serapilheira, o que acarreta no aumento do pH do solo. Além do aumento do pH, o solo produzirá mais  $\text{CH}_4$ , e carbono orgânico dissolvido, o que potencialmente influenciará nos sumidouros de carbono do solo. Também poderá ser alterado a população bacteriana e fúngica, reduzindo a respiração do solo (EHSAN, RIZA, *et al.*, 2024).

O impacto ambiental de PFAS será variável de acordo com sua quantidade que está no meio e o como foi liberado ao meio. Estudos mostram PFAS presentes em uma ampla variedade de matrizes como solo, água, ar, sedimentos, águas superficiais e subterrâneas, além da presença na vida silvestre (EHSAN, RIZA, *et al.*, 2024).

Observou-se também que no solo superficial, PFAS pode alterar os processos naturais das plantas e raízes, a depender do tipo de PFAS e tipo de planta analisada. Estudos notaram que quantidades maiores que 800000ng/g de PFOA pode acarretar na alteração da taxa de germinação, assim como crescimento de raízes. Altas concentrações de PFOA em folhas de plantas com raízes longas, comparado com plantas de raízes curtas podem indicar fonte de transmissão de águas subterrâneas por aquíferos já contaminados (EHSAN, RIZA, *et al.*, 2024). A figura 7 descreve os meios de liberação de PFAS em zonas industriais.

Figura 7 - Modelo conceitual para áreas industriais.



Fonte: Figura adaptada do guia PFAS, ITRC (ITRC, 2024)

Verificou-se em uma região da China, que emissões atmosféricas contendo PFAS contaminam as plantas, pois os gases são absorvidos pelos estômatos. Após esses estudos ocorreu um aumento da preocupação em torno da flora, vida silvestre e agricultura. Com esses meios impactados, acontece um espalhamento da contaminação em seres humanos com o consumo de carnes, peixes, laticínios e frutos já contaminados com PFAS (ITRC PFAS TEAM, 2023).

Para mensurar a absorção de cada planta, elaborou-se o fator de bioacumulação, ou seja, a taxa de PFAS nas plantas sobre a quantidade de PFAS no solo. Foi possível concluir que propriedades físico-químicas do solo, tais como, teor de matéria orgânica, salinidade, pH e temperatura influenciam no fator de acumulação. Também são fatores importantes a taxa de transpiração e teor de proteínas que cada planta apresenta (ITRC PFAS TEAM, 2023).

### **9.1. Impactos a saúde de seres vivos**

A preocupação em relação aos impactos causados à saúde humana e de outros seres vivos começou a aparecer depois de 2000, mesmo o PFAS sendo utilizado desde a década de 50. Os primeiros estudos registrados foram feitos com a população dos Estados Unidos. Por ser uma substância que está presente em todos os meios, solo, água superficial, água subterrânea e no ar, PFAS foi encontrado no sangue de quase toda a população americana. Além disso, PFAS está presente em produtos de uso cotidiano da sociedade. Nos animais também foi detectado a presença de PFAS e por estar presente em várias matrizes, é comum acontecer a contaminação por bioacumulação (STERLING e HALL, 2023).

Pode-se concluir que na saúde humana PFAS acarreta em inúmeros problemas de saúde, tais como, alterações em enzimas do fígado, aumento de colesterol, baixa imunidade (diminui respostas a vacinas), comprometimento do desenvolvimento de bebês, problemas endócrinos, problemas cardiovasculares, câncer de próstata e de rins (BURGESS e THOMAS, 2023).

O estudo realizado em animais concluiu que PFAS pode acarretar problemas no fígado, na imunidade, comprometimento do desenvolvimento do feto, problemas reprodutivos, tumores no fígado, próstata e no pâncreas (STERLING e HALL, 2023). Em outro estudo, onde público alvo foram mulheres grávidas, foi possível analisar que a presença de PFOA e PFOS alterar o peso, tamanho e período gestacional do bebê, por essas substâncias serem capazes de atravessar a placenta. Ainda não se sabe os efeitos de longo período disso visto que ainda temos poucos estudos a respeito do assunto (SOUZA, SARAIVA, *et al.*, 2020).

## **9.2.Impactos na biota**

Por ser substâncias que estão amplamente presente nas matrizes, a contaminação de PFAS em plantas se deve a irrigação com água contaminada, a aplicação de biossólidos, aplicação de pesticidas, o contato com o solo e a água subterrânea do local onde as plantas estão, exposição a água da chuva e o ar já contaminado com a substância (STERLING e HALL, 2023).

## **10.PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM PARA ÁGUA E SOLO**

Para um bom trabalho de investigação de contaminação ambiental, torna-se necessário amostrar o local contaminado que pode se encontrar em várias matrizes como água superficial, subterrânea, solo ou ar. A amostragem tem como objetivo identificar de forma representativa as concentrações das substâncias químicas de interesse (SQI) em um determinado volume de compartimento ambiental, definido no modelo conceitual como de importância para uma tomada de decisão (ABNT 15515-2, 2011).

Em conjunto com as características do meio físico e hidráulicas do aquífero investigado, estes dados permitirão o desenvolvimento de um modelo conceitual robusto sobre a distribuição da contaminação atual e futura, e sobre a potencial exposição dos receptores identificados.

Qual a matriz a contaminação se encontra dependerá do comportamento químico do contaminante e das características físicas específicas ao local. Sua mobilidade está relacionada a sua solubilidade, volatilidade, tendência a adsorção e biodegradabilidade.

A etapa de amostragem é essencial na investigação da área para confirmar a contaminação ou não, além de nos dar um mapa detalhado para futuramente ocorrer uma remediação, caracterização da contaminação que seja identificada e dos riscos a ela associados, e para a definição das medidas de intervenção que se façam necessárias.

As ferramentas, utilizadas no momento da amostragem sejam de ar, solo ou água, deverão ser escolhidas visando adquirir uma amostra representativa do local de interesse.

Conforme mencionado anteriormente, os PFAS tiveram uma ampla utilização em processos industriais, e as pesquisa voltada a sua identificação tem demonstrado a sua presença na maioria dos compartimentos ambientais e tecidos de organismos vivos em todo o mundo, e em todos os compartimentos ambientais avaliados, em concentrações superiores aos níveis de “triagem” definidas nos regulamentos vigentes, que diga-se, conforme o conhecimento sobre seus efeitos deletérios a saúde de humanos e outros organismos aumentam, estes níveis de

“triagem” tornam-se mais baixos, sendo necessário a análises químicas com limites de detecção e quantificação em nível de partes por trilhão.

Esta necessidade de quantificação de concentrações tão baixas tornam os procedimentos de amostragem uma fonte de erro importante, que pode gerar dados imprecisos, e assim, todos os aspectos de um protocolo de amostragem e análise exigem um nível elevado de rigor para evitar contaminação cruzada e atingir o nível de exatidão e precisão necessários para dar suporte ao processo de tomada de decisão, seja para classificar uma área como contaminada, seja para uma decisão a respeito dos riscos potenciais aos receptores identificados.

Portanto o desenvolvimento de um programa de amostragem e análise química para coleta de amostras que serão analisadas para PFAS, requerem considerações específicas para satisfazer os objetivos de qualidade de dados do projeto, gerar dados precisos e representativos, com o objetivo de alimentar um modelo conceitual defensável, que dê suporte às decisões de risco e remediação que se mostrem necessárias.

Para o desenvolvimento de um plano de amostragem de solo e água subterrânea que inclua a coletas de amostras para a análises de PFAS, deverão ser adotados os mesmos procedimentos de amostragem recomendados para a coleta de amostras destes compartimentos ambientais definidos nos regulamentos legais e técnicos aplicados ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

### **10.1.Amostragem de Solo**

Amostragem de solo é requerida com o objetivo de identificar as concentrações das substâncias químicas de interesse (SQI). Quando é necessário avaliar o solo de um local, devemos ter em mente que não será possível amostrar a área em sua totalidade, sendo necessário escolher pontos que tragam amostras representativas. Para que isso ocorra, deverá ser elaborado o plano de amostragem tendo como base o modelo conceitual da área que deve identificar os volumes de interesse para a amostragem (ABNT 16434, 2015).

Segundo o item 8.1 da Norma ABNT 16434 de 2015, a amostragem do solo será feita através de um instrumento de perfuração de tamanho apropriado, coletando-se, com mínimas deformações, amostras provenientes de superfícies de solo. O solo a ser amostrado deve vir de uma superfície intacta relativamente indeformada, ou de um amostrador tubular bipartido ou de um recipiente plástico (*liner*) (ABNT 16434, 2015).

Antes da amostragem, alguns centímetros de solo são removidos para expor uma superfície mais interna. Obtém-se uma amostra pressionando (ou martelando em alguns casos) a base do instrumento de perfuração (amostrador tubular) para dentro da superfície a ser

amostrada, ou para dentro da base ou lado de uma amostra mais representativa de solo (ABNT 16434, 2015).

A escolha do diâmetro ótimo do instrumento de perfuração dependerá das seguintes informações: tamanho da abertura do frasco de coleta (o instrumento deve se ajustar no interior da boca do frasco), tamanho das partículas do material sólido (por exemplo, partículas com granulometria grossa exigem amostradores maiores), e volume de amostra requerido para a análise (ABNT 16434, 2015).

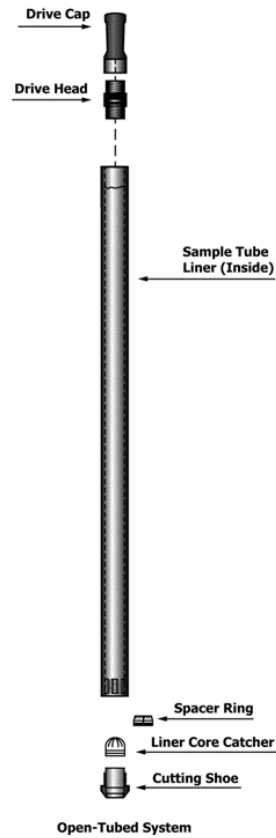
As ferramentas para a coleta de amostras de solo são as mesmas usualmente utilizadas para a coleta de amostras na investigação de áreas contaminadas. A ferramenta recomendada para coletar amostras de solo representativas, independentemente das características das substâncias químicas a serem analisadas, são os amostradores tubulares providos de liner, que permitem a coleta de uma amostra preservando a distribuição naturalmente presente das partículas sólidas que compõe o “volume” de solo definido no projeto de investigação/amostragem (ABNT 16434, 2015).

Na coleta de amostras de solo superficial, é possível assegurar uma boa qualidade de amostragem usando-se ferramentas manuais como Pás e Trados Manuais, principalmente em solo com materiais não resistentes a perfuração (ABNT 15492, 2007).

Como mencionado acima em qualquer situação deve ser priorizado o uso de amostradores tubulares acoplados a ferramentas de “direct push” (manuais ou mecanizadas) (ABNT 15492, 2007):

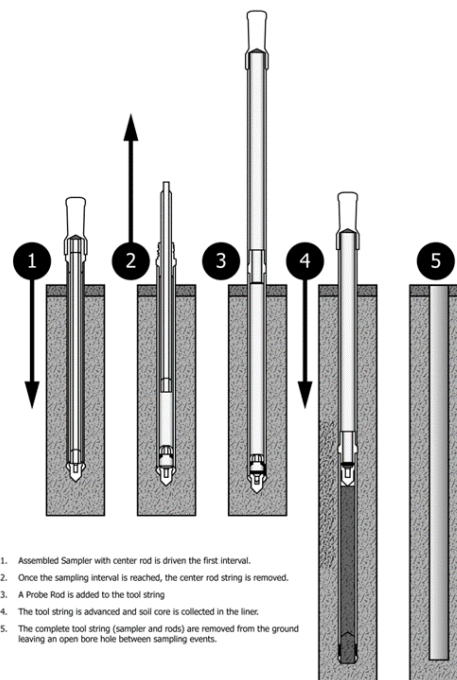


- Amostrador tubular simples (*open tubes*)



- Amostrador tubulares tipo pistão (*piston samplers*)

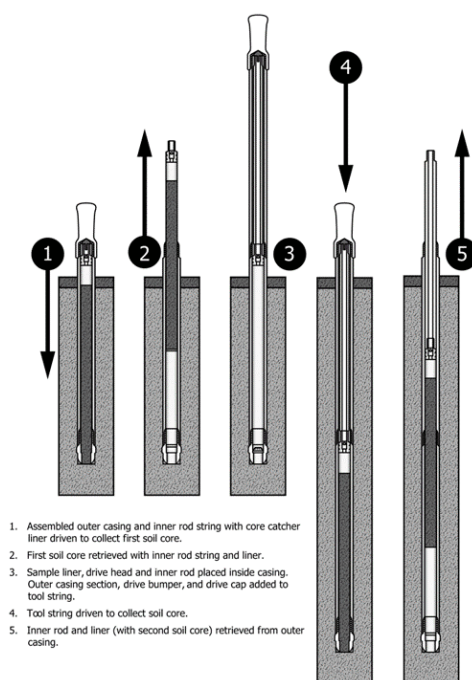
Figura 8 - Diagrama do Piston Sampler da ASTM



Fonte: (RIYIS, 2018)

- Amostradores tubulares com revestimento (*dual tubes*)

Figura 9 - Diagrama de Dual tube da ASTM



Fonte: (RIYIS, 2018)

Para a coleta de amostras compostas, com o objetivo de identificar a concentração média de uma determinada SQI, é recomendável a utilização dos procedimentos de amostragem multi-incremento - que é uma técnica onde são amostrados de 30 a 100 incrementos do solo, distribuído em toda a área definida na investigação, no modelo conceitual denominada como Unidade de Decisão. Esse tipo de amostragem diminui a variabilidade de dados, melhora a cobertura espacial e traz resultados mais precisos em relação a amostras discretas (ABNT 16434, 2015).

Na coleta de amostras de solo, simples ou discretas, deve ser assegurada uma homogeneização eficiente e consistente das amostras (ABNT 16434, 2015).

#### 10.1.1.Considerações diferenciadas para a coleta de amostras de solo a serem analisadas para Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)

O solo contaminado com PFAS tem uma distribuição multifacetada e irá ser influenciado por condições específicas do local e das características dos solos, assim como, características específicas do PFAS, como comprimento de cadeia e qual o grupo funcional ligado a cadeia.

Caso a contaminação se encontre em solos subsuperficiais, é bem provável que essa contaminação seja a fonte para contaminação de águas subterrâneas, e possivelmente superficiais.

Estudos demonstraram uma facilidade de atenuação de PFAS em superfície por adsorção, portanto, sempre que possível, deve-se manter o mínimo manuseio das amostras e colocá-las imediatamente no recipiente de amostragem. Se houver necessidade de coleta de amostras multi-incremento, onde há composição, mistura ou homogeneização das amostras, esta preparação da amostra deve ser feita em laboratório.

Se porventura a homogeneização for feita em campo, deverão ser coletadas amostras discretas extras para que seja avaliada a variabilidade e impactos no processo de composição das amostras (peneiramento, homogeneização e diminuição do volume amostral)

## **10.2.Água Subterrânea**

Amostras de água subterrânea para análise de PFAS, considerando-se as questões a necessidade de quantificação de concentrações baixas, necessárias ao processo de tomada de decisão, devem ser coletadas em poços de monitoramento, construídos e desenvolvidos de forma adequada, de acordo com as Normas Vigentes . (ABNT NBR 15495-1, 2007)

As amostras de água subterrânea são coletadas por meio de poços de monitoramento, portanto quando a SQI investigada é PFAS, deve-se ter cautela para que os materiais de construção dos poços de monitoramento não contenham PFAS em sua composição.

Na escolha dos materiais para a construção do poço, deve-se utilizar o material mais inerte, como aço inoxidável, PVC, silicone, polipropileno e HDPE.

Estudos mostram que PFAS foi localizado em bentonitas revestidas e não revestidas. Também se encontrou PFAS na composição de concretos. Itens como graxa de perfuração, argamassa e todos s materiais de construção do poço deverão ser livres de PFAS. Outros itens utilizados na construção e desenvolvimento do poço como água adicionada a formação para fins de perfuração (misturas de lama, areias) deverão ser testadas quanto a presença de PFAS, anteriormente ao seu uso (ITRC, 2023).

A composição dos materiais dos equipamentos e recipientes auxiliares (tubos, containers, coolers, etc.) não deve interferir na composição das amostras em relação a substância de interesse, no caso, PFAS.

A profundidade de coleta para PFAS deverá considerar o potencial de estratificação do PFAS dentro do aquífero (camadas de fluxo preferencial e fluxos verticais), potencial de

partição de fases (atenuação) e a tendência de acumulação desta SQI na interface ar/água, ou seja, na superfície do aquífero livre.

Deve-se considerar na construção dos poços de monitoramento que a posição da sua seção filtrante deve ser posicionada na superfície do aquífero livre junto às fontes primárias de contaminação, e nas camadas de fluxo preferencial identificadas na caracterização do meio físico. À partir do centro de massa e a jusante dela, no sentido de movimentação do fluxo da água subterrânea., garantindo assim representatividade as amostras coletadas na caracterização da contaminação e dos riscos a ela associados (ITRC, 2023).

Geralmente, equipamentos utilizados no momento de purga e amostragem de água, como bombas, anéis de vedação, juntas, bexigas, torneiras e isolamentos de fiação, contém PFAS em sua composição, portanto estes deverão ser evitados sempre que possível. Alguns componentes tem a opção de trocar por outros compostos de HDPE ou polietileno. É importante sempre consultar os fornecedores do material para verificar se ele possui alternativas livres de PFAS e de que suprimentos como liners e fio do fiador estejam livre de PFAS, (ITRC, 2023)

É necessário evitar coleta de amostras com equipamentos dedicados que possam ter PFAS em sua composição. Caso a amostragem ocorra com equipamentos dedicados e que não tenha conhecimento sobre suas composições, as detecções de PFAS deverão ser registradas para que seja feita uma análise de incertezas.

### **10.3. Poços de monitoramento**

Os poços de monitoramento serão instalados com o propósito de monitorar a qualidade da água, além de servirem para a coleta de amostras de água superficial. Para os poços de monitoramento designados para a coleta de água devem ser analisadas quanto à presença ou ausência de PFAS. É importante notar que alguns materiais utilizados na coleta podem conter PFAS. (ABNT NBR 15495-1, 2007)

Segundo a norma brasileira ABNT 15495 de 2007, os materiais utilizados na construção do poço não deverão alterar de maneira mensurável a qualidade química da amostra para as substâncias a serem avaliadas. Portanto, quando a substância avaliada é da família PFAS, torna-se necessário manter cuidados em relação aos materiais de construção do poço (ABNT NBR 15495-1, 2007).

A coleta de amostras de água subterrânea pode ser realizada utilizando bailers, bombas submersíveis, bombas de inércia e bombas peristálticas para purga. Vários fatores devem ser considerados ao escolher um dispositivo de amostragem, e é fundamental revisar

cuidadosamente as vantagens e desvantagens de cada dispositivo. Em alguns casos, pode ser apropriado utilizar um dispositivo de amostragem diferente daquele utilizado para a purga.

#### **10.4.Composição e materiais dos poços de monitoramento**

A amostragem de água subterrânea geralmente é realizada a partir de um poço, sendo necessário equipamento especializado para tal. Ao construir poços de monitoramento antes da amostragem de água subterrânea, deve-se ter cuidado para garantir que os materiais de construção do poço estejam livres de PFAS. Segundo Radford et al. (2023), no guia de PFAS do ITRC, foi detectado PFAS em formulações de bentonita revestida e não revestida, com mais PFAS individuais presentes em concentrações mais altas nas formulações revestidas. PFAS também foram adicionados a várias formulações de concreto. Graxas de perfuração, argamassa e todos os materiais de construção do poço devem ser confirmados como livres de PFAS antes do uso. Além disso, a água adicionada à formação para fins de perfuração (misturas de lama, controle de areias correntes, etc.) pode precisar ser testada quanto a PFAS antes do uso e deve ser completamente retirada do poço concluído antes da amostragem. (ITRC PFAS TEAM, 2023, p. 241)

No momento da amostragem será ideal utilizar:

- Sacolas LDPE (por exemplo, Ziploc®) que não entram em contato direto com o meio da amostra e não introduzem contaminação cruzada com as amostras podem ser utilizadas (EGLE , 2024).
- Utilize itens e materiais feitos de polietileno de alta densidade (HDPE), polipropileno, silicone, cloreto de polivinila (PVC) ou acetato.
- Mantenha os tubos na embalagem original de papelão ou sacola em que foram enviados.
- Armazene os tubos em um local limpo, livre de poeira e fibras (EGLE , 2024).
- Use linha de nylon, corda de algodão ou outro material livre de PFAS ao levantar e abaixar os bailers (EGLE , 2024).
- Ao usar bombas de bexiga, use bombas feitas de aço inoxidável com bexigas de polietileno (EGLE , 2024).
- Frascos ou recipientes de vidro podem ser usados se forem conhecidos por serem livres de PFAS, no entanto, PFAS foram encontrados para adsorver em vidro, especialmente quando a amostra está em contato com o vidro por um longo período de tempo (por exemplo, sendo armazenada em um recipiente de vidro). Se a amostra entrar em contato direto com o vidro por um curto período de tempo (por exemplo, usando um recipiente

de vidro para coletar a amostra e, em seguida, transferindo a amostra para um frasco de amostra não de vidro), a adsorção é mínima (EGLE , 2024).

- Em muitas bombas submersíveis, os anéis de vedação não entram em contato com a amostra de água subterrânea, e nesse caso, os anéis de vedação devem ser tratados como componentes internos da bomba. Os anéis de vedação apresentam uma baixa possibilidade de contaminação cruzada. Bancos de equipamentos devem ser coletados simulando procedimentos de amostragem de campo reais e não para componentes individuais da bomba (EGLE , 2024).

#### **10.4.1. Posicionamento dos poços de monitoramento para a coleta de amostras de água subterrânea.**

É crucial que seja previamente estabelecido os objetivos específicos do planejamento a amostragem, entre eles a profundidade da coleta, para que o procedimento as amostras sejam representativas. Isso se deve ao caráter de estratificação dos grupos PFAS e, de seus potenciais de particionamento, com frequente retenção na interface ar/águas da zona de franja capilar. Portanto, é importante ter amplo conhecimento das características do grupo de PFAS a ser analisado.

#### **10.4.2. Técnicas de amostragem para água subterrânea**

Técnicas de amostragem de baixa vazão ou amostragem passiva são as mais indicadas para coleta de amostras de água subterrânea para PFAS, a fim de manter baixa a turbidez das amostras, e gerar um volume mínimo de água de purga a ser encaminhada para tratamento/descarte (DEQ, 2018).

O grupo PFAS apresenta alta mobilidade em água subterrânea e possui vias de transporte relevantes, incluindo advecção e difusão, que são semelhantes às de outros contaminantes e propícias para amostragem passiva na água subterrânea.

Métodos de purga de volume determinado usando-se bombas para purga e Bailers para a coleta devem ser evitados para a coleta de amostras a serem analisadas para PFAS. Caso seja necessário o uso destes procedimentos em alguma situação, deve ser utilizado com cautela por conta do potencial do PFAS de acumular na interface ar /água, e por potencialmente causar um aumento da turbidez por conta de gerar fluxo turbulento no aquífero e arrastar partículas finas para a amostra, além de aumentar o volume de água purgada produzida (DEQ, 2018).

Recomenda-se que as amostras não sejam filtradas porque isso também pode ser uma fonte para contaminação, ou também de diminuição das concentrações de PFAS que poderá ser

absorvido no filtro. Se realmente for necessário a filtração das amostras, isso deverá ser feito em laboratório, usando um procedimento validado que inclui etapas de eliminação de contaminação que pode ocorrer devido a sorção. A centrifugação pode ser uma alternativa para eliminar problemas de sorção ou contaminação do filtro. (ABNT NBR 15487, 2024)

### **10.5. Água superficial**

Esse tipo de amostragem poderá ser feita em profundidades rasas e quando necessário utilizar embarcações como botes. Quando a coleta é realizada em rio o ideal é fazê-la movimentando-se em direção a jusante, ou seja, no sentido a favor da corrente do rio. Caso seja utilizado um barco com motor, a coleta deverá ser realizada no sentido contrário, com o motor sempre posicionado a jusante, considerando-se o sentido da correnteza do Rio (AESAS, 2024).

Na coleta de água superficial onde é necessário que o coletor entre no Rio, deve-se utilizar vestimentas e calçados impermeáveis livres de revestimentos impermeabilizantes como Gore-tex, por terem PFAS em sua composição. É recomendável vestimentas e calçados feitos de Neoprene, poliuretano ou nylon (AESAS, 2024).

Em locais onde apresentam profundidades de água abaixo de 0,3 m, a coleta será realizada 15 cm abaixo do nível d'água, porém caso a profundidade seja menor que 0,3 m, a coleta deverá ser realizada se atentando para não amostrar junto a ela sedimentos do local (AESAS, 2024).

Os recipientes utilizados na amostragem de água superficial devem ser descontaminados com lavagem tripla de água deionizada, livre de PFAS. É recomendável coletar um branco de equipamento diário, anteriormente a amostragem. Os recipientes devem ser fornecidos pelo laboratório e ser composto por HDPE ou polipropileno com tampas livres de Teflon. É importante proteger os recipientes de poeira ou fibras. A tampa do recipiente não deve encostar no chão durante a amostragem, portanto é recomendável coloca-la em superfície limpa ou contar com o apoio de outros membros da equipe de campo (EGLE, 2024).

A coleta e manuseio das amostras de água superficial devem ser feitas com luvas nitrílicas sem talco. Somente deverá abrir o recipiente no momento da coleta, evitando o contato com o ar exterior e assim que coletado deverá ser imediatamente fechado. As amostras serão embaladas em duplicadas em sacos de polietileno de baixa densidade com fecho. (AESAS, 2024)

A quantidade de amostras deverá ser duas alíquotas de 500 ml e um recipiente com menor quantidade para determinar porcentagem de sólidos. O armazenamento das amostras deve ser feito protegendo as mesmas de luz e mantendo-as a temperatura de 0 a 6°C do momento

da coleta até o recebimento do laboratório. O recebimento no laboratório deverá ocorrer em até 48 horas após a coleta. A amostra deverá ser analisada em até 90 dias se for mantida a temperatura de -20°C ou menos. Caso sejam armazenadas em temperaturas de 0 a 6°C, as amostras deverão ser analisadas em até 28 dias. (ITRC, 2023)

Para atingir os objetivos da amostragem, deve-se considerar o potencial de estratificação de PFAS na coluna d'água e sua tendência em acumular na interface ar/água. No momento da coleta, deve-se manter, se possível, os recipientes de amostragem abaixo da coluna d'água e acima de possíveis sedimentos do local (EGLE, 2024) (AECOM, 2021).

Deve-se tomar cuidado para não ter contaminação cruzada com sedimentos ou superfícies com espumas de combate a incêndio. Caso haja beakers ou mergulhadores com haste de extensão, eles somente devem ser utilizados se conter conservantes. Nesse caso, não é recomendado a imersão direta. Se for utilizado um amostrador que sele a amostra no intervalo correto de coleta, isole a amostra da água acima do intervalo determinado no momento da retirada. (ITRC, 2023).

Caso seja utilizados equipamentos submersíveis como garrafas Kemmerer, amostrador Van Dorn, deve-se usar uma corda para manuseio. (EGLE, 2024)

#### **10.5.1. Coleta de Espumas de combate a incêndio em água superficial**

O AFFF (*Aqueous Fire Fighting Foam*) ou espuma de combate a incêndio é uma substância que, ao ser misturada com água, resulta em uma solução com propriedades de tensão interfacial ideais para formar um filme aquoso. Esse filme é projetado para se espalhar sobre a superfície de combustíveis hidrocarbonetos, como óleos, gasolina, solventes e álcoois, visando extinguir incêndios e criar uma barreira de vapor entre o combustível e o oxigênio do ar, prevenindo assim a reignição. A capacidade de formação desse filme é o principal atributo do AFFF (GOODROW e HERZER, 2023).

O AFFF tem sido amplamente utilizado em uma variedade de cenários, abrangendo desde instalações industriais, como plantas químicas e depósitos de líquidos inflamáveis, até operações comerciais, como petroleiros e plataformas offshore. Também é empregado em serviços municipais, como corpos de bombeiros e centros de treinamento de combate a incêndios, além de refinarias de petróleo, terminais de armazenamento e operações de aviação. Além disso, o AFFF é encontrado em certos tipos de extintores de incêndio industriais e em instalações militares (GOODROW e HERZER, 2023).



A formação de espuma contendo PFAS é distinta do AFFF devido à sua origem a partir de PFAS em fase dissolvida em corpos d'água superficiais, transportados através do vento ou ação das ondas, que se agregam em uma massa na superfície ou acima dela, sem considerar a fonte específica de PFAS (GOODROW e HERZER, 2023).

É importante ressaltar que a presença de espuma não necessariamente implica na presença de PFAS. A espuma pode surgir de forma natural quando ocorre uma redução na tensão superficial da água e um aumento na concentração de matéria orgânica, como o carbono orgânico dissolvido que é misturado na água. A decomposição de material orgânico na água, ou eventos de tempestade que mobilizam matéria orgânica existente, também podem contribuir para a formação natural de espuma na superfície da água. Por exemplo, um estudo realizado em um lago de água doce em Michigan, investigando a presença de PFAS e carbono orgânico dissolvido na espuma, mostrou que os PFAS representavam menos de 0,1% do carbono orgânico dissolvido presente nas amostras de espuma, indicando que o carbono orgânico dissolvido era o principal responsável pela formação da espuma, e não os PFAS (GOODROW e HERZER, 2023).

Segundo estudos relatados no relatório de estudos de espuma em águas superficiais feito pelo departamento de meio ambiente do Michigan e a empresa AECOM, as espumas presentes em águas superficiais foram coletadas de duas formas. Uma forma é utilizando o coletor de piscina padrão modificado, composto por pano de musselina 100% algodão de uso único, em vez da rede de nylon padrão. E a segunda forma é coleta manual discreta. (AECOM, 2021)

A amostragem feita com o coletor de piscina padrão modificado é realizada quando musselina é esticada firmemente sobre a estrutura e fixada com grampos de aço inoxidável proporcionando uma superfície de coleta estável, que é rápida e fácil de aplicar. O coletor de superfície foi ideal para coletar amostras de espuma em águas superficiais de rios onde a espuma se acumula longe da margem, em detritos ou na base de margens íngremes, contribuindo para segurança quanto para acessibilidade dos colaboradores. No estudo, o acúmulo de espuma era fino ao longo da superfície da água (como frequentemente também é o caso em lagos), então, o coletor apresenta capacidade para coletar volume suficiente de espuma em águas superficiais sem diluição por arrastamento inadvertido de água superficial durante a coleta de amostras. (AECOM, 2021)

O segundo método utilizado durante este estudo foi a coleta manual, na qual a equipe de amostragem conseguia alcançar e coletar SWF a partir da margem ou área próxima à margem de acúmulo com as mãos protegidas por luvas nitrílicas sem pó (AECOM, 2021).

As amostras de foram cuidadosamente levantadas e depositadas diretamente em um saco Ziploc de 1 a 2 galões, etiquetadas e registradas em uma cadeia de custódia (COC). Em cada amostra no estudo, foi registrado toda a espessura da espuma encontrada no campo para evitar qualquer viés inesperado resultante da partição de PFAS dentro da coluna de espuma (AECOM, 2021).

Cada amostra de espuma em água superficial foi cuidadosamente lacrada, colocada em dois sacos e colocada em uma caixa térmica com gelo úmido ou em um refrigerador de amostras por 24 horas, até que a espuma se condensasse em líquido. Os volumes das espumas foram registrados como volumes de espuma fresca e volumes de espuma condensada para melhor compreensão da dinâmica de colapso da espuma e densidade. A espuma condensada foi filtrada através de um coador feito de musselina de algodão 100% em uma garrafa de polietileno de alta densidade (HDPE) de 250 ml (AECOM, 2021).

O conservante de RNA/DNA foi adicionado, e 20 ml do conteúdo coletado condensado foi despejado no frasco, etiquetado e preparado para envio ao laboratório para, para análises do microbiota. O volume restante foi preparado para envio aos Laboratórios Analíticos, para análise de PFAS. Um mínimo de 20 ml de espuma condensado é necessário por amostra para análise das concentrações de PFAS (AECOM, 2021).

#### **10.6.Procedimentos de Amostragem para Água Potável**

A água potável pode ser definida como toda a água utilizada para consumo humano (dessedentação, lavagem de alimentos, banhos, entre outros). A amostragem de água potável deverá ser feita em saídas diretas de água destinadas para uso e consumo, entre elas, saídas de bombas com ou sem torneiras de poços profundos; saída de poços cacimba; saídas de torneiras de uso comum; e saídas de filtros industriais para uso sanitário (AESAS, 2024).

Alguns passos relacionados a segurança e manuseio deverão ser seguidos na amostragem como: o técnico encarregado dessa amostragem deverá higienizar as mãos e utilizar luvas de nitrila sem talco. Também é recomendável a remoção dos aeradores ou telas da torneira da amostragem, caso houver; e utilizar reagente de preservação no frasco antes da coleta quando a coleta for de água tratada. Esse reagente de preservação terá a função de uma substância tampão e removerá o cloro livre. (AESAS, 2024)

Outras recomendações serão evitar o manuseio devido ao risco de perda do conservante durante a amostragem e deixar a água correr de três a cinco minutos até que se perceba a estabilização da temperatura. Agitar levemente a amostra após a coleta com o frasco tampado

para garantir a preservação e para que seja homogeneizada com o conservante. Durante o transporte, as amostras deverão ser resfriadas na temperatura recomendada.’ (AESAS, 2024)

O ideal será escolher coletar a água em torneira localizada na saída do poço ou anterior ao envio de tanques de armazenamento ou unidades de tratamento. Caso seja preciso a coleta em um ponto além do tanque de armazenamento, deve-se purgar a água em volume suficiente a proporcionar uma completa troca entre o tanque e na torneira. No caso em que a coleta seja realizada antes do tanque de armazenamento, as torneiras posteriores ao tanque deverão ser abertas para que não ocorra eventual refluxo do tanque para a torneira onde a coleta será realizada. (AESAS, 2024)

Recomenda-se evitar o contato com partes externas as torneiras para que não aconteça contaminação cruzada. Quando as torneiras se localizarem próximo ao solo, deverá ser evitado o contato dos recipientes de armazenamento com o solo ou partes externas a torneira. Em cenários onde há vazamentos de água e escorram para parte superior, podendo ter contato com a água amostrada, deverá ser realizada manutenção antes da coleta ou fazer a troca do ponto da coleta. (AESAS, 2024)

Não é recomendado o uso de torneiras com fluxos intermitentes porque essas podem gerar variações nas concentrações e com isso alteração nos resultados analíticos. O ideal será optar por amostrar em torneiras e saídas de água que tenham o fluxo contínuo. (AESAS, 2024)

Alguns protocolos são necessários para a preparação do frasco de amostra, procedimentos de coleta, controle de brancos de campo, envio e armazenamento de amostras, bem como tempos de retenção e extração das amostras. Os métodos recomendados para amostra de água potável onde é analisado PFAS são os Métodos da USEPA 537.1 e 533 (EGLE , 2024).

As diretrizes de amostragem resumidas nos referidos protocolos são as seguintes: Para os Métodos 537 e 537.1, utiliza-se um frasco de polipropileno de 250 ml fornecido pelo laboratório, equipado com uma tampa de rosca também de polipropileno (EGLE , 2024).

Para amostragem de água potável tratada, adiciona-se um agente de preservação (Trizma®, pH 7, 5 g/L) ao frasco antes da coleta, para neutralizar o cloro presente em fontes de água tratada com cloro (EGLE , 2024).

No Método 533, recomenda-se utilizar um frasco de polipropileno de 100-250 ml fornecido pelo laboratório, ou outro plástico que atenda aos requisitos de Controle de Qualidade do método, também equipado com uma tampa de rosca de polipropileno (EGLE , 2024).

Para amostragem de água tratada, utiliza-se um agente de preservação (acetato de amônio, 1 g/L) adicionado ao frasco antes da coleta, para sequestrar o cloro livre e formar cloramina em amostras de água tratada com cloro. Durante a coleta, os técnicos de campo ou

responsáveis pelo trabalho de campo devem tomar precauções para evitar a contaminação por PFAS, incluindo a lavagem cuidadosa das mãos e o uso de luvas de nitrila sem talco. A amostra deve ser mantida selada e refrigerada durante o transporte, a uma temperatura não superior a 10°C. A extração laboratorial da amostra deve ocorrer dentro de 14 dias após a coleta (Método USEPA 537.1) ou dentro de 28 dias (Método USEPA 533) (EGLE, 2024).

### **10.7.Determinação das partículas sólidas em suspensão de água subterrânea, superficial e solo**

Para determinar partículas e sólidos em suspensão em amostras líquidas deve-se utilizar outro recipiente para cada amostra e não o mesmo recipiente utilizado para analisar PFAS. O método 1633 USEPA Draft irá se aplicar nesses casos e quando a amostra líquida conter menos que 50 mg de sólidos. O método também fala de passos adicionais caso as partículas obstruam o cartucho SPE (*solid-phase extraction* – extração da fase sólida) durante a extração, incluindo o uso de SPE cartuchos adicionais. Sólidos acumulam altas concentrações de PFAS e especialmente PFAS de cadeia longa (ITRC, 2023).

Deve-se ter cautela ao resuspennder qualquer sólido e enxaguar os frascos para que as concentrações medidas considerem todas as amostras. Caso não seja pesado a massa de contaminante nas amostras com 50 mg ou mais, o PFAS (*fingerprint*) poderá ser impreciso para eficácia comparação. (ITRC, 2023)

Uma pesquisa realizada pela ITRC no ano de 2020, verificou que em 16 laboratórios onde foram analisadas amostras com sólidos em suspensão, as análises não foram consistentemente preparadas (ITRC, 2023):

- Muitos laboratórios centrifugaram as amostras e a porção de água decantou após a extração (ITRC, 2023)
- Alguns laboratórios podem também extrair partículas remanescentes e combinar o extrato com extrato aquoso. Dos pesquisados somente um laboratório faz rotineiramente esse procedimento, os demais fazem somente se for pedido do cliente (ITRC, 2023).
- Os procedimentos de rotina laboratorial não dependem se a matriz analisada é solo, água superficial, água (ITRC, 2023).
- A maioria dos laboratórios filtram as amostras se é pedido pelo cliente. Isso pode resultar na sorção do PFAS em amostras e ocorrer contaminação cruzada. Esse procedimento deve ser implementado com cautela (ITRC, 2023).

- Depois da decantação, alguns laboratórios higienizam as partículas remanescentes no recipiente com solvente para a SPE (ITRC, 2023).
- Nem todos os laboratórios divulgam quando as amostras necessitam de preparo especial como, decantação, centrifugação ou filtragem, por conta das partículas. Portanto, isso deverá ser documentado na análise de dados (ITRC, 2023).
- Laboratórios possuem diferentes procedimentos para quando as partículas entopem o cartucho de SPE; alguns extraem na diluição, enquanto outros laboratórios podem iniciar um novo procedimento e continuar com a extração de amostras remanescentes (ITRC, 2023).

Deve-se ter por parte dos laboratórios, transparência em relação se as concentrações relatadas são dissolvidas em água ou as amostras contendo partículas em suspensão. A equipe de projeto deverá decidir se as mensurações de PFAS dissolvidos ou PFAS com sólidos em suspensão são apropriadas e se casam com os objetivos do projeto. Deverá também, a equipe responsável pelo projeto verificar quais os procedimentos que acontecem no laboratório escolhido (ITRC, 2023). Os procedimentos deverão ser designados para unir amostras representativas com os objetivos do projeto. Abaixo consta algumas considerações relevantes ao assunto para as matrizes água superficial e água subterrânea:

### **10.8.Água superficial**

- Utilizar medição abrangente ao coletar amostras de água superficial para garantir conformidade com regulamentos, obtenção de licenças, elaboração de projetos de remediação ou avaliação de riscos (ITRC, 2023).
- Em casos onde a amostragem visa uma linha de evidência em uma área de origem específica, e não para fins regulatórios, uma medição abrangente pode não ser necessária (ITRC, 2023).
- Coletar amostras para análise de Sólidos Totais Suspensos (TSS) auxilia na avaliação dos dados amostrais. Medições de turbidez fornecerão informações valiosas para a avaliação, caso a análise de Sólidos Totais em Suspensão não seja possível (ITRC, 2023).
- Para laboratórios que realizam centrifugação e subsequente decantação, é fundamental garantir que os padrões internos extraídos sejam adicionados às amostras aquosas antes do processo de centrifugação. É essencial comunicar-se

com o laboratório antes da coleta das amostras para definir o procedimento a ser seguido. (ITRC, 2023)

### **10.9.Água subterrânea**

- Se minimizar a presença de partículas está dentro dos objetivos do projeto, considere o uso de amostragem de água subterrânea de baixo fluxo ou amostradores sem purga (ITRC, 2023).
- Se a turbidez for superior a 10 NTU, considere uma medição "total" ao amostrar água subterrânea para conformidade, delineamento, projeto de remediação ou avaliação de risco. "Total" pode ser definido como centrifugar, decantar e extrair ambas as fases, para relatar a concentração dissolvida e as concentrações suspensas/sólidas individualmente ou somadas no relatório (ITRC, 2023).
- Colete amostras para análise de Sólidos Totais Suspensos (TSS) para auxiliar na avaliação dos dados da amostra. Medições de turbidez também podem ser úteis na avaliação (ITRC, 2023).

## **11. PROCEDIMENTOS DE ASSEGURAMENTO E CONTROLE DE QUALIDADE NA AMOSTRAGEM DE PFAS**

Devido ao fato de que muitos materiais utilizados no momento da amostragem podem ou contem PFAS, e com isso pode acontecer uma contaminação alterando os resultados das amostras coletadas. A única forma de garantir a integridade dos resultados das amostras será excluir qualquer equipamento que contém ou possa conter PFAS. Portanto, os técnicos responsáveis pela amostragem deverão se atentar aos materiais e equipamentos utilizados, além de itens pessoais como vestimenta, repelentes, protetor solar (AESAS, 2024).

É importante que esses detalhes do que usar e não usar seja documentada em um protocolo antes da amostragem e que seja realizado um teste de qualidade nos equipamentos e nos objetos que irão ao trabalho de campo (AESAS, 2024).

Para a elaboração do plano de amostragem, algumas diretrizes devem ser verificadas. São elas tipo de matriz, métodos analíticos utilizados no laboratório; lista de substâncias que serão analisadas, volume da amostras que esteja de acordo com o laboratório que a amostra será enviada; tipo de material dos frascos e dos equipamentos; prazo de validade das amostras, algumas informações do site em relação a locais com maior contaminação; e EPIs que serão utilizados por técnicos de campo. (AESAS, 2024)

Nos itens 11.1 a 11.6 deste presente estudo, serão detalhados materiais pessoais e de amostragem que podem ser usados e os que devem ser evitados e alguns procedimentos necessários para a coleta desse tipo de contaminante:

### **11.1. Condutas desejáveis antes e durante e após a amostragem**

Uma sequência de amostragem preferencial deve ser estabelecida antecipadamente em qualquer evento de amostragem, visando mitigar o risco de contaminação cruzada. Em linhas gerais, essa sequência deve iniciar nas áreas com menor contaminação conhecida ou esperada, progredindo para aquelas identificadas como potencialmente mais contaminadas. Quando resultados analíticos de eventos de amostragem prévios estão disponíveis, a determinação da sequência de amostragem torna-se mais direta (EGLE, 2024).

Em muitos locais de investigação de PFAS, não foram realizadas amostragens específicas para essas substâncias. Nessas circunstâncias, é fundamental revisar todas as informações disponíveis sobre o local, incluindo possíveis usos de PFAS e padrões de migração potencial dessas substâncias a partir de fontes identificadas, antes do evento de amostragem, com o propósito de estabelecer a sequência de amostragem mais apropriada (EGLE, 2024).

Caso múltiplas amostras (por exemplo, de poços de monitoramento) sejam coletadas em áreas onde tenha sido documentado um lançamento conhecido ou potencial de PFAS no ambiente, recomenda-se que as amostras iniciem nos pontos a montante da área impactada, progredindo para os pontos a jusante da fonte suspeita. Os demais poços devem ser amostrados em uma sequência progressiva, dos mais distantes a jusante para os mais próximos da fonte conhecida de PFAS (EGLE , 2024).

Na ausência de informações específicas sobre o local, a coleta de amostras deve seguir a seguinte ordem:

- Água destinada ao consumo humano (por exemplo, poços residenciais).
- Água superficial.
- Água subterrânea.

Além disso, algumas considerações devem ser levadas em conta afim de prevenir contaminações:

- Poeira deve ser mantida fora dos recipientes/frascos de amostra.
- A tampa da amostra nunca deve ser colocada diretamente no chão durante a coleta.
- Se a equipe de amostragem precisar colocar a tampa da amostra durante a coleta e um segundo membro da equipe de amostragem (usando um novo par de luvas de nitrilo sem pó) não estiver disponível, coloque a tampa em uma superfície limpa (lençol de algodão, plástico HDPE, tampa de cooler triplo enxaguado, etc.).
- Não colete amostras sem luvas de nitrilo sem pó.
- Marcadores regulares/grandes (Sharpie® ou similares) devem ser evitados, pois podem conter PFAS.
- Marcadores de ponta fina e ultrafina Sharpie® são aceitáveis para rotular recipientes de amostra vazia enquanto estiver na área de preparação, desde que a tampa esteja do recipiente de amostra e as luvas sejam trocadas após a rotulagem do frasco/recipiente da amostra.
- Canetas esferográficas podem ser usadas para rotular os recipientes de amostra. Se as canetas esferográficas não escreverem nos rótulos dos recipientes de amostra, rótulos pré-impresos do laboratório podem ser usados.
- As mãos devem estar bem lavadas e protegidas com luvas.



- Utilize frascos/recipientes de amostra de HDPE ou polipropileno com tampas livres de Teflon®, fornecidas pelo laboratório.
- Frascos ou recipientes de vidro podem ser usados se forem conhecidos por serem livres de PFAS, no entanto,
- Frascos ou recipientes só devem ser abertos imediatamente antes da amostragem.
- Frascos ou recipientes devem ser tampados imediatamente após a coleta da amostra.

As amostras devem ser duplamente embaladas usando sacos de polietileno de baixa densidade (LDPE) com fecho, por exemplo, Ziploc®. (EGLE , 2024)

### **11.2. Produtos pessoais**

Alguns produtos de higiene pessoal muito comuns no dia – dia possuem PFAS e portanto, deverão ser evitados nos dias de trabalho em campo. Os produtos são: Xampu, condicionador, fio dental, cosméticos, creme de barbear, creme dental ou enxaguante bucal contendo flúor e de higiene do local como desinfetantes. (EGLE , 2024)

Além desses protetores solares e repelentes de insetos apresentam PFAS em sua composição. Porém esses itens se tornam necessários para garantir a segurança dos que trabalham no local, portanto seu uso deverá ser feito em área longe da área de estudo. (EGLE , 2024)

Atualmente, há disponíveis no mercado protetores solares e repelentes que não contêm PFAS, sendo assim, é recomendável dar preferência ao uso desses produtos. Alguns exemplos de protetores solares aprovados incluem o Neutrogena Ultra-Sheer Dry-Touch Sunscreen Broad Spectrum SPF 30 e o Banana Boat Sport Performance Sunscreen Lotion Broad Spectrum SPF 30. (EGLE , 2024)

Figura 10 - Protetores solares livre de PFAS



Fonte: (EGLE , 2024)

Alguns repelentes de insetos sem PFAS em sua composição são OFF deep woods e Sawyer Permethrin. (EGLE , 2024)

Figura 11 - Repelentes de insetos livres de PFAS



Fonte: (EGLE , 2024)

### 11.3. Embalagens de alimentos

Vale ressaltar que muitas embalagens de alimentos contêm PFAS em sua composição. Portanto, devem ser evitados pratos de papel, papel alumínio, toalhas de papel, recipientes de alimentos, sacos e embalagens.

Desde o final da década de 1950, os PFAS têm sido utilizados pela indústria de papel como um revestimento protetor especial contra gordura, óleo e água para papel e papelão, incluindo embalagens de alimentos. Esta aplicação de PFAS em embalagens de alimentos abrange uma variedade de produtos de papel que entram em contato direto com alimentos, como pratos de papel, recipientes de alimentos, sacolas e envoltórios. Portanto deve ser evitado:

- Armazenar nas áreas de amostragem e preparação das amostras, alimentos ou lanches pré-embalados, como barras de chocolate e pipoca de micro-ondas, devido ao risco de contaminação por PFAS das embalagens.
- Manusear ou se alimentar na área de amostragem e preparação de amostras

### 11.4. Vestimenta e EPI – Equipamentos de proteção individual

Os equipamentos de proteção individual são extremamente importantes em um trabalho de campo, porque dependendo de onde está a contaminação, o não uso de EPIs poderá causar acidentes aos trabalhadores. Os EPIs contêm propriedades hidrofóbicas e lipofóbicas dão proteção a quem usa e tem PFAS em sua composição.

Torna-se necessário a confirmação da presença do PFAS antes do trabalho de campo e caso não haja alternativas de outros EPIs livre de PFAS, deve-se deixar registrado quais EPIs foram utilizados para discussão de resultados analíticos.

Tabela 8 - Lista de EPIs e roupas que contém e não contém PFAS

Não usar	Poderá ser usado:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luvas de látex.</li> <li>• Macacões Tyvek e roupas contendo Tyvek®</li> <li>• Roupas que foram fabricadas com ou lavadas com produtos químicos resistentes a manchas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luvas nitrílicas sem pó.</li> <li>• Tecidos de poli cloreto de vinila (PVC) ou revestidos de cera.</li> <li>• Neoprene.</li> <li>• Botas feitas de poliuretano e/ou PVC</li> <li>• Fibras sintéticas e naturais (preferencialmente algodão) que</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Roupas tratadas quimicamente para resistência a insetos e proteção ultravioleta</li><li>• Roupas ou itens de EPI com qualquer um dos nomes de marca ou produtos encontrados para conter PFAS</li></ul>	estejam bem lavadas (mais de seis vezes sem amaciante), roupas e macacões de algodão.
--	---

Fonte: (EGLE - MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, GREAT LAKES AND ENERGY, 2024)

Tabela 9 - Elementos da composição de roupas que devem ser evitados

Evitar vestimentas que possuam esses tratamentos na fabricação:	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Oleophobol CP®</li><li>• Repellan KFC®</li><li>• Rucostar® EEE6</li><li>• Unidyne™</li><li>• Bionic Finish®</li><li>• RUCO-GUARD®</li><li>• RUCOSTAR®</li><li>• RUCO-COAT®</li><li>• RUCO-PROTECT®</li><li>• RUCOTEC®</li><li>• RUCO®</li><li>• Resist Spills™</li><li>• Resiste a derrames e libera manchas™</li><li>• Scotchgard™ Protetor de Tecido</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Protetor de tecido Advanced Dual Action Teflon®</li><li>• Liberação Teflon®</li><li>• Repelente de tecido Teflon®</li><li>• Protetor de tecido Teflon® de alta performance</li><li>• Repelente de tecido Teflon® de alta performance</li><li>• Teflon® Ultra Release</li><li>• Série NK Guard S</li><li>• GreenShield®</li><li>• Protetor de tecido Tri-Effects Teflon®</li><li>• Lurotex Protector RL ECO®</li></ul>

Fonte: (EGLE - MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, GREAT LAKES AND ENERGY, 2024)

11.5.Equipamentos de campo

Normalmente, os equipamentos e materiais de campo para amostragem de ar, água e solo contém PFAS em sua composição. É recomendável excluir materiais que contenham politetrafluoretileno (PTFE) em sua composição. Quando não pudermos eliminar equipamentos com PFAS, os brancos de equipamentos serão utilizados para verificar e quantificar contaminação nas amostras

Equipamentos de campo tais como medidores de água/óleo, medidores de nível d’água, baiders não descartáveis e outros objetos utilizados na coleta deverão ser devidamente higienizados entre uma amostra e outra. Essa higienização deverá ser feita com detergentes que não contenham fluorosurfactantes em sua composição. A água utilizada para a higienização

deverá ser livre de PFAS. Equipamentos maiores deverão ser higienizados com água potável utilizando uma lavadora de alta pressão ou vapor. Os equipamentos pesados deverão ser lavados de preferência em um local adequado, podendo ser uma cabine portátil e independente.

### **11.6.Frascos, recipientes**

Recomenda-se para amostras líquidas ou sólidas:

- Utilizar frascos e recipientes em HDPE (polietileno de alta densidade) com adequada capacidade.
- Sacos de Ziploc que não entre em contato direto com as amostras poderão ser utilizados. utilizar frascos e recipientes de HDPE, como citado anteriormente, polipropileno, silicone e acetato.
- O manuseio das amostras e enfrascamento do material deverão ser feitos com luvas nitrílicas sem talco.
- Não é recomendado o uso de luvas de látex.
- A rotulagem e documentação das amostras em campo deverão ser feitas com canetas esferográficas ou também poderá ser levado ao campo rótulos pré impressos.
- Deverá ser evitada o uso de canetas marcadoras na rotulagem e marcação das amostras.
- O transporte de insumos descartáveis de amostragem como tubos ou frascos deverão estar embalados com a embalagem original ou em sacos de LDPE(Ziploc).

No preparo das amostras para o laboratório deverá ser verificada periodicamente a temperatura do cooler de onde elas estão armazenadas. Caso seja necessário, poderá ser utilizados pacotes de gelo (blue ice) desde que sejam duplamente embalados em sacos de polietileno de baixa densidade (LDPE).

Abaixo seguem alguns procedimentos que devem ser executados na amostragem de área contaminada por PFAS:

### **11.7.Verificação de dados do local**

Para que seja feita uma amostragem com qualidade, torna-se necessário levantar dados sobre possíveis usos de PFAS, potenciais de migração de PFAS e fontes potenciais de PFAS no local.

### **11.8.Procedimento para descontaminação de equipamentos**

Antes da amostragem os materiais deverão ser descontaminados. O procedimento de descontaminação dos equipamentos possui 4 etapas:

1. Colocar os equipamentos em um balde com água potável e detergente livre de PFAS
2. Enxaguar em um balde com água potável
3. Realizar o segundo enxágue também com água potável
4. O terceiro e último enxágue deverá ser feito em um balde contendo água já verificada em laboratório livre de PFAS.

Na descontaminação de equipamentos:

Evitar	Pode usar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decon 90®</li> <li>• Água sem conhecimento da fonte</li> <li>• Guardar equipamentos sem descontaminar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água deionizada</li> <li>• Alconox®</li> <li>• Liquinox®</li> <li>• Citranox®</li> <li>• Pinceis de polietileno e PVC</li> <li>• Container de HDPE</li> </ul>

. Os procedimentos de descontaminação de equipamentos deverão ser realizados a cada amostragem ou no final do dia. Container feitos de HDPE contendo água deionizada poderão ser utilizados quando há comprovação de não contaminação de PFAS anteriormente ao campo. (EGLE , 2024)

## 12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da revisão de estudos realizados anteriormente, foi possível concluir que os tipos de técnicas de amostragem de solo e água se manterão os mesmos quando as SQIs forem PFAS. Portanto, o que será modificado são os materiais utilizados e sua composição e deve-se priorizar utilizar materiais livres de PFAS. Em relação que os itens que ainda não são comercializados no Brasil, será vantajoso a sua comercialização afim de viabilizar o custo proveniente desses itens no momento da amostragem, visto que produtos importados encarecem os procedimentos realizados no projeto de amostragem. Alguns produtos pessoais livres de PFAS ainda não são comercializados em território brasileiro, então torna-se necessário sua disponibilidade em território nacional para evitar contaminação cruzada no momento da amostragem.

Outra consideração importante desse trabalho é que considerando a toxicidade e persistência do grupo PFAS relatadas na literatura, as concentrações baixas dos valores de screening e o uso disseminado delas no território brasileiro, sobre o qual não temos total conhecimento, é aconselhável que SQIs fossem incluídas na portaria de potabilidade e que os

órgãos reguladores de meio ambiente e de saúde, priorizassem a avaliação de águas destinadas ao consumo humano, para serem amostradas de forma representativa quanto a presença de PFAS e a partir desse diagnóstico será possível avançar na identificação de fontes de contaminação, caso elas ocorram.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3M COMPANY. **Final Report: Summary of Physical/Chemical and Environmental Parameters for PFAS: Subject to Interim Special Order by Consent.** [S.l.]. 2021. (E21-0037). Laboratory Request.
- ABNT 15492. Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento. **ABNT**, Rio de Janeiro, 18 Julho 2007. 35.
- ABNT 15515-2. Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2: Investigação confirmatória. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Rio de Janeiro, 22 Abril 2011. 19.
- ABNT 16434. NBR ABNT 16434. **Amostragem de resíduos sólidos, solos e sedimentos - Análise de compostos orgânicos voláteis (COV) - Procedimento**, 2015. Disponível em: [www.normas.com.br](http://www.normas.com.br).
- ABNT NBR 15487. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **Amostragem De Água Subterrânea - Método De Purga**, 20 fev. 2024. 15. Disponível em: <https://normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/29632/identificar/visitante>.
- ABNT NBR 15495-1. **Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1 Projeto e construção**. ABNT. Rio de Janeiro, p. 47. 2007. (ISBN 978-8507-00848-4).
- AECOM. **Surface Water Foam Study**. Michigan. 2021.
- AESAS. **Boletim Técnico - PFAS**. SÃO PAULO. 2024.
- ATSDR. **Draft Toxicology Profile for Perfluoroalkyls**, 2021. Disponível em: [www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp200.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp200.pdf). Acesso em: 22 mar. 2024.
- BURGESS, Robert; THOMAS, Ryan. PFAS — Per- and Polyfluoroalkyl Substances. **ITRC**, 2023. Disponível em: <https://pfas-1.itrcweb.org/2-2-chemistry-terminology-and-acronyms/>. Acesso em: 10 janeiro 2024.
- COUNCIL, Interstate T. & R. ITRC, 12 novembro 2023. Disponível em: <https://pfas-1.itrcweb.org/>.
- DEQ. Miching Gov - PFAS Response. **DEQ - Michigan Department of environmental Quality**, Outubro 2018. Disponível em: [www.michigan.gov/pfasresponse](http://www.michigan.gov/pfasresponse). Acesso em: 15 Março 2024.
- DEQ- MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENT QUALITY. **Groundwater PFAS Sampling Guidance**, Michigan, out. 2018. 20.
- EGLE. **General PFAS Sampling Guide**. Michigan. 2024.



EHSAN, Mohammad N. *et al.* PFAS contamination in soil and sediment: Contribution of sources and environmental impacts on soil biota. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, 30 Janeiro 2024. 12.

GOODROW, SANDRA; HERZER, KRISTI. **Aqueous Film Form Foam**, Washington, 2023.

GOODROW, SANDRA; SCHLOSSER, KATE E. ITRC. **Sampling Precautions and Laboratory Analytical Methods**, ago. 2020. Disponível em: [https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2023/01/Amostragem\\_Metodos\\_Analiticos\\_port\\_AEM\\_FI\\_AEM-29Dec-1.pdf](https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2023/01/Amostragem_Metodos_Analiticos_port_AEM_FI_AEM-29Dec-1.pdf). Acesso em: 22 março 2024.

ITRC. **Section 11: Analytical Methods Excel File**, Novembro 2023. Disponível em: [https://pfas-1.itrcweb.org/#1\\_3](https://pfas-1.itrcweb.org/#1_3).

ITRC. **External data tables - Sextion 4 - Physical and Chemical Properties Table 4-1 - Excel file**, July 2023. Disponível em: [https://pfas-1.itrcweb.org/#1\\_3](https://pfas-1.itrcweb.org/#1_3).

ITRC. **PFAS Technical and regulatory guidance document and fact sheets**, Washington, p. 37, 2023. ISSN 11. Disponível em: [https://pfas-1.itrcweb.org/11-sampling-and-analytical-methods/#11\\_2](https://pfas-1.itrcweb.org/11-sampling-and-analytical-methods/#11_2). Acesso em: 23 Março 2024.

ITRC. PFAS - Per - and Polyfluoroalkyl Substances. **ITRC - PFAS - Per - and Polyfluoroalkyl Substances**, 16 Janeiro 2024. Disponível em: <https://pfas-1.itrcweb.org/>.

ITRC PFAS TEAM. **Technical/Regulatory Guidance - PFAS**. Washington, DC: ITRC, 2023.

KLINGELHOFER, Doris *et al.* The “forever” per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A critical accounting of global research on a major threat under changing regulations. **Chemosphere**, Frankfurt, 2024. 11.

MACHADO TORRES, Fábio B. *et al.* Brazilian overview of per-and polyfluoroalkyl substances listed as persistent organic pollutants in the stockholm convention. **Chemosphere**, Rio de Janeiro, Março 2022. 9.

Maggie R. *et al.* Society of SAME Academy Military Engineers. **Same news**, 2015. Disponível em: <https://www.same.org/tmearticle/determining-the-presence-of-pfas-in-coated-bentonite-pellets/>. Acesso em: 2024.

MUELLER, Robert ; SCHLOSSER, Kate E. ITRC. **History and Use of Per- and Polyfluoroalkyl Substances**, Agosto 2020. Disponível em: [https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2020/10/history\\_and\\_use\\_508\\_2020Aug\\_Final.pdf](https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2020/10/history_and_use_508_2020Aug_Final.pdf).

RIYIS, Marcos T. Amostragem de Solo - Posso Viver Sem? **ECD Ambiental**, 2018. Disponível em: <http://www.ecdambiental.com.br/2018/07/amostragem-de-solo-posso-viver-sem.html>. Acesso em: 20 Março 2024.

SAMOURA, Sara; LUCAS, Shaun. <https://www.manufacturingdive.com>. **Manufacturing Dive**, 6 Dezembro 2023. Disponível em: <https://www.manufacturingdive.com/news/the-history-behind-forever-chemicals-pfas-3m-dupont-pfte-pfoa-pfos/698254/>. Acesso em: 26 março 2024.

SOUZA, Marilia C. O. *et al.* Exposure to per- and polyfluorinated alkyl substances in pregnant Brazilian women and its association with fetal growth. **Environmental Research**, São Paulo, 23 Abril 2020. 7.

STERLING, Brie; HALL, Linda. 7 Human and Ecological Health Effects of select PFAS. **ITRC**, 2023. Disponível em: <https://pfas-1.itrcweb.org/7-human-and-ecological-health-effects-of-select-pfas/>. Acesso em: 03 Março 2024.

USEPA. **CompTox Chemicals Dashboard**. U.S. Environmental Protection Agency. [S.l.]. 2023.

WENZEL, Jeffrey ; DENLY, Elizabeth. ITRC Web. **2 PFAS Chemistry and Naming Conventions, History and Use of PFAS, and Sources of PFAS Releases to the Environment**, 2023. Disponível em: <https://pfas-1.itrcweb.org/2-pfas-chemistry-and-naming-conventions-history-and-use-of-pfas-and-sources-of-pfas-releases-to-the-environment-overview/>. Acesso em: 02 Fevereiro 2024.