

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**LUCAS MENDES VIEIRA**

**CONTAMINANTES PRIORITÁRIOS E EMERGENTES E O SANEAMENTO**  
**AMBIENTAL**

**UBERLÂNDIA**

**2017**

**LUCAS MENDES VIEIRA**

**CONTAMINANTES PRIORITÁRIOS E EMERGENTES E O SANEAMENTO  
AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Químico.

Orientadora: Prof. Dra. Márcia Gonçalves Coelho.

**UBERLÂNDIA**

**2017**

Contaminantes prioritários e emergentes e o saneamento ambiental.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Químico.

Área de concentração: Contaminação Ambiental e Tratamento de Efluentes.

Banca Examinadora:

Uberlândia, \_\_\_ de novembro de 2017.

---

Prof. Dra. Márcia Gonçalves Coelho

---

Prof. Dr. Mauro Marques Burjaili

---

Prof. Dr. Moilton Ribeiro Franco Jr.

*Este trabalho foi escrito de acordo com a Norma de Trabalhos Acadêmicos (NBR 14.724/2011),  
da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de me graduar em Engenharia Química, por todo o Seu sustento durante esse período e por me permitir escrever este trabalho de conclusão de curso.

Aos meus pais e familiares por todo o suporte emocional e incentivo em todos os momentos. Além disso, à minha namorada pelo apoio, compreensão e paciência durante a escrita deste trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Química por me proporcionar as condições necessárias para a minha formação profissional e aprimoramento pessoal.

À professora orientadora, Márcia Gonçalves Coelho, pela disponibilidade em sempre ajudar e pelos conselhos que levarei para a vida toda.

Aos colegas de classe e demais professores e profissionais que contribuíram para o meu desenvolvimento.

## RESUMO

Este trabalho aborda diversos contaminantes ambientais, sejam prioritários, sejam emergentes. Os contaminantes prioritários são conhecidos há anos, seus efeitos ao ambiente aquático e ao ser humano são bem conhecidos e seus limites máximos de concentração na água são estabelecidos por regulamentos nacionais e/ou internacionais. Em contrapartida, os contaminantes emergentes têm seus efeitos adversos à saúde recentemente descobertos, mas são lançados há anos no ambiente aquático. Além disso, seus efeitos sobre a saúde humana têm sido amplamente investigados, tendo como principal consequência, alterações no sistema endócrino de humanos e não humanos. Nesse contexto, medidas de saneamento básico devem ser tomadas para prevenir consequências tanto de contaminantes prioritários quanto de emergentes. Portanto, são necessários estudo para que se comprovem os efeitos dos emergentes à saúde humana para que estes sejam incluídos nos regulamentos de potabilidade e/ou nas características de efluentes antes de serem lançados nos corpos hídricos, como medida preventiva, que assegure qualidade de vida para as gerações atual e futuras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Contaminantes, Prioritários, Emergentes.

## **ABSTRACT**

This work approaches many environmental contaminants, be priority, be emerging. Priority contaminants have been known for years, their effects on the aquatic environment and on the human health are well known and their maximum limits of concentration in the water are established by national and/or international regulations. In contrast, emerging contaminants are their adverse health effects recently discovered, but have been released for years in the aquatic environment. In addition, its effects on human health were the object of researches, having as main consequence, effects on the endocrine system of the humans and not humans. In this context, basic sanitation measures should be provided to prevent the consequences of both priority and emerging contaminants. Therefore, a study is needed to prove the effects of emerging on human health so that they are included in the potable water regulations and/or effluent characteristics before they are released into the water as a preventive measure to ensure quality of life for current and future generations.

**KEYWORDS:** Contaminants, Priority, Emerging.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Contaminantes com Maiores Concentrações em Águas Urbanas.....	24
<b>Figura 2.</b> Contaminantes com Maiores Concentrações em Águas Urbanas x Águas Mistas..	24
<b>Figura 3.</b> Deposição de Sólidos na Descarga de Efluente de Esgoto no leito Oceânico .....	31
<b>Figura 4.</b> Molécula de Estearato de Sódio.....	32
<b>Figura 5.</b> Molécula de Alquilbenzeno Sulfonato.....	33
<b>Figura 6.</b> Estrutura da Cilindrospermopsina.....	34
<b>Figura 7.</b> Fitoinseticidas comuns e análogos sintéticos das piretrinas .....	36
<b>Figura 8.</b> Exemplos de Inseticidas Organoclorados .....	36
<b>Figura 9.</b> Fórmula Estrutural do Paraoxon .....	37
<b>Figura 10.</b> Ácido Carbâmico e Três Inseticidas à base de Carbamato .....	37
<b>Figura 11.</b> Fungicidas muito Utilizados e Potenciais Poluentes da Água .....	37
<b>Figura 12.</b> Escalas temporais de importância relativas a substâncias tóxicas .....	40
<b>Figura 13.</b> Evolução do Consumo e Qualificação dos CE no Brasil.....	48
<b>Figura 14.</b> Possíveis Rotas de Fármacos no Meio Ambiente .....	52
<b>Figura 15.</b> Estrutura da Cafeína.....	55
<b>Figura 16.</b> Fórmula de alguns dos PFHP .....	56
<b>Figura 17.</b> Estrutura Molecular do DEET .....	57
<b>Figura 18.</b> Categorização do Uso das Águas de Superfície e Concentração de DEET .....	58
<b>Figura 19.</b> Estrutura molecular da atrazina.....	58
<b>Figura 20.</b> Estrutura Molecular do Triclosan .....	61
<b>Figura 21.</b> Núcleo pesado do $^{235}\text{U}$ .....	62
<b>Figura 22.</b> Sapos machos feminizados pela exposição à atrazina. ....	65
<b>Figura 23.</b> Rotas da Cafeína .....	67
<b>Figura 24.</b> Concentração de Cafeína por Capital em Ordem Decrescente.....	69

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Compostos Prioritários Contemplados pela Legislação Brasileira.....	20
<b>Tabela 2.</b> Parâmetros e Limites para Lançamento de Efluentes não Domésticos .....	21
<b>Tabela 3.</b> Contaminantes Prioritários em Águas Residuais Europeias.....	22
<b>Tabela 4.</b> Principais Constituintes do Esgoto em um Sistema de Esgotamento Urbano .....	30
<b>Tabela 5.</b> Comparação entre as Resoluções 357/05 e 430/11 para Lançamento de Efluentes	41
<b>Tabela 6.</b> Padrão de Potabilidade para Substâncias Químicas com Riscos à Saúde .....	43
<b>Tabela 7.</b> Padrão de Aceitação para Consumo Humano.....	43
<b>Tabela 8.</b> Classes de Contaminantes Emergentes e Seus Usos .....	50
<b>Tabela 9.</b> Fármacos Detectados em Águas Europeias para Consumo Humano .....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CP - Contaminantes Prioritários

CE - Contaminantes Emergentes

ETE - Estação ou Estações de tratamento de efluentes

ETA - Estação ou Estações de tratamento de água

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

IBMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

MS - Ministério da Saúde

VIGIAGUA - Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano

SISAGUA - Sistema de Informações sobre a Qualidade da Água para Consumo Humano

DBO - Demanda Biológica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EUA - Estados Unidos da América

DDT - Dicloro-difenil-tricloroetano

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos EUA

RETP - Registro de Emissão e Transferência de Poluentes

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CCL - Lista de Candidatos a Contaminantes em Água Potável

PFHP - Produtos Farmacêuticos e de Higiene Pessoal

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. CONTAMINANTES PRIORITÁRIOS (CP) .....	17
2.1. DEFINIÇÕES .....	17
2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA .....	18
2.3. CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO .....	19
2.3.1. Compostos Inorgânicos .....	24
2.3.2. Compostos Orgânicos .....	29
2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS E À SAÚDE .....	38
2.5 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS .....	41
3. CONTAMINANTES EMERGENTES (CE) .....	46
3.1. DEFINIÇÃO .....	46
3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA .....	47
3.2.1. Brasil .....	47
3.2.2. Estados Unidos (EUA) .....	48
3.3. CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO .....	49
3.3.1. Interferentes endócrinos .....	50
3.3.2. Produtos Farmacêuticos e de Higiene Pessoal (PFHP) .....	51
3.3.3. Pesticidas e Herbicidas .....	58
3.3.4. Plastificantes .....	59
3.3.5. Surfactantes Não Iônicos .....	60
3.3.6. Bactericidas .....	60
3.3.7. Poluentes Orgânicos Biorrefratários .....	61
3.3.8. Radionuclídeos .....	62
3.4. IMPACTOS AMBIENTAIS E À SAÚDE .....	63

3.5. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CONTAMINANTES EMERGENTES .....	65
3.5.1. A Cafeína como Indicador de Contaminantes Emergentes.....	67
3.6. CONTAMINANTES EMERGENTES E O SANEAMENTO AMBIENTAL .....	70
3.6.1. Definições.....	70
3.6.2. A Importância do Saneamento Ambiental .....	71
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	74
REFERÊNCIAS .....	76
ANEXOS .....	81

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem crescido durante os últimos anos. É notável que a cada ano são realizadas inúmeras conferências que tratam sobre sustentabilidade, mudanças climáticas, poluição, alterações em ecossistemas, impactos à saúde humana e animal, entre outros assuntos. Neste contexto, destaca-se o impacto ambiental pela poluição por produtos químicos, principalmente os poluentes convencionais (prioritários), que são reconhecidos por provocarem riscos à saúde, devido à sua toxicidade, efeitos cancerígenos e mutagênicos e à sua persistência no meio ambiente (GROS *et al.*, 2008). Os contaminantes prioritários (CP) são dispostos em uma lista de 129 substâncias tóxicas, orgânicas e inorgânicas, determinadas pela *Environmental Protection Agency*, dentre eles, 11 são fenóis (FARIAS *et al.*, 2008). Estes possuem legislações, padrões e métodos analíticos, estabelecidos há anos, por agências internacionais.

Além dos poluentes prioritários, existem outros produtos químicos que são lançados constantemente no meio ambiente, como consequência da sua utilização na indústria, agricultura, bens de consumo e efluentes domésticos. A identificação, análise e caracterização dos riscos causados por eles, classificados como contaminantes emergentes (CE), chamou a atenção e despertou a preocupação da comunidade científica nos últimos anos. Este grupo de compostos, incluindo fármacos, produtos de higiene pessoal, surfactantes, aditivos de gasolina, retardantes de chama, compostos orgânicos fluorados, entre outros, ainda não são legislados. Estes contaminantes podem ser candidatos à futura regulamentação, análise sobre os seus potenciais efeitos na saúde e dados de monitoramento (GROS *et al.*, 2008).

Os contaminantes emergentes são potencialmente tóxicos e sua presença/consequências no ambiente ainda são pouco discutidas. O termo “emergente” se refere à preocupação que estas substâncias proporcionaram, a partir de novos conhecimentos sobre seus riscos à saúde. Assim, abrange substâncias que são utilizadas há anos e novas substâncias oriundas dos avanços tecnológicos. Ademais, podem-se exemplificar como contaminantes emergentes: os ftalatos, alguns pesticidas, compostos polihalogenados, medicamentos, cosméticos e outros produtos de uso pessoal. Estas substâncias têm sido lançadas em grande escala no ambiente e, devido às suas características físico-químicas (persistência, volatilidade, lipofilicidade, etc.) são altamente dispersas no ambiente e podem impactar a saúde ambiental por um longo tempo (MOREIRA *et al.*, 2013).

Além disso, os “emergentes” são compostos capazes de provocar alterações no sistema endócrino de humanos e não humanos, dessa forma são classificados também como interferentes/desruptores endócrinos. Porém, tais compostos não estão incluídos na legislação ambiental brasileira, embora existam vários estudos que identificaram sua presença em baixas concentrações em matrizes ambientais ( $\mu\text{g/L}$  ou  $\text{ng/L}$ ). Portanto, deve-se chamar a atenção para políticas ambientais, para incluí-los nos planos nacionais de resíduos e, conseqüentemente, obter uma gestão ambiental eficaz para as gerações presente e futura (NAPOLEÃO, 2011).

De forma geral, todo o planeta pode estar exposto aos contaminantes emergentes. Entretanto, nos países desenvolvidos a conscientização e o controle sobre eles é mais presente que em países subdesenvolvidos. Os contaminantes estão presentes preponderantemente em bacias hidrográficas próximas aos grandes centros urbanos com alta densidade demográfica. Assim, a introdução de tais substâncias prejudiciais à saúde nos corpos hídricos, pode contaminar tanto a população que consome a água, quanto às espécies de vida aquática (MOREIRA *et al.*, 2013). Diante das colocações feitas, são necessárias ações que visem o saneamento ambiental, com a finalidade de minimizar, controlar, tratar e legislar as quantidades de contaminantes emergentes presentes nas águas.

O saneamento ambiental trata de ações socioeconômicas que objetivam a “saúde ambiental”, por meio de abastecimento de água potável, coleta e destinação sanitária de resíduos, para proteger e melhorar a qualidade da vida das populações urbanas e rurais. Como existem diversas fontes poluidoras da água, contínuas ou não, são necessárias estratégias para controlar tal poluição. Nesse sentido, é essencial que se considere a bacia hidrográfica como um todo para obter maior eficiência nas atividades de controle. Dentre as principais técnicas encontradas destacam-se: a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários e indústrias (ETE e ETA); controle de focos de erosão e recuperação de rios para o retorno ao equilíbrio dinâmico, através da restauração de suas condições naturais (MACHADO *et al.*, 2007).

Estudos de Afranis *et al.* (2017) sugerem que as tecnologias convencionais de tratamento de água (remoção de carbono, nitrogênio, fósforo e patógenos), na União Europeia, são inadequadas para muitos micropoluentes, tais como, produtos farmacêuticos, hormônios, produtos de uso pessoal e disruptores endócrinos. Inúmeras pesquisas de agências ambientais europeias demonstraram a presença de poluentes recalcitrantes em rios, lagos, mares, águas subterrâneas e água potável em concentrações que variam de dezenas de  $\text{ng/L}$  a

milhares de  $\mu\text{g/L}$ . Tais contaminantes são compostos biologicamente ativos (não são facilmente biodegradáveis), geralmente solúveis na água, podem ser encontrados em águas residuais e, assim contaminam águas naturais.

O crescimento da população e de suas necessidades de consumo contribuem para o aumento da poluição ao meio ambiente. A água para o consumo humano, por exemplo, torna-se escassa e os problemas de saneamento tornam-se mais difíceis de serem solucionados (RIBEIRO E ROOKE, 2010). Segundo o Atlas de Saneamento do IBGE (2011), os determinantes demográficos da demanda por saneamento constituem-se de três características básicas: o tamanho da população, seu ritmo de crescimento e seu grau de urbanização. Dentre os diversos serviços de saneamento realizados no Brasil, o esgotamento sanitário possui elevada ausência e precariedade em muitos municípios, sendo ele, um dos maiores desafios à gestão pública na atualidade (IBGE, 2017).

No Brasil, a presença de cafeína, um tipo de contaminante, considerado emergente, em águas naturais é notoriamente esperada tendo em vista a situação de saneamento básico precária, principalmente das grandes cidades que tiveram um rápido crescimento populacional e não apresentaram um sistema de esgotamento sanitário adequado para receber e tratar grandes volumes de esgoto que, portanto, são lançados nos corpos d'água. O Censo 2010 do IBGE indicou que apenas 32,9 % da população brasileira possui rede coletora de esgoto, e apenas parte deste esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento antes de ser lançado nos corpos d'água (RAIMUNDO, 2011). De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), de 2015, apenas 50,3 % da população brasileira possui acesso à rede coletora de esgoto, e apenas 42,67 % dos esgotos do país recebem algum tipo de tratamento antes de serem lançados nos corpos d'água (SNIS, 2015).

Pesquisas recentes realizadas no Brasil confirmam que o descarte de esgoto, tratado ou não, possui um papel importante na incidência de inúmeros CE em águas naturais. Sabe-se que a ocorrência desses compostos depende de alguns fatores como: o índice de coleta e tratamento de esgoto, os processos operacionais nas ETE, a razão entre disponibilidade e demanda de água e as características inerentes de cada contaminante (SODRÉ, 2012). Nesse cenário, percebe-se que o saneamento ambiental no país, no que se refere à coleta e ao tratamento de esgoto é insuficiente para boa parte da população. O lançamento dos CE nos corpos hídricos ocorre em quantidades pouco conhecidas e sem tratamento adequado, pois, o tratamento de efluentes convencional não é capaz de eliminá-los completamente. Tudo isso, tem gerado sérios problemas, tais como: alterações no sistema endócrino de humanos e não

humanos e um desequilíbrio ambiental sem precedentes, sendo, portanto, um grande desafio para as gerações atual e futuras a prevenção e eliminação destes contaminantes.

## **OBJETIVOS**

Portanto, os objetivos deste trabalho são: abordar as classes de contaminantes Prioritários e Emergentes, sua origem, seus impactos ambientais, seus efeitos adversos à saúde de humanos e não humanos, a legislação ambiental aplicável no Brasil e no Mundo, bem como soluções ambientais e tecnológicas aplicáveis à sua remoção, focando-se a importância do saneamento básico como ferramenta para evitar a disseminação desses contaminantes no meio ambiente, fortalecendo-se assim a visão de saúde ambiental e sustentabilidade.

No trabalho constam os seguintes capítulos:

1. Introdução
2. Contaminantes Prioritários
3. Contaminantes Emergentes
4. Considerações Finais

Referências

Anexos

## **2. CONTAMINANTES PRIORITÁRIOS (CP)**

Serão abordadas neste capítulo as principais definições sobre contaminação, contaminantes e contaminantes prioritários, conforme a visão de diversos autores e entidades públicas. Além disso, será feita uma contextualização histórica brasileira sobre o assunto e serão discutidos os principais contaminantes prioritários, além de seus impactos ambientais e à saúde humana e não humana.

### **2.1. DEFINIÇÕES**

De acordo com Milaré (2009), contaminação é “a introdução no meio, de elementos em concentrações nocivas à saúde humana, tais como: organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou radioativas; ação ou efeito de corromper ou infectar por contato”. Termo usado, muitas vezes, como sinônimo de poluição, porém, quase sempre empregado em relação direta a efeitos sobre a saúde do homem. O uso mais habitual do termo corre no âmbito da ecologia, principalmente quando se trata da contaminação ambiental, que é a presença no ambiente de qualquer agente (físico, químico ou biológico) em lugares, formas e concentrações que possam ser nocivos para a saúde, segurança ou bem-estar da população.

Contaminantes são agentes definidos como substâncias cujas concentrações e formas são nocivas à saúde humana e não humana, podendo ser encontrados em diferentes estados físicos: sólido, líquido ou gasoso. Estudos têm sido realizados para detectar a presença destes em águas para consumo humano e residuais (SODRÉ, 2010). Os principais contaminantes encontrados em águas são: matéria orgânica, organismos patogênicos, compostos organossintéticos e metais pesados (SILVA, 2016).

A diferenciação entre contaminantes prioritários e emergentes, enquanto definição, não é encontrada de forma clara na legislação brasileira, no entanto, pela natureza intrínseca destas definições, pode-se atribuir aos contaminantes prioritários uma certeza científica quanto ao seu risco de contaminação de ambientes aquáticos e à saúde humana, em detrimento dos emergentes, para os quais tais riscos ainda são pouco conhecidos.

De acordo com a política das águas da União Europeia (UE), contaminantes ou substâncias prioritárias são aqueles que oferecem risco significativo para o ambiente aquático ou à saúde humana, sendo estes, tóxicos, persistentes e bioacumulativos (Anexo II da Diretiva 2008/105/CE – Normas de Qualidade Ambiental para CP). Em contrapartida, contaminantes

emergentes são aqueles, cuja presença é localizada e as concentrações e impactos ao ambiente aquático são pouco conhecidos. Encontram-se atualmente em estudos e não são legislados nos regulamentos das águas europeias. Pode-se atribuir ao termo “CE”, não convencionais (ou substâncias não prioritárias), a maior parte dos contaminantes de águas residuais (EMACASA *et al.*, 2009).

## **2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA**

No Brasil, informações relacionadas às fontes de poluição da água, ao diagnóstico da situação dos corpos hídricos e ao abastecimento público ainda são insuficientes. De acordo com Bergamasco (2011), muitos estados brasileiros não possuem redes de monitoramento, o que inviabiliza o desenvolvimento de programas e projetos efetivos no combate e prevenção da poluição e de seus efeitos nocivos à saúde. Segundo a autora, no intuito de preencher tais lacunas, o Ministério da Saúde (MS) realiza e fomenta estudos referentes à contaminação das águas destinadas ao consumo humano. Dentre os programas existentes para a instrumentalização de panorama das condições de abastecimento de água está o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA), que tem por objetivo o desenvolvimento de ações de monitoramento, fiscalização e melhoria contínua da qualidade da água que garantam à população acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação.

O Sistema de Informações sobre a Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) é um importante instrumento para a verificação dos parâmetros de qualificação da água. Nele são registradas de forma padronizada informações referentes à qualidade da água distribuída à população pelos responsáveis pelos sistemas e outras formas de abastecimento (atividade denominada controle) e aquelas geradas pela ação da Vigilância em Saúde Ambiental. Os níveis de contaminantes químicos devem ser examinados e notificados às Secretarias Municipais de Saúde ao menos uma vez por semestre (BERGAMASCO *et al.*, 2011).

Historicamente, sempre foi dada mais atenção aos parâmetros microbiológicos da água, tendo em vista a grande incidência de doenças infecciosas de veiculação hídrica no Brasil. No entanto, a contaminação química é problema crescente em todas as localidades, e o conhecimento sobre a incidência de contaminantes nas águas para consumo é baixo frente à

realidade de degradação do ambiente. As informações existentes são comumente negligenciadas, dando-se prioridade aos indicadores de presença dos organismos patogênicos. Usualmente, a comunidade científica se restringe a pesquisar casos pontuais de poluição em situações específicas, como desastres de grandes proporções, com base em métodos e premissas distintos entre si, não possibilitando avaliação integrada dos resultados (BERGAMASCO *et al.*, 2011).

Constata-se que existem muitas instituições governamentais e não governamentais que inspecionam e fornecem informações sobre a qualidade das águas brasileiras, seja para água potável, seja para águas residuais. Os padrões de qualidade, que estabelecem os limites de contaminantes prioritários, estão presentes na legislação ambiental brasileira, portanto, a mesma regulamenta apenas os contaminantes prioritários, pois já se sabem seus efeitos adversos à saúde humana e os riscos que oferecem ao meio ambiente. Já para os contaminantes emergentes ainda não existe legislação específica que regulamenta os limites de contaminação.

### **2.3. CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO**

Com relação à água para consumo humano, as normas brasileiras de potabilidade foram revisadas. À primeira Portaria de 1977, foi incluído um grande número de substâncias nocivas, conforme o avanço da indústria na produção de compostos orgânicos, agrotóxicos e produtos de desinfecção (foram inseridos treze contaminantes orgânicos, dez agrotóxicos e seis produtos secundários de desinfecção). A Tabela 1 apresenta os parâmetros químicos constantes na Norma de Potabilidade atual, considerados parâmetros de avaliação prioritários de contaminação (PORTARIA MS 518/2004).

**Tabela 1.** Compostos Prioritários Contemplados pela Legislação Brasileira

<b>Classe dos compostos</b>			
<b>Inorgânicos</b>	<b>Orgânicos</b>	<b>Produtos de Secundários de Desinfecção</b>	<b>Agrotóxicos</b>
Antimônio	Acrilamida	Bromato	Alaclor
Arsênio	Benzeno	Clorito	Aldrin e Dieldrin
Bário	Benzo[a]pireno	Cloro livre	Atrazina
Cádmio	Cloreto de Vinila	Monocloroamina	Bentazona
Cianeto	1,2 Dicloroetano	2,4,6 Triclorofenol	Clordano (isômeros)
Chumbo	1,1 Dicloroetano	Trihalometanos Totais	2,4 D
Cobre	Diclorometano		DDT (isômeros)
Cromo	Estireno		Endossulfan
Fluoreto	Tetracloroeto de Carbono		Endrin
Mercúrio	Tetracloroetano		Glifosato
Nitrato (como N)	Triclorobenzenos		Heptacloro e Heptacloro epóxido
Nitrito (como N)	Tricloroetano		Hexaclorobenzeno
Selênio			Lindano (g-BHC)
			Metolacloro
			Metoxicloro
			Molinato
			Pendimetalina
			Pentaclorofenol
			Permetrina
			Propanil
			Simazina
			Trifluralina

**Fonte:** BERGAMASCO *et al.*, 2011.

Com relação a águas residuais, a poluição convencional pode ser identificada através de: DBO<sub>5</sub>, DQO, concentrações de nitrogênio, fósforo, cloretos, sulfatos, fenóis, alguns metais pesados, condutividade, etc. Já a poluição emergente contempla inúmeros compostos diferentes dos habituais, tais como, pesticidas, solventes alquílicos e aromáticos, hidrocarbonetos aromáticos, compostos organometálicos (muitos desses compostos são substâncias prioritárias), restos de detergentes, antibióticos, analgésicos, anticonvulsivos, drogas e quaisquer outros metabolitos com atividade biológica, utilizados pelo homem em atividades doméstica ou industrial. No entanto, as metodologias para identificação e

quantificação de muitos CE são caras, pouco precisas e às vezes inexistentes (EMACASA *et al.*, 2009).

A ABNT/NBR 9800/1987, apresentada na Tabela 2, estabelece parâmetros e limites permitidos para o lançamento de efluentes não domésticos na rede pública de coleta de esgoto. Tais limites têm a finalidade de tornar os efluentes não domésticos com características semelhantes às de domésticos para serem tratados, posteriormente, nas ETE.

**Tabela 2.** Parâmetros e Limites para Lançamento de Efluentes não Domésticos na Rede Pública Coletora de Esgotos

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade de Medida</b>	<b>Limite Permitido</b>
pH	-	6 a 10
Temperatura	°C	40
Sólidos sedimentáveis em teste de 1h no cone Imhoff	mL/L x h	20
Gorduras, óleos e graxas	mg/L	100
Alumínio total	mg/L	3
Arsênio total	mg/L	1,5
Bário total	mg/L	5
Boro total	mg/L	5
Cádmio total	mg/L	1,5
Chumbo total	mg/L	1,5
Cobalto total	mg/L	1
Cobre total	mg/L	1,5
Cromo hexavalente	mg/L	0,5
Cromo total	mg/L	5
Estanho total	mg/L	4
Ferro solúvel	mg/L	15
Mercurio total	mg/L	0,5
Níquel total	mg/L	2
Prata total	mg/L	1,5
Selênio total	mg/L	1,5
Vanádio total	mg/L	4
Zinco total	mg/L	5
Amônia	mg/L	100
Cianetos totais	mg/L	0,2
Índice de fenóis	mg/L	5
Fluoreto total	mg/L	10
Sulfeto Total	mg/L	1
Sulfatos	mg/L	1000

Surfactantes (MBAS)	mg/L	5
D.B.O - Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	350
D.Q.O - Demanda Química de Oxigênio	mg/L	600
Sólidos Totais (S.T)	mg/L	1200
Sólidos Suspensos Totais (S.S.T)	mg/L	450
Sólidos Dissolvidos Totais (S.D.T)	mg/L	750

**Fonte:** ABNT/NBR 9800/1987. Conforme item 4.4 da ABNT/NBR 9800.

Em contrapartida, alguns contaminantes em águas residuais europeias são apresentados nas Tabelas 3a e 3b. (EMACASA *et al.*, 2009).

**Tabela 3a.** Contaminantes Prioritários em Águas Residuais Europeias

Físico-químicos	Metais	Pesticidas				
		Organoclorados		Organofosforados	Triazinas	Outros
Nitrogênio total	Arsênio	Alacloro	Heptacloro	Clorfenvinfos	Atrazina	Diuron
Fósforo total	Cádmio	Aldrin	Hexaclorobenzeno	Clorpirifos	Simazina	Isoproturon
Fenóis	Cromo	DDT	Lindano			Pentaclorofenol
COT	Cobre	o,p'-DDT	Lindano			Hexabromobifenila
Cloro	Mercúrio	p,p'-DDT	Pentaclorobenzeno			
Cianetos	Níquel	p,p'-DDE	Trifluoralina			
Fluorados	Chumbo	p,p'-DDT	Isodrina			
DQO	Zinco	Dieldrina	Clordano			
AOX		Endosulfan	Clordecona			
		Endrina	Mírex			
			Toxafeno			

**Fonte:** EMACASA, 2009.

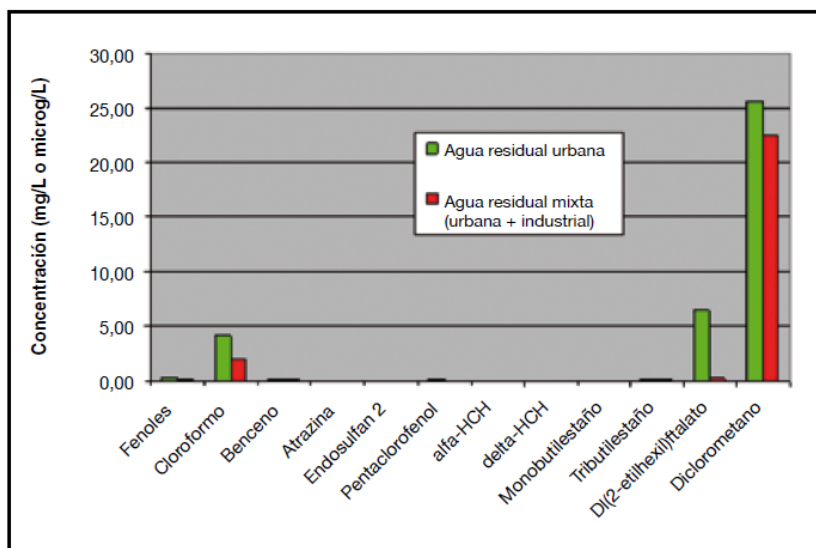
**Tabela 4b.** Contaminantes Prioritários em Águas Residuais Europeias

COV's		Alquifenóis	Organometálicos	HPA's	Outros Compostos Orgânicos
1,2-dicloroetano	Triclorometano	Nonilfenóis Octilfenóis	Comp. organoestânicos Tributilestanho Trifenilestanho	Hidrocarb. Pol.	C10-13 Cloroalcanos Dioxinas/Furanos PCBs  Cloreto de vinila Bromodifenileteres Penta-BDE  Octa-BDE  Deca-BDE Ftalato de bis (2- etilhexilo) Amianto
Diclorometano	Benzeno			Arom.	
Hexaclorobutadieno	Etilbenzeno			Antraceno	
	Óxido de etileno			Fluoranteno	
Tetracloroetileno	Naftaleno			Benzo(g,h,i)perileno	
Tetraclorometano	Tolueno			Benzo(a)pireno	
Triclorobenzenos				Benzo(b)fluoranteno	
1,2,3-Triclorobenzeno	Xilenos			Benzo(k)fluoranteno	
1,2,4-Triclorobenzeno	p-xileno			Indeno(1,2,3-cg)pireno	
1,2,5-Triclorobenzeno	o-xileno				
Tricloroetileno	m-xileno				

**Fonte:** EMACASA, 2009.

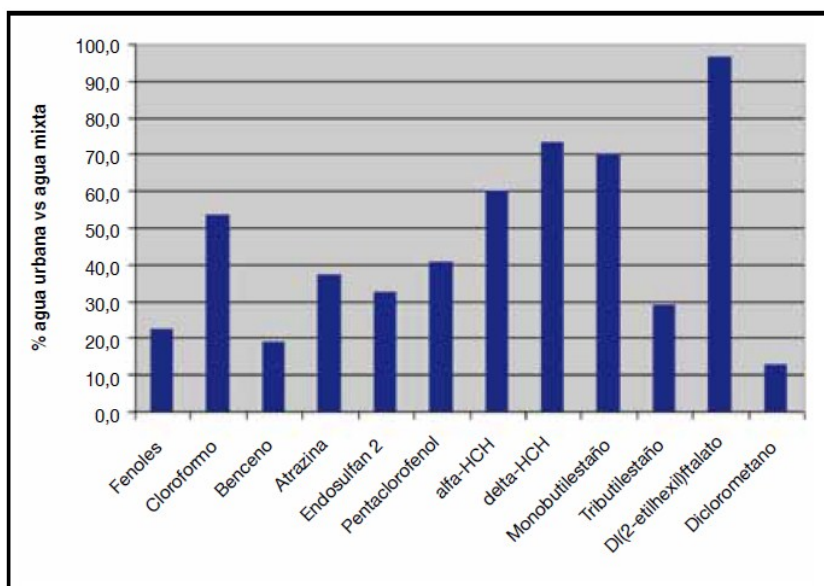
Em relação à origem e à presença de contaminantes prioritários e outros compostos orgânicos presentes em sistemas de saneamento europeus, pode-se verificar alguns dados nas Figuras 1 e 2. Nelas são apresentadas substâncias cujos níveis estatísticos de concentrações foram mais elevados em águas urbanas (efluentes domésticos) que em águas mistas (efluentes domésticos e industriais) em ETE espanholas. Dentre essas substâncias encontram-se tanto solventes e afins quanto fenóis e benzeno, além de substâncias ligadas à água doméstica (clorofórmio, diclorometano, pesticidas e compostos organo-estânicos). Além disso, as percentagens que estas substâncias se encontram a mais em água urbana que em mista, foram: cerca de 15 % no caso de diclorometano, quase 100 % para o bis(2-etilhexil)ftalato, 70 % nos casos de delta-HCH e monobutilestanho e de 20 % a 50 % para os demais compostos (EMACASA *et al.*, 2009).

**Figura 1.** Contaminantes com Maiores Concentrações em Águas Urbanas



Fonte: EMACASA, 2009

**Figura 2.** Contaminantes com Maiores Concentrações em Águas Urbanas x Águas Mistas



Fonte: EMACASA, 2009

Portanto, os principais contaminantes prioritários encontrados em águas para consumo humano e residuais são: compostos inorgânicos, orgânicos, e pesticidas. Estes, serão abordados detalhadamente nos itens subsequentes.

### 2.3.1. Compostos Inorgânicos

A Química Inorgânica é uma ciência que se ocupa da investigação experimental e interpretação teórica das propriedades e reações de todos os elementos químicos e seus compostos exceto os hidrocarbonetos e muitos de seus derivados (SHRIVER E ATKINS, 2003). Portanto, compostos inorgânicos constituem-se principalmente de: metais (cádmio, chumbo e mercúrio, por exemplo), e outros compostos inorgânicos, como amônia, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono, amianto e alguns íons (cianeto, nitrato, sulfeto, perclorato, por exemplo). A presença destes compostos como contaminantes em meio hídrico será abordada a seguir.

### 2.3.1.1. Metais

Na água, os metais traços podem estar presentes em diferentes formas ou espécies dependendo das condições físicas e químicas do meio, como íons livres, complexados com compostos solúveis orgânicos ou minerais (fração dissolvida), associados à matéria orgânica ou mineral insolúvel (fração particulada) (MELO *et al.*, 2012).

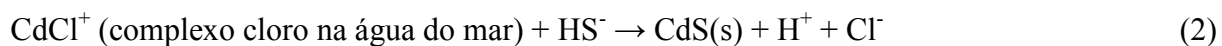
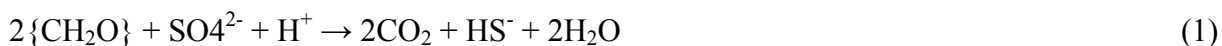
A presença de material particulado em suspensão, formada por vários compostos, tais como, material orgânico e óxidos metálicos, influencia diretamente o comportamento dos elementos, pois afeta a fração dissolvida, o tempo de residência e, conseqüentemente, a biodisponibilidade e o transporte no curso de água. Devido à importância da partição de metais traços entre as fases dissolvida e particulada, a toxicidade não pode ser atribuída exclusivamente à fração total presente no meio (MELO *et al.*, 2012).

#### A – Cádmio

O cádmio, poluente da água, é resultado de descargas industriais e de resíduos de mineração, sobretudo do processo de metalização. Quimicamente, o cádmio é muito semelhante ao zinco e esses dois metais, freqüentemente, passam pelos mesmos processos juntos. Além disso, ambos são encontrados na água com estado de oxidação, cátion  $2+$  (MANAHAN, 2013).

O cádmio e o zinco são poluentes comuns na água e nos sedimentos em portos de áreas industriais. Concentrações acima de 100 ppm em peso seco de sedimento podem ser encontradas nessas áreas. Normalmente, durante os períodos de calma no verão, quando a água estagna, a concentração de Cd é baixa, pois a ação microbiana  $\{CH_2O\}$  produz sulfeto,

que precipita o cádmio como sulfeto insolúvel. As Equações 1 e 2 apresentam a precipitação de sulfeto de cádmio pela ação microbiológica (MANAHAN, 2013).



## **B – Chumbo**

O chumbo inorgânico decorrente de inúmeras fontes industriais e mineradoras, além da gasolina, que no passado continha esse elemento, ocorre em água no estado de oxidação +2. Além das fontes poluentes, o calcário contendo chumbo e a galena (PbS) contribuem para os teores de chumbo em águas naturais, em determinados locais. Apesar do aumento no uso de chumbo pela indústria, evidências de amostras de cabelo humano e outras fontes indicam que a presença desse metal tóxico no corpo humano diminuiu durante as últimas décadas. Isso se deve ao resultado da diminuição de chumbo usado em tubulações e outros produtos em contato com alimentos e bebidas (MANAHAN, 2013).

Com exceção de casos isolados, o chumbo não é um grande problema na água potável, embora essa probabilidade exista nos casos em que tubulações de chumbo ainda estejam em uso. O chumbo foi utilizado como constituinte de solda e em algumas formulações de solda em tubos, de modo que a água doméstica ainda pode ter algum contato com ele. A água que ficou nesses encanamentos por muito tempo pode apresentar níveis significativos do elemento (juntamente com zinco, cádmio e cobre) e é preciso deixá-la escoar por um tempo antes de utilizá-la (MANAHAN, 2013).

## **C - Mercúrio**

Devido à sua toxicidade, a mobilização de formas metiladas por bactérias anaeróbias e outros fatores de poluição, o mercúrio gera grande preocupação como um metal pesado poluente. Esse metal é encontrado como componente-traço de muitos minerais e em rochas continentais, em média, 80 partes por bilhão, ou um pouco menos. Combustíveis fósseis, como, carvão e lignita contêm mercúrio, muitas vezes em níveis de 100 partes por bilhão ou mesmo maior, e sua combustão é uma das maiores fontes desse elemento no ambiente (MANAHAN, 2013).

O mercúrio é lançado no meio ambiente por meio de diversas fontes de uso humano, tais como, descarte de produtos químicos de laboratório, baterias, termômetros quebrados,

preenchimento de dentes com amálgama, antigos fungicidas e produtos farmacêuticos. Tomadas individualmente, cada uma dessas fontes pode não contribuir muito com o metal tóxico, mas o efeito total dessas fontes pode ser considerável, já que, o efluente de tais atividades, contém até 10 vezes o nível de mercúrio encontrado em águas naturais. Além disso, uma das maiores fontes mundiais de poluição causada pelo mercúrio era a utilização como insumo na extração de ouro e de minerais preciosos (MANAHAN, 2013).

Devido à presença recorrente do mercúrio em águas superficiais brasileiras, principalmente em regiões de garimpo nos Estados do Norte e em mananciais que recebem efluentes industriais no Sudeste, este é selecionado para constantes monitoramentos. Ele é bioacumulável e neurotóxico na forma de metilmercúrio, acarretando diversos danos irreversíveis ao sistema nervoso central (BERGAMASCO *et al.*, 2011).

As concentrações inesperadamente altas de mercúrio encontradas na água e nos tecidos de peixes resultam da formação do íon solúvel monometilmercúrio,  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  e do dimetilmercúrio,  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ , que é volátil, por bactérias anaeróbias presentes em sedimentos. O mercúrio destes compostos torna-se concentrado no tecido lipídico dos peixes e o fator de concentração do mercúrio na água para a concentração em peixes pode exceder  $10^3$ . O agente metilante pelo qual o mercúrio inorgânico é convertido em compostos metilmercúrio é metilcobalamina, um análogo da vitamina  $\text{B}_{12}$ , apresentado na Equação 3 (*apud* MANAHAN, 2013).



### 2.3.2.2 Outros Compostos Inorgânicos

#### A - Cianeto

O cianeto, uma substância venenosa mortal que pode existir na água como HCN, um ácido fraco, com  $K_a$  de  $6 \times 10^{-10}$ . O íon cianeto tem uma forte afinidade por muitos íons metálicos, formando o ferrocianeto,  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ , relativamente menos tóxico, por exemplo. O HCN volátil é muito tóxico e foi usado em execuções em câmaras de gás nos EUA (MANAHAN, 2013).

O cianeto é amplamente utilizado na indústria, especialmente para limpeza de metais e galvanoplastia. É também um dos principais poluentes do efluente de lavagem de gases em usinas de gás e fornos de coque. Além disso, é empregado em certas operações de

processamento de minerais. Muitos casos de mortandade de peixes resultaram do despejo de cianeto dessas operações de processamento de metais em corpos hídricos (MANAHAN, 2013).

### **B - Amônia**

Níveis excessivos de nitrogênio amoniacal causam problemas na qualidade da água. A amônia é o produto inicial da decomposição de resíduos orgânicos nitrogenados e sua presença, frequentemente indica a presença de tais resíduos. É um componente comum de águas subterrâneas com baixos pE e às vezes é adicionada à água potável, para desinfecção, onde reage com o cloro gerando cloro residual. Como o  $pK_a$  do Íon de amônio,  $NH_4^+$ , é 9,26 a maior parte da amônia na água está presente como  $NH_4^+$  ao invés de  $NH_3$  (MANAHAN, 2013).

### **C - Sulfeto de Hidrogênio**

O sulfeto de hidrogênio,  $H_2S$ , é um produto da decomposição anaeróbia de matéria orgânica contendo enxofre. Também é produzido na redução anaeróbia de sulfatos por microrganismos e é emitido como um poluente gasoso por águas geotérmicas. Resíduos de plantas químicas de papel, fábricas têxteis e curtumes também podem conter  $H_2S$ . Sua presença é facilmente detectada por seu odor de ovo podre. Na água, o  $H_2S$  é um ácido diprótico fraco com  $pK_{a1}$  de 6,99 e  $pK_{a2}$  de 12,92. O  $S^{2-}$  não está presente em águas naturais normais. Além disso, o íon sulfeto tem grande afinidade por muitos metais pesados e a precipitação de sulfetos metálicos, geralmente, acompanha a produção de  $H_2S$  (*apud* MANAHAN, 2013).

### **D – Dióxido de Carbono**

O dióxido de carbono livre,  $CO_2$ , está frequentemente presente na água em níveis elevados devido à degradação de material orgânico. Também é adicionado para abrandar a água, durante o tratamento, como parte de um processo de recarbonatação. Níveis excessivos de dióxido de carbono podem tornar a água mais corrosiva e prejudicam a vida aquática (MANAHAN, 2013).

### **E - Nitrato**

O nitrato,  $\text{NO}_2^-$ , ocorre na água como um estado intermediário de oxidação do nitrogênio em uma faixa de pH relativamente estreita. Já o nitrito é adicionado à água em certos processos industriais como um inibidor da corrosão. No entanto, raramente ocorre na água potável a níveis superiores 0,1 mg/L (MANAHAN, 2013).

#### **F - Sulfeto**

O íon sulfeto,  $\text{SO}_3^{2-}$ , é encontrado em algumas águas residuais de indústrias. O sulfito de sódio é comumente adicionado às águas de alimentação de caldeiras como um eliminador de oxigênio. Uma vez que o  $\text{pK}_{a1}$  do ácido sulfuroso é 1,76 e  $\text{pK}_{a2}$  é 7,20, em águas naturais o sulfito existe como  $\text{HSO}_3^-$  ou  $\text{SO}_3^{2-}$  dependendo do pH (MANAHAN, 2013).

#### **G - Perclorato**

O íon perclorato,  $\text{ClO}_4^-$ , surgiu como um problema na poluição da água na década de 1990, quando os avanços na cromatografia iônica permitiram sua detecção em faixas muito baixas de concentração, da ordem de partes por bilhão. Na água, o perclorato não é muito reativo, e todos os sais de perclorato comuns, exceto o  $\text{KClO}_4$ , são solúveis e, logo, de difícil remoção. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) recomenda um nível padrão de perclorato para a água potável de 1 parte por bilhão (MANAHAN, 2013).

#### **H - Amianto**

A toxicidade do amianto inalado é bem reconhecida. Suas fibras escarificam o tecido pulmonar e o câncer pode se desenvolver entre 20 e 30 anos após a exposição. Não se sabe ao certo se o amianto é tóxico na água para consumo humano. Isso tem sido uma questão preocupante devido ao despejo de taconita (um rejeito de minério de ferro) contendo fibras semelhantes às do amianto em lagos americanos. (*apud* MANAHAN, 2013).

### **2.3.2. Compostos Orgânicos**

A química orgânica é a química dos compostos de carbono e estes são o centro de vida no planeta. Os compostos de carbono incluem os ácidos desoxirribonucleicos, as moléculas helicoidais gigantes que contêm toda nossa informação genética. Elas incluem proteínas que catalisam todas as reações em nosso corpo, e isso constitui os compostos essenciais de nosso

sangue, músculos e pele. Junto com o oxigênio do ar que respiramos, os compostos de carbono fornecem a energia que sustenta a vida (*apud* SOLOMONS E FRUHLE, 2001).

Serão abordados dentro desta categoria, os compostos orgânicos contaminantes em águas residuárias (esgoto): substâncias com demanda de oxigênio, produtos orgânicos refratários, óleos e graxas, sais orgânicos e agentes quelantes; e os sabões, detergentes e bases para detergentes, toxinas microbianas e pesticidas em geral.

### 2.3.2.1. Esgoto

A Tabela 4 mostra que o esgoto de origem doméstica, do processamento de alimentos e de fontes industriais contém uma grande variedade de poluentes, incluindo os de origem orgânica. Alguns desses poluentes, particularmente substâncias que com demanda de oxigênio - óleo, graxa e sólidos -, são removidos nos processos de tratamento de efluentes primário e secundário. Outros, como sais, metais pesados e refratários (orgânicos resistentes à degradação), não são removidos eficientemente (MANAHAN, 2013).

**Tabela 5.** Principais Constituintes do Esgoto em um Sistema de Esgotamento Urbano

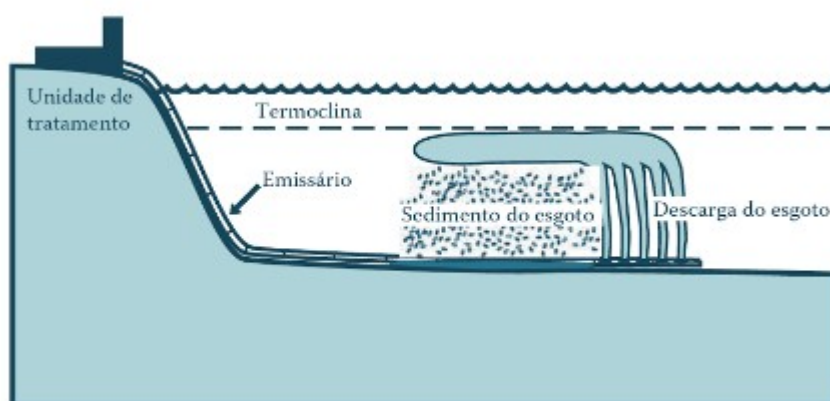
<b>Constituinte</b>	<b>Fontes em potencial</b>	<b>Efeitos na água</b>
Substâncias com demanda de oxigênio	Principalmente materiais orgânicos, especial fezes e urina humanas	Consumem oxigênio dissolvido
Produtos orgânicos refratários	Resíduos industriais, produtos de limpeza	Tóxicos à vida aquática
Vírus	Resíduos humanos	Causam doença (possivelmente câncer), principal obstáculo para a reciclagem de esgoto para os sistemas hídricos
Detergentes	Detergentes domésticos	Propriedades organolépticas da água, impedem a remoção de graxas e óleos, tóxicos à vida aquática
Fosfatos	Detergentes	Nutrientes de algas
Óleos e Graxas	Cozinha, processamento de alimentos, resíduos industriais	Propriedades organolépticas da água, prejudiciais a parte da vida aquática
Sais	Resíduos humanos e industriais, abrandadores de água	Aumentam a salinidade da água
Metais	Resíduos industriais, laboratórios químicos	Toxicidade

Agentes quelantes	Alguns detergentes, resíduos industriais	Solubilização e transporte de metais
Sólidos	Todas as fontes	Propriedades organolépticas da água, prejudiciais à vida aquática

**Fonte:** MANAHAN, 2013.

A eliminação de esgotos não adequadamente tratados pode causar problemas graves. Por exemplo, a disposição de esgoto no mar, comumente praticada pelas cidades costeiras, resulta na formação de leitos de resíduos desse material. O esgoto municipal contém, tipicamente, aproximadamente 0,1 % de sólidos, mesmo após o tratamento, e este se deposita no oceano em um padrão típico, ilustrado na Figura 3. A água do esgoto pode ser morna em comparação com o hipolímnio e é transportada pelas marés ou correntes. A agregação de colóides do esgoto é auxiliada pela dissolução de sais na água do mar promovendo assim a formação de sedimentos contendo lodo (MANAHAN, 2013).

**Figura 3.** Deposição de Sólidos na Descarga de Efluente de Esgoto no leito Oceânico



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

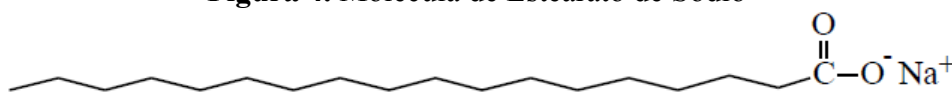
Outro grande problema da disposição do esgoto é o lodo produzido como um produto do processo de tratamento de efluentes. Essa lama contém material orgânico que continua a se degradar lentamente, além de compostos orgânicos refratários e metais pesados. As quantidades de lodo produzidas são realmente surpreendentes. Por exemplo, a cidade de Chicago, nos EUA, produz cerca de 3 milhões de toneladas de lodo por ano. Uma consideração importante com relação à eliminação segura de tais quantidades de lodo é a presença de compostos potencialmente perigosos, como metais (MANAHAN, 2013).

É necessário um controle cuidadoso das fontes de esgoto para minimizar os problemas de poluição. Particularmente, os metais pesados e os compostos orgânicos refratários precisam ser controlados na origem para permitir o uso de esgoto ou efluentes de esgoto tratados, para irrigação, reciclagem para o sistema de abastecimento de água ou na recarga de águas subterrâneas (MANAHAN, 2013).

### 2.3.2.2. Sabões, Detergentes e Bases para Detergentes

Os **sabões** são sais de ácidos graxos superiores, como o estearato de sódio,  $C_{17}H_{35}COO^- Na^+$ . A ação de limpeza do sabão resulta de seu poder emulsificante e de sua capacidade em diminuir a tensão superficial da água. Esse conceito pode ser entendido considerando-se a natureza dual do ânion do sabão. Um exame de sua estrutura mostra que o íon estearato consiste em uma "cabeça", o íon carboxila e uma longa "cauda" de hidrocarboneto. A Figura 4 mostra a estrutura do estearato de sódio.

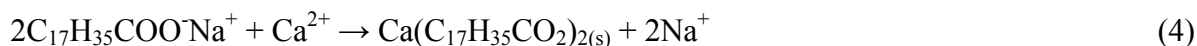
**Figura 4.** Molécula de Estearato de Sódio



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

Na presença de óleos, graxas e outros materiais insolúveis em água, a tendência é que a "cauda" do ânion dissolve-se na matéria orgânica, enquanto a "cabeça" permanece em solução aquosa. Assim, o sabão emulsiona, ou suspende a matéria orgânica na água e os ânions formam micelas coloidais (MANAHAN, 2013).

A principal desvantagem do sabão como agente de limpeza provém da sua reação com cátions bivalentes para formar sais insolúveis de ácidos graxos conforme a Equação 4 (MANAHAN, 2013).



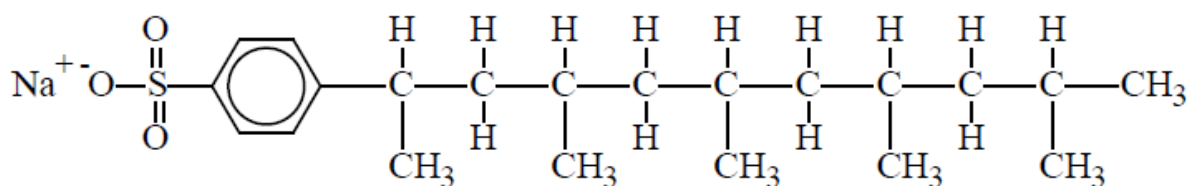
Esses sólidos insolúveis, geralmente sais de magnésio ou cálcio, não são eficazes como agentes de limpeza. Além disso, os "coágulos" insolúveis formam depósitos desagradáveis em roupas e em máquinas de lavar. Se for usado sabão suficiente, todos os cátions bivalentes podem ser removidos por uma reação com o sabão, e essa água contendo

excesso de sabão terá boa qualidade de limpeza. Esta é a abordagem comumente utilizada quando o sabão é empregado com água não abrandada em uma banheira ou pia, onde os sais insolúveis de cálcio e magnésio podem ser tolerados. No entanto, em aplicações como a lavagem de roupas, a água deve ser abrandada pela remoção de cálcio e magnésio ou por sua complexação com substâncias como os polifosfatos (MANAHAN, 2013).

Os **detergentes** sintéticos possuem boas propriedades de limpeza e não formam sais insolúveis com "íons de dureza", como o cálcio e o magnésio. Esses detergentes têm a vantagem adicional de serem sais de ácidos relativamente fortes e, portanto, não precipitam em águas ácidas como sais insolúveis, uma característica indesejável dos sabões. O potencial de contaminação dos detergentes para contaminar a água é alto por causa de seu uso intenso por consumidores, indústrias e instituições (MANAHAN, 2013).

O ingrediente principal dos detergentes é o surfactante ou o agente tensoativo, que torna a água "mais molhada", aumentando seu poder de limpeza. Os surfactantes se concentram nas interfaces da água ou gases (ar), sólidos (sujeiras) e líquidos imiscíveis (óleos). Eles fazem isso por causa de sua estrutura anfifílica, o que significa que uma parte da molécula é um grupo polar ou iônico (cabeça) com forte afinidade pela água e a outra parte é um grupo de hidrocarbonetos (cauda) com aversão à água. Este tipo de estrutura é ilustrado na Figura 5 para a estrutura do alquilbenzeno sulfonato, um surfactante (MANAHAN, 2013).

**Figura 5.** Molécula de Alquilbenzeno Sulfonato



**Fonte:** MANAHAN, 2013

Atualmente, a maior parte dos problemas ambientais atribuídos aos detergentes não surgem dos agentes tensoativos, que basicamente melhoram a capacidade molhante da água. As cargas adicionadas aos detergentes se ligam a íons de dureza, tornando o detergente uma solução alcalina e melhorando muito a ação do surfactante, mas causam muitos problemas ambientais. Um detergente sólido comercial contém apenas 10-30 % de surfactante. Além disso, algumas formulações incluem agentes complexantes para complexar o cálcio e atuar como carga para detergentes. Outros ingredientes incluem trocadores de íons, álcalis (carbonato de sódio),

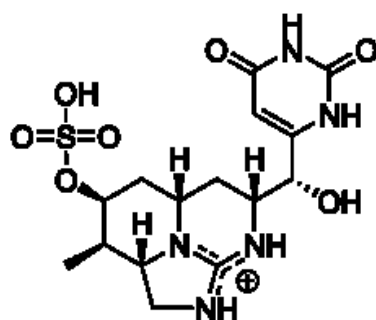
silicatos de sódio anticorrosivos, estabilizantes de espuma à base de amidas, carboximetilcelulose, alvejantes, amaciantes de roupas, enzimas, brilhantadores, fragrâncias, corantes e sulfato de sódio diluente (MANAHAN, 2013).

As crescentes exigências pelo melhor desempenho dos detergentes levaram a um uso crescente de enzimas em formulações desses produtos destinados tanto ao mercado doméstico como comercial. Até certo ponto, as enzimas podem substituir o cloro e os fosfatos, ambos prejudiciais ao meio ambiente. Lipases e celulases são as enzimas mais utilizadas para as formulações de detergentes (MANAHAN, 2013).

### 2.3.2.3. Toxinas Microbianas

As bactérias e os protozoários presentes na água produzem toxinas capazes de causar doenças e até a morte. As toxinas produzidas em rios, lagos e reservatórios por cianobactérias como *Anabaena*, *Microcystis* e *Nodularia* foram responsáveis por efeitos prejudiciais à saúde na Austrália, no Brasil, na Inglaterra e em outros países. Existem cerca de 40 espécies de cianobactérias produtoras de toxinas pertencentes a seis grupos químicos. A toxina cilindrospermopsina, mostrada na Figura 6, produzida por cianobactérias foi responsável pelo envenenamento de pessoas que ingeriram água contaminada por ela (MANAHAN, 2013).

Figura 6. Estrutura da Cilindrospermopsina



Fonte: MANAHAN, 2013.

### 2.3.3. Pesticidas

Em função das inovações de produtos surgidas nas últimas décadas, o termo ‘pesticida’ foi agregando uma série de substâncias destinadas a prevenir, destruir, repelir ou

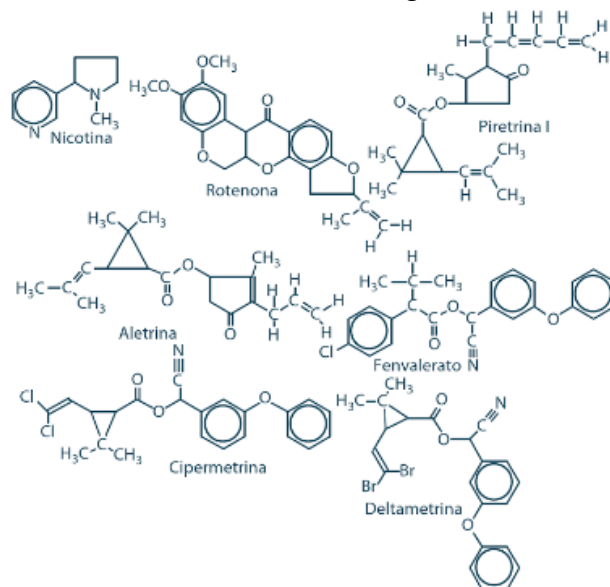
mitigar quaisquer insetos, roedores, nematóides, fungos, ervas daninhas ou outras formas de vida declaradas como ‘pestes’. Com as referidas inovações, incluíram-se nessa categoria substâncias que são usadas como reguladores de crescimento, os desfolhantes. Todo pesticida, independentemente de sua complexidade, tem pelo menos um ingrediente ativo que age diretamente sobre a peste ao qual se destina. A mistura deste a um ou mais ingredientes ativos é feita mediante os chamados ‘inertes’, constituindo, assim, uma formulação particular de pesticida (NETO E FERREIRA, 2007).

A introdução do DDT durante a Segunda Guerra Mundial marcou um período de crescimento acelerado do uso de pesticidas. Os pesticidas são empregados para diversos propósitos. Os produtos químicos utilizados no controle de invertebrados incluem inseticidas, moluscicidas (atuantes no controle de caracóis e lesmas), e nematicidas (atuantes no controle de vermes microscópicos). Os vertebrados são controlados por raticidas, que matam roedores, avicidas repelem aves e piscicidas, utilizados no controle de peixes. Herbicidas são usados para matar plantas, sobretudo ervas daninhas em terras cultivadas. Os reguladores de crescimento de plantas, desfolhantes e dessecantes de plantas são utilizados para vários fins no cultivo de plantas. Os fungicidas atuam contra fungos, os bactericidas contra bactérias, os microbicidas impedem a ocorrência de organismos produtores de substâncias pegajosas na água e os algicidas combatem a proliferação de algas. Contudo, os inseticidas e os fungicidas são os pesticidas mais importantes com relação à exposição humanos em alimentos, porque eles são aplicados pouco antes ou mesmo após a colheita. A produção de herbicidas aumentou, como prova o consumo crescente de produtos químicos no controle de ervas daninhas em substituição às atividades diretas do cultivo da terra para essa finalidade, e hoje responde pela maioria dos pesticidas usados na agricultura. Existe o potencial para grandes quantidades de pesticidas serem introduzidos na água, seja diretamente, em aplicações como o controle de mosquitos seja indiretamente, pelos deflúvios de terras agrícolas (*apud* MANAHAN, 2013).

O Anexo I apresenta pesticidas que podem ser poluentes aquáticos (MANAHAN, 2013).

Várias classes significativas de inseticidas são derivadas de plantas. Dentre elas incluem-se a nicotina de tabaco, a rotenona extraída de certas raízes de leguminosas e piretrinas. Na Figura 7 estão apresentadas as principais fórmulas estruturais para estes compostos. Por causa das formas em que são aplicadas e suas biodegradabilidades, essas substâncias não oferecem riscos significativos como poluentes da água (MANAHAN, 2013).

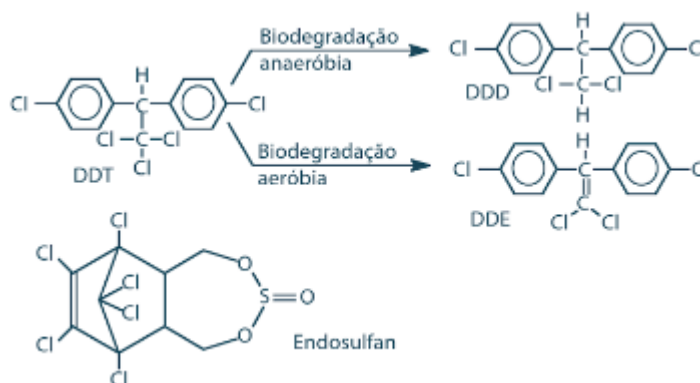
**Figura 7.** Fitoinseticidas Comuns e Análogos Sintéticos das Piretrinas



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

Os inseticidas à base de hidrocarbonetos clorados ou organoclorados são hidrocarbonetos em que diferentes átomos de hidrogênio foram substituídos por átomos de cloro. As fórmulas estruturais de vários inseticidas de hidrocarbonetos clorados são mostradas na Figura 8. Além disso, pode-se ver que as fórmulas estruturais desses inseticidas são muito semelhantes (MANAHAN, 2013).

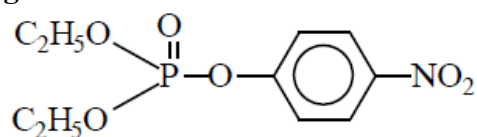
**Figura 8.** Exemplos de Inseticidas Organoclorados



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

Os inseticidas organofosforados são compostos orgânicos inseticidas que contêm fósforo em sua fórmula, alguns dos quais são ésteres orgânicos do ácido ortofosfórico, tais como o paraoxon, apresentado na Figura 9 (MANAHAN, 2013).

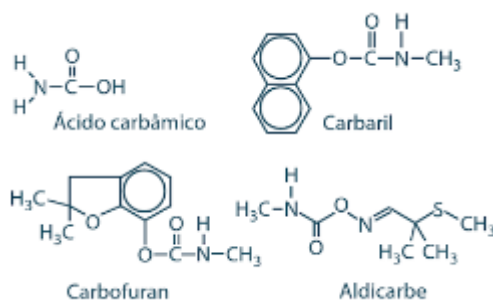
**Figura 9.** Fórmula Estrutural do Paraoxon



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

Derivados orgânicos do ácido carbâmico com ação inseticida, para os quais a fórmula é mostrada na Figura 10, são conhecidos como carbamatos. Os inseticidas à base de carbamatos foram amplamente utilizados porque alguns são mais biodegradáveis do que os anteriormente conhecidos, inseticidas organoclorados, e apresentam menor toxicidade dérmica do que a maioria dos pesticidas organofosforados comuns (MANAHAN, 2013).

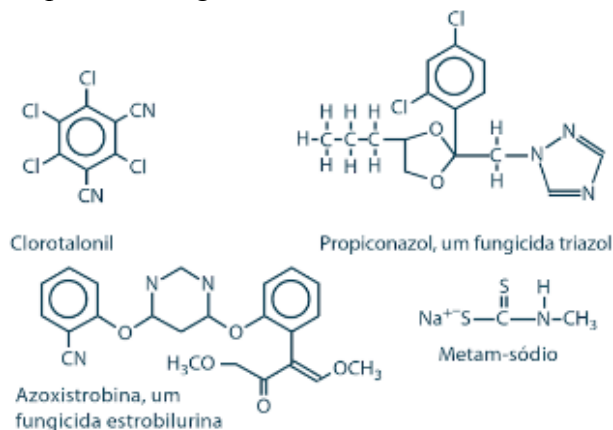
**Figura 10.** Ácido Carbâmico e Três Inseticidas à base de Carbamato



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

Os fungicidas são aplicados em culturas de cereais e alimentos para impedir infecções fúngicas; logo, esses compostos podem contaminar a água. As fórmulas estruturais de quatro fungicidas muito utilizados são mostradas na Figura 11 (MANAHAN, 2013).

**Figura 11.** Quatro Exemplos de Fungicidas muito Utilizados e Potenciais Poluentes da Água



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

Os herbicidas são aplicados em milhões de hectares de terras agrícolas em todo o mundo e são poluentes da água como resultado desse uso intensivo. Um relatório de 1994 de um grupo de trabalho ambiental privado indicou a presença de 121 herbicidas em águas de abastecimento no oeste dos EUA. Os herbicidas citados foram a atrazina, simazina, cianazina, metolaclor e alaclor, dos quais os três primeiros são os mais utilizados. Essas substâncias são aplicadas para controle de ervas daninhas em plantações de milho e soja. O grupo ambiental que fez o estudo contactou a EPA para que houvesse um padrão mais rigoroso de pesticidas em alimentos e na água, sendo que se chegou a uma estimativa de que cerca de 3,5 milhões de pessoas possuem risco adicional de câncer por causa desses pesticidas em água potável nos EUA (MANAHAN, 2013).

Portanto, pesticidas são prejudiciais tanto à saúde humana quanto ao meio ambiente, pois são fontes de poluição difusa e de difícil controle, contaminando corpos d'água e o ecossistema aquático. Como possuem nutrientes em sua fórmula estrutural como, nitrogênio e fósforo, são responsáveis pelo processo de eutrofização, causando o crescimento acelerado de algas e provocando o acúmulo de matéria orgânica em decomposição (MANAHAN, 2013).

## **2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS E À SAÚDE**

A maior parte dos contaminantes químicos presentes em águas subterrâneas e superficiais, devidos à atividade humana, está relacionada às fontes industriais e agrícolas. A variedade é enorme, e os mais importantes são os metais pesados (como chumbo, arsênio, cádmio e mercúrio); agrotóxicos (nitratos, compostos organoclorados, organofosforados ou carbamatos) e compostos orgânicos voláteis (como produtos combustíveis e solventes halogenados) (NETO E FERREIRA, 2007). Assim, a contaminação da água causada pela ação humana, por contaminantes prioritários (aqueles que possuem limites de concentrações legislados), apresenta diversas consequências à própria saúde de humana, de não humanos e ao meio ambiente em geral.

Quanto aos metais pesados, os efeitos da intoxicação aguda por cádmio em seres humanos são muito graves, entre eles estão: hipertensão arterial, danos nos rins, destruição do tecido testicular e destruição de glóbulos vermelhos. Acredita-se que grande parte da ação fisiológica do cádmio surge da sua similaridade química com o zinco. Especificamente, o cádmio pode substituir o zinco em algumas enzimas, alterando assim a estereoestrutura da enzima e prejudicando sua atividade catalítica, causando doenças (MANAHAN, 2013).

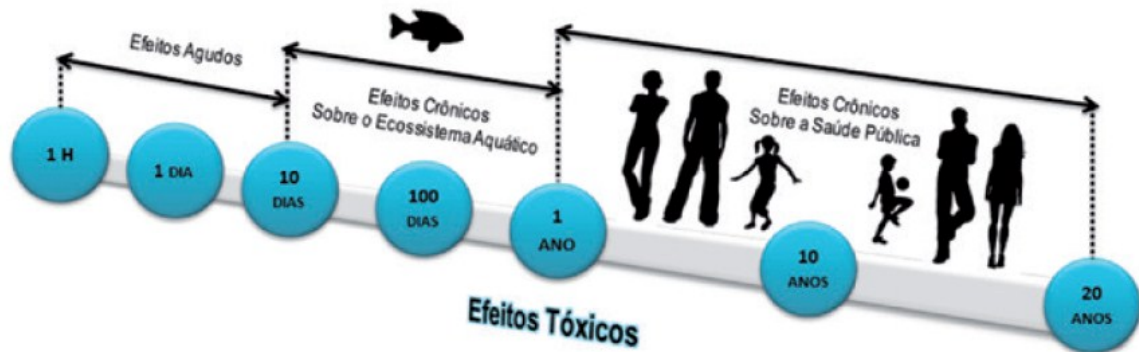
Com relação ao chumbo, o envenenamento agudo em humanos causa disfunção grave nos rins, afetando também o sistema reprodutivo, o fígado, o cérebro e o sistema nervoso central, resultando em doenças ou morte. Sabe-se que o envenenamento por chumbo pela exposição ambiental causou o atraso mental em muitas crianças. Já o envenenamento moderado por chumbo causa anemia e a vítima pode ter dores de cabeça e nos músculos, e pode sentir cansaço e irritabilidade (MANAHAN, 2013).

Já para o mercúrio, os efeitos toxicológicos são: danos neurológicos, incluindo irritabilidade, paralisia, cegueira ou insanidade, ruptura cromossômica e defeitos de nascença. Os sintomas mais leves de intoxicação por mercúrio, tais como, depressão e irritabilidade têm um caráter psicopatológico. Por causa da semelhança desses sintomas com problemas comportamentais comuns, a intoxicação leve por mercúrio pode escapar à detecção. Algumas formas de mercúrio são relativamente não tóxicas e anteriormente eram usadas como medicamentos, como por exemplo, no tratamento da sífilis. Outros compostos de mercúrio, particularmente compostos orgânicos, são altamente tóxicos (MANAHAN, 2013).

Além disso, substâncias que bioacumulam e/ou são extremamente tóxicas, como o mercúrio e o cádmio, entre outras, devem sempre ser analisadas com muita cautela, pois exposição contínua, mesmo em baixas concentrações, pode levar a um aumento da carga corpórea total dessas substâncias e a uma intoxicação crônica. É importante ressaltar que para as diferentes substâncias químicas, sejam elas essenciais ou não, o efeito tóxico não depende apenas da concentração da substância na água, mas também da frequência e da duração da exposição, bem como das propriedades da própria substância e da exposição simultânea a outras substâncias químicas (UMBUZEIRO *et al.*, 2012).

Para a ocorrência de efeitos toxicológicos agudos é necessária a exposição com elevadas doses da substância em curto espaço de tempo. No entanto, a exposição a baixas doses da mesma substância por longo tempo pode acarretar efeitos crônicos na população, como mostra a Figura 12. Esses efeitos, dependendo da substância, podem ser muito diferentes considerando a condição de exposição; por exemplo, o benzeno na exposição aguda afeta o sistema nervoso central e na exposição crônica afeta a medula óssea, provocando a leucemia benzênica (UMBUZEIRO *et al.*, 2012).

**Figura 12.** Escalas Temporais de Importância Relativas a Substâncias Tóxicas



**Fonte:** UMBUZEIRO *et al.*, 2012.

Segundo BERGAMASCO *et al.* (2011), o chumbo merece atenção especial devido aos seus comprovados efeitos adversos no sistema nervoso central, como doença de Alzheimer, deterioração do sistema reprodutivo e aumento da incidência de abortos. Além disso, sugerem que o cádmio também tem grande importância em termos de saúde pública, podendo afetar a massa óssea, levar à insuficiência renal, problemas reprodutivos e no desenvolvimento dos embriões, todos agravados por longo período de exposição. Ademais, o consumo de água contendo cromo hexavalente pode resultar em reações alérgicas, úlceras, redução de respostas do sistema imune, câncer e outras alterações do material genético.

Diversas classes de pesticidas e outros compostos químicos despertam preocupações específicas devido aos efeitos que podem apresentar, entre os quais (1) compostos recalcitrantes - resistentes à biodegradação, (2) carcinogênicos prováveis ou conhecidos, (3) compostos tóxicos com efeitos negativos na reprodução ou no desenvolvimento, (4) neurotoxinas, como os inibidores da colinesterase, (5) substâncias com valores elevados de toxicidade aguda e (6) contaminantes conhecidos de águas subterrâneas (MANAHAN, 2013).

Quanto aos efeitos causados por toxinas microbianas, destaca-se que o maior perigo das toxinas dinoflageladas, produzida principalmente por espécies marinhas, para os seres humanos está na ingestão de crustáceos como mariscos e mexilhões que acumularam os protozoários da água do mar. Nessa forma, o material tóxico é chamado de veneno paralisante de crustáceos. Bastam 4 mg dessa toxina, a quantidade presente em diversos moluscos e mariscos gravemente infestados, para matar um pessoa. A toxina deprime a respiração e afeta o coração, resultando em parada cardíaca em casos extremos (MANAHAN, 2013).

No que se referem aos inseticidas, os inseticidas organoclorados, o mais notável foi o DDT que foi usado em grandes quantidades após a Segunda Guerra Mundial. Tem uma baixa toxicidade aguda para mamíferos, embora existam evidências de que seja cancerígeno.

É um inseticida muito persistente e acumula-se em cadeias alimentares e foi proibido nos EUA em 1972 (MANAHAN, 2013).

Além disso, as toxicidades dos inseticidas organofosforados variam muito. O principal efeito tóxico que exercem é a inibição da acetilcolinesterase, uma enzima essencial para o funcionamento da função nervosa. Por exemplo, sabe-se que bastam 120 mg do paraoxon (Figura 9) para matar um humano adulto e uma dose de 2 mg matou uma criança. A maioria das intoxicações acidentais ocorreu por absorção através da pele. Desde o início de seu uso, centenas de pessoas morreram envenenadas pelo paraoxon (MANAHAN, 2013).

Contudo, os efeitos causados por contaminantes prioritários (principalmente, metais pesados, pesticidas e outros compostos inorgânicos e orgânicos) à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos são bem conhecidos e seus limites de contaminação são determinados por lei. É necessária uma fiscalização rígida, para que as legislações sejam efetivas, no sentido de que tais contaminantes não prejudiquem tanto os ecossistemas quanto a saúde ambiental, visto que, podem causar inúmeros problemas como os apresentados (MANAHAN, 2013).

## 2.5 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS

A CONAMA 357/05 dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes e outras providências. Esta foi alterada pelas Resoluções 410/09 e 430/11. A Tabela 6 mostra em destaque os compostos que foram acrescentados à CONAMA 357/05 pela CONAMA 430/11, quanto ao lançamento de efluentes (águas residuárias). A partir de tais dados percebe-se que houve alteração apenas no limite permitido para o cianeto total, que aumentou de 0,2 para 1,0 mg/L e 8 novos parâmetros foram adicionados, sendo 3 inorgânicos e 5 orgânicos (CONAMA, 2011).

**Tabela 6.** Comparação entre as Resoluções 357/05 e 430/11 para Lançamento de Efluentes

CONAMA 357/05		CONAMA 430/11	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO	PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,5 mg/L As	Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba	Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total	5,0 mg/L B	Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd	Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb	Chumbo total	0,5 mg/L Pb

Cianeto total	0,2 mg/L CN	Cianeto total	1,0 mg/L CN
-	-	<b>Cianeto livre</b>	<b>0,2 mg/L CN</b>
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu	Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo total	0,5 mg/L Cr	<b>Cromo hexavalente</b>	<b>0,1 mg/L Cr<sup>+6</sup></b>
-	-	<b>Cromo trivalente</b>	<b>1,0 mg/L Cr<sup>+3</sup></b>
Estanho total	4,0 mg/L Sn	Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe	Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F	Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn	Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg	Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni	Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N	Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag	Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se	Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S	Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn	Zinco total	5,0 mg/L Zn
<b>PARÂMETROS ORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>	<b>PARÂMETROS ORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
-	-	<b>Benzeno</b>	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L	Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L	Dicloroetano	1,0 mg/L
-	-	<b>Estireno</b>	0,07 mg/L
-	-	<b>Etilbenzeno</b>	0,84 mg/L
Fenóis totais	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	Fenóis totais	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L	Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L	Tricloroetano	1,0 mg/L
-	-	<b>Tolueno</b>	1,2 mg/L
-	-	<b>Xileno</b>	1,6 mg/L

**Fonte:** CONAMA 2011.

A Portaria Ministério da Saúde 518, de 25/03/2004 (MS, 2004) estabelece as responsabilidades por parte de quem produz a água potável, a quem cabe o exercício do controle de qualidade da água e das autoridades sanitárias, a quem cabe a missão de “vigilância da qualidade da água” para consumo humano. Além disso, estabelece a quantidade mínima e a frequência que as amostras de água devem ser coletadas para análises de qualidade, bem como os parâmetros e limites permitidos. Dentre os padrões estabelecidos pela Portaria destacam-se: o padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano, o padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção, o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde e o padrão de aceitação

para consumo humano. Os dois últimos padrões são apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

**Tabela 7.** Padrão de Potabilidade para Substâncias Químicas que Representam Risco à Saúde

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
<b>Inorgânicas</b>		
Fluoreto	mg/L	1,5
Cobre	mg/L	2
Arsênio	mg/L	0,01
Chumbo	mg/L	0,01
<b>Orgânicas</b>		
Acetilamida	ug/L	0,5
Benzeno	ug/L	5
Cloreto de vinila	ug/L	5
Tetracloro de carbono	ug/L	2
<b>Desinfetantes</b>		
Cloro livre	ug/L	5

Fonte: MS, 2004.

**Tabela 8.** Padrão de Aceitação para Consumo Humano

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
Amônia	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor aparente	uH	15
Dureza	mg/L	500
Turbidez	UT	5
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000

Fonte: MS, 2004.

Segundo o Guia de Potabilidade para Substâncias Químicas (UMBUZEIRO *et al.*, 2012), feito para o Estado de São Paulo, existem diversos métodos para a priorização de substâncias químicas presentes nas águas. Usualmente, os compostos são priorizados conforme o uso, as quantidades produzidas, a persistência e o tipo de efeito que provocam.

Com base na literatura, os autores fizeram um exercício, visando ao estabelecimento de uma lista de substâncias químicas prioritárias para o Estado de São Paulo, a partir das seguintes premissas: (1) - elaboração de lista geral, composta de 291 substâncias, resultante da combinação das seguintes fontes: (a) Lista de poluentes elencados no Registro de Emissão e Transferência de Poluentes (RETP) do Ministério do Meio Ambiente (2010); (b) Relação dos princípios ativos de agrotóxicos utilizados nas principais culturas do Estado de São Paulo; (c) Relação de agrotóxicos considerados prioritários pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo); (d) Relação de compostos propostos para inclusão durante o processo de revisão da Portaria nº 518; (e) Substâncias regulamentadas nas resoluções CONAMA nº 357/2005, nº 396/2008 e nº 420/2009; (f) Substâncias tóxicas encontradas nos mananciais do Estado de São Paulo, de acordo com pesquisa na literatura; (2) a partir da lista geral, foram estabelecidos os seguintes critérios para exclusão e/ou permanência obrigatória na listagem de substâncias prioritárias: (i) **Permanência obrigatória:** (a) Ocorrência da substância química em mananciais do Estado de São Paulo, de acordo com trabalhos científicos ou relatórios; (b) Presença da substância nas resoluções CONAMA nº 357/2005, nº 396/2008 e nº 420/2009, por representar lista debatida nacionalmente quanto à ocorrência e/ou importância; (c) Princípios ativos de agrotóxicos utilizados nas principais culturas do Estado de São Paulo; (d) Citação no guia da Organização Mundial de Saúde; (ii) **Exclusão:** (a) Substâncias já relacionadas pela Portaria MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, por já possuir padrão para a água de consumo humano; (b) Substâncias da lista RETP (Registro de Emissões e Transferência de Poluente) de não relevância para a água de consumo humano, conforme avaliação realizada pelo grupo técnico, que elaborou este documento; (c) Contaminantes emergentes cuja avaliação da toxicidade existente ainda não permite o estabelecimento de doses de referência e, conseqüentemente, ainda não possibilita derivar critérios de qualidade de água. Então, a combinação destes critérios resultou em uma lista de substâncias que poderiam ser consideradas prioritárias para o Estado de São Paulo, contendo 72 substâncias químicas, em sua maioria agrotóxicos, apresentada no Anexo II deste documento.

Portanto, existem inúmeros regulamentos e normas que apresentam diversos contaminantes, considerados prioritários, presentes em águas potável (para consumo humano) e residuárias, portanto, já legislados no Brasil e no mundo, com comprovado impacto sobre o meio ambiente e à saúde de humanos e não humanos. No entanto, existem compostos, com identificação recente, chamados de contaminantes emergentes (CE), cuja ocorrência natural

ou antrópica, têm potencial para entrar no ambiente e causar efeitos adversos ecológicos e/ou sobre a saúde humana e de não humanos, tendo ainda impactos desconhecidos ou suspeitos.

### 3. CONTAMINANTES EMERGENTES (CE)

Serão abordadas neste capítulo as principais definições relativas à contaminantes emergentes, de acordo com a visão de diversos autores. Além disso, será feita uma contextualização histórica, principalmente no Brasil, sobre os CE e serão discutidos os principais contaminantes e seus impactos ao meio ambiente e à saúde humana e não humana.

#### 3.1. DEFINIÇÃO

Contaminantes emergentes são substâncias recentemente identificadas como micropoluentes e têm sido alvo de discussão por parte da comunidade acadêmica. Tratam-se de produtos de uso cotidiano, presentes em: fármacos, surfactantes, produtos de higiene pessoal, gasolina e plastificantes. Quanto aos compostos que recebem essa nomeação podem ser citados: hormônios naturais, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, pesticidas, ftalatos, indicadores de atividade antrópica, subprodutos industriais, drogas ilícitas, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (NAPOLEÃO, 2011).

A Agência de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos define CE como:

substâncias químicas, de ocorrência natural ou antrópica, ou qualquer microrganismo que não é normalmente controlado no ambiente, mas que tem potencial para entrar no ambiente e causar efeitos adversos ecológicos e/ou sobre a saúde humana, sendo estes efeitos desconhecidos ou suspeitos. (USGS, do inglês *United States Geological Survey*, 2012; *apud* SILVA, 2016).

Outra explicação é enunciada por Santana (2013) como:

uma substância ou um microrganismo cuja ocorrência ou relevância no ambiente foi constatada recentemente, sendo que seus efeitos ainda permanecem incertos (SANTANA, 2013; *apud* SILVA, 2016).

Outra definição, com um enfoque maior nas possíveis legislações pertinentes, é dada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, do inglês *United States Environmental Protection Agency*). Segundo a USEPA, CE são:

poluentes (bióticos e abióticos) que, atualmente, não são incluídos em programas de monitoramento e que podem se tornar candidatos para legislações futuras dependendo de pesquisas sobre ecotoxicidade, efeitos sobre a saúde, percepção pelo público e dados sobre sua ocorrência em vários compartimentos ambientais (USEPA, 2011; *apud* SANTANA, 2013; *apud* SILVA, 2016).

Contaminantes emergentes também podem ser compostos recentemente introduzidos no meio ambiente como, por exemplo, medicamentos aprovados por autoridades competentes

e que, devido ao seu consumo entram no ambiente, ou ainda, podem ser compostos que estão no meio ambiente há muito tempo, mas sua presença foi detectada recentemente. O termo emergente pode englobar também um conjunto de poluentes já existentes e legislados, mas que devido a novos dados de sua ocorrência, destino ou efeitos adversos, tornaram-se objeto de atenção e estudo (DE JESUS GAFFNEYA *et al.*, 2014; *apud* SILVA, 2016).

## **3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA**

### **3.2.1. Brasil**

O desenvolvimento da indústria no mundo pós Segunda Guerra Mundial, e no Brasil pós era Vargas, proporcionou um aumento na produção de pesticidas, conservantes, remédios, e muitas inovações tecnológicas (FREITAS, 2016). Entretanto, o destino final dos compostos desses produtos esteve por muitos anos, como preocupação secundária, ou mesmo inexistente.

A partir dos anos 50, a crescente demanda da sociedade por produtos e bens de consumo industrializados acelerou ainda mais o desenvolvimento tecnológico. Muitas substâncias inovadoras, tais como, produtos farmacêuticos e alimentícios, eram produzidos em larga escala e distribuídos para consumo. Mas, informações ecotoxicológicas de tais substâncias eram desconhecidas e a preocupação com o destino final de produtos e resíduos no ambiente era, quase, inexistente (SODRÉ, 2012).

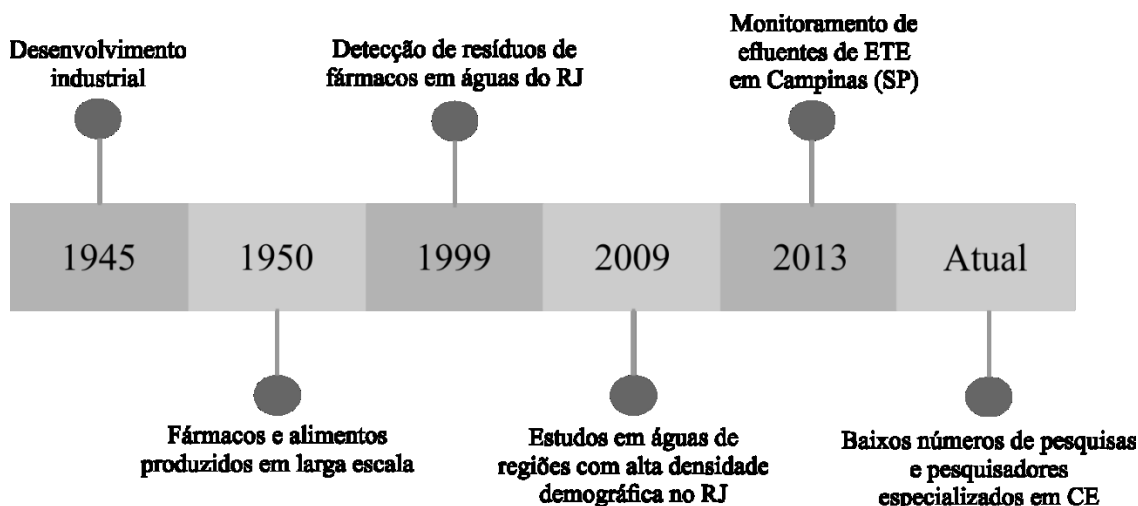
Com o crescimento populacional e intensificação das atividades produtivas, houve maior dinamização da produção e, conseqüentemente, maior geração de resíduos industriais e urbanos. Assim, intensificou-se a deterioração do meio ambiente e acentuaram-se desigualdades sociais, que consolidaram as fragilidades político-administrativas, bem como as incoerências do modelo de produção capitalista (TORRES, 2016).

O Brasil iniciou pesquisas acerca de contaminantes emergentes, a partir de 1999, em um estudo feito no estado do Rio de Janeiro que avaliou a presença de resíduos farmacêuticos na água potável, rios de captação e em amostras de água fornecida para o abastecimento público (TERNES *et al.*, 1999). Dez anos depois, foi feito um estudo para determinar os níveis de estrogênios, progestagênios e fitoestrogênios em águas de regiões com alta densidade demográfica no estado do Rio de Janeiro. Então, obteve-se uma visão primária deste tipo de contaminação, pois não havia nenhum relatório anterior sobre as concentrações de CE em tais regiões. (KUSTER *et al.*, 2009).

Estudos recentes no Estado de São Paulo, sobre essa temática, têm avançando. Sendo que, é possível encontrar publicações advindas do monitoramento de efluentes de ETE, de mananciais de captação e da água tratada, da cidade de Campinas quanto à incidência de fármacos e interferentes endócrinos, e estudos de toxicidade. Contudo, a quantidade reduzida de trabalhos científicos desenvolvidos no país vai além do interesse científico ou de órgãos governamentais, pois envolve a carência de pesquisadores especializados no tema. Além disso, são necessários investimentos em infraestrutura laboratorial e no desenvolvimento de métodos analíticos para a determinação das baixas concentrações de CE nas matrizes ambientais (MOREIRA *et al.*, 2013).

A Figura 13 mostra a sequência de acontecimentos, consequentes do crescimento populacional e desenvolvimento industrial, no consumo e qualificação dos CE.

**Figura 13.** Evolução do Consumo e Qualificação dos Contaminantes Emergentes no Brasil



Fonte: VIEIRA, 2017.

Portanto, será necessária uma atenção maior para estes contaminantes na atualidade, visto que existem poucos estudos, poucos profissionais especializados e baixos investimentos em pesquisa e inovação tecnológica para a quantificação e controle dos CE no Brasil. Como eles não possuem legislação específica são necessárias medidas de precaução até que sejam comprovados seus reais efeitos à saúde e ao ambiente para que não hajam prejuízos futuros.

### 3.2.2. Estados Unidos (EUA)

A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA), instituição que preza pela proteção à saúde humana e ao meio ambiente, apresentou, a partir de seus estudos sobre impactos ambientais causados por contaminantes químicos em águas para consumo humano, quatro listas de candidatos a contaminantes, entre 1998 e 2016. A primeira lista, CCL 1 (Lista de Candidatos a Contaminantes em Água Potável) de março de 1998, contemplou tanto contaminantes microbianos quanto químicos, mas apenas em julho de 2003, a agência normatizou os contaminantes desta lista. Em fevereiro de 2005, a EPA anunciou a CCL 2, no sentido de expandir e fortalecer o processo de listagem para as futuras CCL's. Já a CCL 3, sem data divulgação, incluiu contaminantes que não eram regulamentados ou ocorriam em sistemas públicos de água, além disso, a CCL3 contemplou: pesticidas, subprodutos de desinfecção, produtos químicos utilizados no comércio, patógenos transmitidos pela água, produtos farmacêuticos e toxinas biológicas, totalizando 116 contaminantes. Finalmente, a CCL 4, de novembro de 2016, listou contaminantes não regulamentados que ocorriam nos sistemas públicos de água, sendo que, incluem-se 97 produtos químicos e 12 contaminantes biológicos (EPA, 2017).

O Anexo III mostra a evolução das CCL's ao longo do tempo (EPA, 2017).

### **3.3. CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO**

Os grupos de substâncias popularmente identificadas como contaminantes emergentes são: fármacos, produtos de higiene pessoal, hormônios naturais e sintéticos, agentes antichamas, protetores solares, nanomateriais, pesticidas entre outros. Não existe uma classificação formal dos grupos ou das classes de substâncias estudadas. A classificação pode se dar tanto em função do uso da substância (produtos farmacêuticos e de higiene pessoal), quanto pelas formas de atuação nos seres vivos ou no meio ambiente (interferentes endócrinos). A Tabela 8 mostra algumas das classes de CE comumente investigadas em função de seus usos, assim como exemplos de substâncias (SANTANA, 2013 apud SILVA, 2016).

**Tabela 9.** Classes de Contaminantes Emergentes e Seus Usos

Classe	Exemplo de Substância	Uso
Fármacos	Cafeína	Estimulante
	Atenolol	Anti-hipertensivo
	Carbamazepina	Antiepilético
	Codeína	Analgésico
	Fluoxetina	Antidepressivo
	Amoxicilina	Antibiótico
Produtos de higiene pessoal	DEET	Repelente de inseto
	Triclosan	Agente antimicrobiano
	Isobomeol	Fragrância
	Galaxolide	Fragrância
Hormônios	Estrona	Hormônio reprodutivo
	Estradiol	Hormônio reprodutivo
	Estriol	Hormônio reprodutivo
	Progesterona	Hormônio reprodutivo
	Dietilestibestrol	Antineoplásico
	Levonorgestrel	Anticoncepcional
	Mestranos	Anticoncepcional
	Testosterona	Hormônio reprodutivo
Etinilestradiol	Anticoncepcional	
Plastificantes	Bisfenol A	Plastificante
	Dietilftalato	Plastificante
	Di-2-etilxilftalato	Plastificante
Pesticidas	Matolacloto	Herbicida
	Atrazina	Herbicida
Surfactantes não iônicos	Nonilfenol	Surfactante
	Octilfenol	Surfactante

**Fonte:** SANTANA, 2013 *apud* SILVA, 2016.

O Anexo IV apresenta concentrações de alguns CE mencionados neste trabalho determinados em mananciais de diferentes países.

### 3.3.1. Interferentes endócrinos

Em relação aos CE alguns compostos são ainda classificados devido a seus potenciais ou capacidades de alterarem as funções do sistema endócrino, e como consequência causar efeitos adversos em um organismo saudável ou em seus descendentes (IPCS, 2006). De acordo com USEPA, interferente endócrino é definido como:

um agente exógeno que interfere na síntese, secreção, transporte, ligação, ação ou eliminação dos hormônios naturais no corpo que são responsáveis pela manutenção da homeostase, reprodução, desenvolvimento e/ou comportamento (USEPA, 1997 *apud* SILVA, 2016).

Segundo Sodré (2007), os interferentes endócrinos podem pertencer a diferentes classes, incluindo os estrogênios naturais e sintéticos, os fitoestrogênios, os alquifenóis, os retardantes de chama bromados, o bisfenol A, além de ésteres ftálicos usados como plastificantes, agrotóxicos, alguns hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, as bisfenilas policloradas, os ácidos naftalênicos, algumas dioxinas e furanos.

Os hormônios podem ser substâncias produzidas por seres vivos ou sintéticos. Dentre estes se destacam o  $17\alpha$ -etinilestradiol e os derivados do norgestrel. Dentre aqueles os principais são o estriol, a estrona e o  $17\beta$ -estradiol. Ressalta-se que os contraceptivos, hormônios sintéticos, são empregados no mundo todo, entretanto apenas 15 % destes são metabolizados pelo corpo humano e o restante é eliminado na urina (SODRÉ, 2007). Concentrações médias de  $17\beta$ -estradiol e  $17\alpha$ -etinilestradiol de 5,5 e 4,3 ng/L, respectivamente, em águas superficiais de Amsterdã, na Holanda. BELFROID *et al.* 1999 *apud* SILVA, 2016.

### **3.3.2. Produtos Farmacêuticos e de Higiene Pessoal (PFHP)**

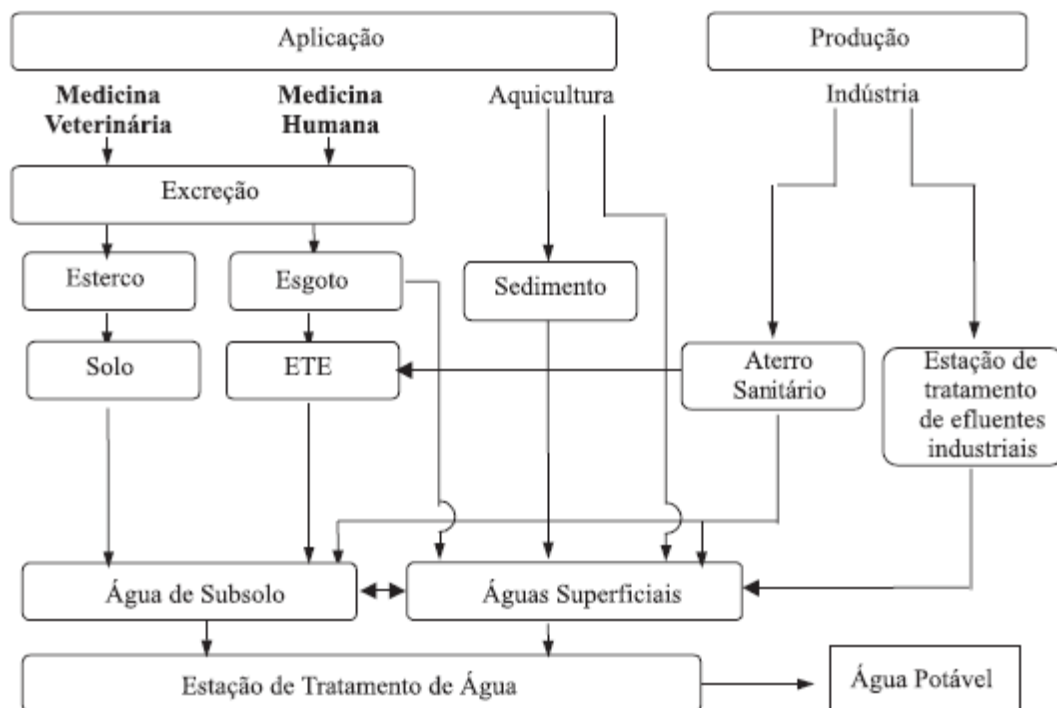
Quanto ao consumo de fármacos no mundo, houve um aumento significativo nos últimos anos, principalmente os que são vendidos sem prescrição médica. Desde então, muitos fármacos têm sido encontrados no meio ambiente com o auxílio de métodos analíticos cada vez mais sensíveis, capazes de detectar concentrações de até ng/L. Atualmente, muitos pesquisadores e órgãos ambientais têm estudado os níveis de concentração desses compostos no meio, sua origem, destino e seus efeitos adversos. Dentre os principais produtos farmacêuticos os mais abundantes no meio são: ibuprofeno, diclofenaco, paracetamol e ácido acetil salicílico (RAIMUNDO, 2007).

Os PFHP compreendem um grupo diversificado de compostos, consumidos e utilizados em grandes quantidades no mundo, podendo ser de uso interno ou externo e compreendendo principalmente princípios-ativos utilizados na formulação de medicamentos de aplicação veterinária, em seres humanos e plantas. Incluem também drogas

quimioterápicas, anti-inflamatórios não esteroidais, agentes utilizados em diagnósticos (meios de contaste para raios-X), estimulantes, a maioria deles não prescritos, além de produtos químicos de consumo diário, utilizados, por exemplo, na cosmética como bloqueador solar, excipientes diversos, essências, fragrâncias, dentre outros. São bastante bioativos, ou seja, participam das reações biológicas, além de muitos deles serem polares e opticamente ativos, ocorrendo na maioria das vezes, quando presentes no meio ambiente, em baixas concentrações (GHISELLI, 2008 *apud* SILVA, 2016).

Daughton e Ternes, a partir de 1998, relataram mais de cinquenta tipos de PFHP, identificados em efluentes, águas superficiais e subterrâneas, e menos frequentemente em água potável. Além desses estudos, há mais de trinta anos suspeitava-se que compostos, especialmente cafeína e ácido acetilsalicílico, poderiam entrar no meio ambiente através de várias rotas, como a partir de efluentes industriais ou esgotos domésticos tratados e não tratados (GHISELLI, 2008). A Figura 14 apresenta as principais rotas de fármacos no meio ambiente (BILA & DEZOTTI, 2003 *apud* SILVA, 2016).

**Figura 14.** Possíveis Rotas de Fármacos no Meio Ambiente



**Fonte:** BILA & DEZOTTI, 2003 *apud* SILVA, 2016.

Dentre os PFHP, os produtos farmacêuticos têm recebido maior atenção, uma vez que são constantemente lançados no meio ambiente e, portanto a cada ano são desenvolvidos

inúmeros estudos de seus impactos ambientais em todo o mundo. A presença destes resíduos no meio ambiente pode apresentar efeitos adversos em organismos aquáticos e terrestres. De Jesus Gaffneya (2013) aponta a ocorrência de tais efeitos em todos os níveis da hierarquia biológica, como células, órgãos, organismos, populações e ecossistemas. Sendo que, as concentrações de alguns compostos podem ser detectadas na ordem de ng/L.

A presença destes contaminantes no meio ambiente pode representar um risco para os ecossistemas e direta ou indiretamente para o homem, visto que, ao contrário da maioria dos poluentes, os PFHP foram desenvolvidos para atuarem especificamente no corpo humano e atuarem em concentrações muito baixas. Segundo De Jesus Gaffneya (2013) *apud* SILVA, 2016, os fármacos encontrados nas águas brutas de consumo humano possuem as seguintes propriedades específicas: “elevada estabilidade química, baixa biodegradabilidade, elevada solubilidade em água e baixos coeficientes de absorção/adsorção”.

Dentre os PFHP, muitos compostos são utilizados como analgésicos, anti-inflamatórios e antitérmicos. Diclofenaco e ibuprofeno desempenham tais funções, sendo poderosos agentes não esteroides usados no combate à febre e para o alívio de dores em geral, como antigripais, no tratamento de reumatismo, etc. O diclofenaco é um fármaco usado principalmente na forma sódica (sal de sódio), recalcitrante e altamente estável sob as condições de operação utilizadas em ETE. Segundo Ghiselli (2008) *apud* SILVA, 2016, o diclofenaco tem sido detectado em mais de 50% dos efluentes alemães, mas apenas 20% deste são removidos após tratamento de efluentes.

O ibuprofeno, terceira droga mais utilizada no mundo, é administrado em elevadas quantidades (600-1200 mg/dose terapêutica) e pode ser encontrado em duas formas enantioméricas, mas seu efeito farmacológico é dado exclusivamente na forma S, ainda que tal composto seja administrado como uma mistura racêmica. No corpo humano, o ibuprofeno sofre a inversão quiral para a forma R, que é mais dificilmente degradada quando lançada nos efluentes (GHISELLI, 2008 *apud* SILVA, 2016). Este dado é importante na análise da toxicidade deste composto frente aos organismos aquáticos, visto que grandes quantidades são excretadas, como mostrado na Tabela 9, e a possibilidade de intervenção no sistema endócrino é real.

**Tabela 10.** Fármacos Detectados em Águas Europeias para Consumo Humano

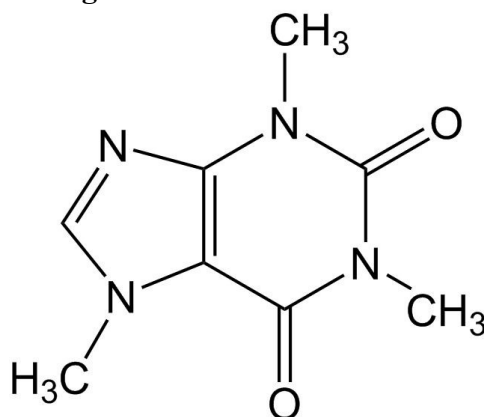
Classe Terapêutica	Fármaco	Concentração máxima detectada (ng/L)	País
Antibióticos	Eritromicina	4,9	EUA
	Sulfametoxazol	22	Holanda
		3	EUA
	Tilosina	1,7	Itália
Anti-convulsivantes	Carbamazepina	140;258	EUA
		43	França
		60	Alemanha
	Fenitoína	1,3	EUA
Antidepressores, ansiolíticos	Amitriptilina	1,4	França
	Diazepam	23,5	Itália
	Fluoxetina	0,82	EUA
		10	Holanda
	Meprobamato	5,9	EUA
Anti-hipertensores	Atenolol	26	EUA
	Metoprolol	26	Holanda
Meios de contraste radiológico	Diatrizoato	1200	Alemanha
	Iopromida	<50	Alemanha
Citotóxicos	Bleomicina	13	Reino Unido
Reguladores lipídicos	Bezafibrato	27	Alemanha
	Ácido clofibrico	50-270	Alemanha
		5,3	Itália
	Gemfibrozil	70	Canadá
Anti-inflamatórios/ Analgésicos	Acetaminofeno	210	França
	Diclofenac	6-35	Alemanha
		2,5	França
	Ibuprofeno	3	Alemanha
		0,6	França
		8,5	Finlândia
		1350	EUA
	Cetoprofeno	8	Finlândia
		3	França
	Fenazona	250-400	Alemanha
Propifenazona	80-240	Alemanha	
Antitússicos	Codeína	30	EUA

Psico-estimulante	Cafeína	60-119	EUA
		22,9	França

**Fonte:** DE JESUS GAFFNEYA, 2013 *apud* SILVA, 2016.

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina) é um psico-estimulante que pertence ao grupo de compostos químicos chamados metil-xantinas, presentes em cerca de 60 espécies de plantas no mundo. Produtos alimentícios como café, chás, cola, chocolate e guaraná apresentam variadas concentrações, além destes, também pode ser encontrada no tabaco, em alguns condimentos, além de remédios do tipo analgésico, medicamentos contra a gripe e inibidores de apetite. As xantinas são substâncias capazes de estimular o sistema nervoso, produzindo um estado de alerta de pouca duração (RAIMUNDO, 2007). A Figura 15 apresenta a fórmula estrutural da cafeína.

**Figura 15.** Estrutura da Cafeína



Fonte: InfoEscola, 2017.

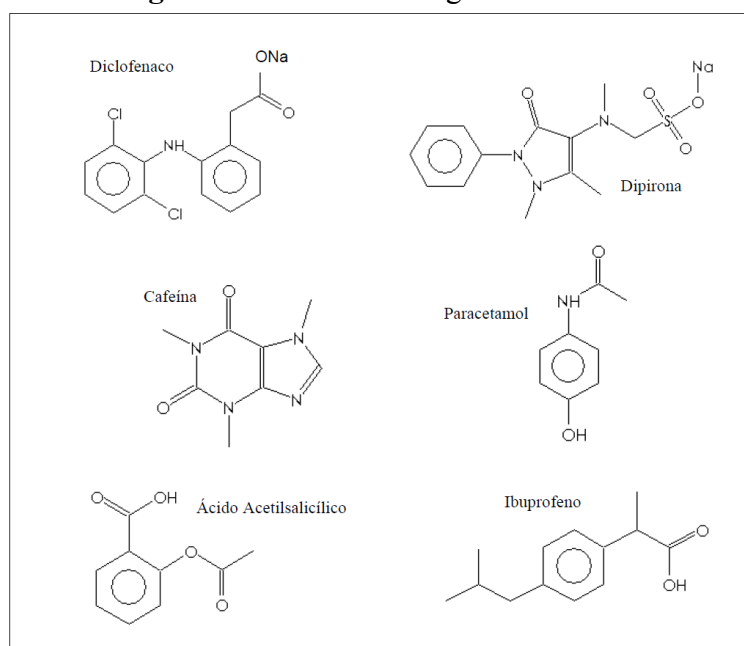
A absorção da cafeína pelo organismo humano é rápida, assim como a sua distribuição, passando rapidamente para o sistema nervoso central. A ação da cafeína no corpo depende da forma de preparo do produto, da quantidade utilizada e das condições do organismo que a consome. O corpo humano não necessita de cafeína, embora o seu consumo moderado não esteja associado a nenhum risco à saúde, exceto em alguns casos. Mulheres grávidas, crianças, pessoas com problemas cardíacos ou portadores de úlceras estomacais devem reduzir o consumo ou mesmo interrompê-lo (RAIMUNDO, 2007).

Assim como os demais contaminantes emergentes, a cafeína encontra-se no ambiente sob concentrações muito baixas. No entanto, ainda não existem evidências sobre possíveis

danos ao ambiente ou à saúde humana quanto à sua exposição ou ingestão, conforme tem sido observado para outros contaminantes emergentes (SANTANA, 2013).

Os compostos paracetamol, dipirona e ácido acetilsalicílico também possuem ação analgésica, antitérmica e anti-inflamatória e comumente presentes em uma infinidade de formulações de medicamentos, principalmente os não prescritos. No entanto, existem poucas informações disponíveis com relação à ocorrência e efeitos ecotoxicológicos destes compostos no meio ambiente (GHISELLI, 2008 *apud* SILVA, 2016). O ácido salicílico é um produto de transformação do ácido acetilsalicílico, usado na produção de analgésicos (exemplo: aspirina), aditivo em cosméticos e gêneros alimentícios. Muitos estudos mostraram que o ácido salicílico foi detectado em ETE e em amostras de água superficiais coletadas em cidades da Europa (AFRANIS *et al.*, 2017). A Figura 16 ilustra algumas fórmulas estruturais dos PFHP.

**Figura 16.** Fórmula de alguns dos PFHP



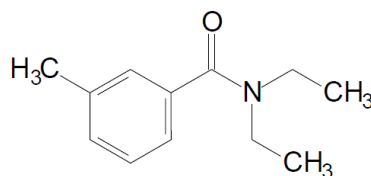
**Fonte:** GHISELLI, 2006 Ghiselli (2008) *apud* SILVA, 2016.

O atenolol é um medicamento muito utilizado no Brasil, sendo contemplado no rol de medicamentos distribuídos gratuitamente à população por meio do Programa Farmácia Popular. É um fármaco do tipo betabloqueador muito utilizado para o controle de doenças cardiovasculares e hipertensão arterial (MS, 2010). Segundo o Ministério da Saúde, a excreção renal do atenolol varia de 40 a 50% do total da droga consumida e a excreção pelas fezes é de 50% da droga, ambas na forma inalterada. Bendz *et al.* (2005) realizaram um

estudo no qual as concentrações de diversos fármacos foram medidas em diferentes pontos do Rio Høje, na Suécia. As determinações foram realizadas à jusante e à montante de uma ETE. Os autores demonstraram que, mesmo a cerca de 7 km de distância à jusante da ETE, o atenolol ainda foi encontrado a uma concentração de 60 ng/L, portanto, trata-se de uma substância resistente ao tratamento de efluentes convencional.

Produtos de higiene pessoal como repelentes também são encontrados em ambientes aquáticos. Dentre eles está o DEET (N,N-dietil-meta-toluamida), que não atua exatamente como um repelente, mas como um inibidor da atração causada pelo ácido láctico. Valores inferiores a 20 % dessa substância são absorvidos pela pele e, posteriormente, metabolizados ou excretados (COSTANZO *et al.*, 2007). Dessa forma, a entrada do DEET em ambientes aquáticos se dá pelo do esgoto doméstico, seja por meio de higienização, seja por excreção. O DEET tem sua estrutura molecular apresentada na Figura 17.

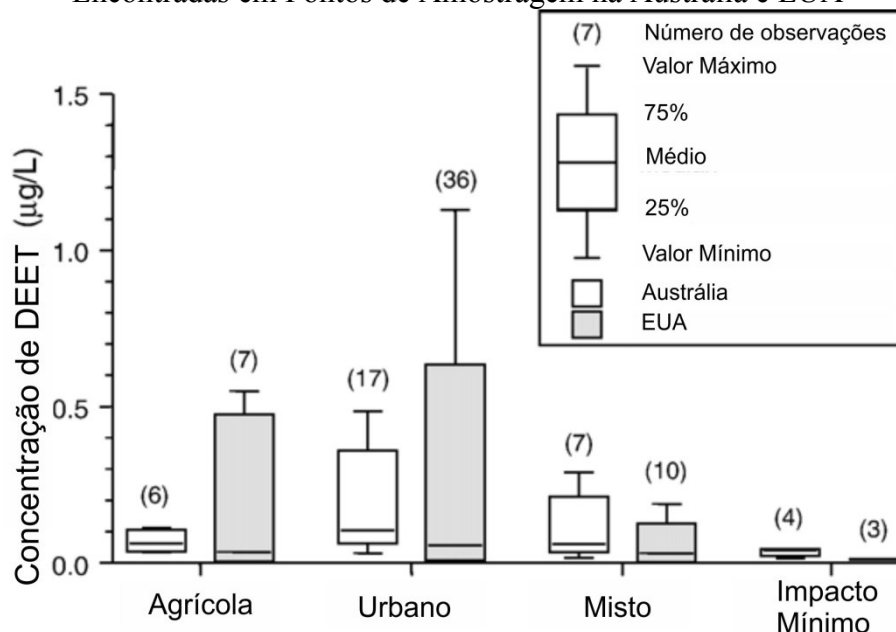
**Figura 17.** Estrutura Molecular do DEET



**Fonte:** SANTANA 2013 Ghiselli (2008) *apud* SILVA, 2016.

Kolpin *et al.* (2002) realizaram um abrangente estudo em 139 rios norte-americanos à procura de diversas substâncias, entre elas o DEET. Neste estudo, o DEET se apresentou numa concentração média e máxima de 60 ng/L e 1,1 µg/L, respectivamente. Os estudos realizados sobre a toxicidade do DEET são voltados principalmente para a toxicidade aguda desta substância (COSTANZO *et al.*, 2007). Contudo, a toxicidade crônica é capaz de fornecer informações completamente diferentes sobre os riscos corridos (SUMPTER E JOHNSON, 2005). Dessa forma, são necessários testes ecotoxicológicos aprofundados para dizer o risco que se corre com a exposição à DEET por longos períodos. Portanto, há uma grande incerteza associada à exposição prolongada a DEET. A Figura 18 mostra dados de amostragem de concentrações de DEET em diferentes águas de superfície.

**Figura 18.** Categorização do Uso das Águas de Superfície e Concentração de DEET Encontradas em Pontos de Amostragem na Austrália e EUA

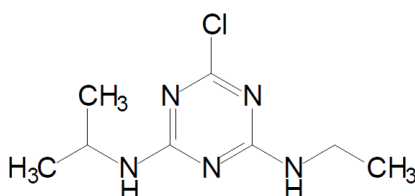


Fonte: COSTANZO, 2007 Ghiselli (2008) *apud* SILVA, 2016.

### 3.3.3. Pesticidas e Herbicidas

Dentre os herbicidas, a atrazina é grandemente utilizada em culturas de cana-de-açúcar e milho, além de possuir registro para o uso em outras cinco culturas: abacaxi, pinus, seringueira, sisal e sorgo. É um dos agroquímicos mais utilizados no Brasil, estando em sétimo lugar no ranking dos ingredientes ativos mais comercializados no ano de 2009 (IBAMA, 2010). Segundo o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o estado de Mato Grosso foi o maior consumidor de atrazina no ano de 2009. Como este é um estado com grande produção agrícola, o consumo de agrotóxicos e produtos afins também é alto e, logo, há uma preponderante contaminação dos mananciais de água com essas substâncias químicas. A Figura 19 apresenta a estrutura molecular da atrazina.

**Figura 19.** Estrutura Molecular da Atrazina



Fonte: SANTANA, 2013.

A atrazina é lentamente degradada por processos químicos ou biológicos, sendo bastante recalcitrante nos corpos d'água. A presença deste contaminante em águas superficiais está diretamente relacionada à lixiviação de terras agrícolas e, portanto, pode ser sazonal. Em locais onde há escoamento direto, concentrações mais elevadas são encontradas até dois meses após a aplicação, porém concentrações baixas podem ser detectadas durante todo o ano, pois a atrazina apresenta tempo de meia-vida de aproximadamente seis meses (RAIMUNDO, 2011).

A principal via de exposição humana a atrazina é a ingestão de água tratada, uma vez que a exposição por alimentos não é significativa (ATSDR, 2008), portanto este dado mostra como as estações de tratamento de água não são capazes de remover este contaminante com eficiência.

No Brasil, a atrazina é um dos poucos contaminantes emergentes que possuem legislação para sua concentração no ambiente. Essa legislação, contudo, não veio com o intuito de estabelecer limites para a atrazina por conta do seu potencial como contaminante emergente, mas por ela apresentar efeitos carcinogênicos (SANTANA, 2013). A resolução 357/05 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) traz o valor máximo permitido (VMP) para diversas substâncias, sendo o limite permitido para a atrazina de 2 µg/L em corpos de água doce das classes 1, 2 e 3. Não há um VMP estabelecido para águas salobras e salinas e para a classe 4 de águas doces.

#### **3.3.4. Plastificantes**

Os plastificantes têm sido empregados em vários produtos, como filmes alimentícios, mangueiras, laminados, brinquedos e calçados, sendo os da família dos ftalatos de maior uso mundial. Porém, alguns ftalatos apresentam restrição de uso, já que estudos em roedores demonstraram potencial carcinogênico e mutagênico nestes (MADALENO, 2009).

Outro contaminante emergente comumente estudado é o bisfenol A, muito utilizado em processos industriais como monômero na produção de policarbonato, resinas epóxi, resinas de poliéster-estireno insaturadas e retardantes de chama (SODRÉ, 2012). O bisfenol A ainda pode ser encontrado em alimentos embalados cuja proteção interna é feita por esta substância, há possibilidade deste migrar para o alimento após o rompimento da embalagem (RAIMUNDO, 2011). Entretanto, o lançamento de bisfenol A no ambiente se deve principalmente a pequenas quantidades provenientes de efluentes de estações de tratamento de

águas residuais que são capazes de remover entre 90 e 98 % da substância (NAKADA *et al.*, 2006; DREWES *et al.*, 2005, apud RAIMUNDO, 2011).

### **3.3.5. Surfactantes Não Iônicos**

Os surfactantes são compostos químicos com propriedades de limpeza ou solubilização. São moléculas que podem ter propriedades hidrofílicas e hidrofóbicas, por possuírem grupos: polar e apolar respectivamente (RAIMUNDO, 2011). São compostos frequentemente utilizados em detergentes para limpeza doméstica, produtos de higiene pessoal, têxteis, tintas, polímeros, agrotóxicos, produtos farmacêuticos, indústrias de mineração, de recuperação de petróleo, celulose e papel. Os alquilfenóis são um dos principais grupos de surfactantes e reconhecidamente caracterizados como interferentes endócrinos, tendo sido encontrados no meio ambiente.

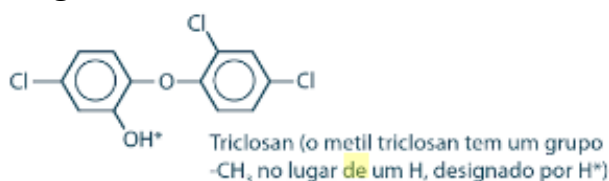
Dentre os alquilfenóis, 4-nonilfenol e 4-octilfenol são os compostos de maior importância no estudo dos CE devido à escala na qual são produzidos, a partir de processos de biodegradação dos alquilfenóis etoxilados (GHISELLI, 2008). Eles são empregados como componentes de detergentes industriais, como agentes dispersantes na produção de polpa e papel, como agentes emulsificantes nas formulações de tintas látex e pesticidas, como aditivos plásticos na produção de resinas fenólicas, como agente floculante, como espermicida em aplicações contraceptivas, nas indústrias têxteis, dentre outras (GHISELLI, 2008).

Os surfactantes, geralmente, sofrem 80% de biodegradação, formando água e gás carbônico. No entanto, a biodegradação primária dos alquilfenóis resulta na formação de vários metabólitos persistentes que não são completamente eliminados nas ETE. Estima-se que cerca de 60 a 65% de todo nonifenol que chega às ETE são descartados no meio ambiente (DA SILVA, 2006). Um estudo recente sobre diversos produtos alimentícios comercializados na Alemanha mostrou que muitas vias podem explicar a grande presença dos nonifenóis nos alimentos. O emprego de nonifenol nos agentes de limpeza, nos praguicidas, nas indústrias alimentícias e na agricultura, bem como em embalagens de alimentos, podem ser as possíveis fontes desta substância nos alimentos e nas águas (EPA, 2007).

### **3.3.6. Bactericidas**

Os bactericidas utilizados em produtos de limpeza e uso pessoal são encontrados na água. Um dos mais comuns é o triclosan, apresentado na Figura 20, empregado em sabonetes antibacterianos e em outros itens de uso pessoal como xampus, desodorantes, loções, cremes dentais, roupas esportivas, sapatos, carpetes e até mesmo em contêineres para lixo. Esse composto e seu derivado de metila foram encontrados em águas naturais na Suíça (MANAHAN, 2013).

**Figura 20.** Estrutura Molecular do Triclosan



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

### 3.3.7. Poluentes Orgânicos Biorrefratários

Ano a ano, milhões de compostos orgânicos são fabricados em todo o mundo. Quantidades significativas de milhares desses compostos surgem como poluentes aquáticos. A maior parte deles, em especial os menos biodegradáveis, são substâncias às quais os organismos vivos não haviam sido expostos, até recentemente. Muitas vezes, os efeitos no organismo não são conhecidos, sobretudo considerando exposições prolongadas a níveis muito baixos dessas substâncias. Existe a probabilidade de compostos orgânicos sintéticos causarem dano genético, câncer ou outros efeitos negativos. Contudo, devido ao perigo em potencial que oferecem, o desenvolvimento de novos conhecimentos sobre sua química ambiental deve ser visto com alta prioridade (MANAHAN, 2013).

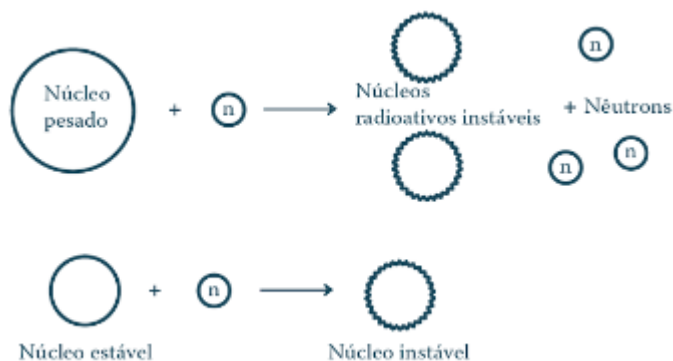
Compostos orgânicos biorrefratários causam muita preocupação quanto a águas residuais, particularmente quando encontrados em fontes de água para consumo humano. Têm baixa biodegradabilidade e por vezes são chamados de poluentes orgânicos recalcitrantes, entre os quais os hidrocarbonetos arila ou clorados ocupam posição de destaque. Os compostos biorrefratários encontrados na água incluem benzeno, clorofórmio, cloreto de metila, estireno, tetracloretileno, tricloroetano e tolueno. Além de sua toxicidade potencial, os compostos biorrefratários conferem sabor e odor à água. Não são totalmente removidos no tratamento biológico e a água contaminada por eles precisa ser tratada pelas vias física e

química, incluindo air stripping, extração por solventes, ozonização e adsorção por carvão (MANAHAN, 2013).

### 3.3.8. Radionuclídeos

A produção de radionuclídeos (isótopos radioativos) por armamentos e reatores nucleares desde a Segunda Guerra Mundial foi acompanhada por uma maior preocupação com os efeitos da radioatividade para a saúde e o meio ambiente. Os radionuclídeos são produtos da fissão de núcleos pesados de elementos como o urânio ou o plutônio. São também gerados pela reação de nêutrons com núcleos estáveis. Esses fenômenos são ilustrados na Figura 21. Radionuclídeos são formados em grandes quantidades como resíduos da geração de energia nuclear. Sua disposição final é um problema que causou muita controvérsia quanto ao uso generalizado da energia nuclear. Radionuclídeos produzidos artificialmente também são amplamente utilizados em aplicações industriais e médicas, particularmente como "traçadores". Com tantas fontes possíveis de radionuclídeos, é impossível eliminar completamente a contaminação radioativa de sistemas aquáticos. Além disso, os radionuclídeos podem entrar nos sistemas aquáticos de fontes naturais (*apud* MANAHAN, 2013).

**Figura 21.** Um núcleo pesado, como o de  $^{235}\text{U}$ , pode absorver um nêutron, dividindo-se (sofre fissão) e produzindo núcleos radioativos mais leves. Um núcleo estável pode absorver um nêutron para produzir um núcleo radioativo



**Fonte:** MANAHAN, 2013.

Portanto, o transporte, reações e a concentração biológica dessas substâncias em ecossistemas aquáticos são de grande importância para a química ambiental, em especial para a análise da contaminação ambiental e do dano ambiental (MANAHAN, 2013).

### **3.4. IMPACTOS AMBIENTAIS E À SAÚDE**

A partir dos anos 90, o impacto da presença excessiva de hormônios naturais e sintéticos em ETE começou a ser relatado, sendo que foram estudados seus impactos na reprodução de peixes expostos aos efluentes (RAIMUNDO, 2011). Um caso muito conhecido da década de 80 é o envolvendo a contaminação de crocodilos no lago Apopka (Flórida/EUA). Na ocasião, alguns pesquisadores notaram que a população desses animais estava diminuindo ano após ano. Estudos subsequentes demonstraram que a exposição contínua, destes animais, a alguns agrotóxicos, mesmo em concentrações baixas, sobre os ovos da espécie interferiu no desenvolvimento do sistema reprodutor dos animais, tornando-os inférteis (SUMPTER E JOHNSON, 2005).

Pelo fato dos CE causarem danos ao sistema endócrino de humanos e não humanos, uma definição primária sobre o assunto foi sugerida pela Comunidade Científica Européia em 1996, a qual tratava essas substâncias como interferentes endócrinos: “Um interferente endócrino é uma substância exógena que causa efeitos adversos sobre a saúde num organismo intacto, devido às mudanças que causa na função endócrina”. Nesse contexto, a origem dos interferentes endócrinos pode se dar de duas formas: natural e antrópica (resultado da produção humana). Esses compostos quando originados sinteticamente afetam a saúde do ser humano provocando: redução na contagem de espermatozoides em homens, aumento no risco de câncer de mama em mulheres, menstruações precoces em meninas, entre outros (NAPOLEÃO, 2011).

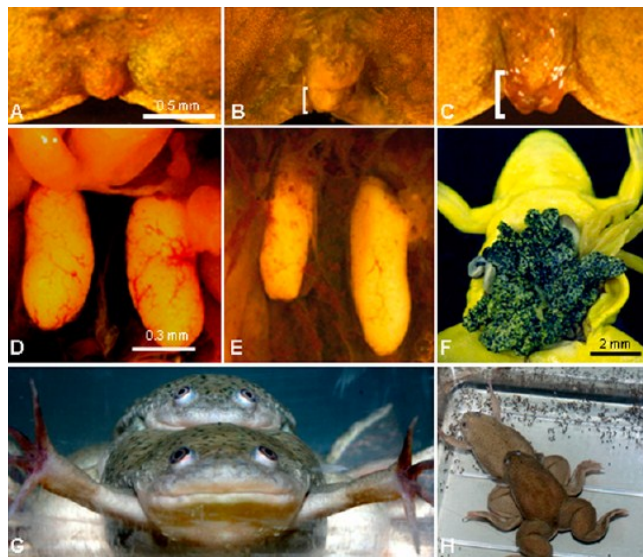
Os perturbadores endócrinos possuem inúmeros mecanismos que dificultam a sua eliminação do corpo de seres vivos. São eles: i) Acumulação – é a capacidade de se depositarem nos tecidos animais e alcançarem níveis de concentração altos e danosos ao ser vivo; ii) Persistência – é a capacidade de tais substâncias levarem muito tempo para serem biodegradadas; iii) Sinergia – é a capacidade de várias substâncias se misturarem e produzirem efeitos potencializados; e iv) Conjugação – é a capacidade de se ligarem a proteínas e circularem com elas na corrente sanguínea, o que dificulta sua eliminação e

mantém a concentração da substância no organismo por longo tempo (NETO E FERREIRA, 2007).

Os efeitos sobre a saúde humana no que se refere aos interferentes endócrinos, ainda não são definitivamente comprovados, porém outras evidências sugerem que a antecipação na idade da menarca (HERMAN-GIDDENS, 2007; TANNER, 1973), a deterioração da qualidade do sêmen e o aumento da incidência de câncer de mama podem estar associadas à exposição de seres humanos em desenvolvimento frente a esses compostos (RAIMUNDO, 2011). Além disso, estudos de MODOVNIK *et al.* (2011) mostram ainda que a exposição pré-natal aos interferentes endócrinos pode potencializar o desenvolvimento precoce do cérebro. Outro trabalho discute ainda o mecanismo de transporte de compostos interferentes endócrinos, como o bisfenol A, pela placenta e aponta efeitos negativos no desenvolvimento neurológico de bebês (WAN *et al.*, 2010).

Considerada um interferente endócrino muito ativo, mesmo em baixas concentrações, a atrazina foi responsável pela feminização de anfíbios, como ilustra a Figura 22, e completa castração de rãs africanas (*Xenopus laevis*) expostas em concentrações de 2,5 µg/L durante todo o período larval e três anos após a metamorfose (HAYES *et al.*, 2010, apud RAIMUNDO, 2011).

**Figura 22.** Sapos machos feminizados pela exposição à atrazina. Cloaca (A-C) e gônadas (D-F) para macho de controle (A e D), macho exposto a atrazina (B e E) e fêmea exposta a atrazina (C e F) animais ZZ (machos genéticos). (G) Fêmea induzida pela atrazina (macho genético, ZZ) copulando com um irmão masculino não exposto. (H) O mesmo par que em G, produzindo ovos. Os ovos (H) eram viáveis e produziram larvas que sobreviveram à metamorfose e à idade adulta. A coloração amarela (F) é o resultado da fixação na solução de Bouin. Os suportes (B e C) indicam lábios cloacais. A barra de escala em A aplica-se a A-C, em D se aplica a D e E.



**Fonte:** HAYES, 2010.

### 3.5. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CONTAMINANTES EMERGENTES

Segundo Santana (2013), em análise laboratorial realizada em amostras pelo Método INCTAA, desenvolvido na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e utilizado em rotinas analíticas, envolveu a determinação de 16 contaminantes emergentes de diferentes classes, a saber, cinco hormônios endógenos (estrone, estradiol, estriol, progesterona e testosterona), quatro hormônios sintéticos (dietilestilbestrol, etinilestradiol, levonorgestrel e mestranol), três substâncias de uso industrial/doméstico (bisfenol A, octilfenol e nonilfenol), duas substâncias de uso geral, comumente utilizadas em medicamentos (caféina e fenolftaleína), um produto de higiene pessoal (triclosan) e um herbicida de uso geral (atrazina).

O Método 1694, desenvolvido pela EPA em 2007, estabelece análises para produtos farmacêuticos e de higiene pessoal em água, solo, sedimentos e biossólidos. O método EPA 1694 determina tais substâncias por cromatografia líquida de alta performance combinada com espectrometria de massa (HPLC/MS), utilizando diluição de isótopo e técnicas de quantificação padrão. Esse método foi desenvolvido para amostras de matrizes aquosas, sólidas e biossólidas. Os limites de detecção e os níveis de quantificação do método são geralmente dependentes do nível de interferências e não de limitações instrumentais, ou seja, os limites de detecção e os níveis mínimos de quantificação são os níveis em que os analitos podem ser determinados na ausência de interferentes (EPA, 2007).

São sugeridos ensaios de migração, ou seja, analisar se contaminante é capaz de migrar para a água, conforme sugerido por análises normatizadas da União Europeia: UNE-EN 12873 e UNE-EN ISO 8795 (PÓRCEL, 2013), a exemplo do bisfenol-A que pode contaminar águas potáveis por estar presente na constituição de materiais de depósitos de água e no recobrimento dos mesmos.

A detecção e quantificação de micropoluentes em águas naturais, tais como fármacos, em níveis traço, só é possível graças aos avanços nas técnicas analíticas ocorridos nos últimos anos. A extração em fase sólida é o método mais utilizado na extração desses compostos de matrizes ambientais. Para detecção, emprega-se normalmente a cromatografia líquida ou gasosa, que, quando acoplada a um ou mais detectores de massas, possibilita a obtenção de resultados com altas seletividade e sensibilidade. Quanto ao uso da cromatografia gasosa, um agente derivatizante deve ser empregado, devido à existência de diversos grupos funcionais que tornam os compostos altamente polares (IDE, 2014).

Vários tipos de extração podem ser empregados, tais como a microextração em fase sólida, a microextração em fase líquida, a extração sortiva em barra magnética e a extração líquido-líquido. No entanto, a extração em fase sólida, como mencionada anteriormente, é a mais utilizada pela facilidade de manuseio e menor custo em relação às outras técnicas. Nesta, diferentes fases estacionárias podem ser utilizadas, tais como sílica, alumina, carbono grafitizado, florisil e resinas (IDE, 2014).

Quanto aos pesticidas, observa-se que a maioria é polar e termosensível. Isso faz com que atualmente grande parte das análises cromatográficas destes compostos sejam efetuadas recorrendo a cromatografia líquida / espectrometria de massa (LC/MS), em detrimento de cromatografia gasosa / espectrometria de massa (GC/MS). No entanto, alguns estudos sugerem a utilização de GC/MS como método cromatográfico. Para o caso do Ácido 2,4-

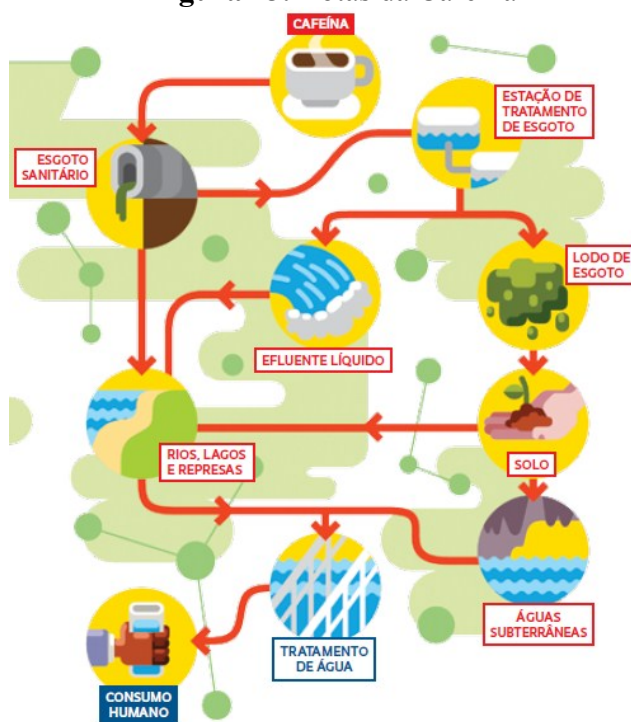
diclorofenoxiacético, um pesticida regulador do crescimento de plantas, é recomendado o processo de derivatização para melhorar a sensibilidade da sua análise por cromatografia em fase gasosa (ARAÚJO, 2008).

Assim, o tipo de extração ou outro método a ser realizado, bem como o equipamento utilizado para a detecção de contaminantes emergentes, são escolhas a serem realizadas conforme as possibilidades existentes no laboratório. O importante é que, independente da metodologia a ser utilizada, se forem feitas adaptações de procedimentos já existentes, o método deve ser validado para assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos (IDE, 2014).

### 3.5.1. A Cafeína como Indicador de Contaminantes Emergentes

Uma pesquisa recente, realizada na Unicamp, contribuiu para dimensionar os impactos da contaminação emergente ao estudar a presença de cafeína em águas de abastecimento público no Brasil. Essa substância é utilizada como indicador da existência de outras substâncias em sistemas de abastecimento público. A Figura 23 mostra os possíveis caminhos da cafeína, ou seja, como o transporte é feito por diversas vias até o consumo humano (SILVEIRA, 2015).

Figura 23. Rotas da Cafeína



Fonte: SILVEIRA, 2015.

Por ser o termo “contaminante emergente” abrangente e reunir mais de mil compostos, é inviável, senão impossível, legislar sobre tantos compostos, sendo isto, portanto, um dos grandes desafios em termos de políticas públicas. Assim, a comunidade científica trabalha na busca por possíveis substâncias indicadoras, ou seja, um composto que possa apontar o risco da exposição a algumas classes de produtos. Nesse contexto, a cafeína, um excelente indicador por estar associada a compostos com atividade estrogênica que podem alterar o metabolismo hormonal do ser humano (CE) (SILVEIRA, 2015).

A cafeína encontrada em mananciais é quase toda advinda do esgoto doméstico, porque o café é a bebida mais consumida no mundo depois da água. Altas concentrações de cafeína em um manancial indicam que ele recebe altas cargas de esgoto sanitário. Nas águas de abastecimento, uma desinfecção efetiva remove os indícios da contaminação fecal, mas a cafeína é um composto resiliente e, por isso, é uma impressão digital química. Podemos dizer que onde existe cafeína, há uma grande variedade de outros compostos que não são monitorados, mas que podem trazer prejuízos à saúde humana (SILVEIRA, 2015).

No trabalho que coordenou, Wilson Jardim coletou 100 amostras de água tratada em 61 pontos espalhados por 22 capitais (cinco em Brasília; quatro em São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza e Recife; três em Porto Alegre, Curitiba, Belo Horizonte, Vitória, Cuiabá, Manaus, Belém e Salvador; dois em Goiânia, Campo Grande, Porto Velho, Natal, São Luís, João Pessoa e Teresina; e um em Florianópolis e Palmas). Foram feitas coletas durante duas campanhas realizadas entre julho e setembro de 2011 e 2012. Porto Velho e Palmas tiveram amostras apenas na primeira, enquanto Campo Grande, Manaus, Belém, São Luís, Teresina e Salvador somente na segunda. As demais capitais foram estudadas nos dois períodos de amostragem, sendo que em São Paulo e no Rio de Janeiro houve alteração de pontos de coleta entre a primeira e a segunda campanha (*apud* SILVEIRA, 2015).

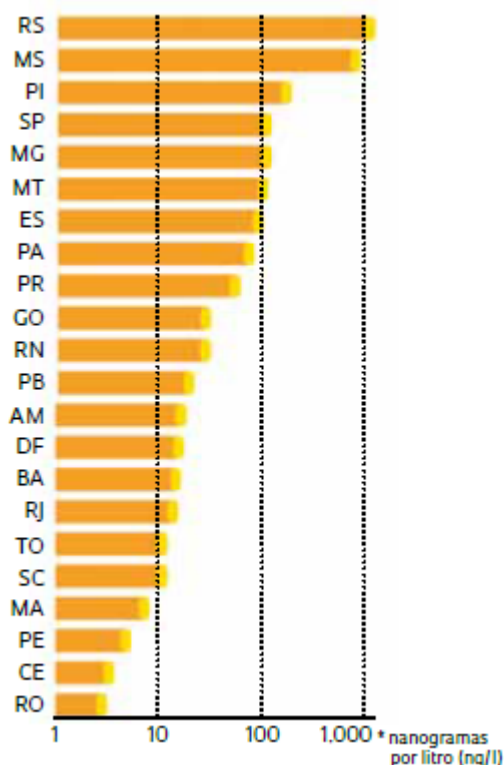
Os resultados da pesquisa citada anteriormente mostraram o que já era esperado. Mas não se tinha noção do quão grave era a falta de saneamento e suas consequências tanto na qualidade dos mananciais como na água distribuída à população. Constatou-se que os mananciais de superfície (rios e lagos) apresentaram concentrações de cafeína da ordem de mil a 10 mil vezes maiores do que as encontradas na Europa, nos Estados Unidos, no Canadá e no Japão. Até mesmo as águas subterrâneas apresentaram concentrações mensuráveis de cafeína. No contexto nacional, verificou-se que as condições não eram muito diferentes daquelas medidas no estado de São Paulo. Um dado interessante é que as capitais costeiras mostraram níveis menores de cafeína na água de abastecimento, quando comparadas com as

capitais do interior do país. Isso se explica, pelo fato de que os emissários submarinos ou o simples descarte na orla de algum modo preservam os mananciais (*apud* SILVEIRA, 2015).

A Figura 24 apresenta concentração média de cafeína por capital de alguns estados brasileiros.

Dentre as capitais estudadas, Porto Alegre foi a que apresentou a maior concentração de cafeína na água tratada para consumo humano, com um valor médio de 1.211 nanogramas por litro (ng/L), seguida de Campo Grande, com 900 ng/L. Além do consumo de mate em Porto Alegre, rico em cafeína, os mananciais das duas cidades estão muito impactados por esgoto. Entre as capitais com os menores índices médios estão Porto Velho (3,0 ng/L), Fortaleza (4,0 ng/L), Recife (5,0 ng/L) e São Luís (8,0 ng/L). Outras cinco cidades estudadas registraram concentração média entre 100 e 200 ng/l: Vitória (101 ng/L), Cuiabá (114 ng/L), Belo Horizonte (119 ng/L), São Paulo (121 ng/L) e Teresina (188 ng/L) (*apud* SILVEIRA, 2015).

**Figura 24.** Concentração de Cafeína por Capital em Ordem Decrescente



**Fonte:** SILVEIRA, 2015

Portanto, o termo “contaminante emergente” reuni mais de mil compostos, que mesmo em baixas concentrações, determinadas apenas por métodos complexos de extração, podem

causar efeitos nocivos e mesmo letais à saúde de humanos e não humanos, além de causarem desequilíbrio nos ecossistemas devido à sua persistência. A dificuldade de legislar sobre tantos compostos trás a necessidade da investigação de indicadores ambientais, tendo a cafeína se mostrado excelente, por estar associada a compostos com atividade estrogênica que podem alterar o metabolismo hormonal do ser humano.

### **3.6. CONTAMINANTES EMERGENTES E O SANEAMENTO AMBIENTAL**

#### **3.6.1. Definições**

O saneamento básico pode ser definido como o conjunto de medidas e serviços que propiciam condições adequadas para a manutenção da higiene da população e para a proteção do ambiente, incluindo os manejos de resíduos sólidos e águas pluviais, esgotamento sanitário e abastecimento público de água (PESCARA, 2014).

O Atlas do Saneamento do IBGE (2011) define saneamento ambiental como “o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural”.

De acordo com Guimarães (2007), “saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental”.

A oferta do saneamento associa sistemas constituídos por uma infraestrutura física e uma estrutura educacional, legal e institucional, que abrange os seguintes serviços: (i) abastecimento de água às populações, com a qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto; (ii) coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de águas residuárias (esgotos sanitários, resíduos líquidos industriais e agrícola; (iii) acondicionamento, coleta, transporte e/ou destino final dos resíduos sólidos (incluindo os rejeitos provenientes das atividades doméstica, comercial e de serviços, industrial e pública); (iv) coleta de águas pluviais e controle de empoçamentos e inundações; (v) controle de vetores de doenças

transmissíveis (insetos, roedores, moluscos, etc.); (vi) saneamento dos alimentos; (vii) saneamento dos meios transportes; (viii) saneamento e planejamento territorial; (ix) saneamento da habitação, dos locais de trabalho, de educação e de recreação e dos hospitais; (x) controle da poluição ambiental – água, ar e solo, acústica e visual (*apud* GUIMARÃES, 2007).

No entanto, o saneamento básico se restringe: (i) ao abastecimento de água às populações, com a qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto; (ii) coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de águas residuárias (esgotos sanitários, resíduos líquidos industriais e agrícola); (iii) acondicionamento, coleta, transporte e/ou destino final dos resíduos sólidos (incluindo os rejeitos provenientes das atividades doméstica, comercial e de serviços, industrial e pública); (iv) coleta de águas pluviais e controle de empoçamentos e inundações (*apud* GUIMARÃES, 2007).

O conceito de meio ambiente pode ser encontrado na Lei nº 6.938, de 31/8/1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação no Brasil: “Meio ambiente é o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (MACHADO *et al.*, 2007).

Já a salubridade ambiental pode ser definida como o estado de higidez em que vive a população urbana e rural, tanto no que se refere a sua capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente, como no tocante ao seu potencial de promover o aperfeiçoamento de condições mesológicas favoráveis ao pleno gozo de saúde e bem-estar (*apud* MACHADO *et al.*, 2007).

### **3.6.2. A Importância do Saneamento Ambiental**

O tratamento de água convencional utilizado no Brasil, nas ETA, envolve as etapas de aeração, pré-cloração, ajuste de pH (geralmente feito pela adição de cal), coagulação, floculação, sedimentação ou flotação, filtração (usualmente em areia e carvão ativado), desinfecção e fluoretação. Já o tratamento de efluentes convencional, realizado nas ETE, envolve os processos físicos (primário), químicos e biológicos (secundário), podendo ser incorporada uma etapa de polimento (terciário) para complementar o tratamento (PESCARA, 2013).

A remoção de contaminantes emergentes da água é dificultada devido ao crescente número de substâncias que são lançadas nos corpos hídricos, à ampla variedade de classes de compostos, os quais apresentam diferentes propriedades físico-químicas, e também devido às baixas concentrações encontradas para estas substâncias. Alguns trabalhos avaliaram a capacidade de remoção de micro-poluentes por tratamentos convencionais de água e esgoto. Normalmente, chega-se a conclusão de que são pouco eficientes para esta finalidade (PESCARA, 2013).

Um dos principais problemas associado aos contaminantes emergentes é a inexistência de limites de concentração dos mesmos nas regulamentações do Ministério da Saúde, que estabelecem parâmetros de qualidade para diversos compostos e que garantem a potabilidade da água. Nesse caso, um poluente pode ser ou não, um contaminante, dependendo da dosagem (ARIAS, 2013). Estudos devem ser realizados para classificar os contaminantes emergentes, conforme seus limites máximos de concentração que não causam danos ao ambiente e à saúde, tornando-os prioritários, no contexto das regulamentações de potabilidade. Além disso, é importante que sejam estabelecidas as quantidades em que eles devem ser removidos de efluentes para o caso dos regulamentos do tratamento de efluentes, pois, antes de serem lançados nos corpos hídricos, eles devem ter concentrações que não causem desequilíbrio aos seres do ambiente aquático.

No contexto de purificação da água em ETA podem ser utilizados os seguintes métodos para eliminação de CE: osmose reversa, oxidação química, carvão ativado e ozonólise. Em algumas empresas de saneamento brasileiras, a osmose reversa já é usada para remover outros tipos de contaminantes. O grande desafio é levar essas formas de limpeza a outras de estações. Podem-se mencionar ainda outros métodos, tais como, a microfiltração e os processos oxidativos avançados. Esses métodos são utilizados em outros países, os que quais possuem uma realidade distinta quando comparada ao nosso país. Portanto, “os métodos utilizados pelas estações de tratamento de água brasileiras são em geral seculares. Eles não incorporaram novas tecnologias, como a oxidação avançada, a osmose inversa e a ultrafiltração” (ARIAS, 2013).

Como já mencionado, os tratamentos de água e efluentes convencionais utilizados no Brasil não são eficientes ou suficientes para a remoção dos contaminantes emergentes. Sendo assim, são necessárias ações que busquem o saneamento básico em sua essência, tendo com uma das principais finalidades, tornar a água potável. Assim, a revisão dos padrões de potabilidade da água se faz necessária para incluir os CE e garantir água de qualidade e saúde

ambiental para humanos e não humanos. Portanto, a importância do saneamento ambiental é vista como medida preventiva com relação à contaminação ambiental que garante em sua essência uma visão sustentável, juntamente com a visão de saúde ambiental.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem inúmeros regulamentos e normas que apresentam diversos contaminantes, considerados prioritários, presentes em águas potáveis (para consumo humano) e residuárias, já legislados no Brasil e no mundo, com comprovado impacto sobre o meio ambiente e à saúde de humanos e não humanos. Além disso, muitas instituições governamentais e não governamentais inspecionam e fornecem dados sobre a qualidade das águas brasileiras, seja para água potável, seja para águas residuais.

Os efeitos causados pelos contaminantes prioritários (metais pesados, pesticidas e outros compostos inorgânicos e orgânicos) à saúde humana e ao ambiente aquático são bem conhecidos e seus limites de concentração são determinados em legislação, fazendo-se necessária uma rígida fiscalização, para que esta legislação seja efetivamente cumprida.

Existem compostos, com identificação recente, chamados de contaminantes emergentes (CE), cuja ocorrência natural ou antrópica, tem potencial para entrar no ambiente e causar efeitos adversos ecológicos e/ou sobre a saúde humana e de não humanos, tendo ainda impactos desconhecidos ou suspeitos, reunindo um conjunto de mais de mil compostos, que mesmo em baixas concentrações, determinadas apenas por métodos complexos de extração e espectroscopia de massa, podem causar efeitos nocivos e mesmo letais à saúde de humanos e não humanos, além de causarem desequilíbrio nos ecossistemas devido à sua persistência.

A investigação de indicadores ambientais tem revelado a cafeína como excelente para este propósito, dada a dificuldade de legislar sobre tantos compostos, por estar associada a compostos com atividade estrogênica que podem alterar o metabolismo hormonal do ser humano. Altas concentrações de cafeína em um manancial indicam que ele recebe altas cargas de esgoto sanitário. Nas águas de abastecimento, uma desinfecção efetiva remove os indícios da contaminação fecal, mas a cafeína é um composto recalcitrante e, por isso, é uma impressão digital química. Pode-se dizer que onde existe cafeína, há uma grande variedade de outros compostos que não são monitorados, mas que podem trazer prejuízos à saúde humana.

Os tratamentos de água e efluentes convencionais utilizados no Brasil não são eficientes ou suficientes para a remoção dos contaminantes emergentes. Sendo assim, são necessárias ações que busquem o saneamento básico em sua essência, tendo com uma das principais finalidades, tornar a água potável. Além disso, a revisão dos padrões de

potabilidade da água se faz necessária para incluir os CE e garantir água de qualidade e saúde ambiental para humanos e não humanos.

Medidas de saneamento ambiental são vistas como medidas preventivas, fundamentais à eliminação da contaminação ambiental, que garanta, em sua essência, o fortalecimento de uma visão sustentável, fundamental à manutenção da vida, em todas as suas formas.

## 5. REFERÊNCIAS

- ARFANIS, M. K., ADAMOPOULOS P., MOUSTAKAS N. G., TRIANTIS T. M., KONTOS, A. G., FALARAS P. Photocatalytic degradation of salicylic acid and caffeine emerging contaminants using titania nanotubes. **Chemical Engineering Journal**. v. 310, p. 525–536, 2017.
- ALKYLPHENOLS. Disponível em: <<http://toxnet.nlm.nih.gov/t>>. Acessado em 12 de Junho de 2007.
- ARAÚJO, R.M.S.C.G. Validação de metodologia de análise de pesticidas agrícolas em águas por LC/MS. 2008. 70 f. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2008.
- BELFROID, A. C. Analysis and occurrence of estrogenic hormones and their glucuronides in surface water and waste water in The Netherlands. **Science of the Total Environment**, v. 225, n. 1, p. 101-108, 1999.
- BENDZ, D. Occurrence and fate of pharmaceutically active compounds in the environment, a case study: Høje River in Sweden. **Journal of Hazardous Materials**, v. 122, n. 3, p. 195-204, 2005.
- BERGAMASCO, A. M. D. D. et al. Contaminantes químicos em águas destinadas ao consumo humano no Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 19, n. 4, 479-486, 2011.
- BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523-530, 2003.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho CONAMA. Diário Oficial da república federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 de maio de 2011. Acessado em: [http://www.mma.gov.br/port/conama/legi\\_abre.cfm?codlegi=646](http://www.mma.gov.br/port/conama/legi_abre.cfm?codlegi=646).
- COSTANZO, S. D. Is there a risk associated with the insect repellent DEET (N, N-diethyl-m-toluamide) commonly found in aquatic environments. **Science of the Total Environment**, v. 384, n. 1, p. 214-220, 2007.
- DA SILVA, F. V. et al. Alquilfenóis e alquilfenóis etoxilados: uma visão ambiental. 2006.
- DAUGHTON, C. G., TERNES, T. A. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change. **Environmental health perspectives**, v. 107, n. Suppl 6, p. 907, 1999.

DE JESUS G. V. ANÁLISE DE FÁRMACOS EM ÁGUAS POR SPE-UPLC-ESI-MS/MS. **Quim. Nova**, v. 37, n. 1, p. S1-S5, 2014.

DREWES, J. E. An assessment of endocrine disrupting activity changes during wastewater treatment through the use of bioassays and chemical measurements. **Water Environment Research**, v. 77, n. 1, p. 12-23, 2005.

EMACASA, M. G. R. et al. Contaminación convencional, sustancias prioritarias y contaminantes emergentes en saneamientos públicos españoles. **Tecnología del agua**, v. 313, p. 40-54, 2009.

EPA (Environmental Protection Agency). Disponível em: <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/aqlife.html>. Acesso em 15 de Abril de 2017.

EPA 2017 (Environmental Protection Agency). Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL) and Regulatory Determination. Disponível em: <https://www.epa.gov/ccl>. Acesso em junho de 2017.

EPA 2007 (Environmental Protection Agency). Method 1694: Pharmaceuticals and Personal Care Products in Water, Soil, Sediment, and Biosolids by HPLC/MS/MS. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method\\_1694\\_2007.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method_1694_2007.pdf).

Disponível em: <https://www.epa.gov/ccl>. Acesso em junho de 2017.

FARIAS, F. P., FONSECA, M. A., PALMA, M. S. A. Formação de fenolato de sódio e acetato de sódio no processo de extração de fenol em acetato de butila com hidróxido de sódio. Anais. São Paulo: **SBQ**, 2008.

FREITAS, E. De. "Industrialização do Brasil"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/industrializacao-do-brasil.htm>>. Acesso em 17 de maio de 2016.

GHISELLI, G.. Avaliação da qualidade das águas destinadas ao abastecimento público na região de Campinas: ocorrência e determinação dos interferentes endócrinos (IE) e produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (PFHP). Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), **Instituto de Química**, 2008.

GROS, M., PETROVIC, M., BARCELÓ, D. Analysis of Emerging Contaminants of Municipal and Industrial Origin. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, v. 5, p. 37-104, 2008.

HAYES, T. B. Atrazine induces complete feminization and chemical castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*). **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 10, p. 4612-4617, 2010.

HERMAN-GIDDENS, M. E. The decline in the age of menarche in the United States: should we be concerned. **Journal of Adolescent Health**, v. 40, n. 3, p. 201-203, 2007.

IDE, A.H. Ocorrência e avaliação da remoção de produtos farmacêuticos por duas estações de tratamento de esgotos. 2014. 47 f. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2014.

IBGE (2017), Atlas de Saneamento, 2011. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/default\\_zip.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm) Acessado em maio de 2017.

IMABA, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis. Produtos Agrotóxicos e afins comercializados em 2009 no Brasil: Uma abordagem ambiental. 2010.

IPCS (2006). International Programme on Chemical Safety, *International Chemical Safety Cards*. Disponível em: <http://www.who.int/ipcs/publications/icsc/en/>. Acessado em agosto 2008.

KOLPIN, D. W. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in US streams, 1999-2000: A national reconnaissance. **Environmental science & technology**, v. 36, n. 6, p. 1202-1211, 2002.

KUSTER, M. et al. Analysis of phytoestrogens, progestogens and estrogens in environmental waters from Rio de Janeiro (Brazil). **Environment international**, v. 35, n. 7, p. 997-1003, 2009.

MACHADO E. E. W. et al. Manual do Saneamento. Funasa. **Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde**, v. 2, p. 15, 2007.

MADALENO, E. et al. Estudo do uso de plastificantes de fontes renovável em composições de PVC. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 4, p. 263-270, 2009.

MANAHAN, S.E. **Química Ambiental**. Bookman: 9ª ed. 2013.

MELO, V.F., ANDRADE, M., BATISTA, A.H., FAVARETTO, N. Chumbo e zinco em águas e sedimentos de área de mineração e metalurgia de metais. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 22-29, 2012.

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários.

MILARÉ, E. Direito do Ambiente: a gestão ambiental em foco. Editora Revista dos Tribunais. 6ª Edição. p. 1343, 2009.

MIODOVNIK, A. et al. Endocrine disruptors and childhood social impairment. **Neurotoxicology**, v. 32, n. 2, p. 261-267, 2011.

MOREIRA, J. C., GONÇALVES, E. S., BERETA, M. Contaminantes emergentes. *Revista Química Industrial*, v. 81, n. 738, p. 4-13, 2013.

MS, Ministério da Saúde. **Formulário Terapêutico Nacional**. 2010.

MS, Ministério da Saúde (2004). PORTARIA MINISTÉRIO DA SAÚDE 518, DE 25/03/2004. Disponível em:

[http://www.aeap.org.br/doc/portaria\\_518\\_de\\_25\\_de\\_marco\\_2004.pdf](http://www.aeap.org.br/doc/portaria_518_de_25_de_marco_2004.pdf). Acessado em 15 de Junho de 2017.

NAPOLEÃO, D. C. Avaliação e Tratamento dos Contaminantes Emergentes (Ácido Acetilsalicílico, Diclofenaco e Paracetamol) utilizando Processos Oxidativos Avançados. 2011. 100 f. Tese Mestrado em Engenharia Química - Instituto de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

NAKADA, N. et al. Fate of oestrogenic compounds and identification of oestrogenicity in a wastewater treatment process. **Water science and technology**, v. 53, n. 11, p. 51-63, 2006.

NETO, M. DE L. F., FERREIRA, A. P. Perspectivas da sustentabilidade ambiental diante da contaminação química da água: desafios normativos. **Interfacehs**, 2007.

PÓRCEL, J.L. Presencia de contaminantes prioritarios y emergentes en aguas de abasto. **Aqualogy**, 2013.

RAIMUNDO, C. C. M. et al. Contaminantes emergentes em água tratada e seus mananciais: sazonalidade, remoção e atividade estrogênica, 2011.

RIBEIRO, J. W., ROOKE, J. M. S. Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. 2010. 36 f. Curso de especialização em análise ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010.

SILVA, P. P. C. Contaminantes Químicos Emergentes. 2016. 47 f. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

SERVOS, M. R. Review of the aquatic toxicity, estrogenic responses and bioaccumulation of alkylphenols and alkylphenol polyethoxylates. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 34, n. 1, p. 123-177, 1999.

SHRIVER, D. F., ATKINS, P. W., **Química Inorgânica**, 3ª Ed. Bookman: Porto Alegre, 2003.

SNIS (2015), Sistema Nacional de Informações de Saneamento. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>. Acessado em maio de 2017.

SODRÉ, F. F. et al. Sistema limpo em linha para extração em fase sólida de contaminantes emergentes em águas naturais. **Química Nova**, 2010.

SODRÉ, F. F. Interferentes Endócrinos como Contaminantes Emergentes: Uma questão de saúde pública. **Artigos Temáticos do AQQUA**, v. 1, n. 1, 2012.

SOLOMONS, T. W. G., FRUHLE, C. B. **Química Orgânica**, 7ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. ., Rio de Janeiro, 2001.

SUMPTER, J. P., JOHNSON, A. C. Lessons from endocrine disruption and their application to other issues concerning trace organics in the aquatic environment. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 12, p. 4321-4332, 2005.

TANNER, J. M. Trend towards earlier menarche in London, Oslo, Copenhagen, the Netherlands and Hungary. **Nature**, v. 243, p. 95-96, 1973.

TERNES, T. A. et al. Behavior and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants—I. Investigations in Germany, Canada and Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 225, n. 1, p. 81-90, 1999.

TORRES, C. N. A gestão dos resíduos sólidos no município de cascavel-ce: fragilidade ambiental, social e política. **GEOSABERES-Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 6, n. 3, p. 84-97, 2016.

UMBUZEIRO *et al.* **Guia de Potabilidade para Substâncias Químicas**, 1ª edição, Editora Limiar, São Paulo, 2012.

USEPA United States Environmental Protection Agency (1997) Special report on environmental endocrine disruption: an effects assessment and analysis; *Washington, DC: Office of Research and Development EPA/630/R-96/012.*

USEPA. *United States Environmental Protection Agency* – <http://www.epa.gov/esd/bios/pdf/contaminants-biosolids2.pdf>, acessada em Outubro de 2011.

USGS *United States Geological Survey* – <http://toxics.usgs.gov/regional/emc/index.html>, acessado em novembro de 2012.

WAN, Y. et al. Hydroxylated polybrominated diphenyl ethers and bisphenol A in pregnant women and their matching fetuses: placental transfer and potential risks. **Environmental science & technology**, v. 44, n. 13, p. 5233-5239, 2010.

## 6. ANEXOS

**Anexo I: Pesticidas que Podem ser Contaminantes Aquáticos**

<b>Pesticida</b>	<b>Uso</b>	<b>Tipo de Composto</b>
Alacloro	Herbicida	Cloroacetanilida
Aldicarb	Inseticida	Carbamato
Aletrina	Inseticida	Pietroide
Atrazina	Herbicida	Triazina
Azadiractina	Inseticida, nematicida	Compostos botânico complexo
Azinfos-metil	Inseticida	Organofosforado
Azoxistrobina	Fungicida	Estrobina
Captan	Fungicida	Tioftalamida
Carbaril	Inseticida, regulador do crescimento de plantas, nematicida	Carbamato
Carbofuran	Inseticida, nematicida	Carbamato
Cipermetrina	Inseticida	Piretroide
Clorotalonil	Fungicida	Benzeno substituído
Clorpirifos	Inseticida, nematicida	Organofosforado
Cresoxim-metil	Fungicida	Estrobina
Deltametrina	Inseticida	Piretroide
Diazinon	Inseticida	Organofosforado
Diclofop-metil	Herbicida	Ácido/éster clorofenóxi
Diuron	Herbicida	Ureia
EPTC	Herbicida	Tiocarbamato
Espinodase	Inseticida	Composto gerado por bactéria
Etefon	Regulador do crescimento de plantas	Organofosforado
Fenvalerato	Inseticida	Piretroide
Fluquiconazol	Fungicida	Azol
Fosmete	Inseticida	Organofosforado
Glifosato	Herbicida	Fosfonoglicina
Iprodiona	Fungicida	Dicarboximida
Linuron	Herbicida	Ureia
Malation	Inseticida	Organofosforado
Mecoprop	Herbicida	Composto clorofenóxi
Metan-sódio	Fumegante, herbicida, microbiocida, algicidas	Ditiocarbamato
Metiocarb	Inseticida, moluscicidas	Carbamato
Metolacloro	Herbicida	Cloroacetanilida
Metribuzin	Herbicida	Triazinona
Pirimicarb	Inseticida	Carbamato
Prometon	Herbicida	Triazina
Propacloro	Herbicida	Cloroacetanilida
Propanil	Herbicida	Anilida

Propioconazol	Fungicida	Azol
Simazina	Herbicida	Triazina
Tebuconazon	Fungicida	Azol
Tebutiuron	Herbicida	Ureia
Terbacil	Herbicida	Uracil
Terbutilazina	Herbicida, microbiocida, algicida	Triazina
Tifensulfuron metil	Herbicida	Sulfonilureia
Tiofanato metil	Fungicida	Benzimidazola
Trialato	Herbicida	Tiocarbamato
Triclopir	Herbicida	Cloropiridinila
Trifloxistrobina	Fungicida	Estrobina
Trifluaralina	Herbicida	2,6-Dinitroanilina

**Fonte:** MANAHAN, 2013.

**Anexo II: Critérios de potabilidade para as 72 substâncias consideradas prioritárias  
para o Estado de São Paulo**

<b>NOME DA SUBSTÂNCIA</b>	<b>DOSE DE REFERÊNCIA (mg/kg/dia)</b>	<b>POTÊNCIA CARCINOGÊNICA (mg/kg/dia)</b>	<b>CRITÉRIO DE POTABILIDADE (mg/L)</b>
Abamectina	0,002	-	0,01
Acetocloro	0,02	-	0,1
Ametrina	0,072	-	0,4
Azinfós Metílico	0,0015	-	0,01
Azoxistrobina	0,02	-	0,1
Benzidina	-	2,3 x 10 <sup>2</sup>	0,02
Benzo(a)antraceno	-	0,73	0,0004
Benzo(b)fluoranteno	-	0,73	0,0004
Benzo(k)fluoranteno	-	0,073	0,004
Berílio	0,002	-	0,01
Bifenilas policloradas	-	0,4	0,0008
Boro	0,2	-	1
Carbaril	0,003	-	0,02
Cipermetrina	0,05	-	0,3
Cletodim	0,01	-	0,06
Clomazona	0,04	-	0,2
Clorimurom Etilico	0,09	-	0,5
Clorotalonil	0,03	-	0,2
Cobalto	0,02	-	0,1
Cresol	0,05	-	0,3
Criseno	-	0,0073	0,04
Cihexatina	0,00007	-	0,004
Deltametrina	0,01	-	0,06
Demetom	0,00004	-	0,0002
Dibenzo(a,h)antraceno	-	7,3	0,00004
Dibrometo de etileno	-	2	0,0002
Dibutilftalato	0,1	-	0,6
3,3' diclorobenzidina	0,002	0,45	0,0007
Diquate	-	-	0,01
Dodecacloro pentaciclodecano	.003	0,53	0,0006
Epiclorldrina	0,05	0,01	0,03
Epoxiconazol	,0002,003	-	0,02
Etefom	0,05	-	0,3
Fipronil	0,0002	-	0,001
Fomesafem	0,003	-	0,02
Formaldeído	0,015	-	0,1

Halossulfurom	0,1	-	0,6
Halossulfurom Metil	0,1	-	0,6
Hexazinona	0,05	-	0,2
Imazapique	0,5	-	3
Imazapir	2,5	-	15
Imazaquim	0,25	-	1,5
Imazetapir	0,25	-	1,5
Indeno(1,2,3-cd)pireno	-	0,37	0,0004
Isoproturom	0,003	-	0,009
Isoxaflutol	0,02	-	0,12
Lactofem	0,008	-	0,05
Lítio	0,002	-	0,1
Malationa	0,3	-	2
MCPA	0,0044	-	0,03
Metamidofós	0,004	-	0,02
Metribuzim	0,013	-	0,08
Molibdênio	0,005	-	0,03
Monocrotofós	0,0006	-	0,004
MSMA	0,03	-	0,2
Nitrobenzeno	0,002	-	0,01
Óxido de Fembutatina	0,03	-	0,2
Oxifluorfenol	0,03	-	0,2
Paraquate	0,004	-	0,02
Parationa Metílica	0,003	-	0,02
Picloram	0,2	-	1
Prata	0,005	-	0,03
Sulfentrazone	0,01	-	0,06
2,4,5- T	0,003	-	0,02
Tebuturom	0,14	-	0,8
Tiodicarbe	0,03	-	0,2
Tiofonato-Metílico	0,08	-	0,5
Toxafeno	-	1,1	0,0003
2,4,5-TP	0,003	-	0,02
1,1,1-Tricloroetano	2	-	10
Triclosan	0,3	-	2
Trifloxissulfurom-Sódico	0,1	-	0,6

**Fonte:** Guia de Potabilidade para Substâncias Químicas, 2012.

**Anexo III: Contaminantes em Águas para Consumo Humano Estipulados pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA): Evolução Histórica**

<b>Contaminantes Químicos</b>			
<b>CCL 1</b>	<b>CCL 2</b>	<b>CCL 3</b>	<b>CCL 4</b>
1,1,2,2-tetracloroetano	1,1,2,2-tetracloroetano	1,1,1,2-tetracloroetano	1,1-dicloroetano
1,2,4-trimetilbenzeno	1,2,4-trimetilbenzeno	1,1-dicloroetano	1,1,1,2-tetracloroetano
1,1-dicloroetano	1,1-dicloroetano	1,2,3-Tricloropropano	1,2,3-Tricloropropano
1,1-dicloropropeno	1,1-dicloropropeno	1,3-butadieno	1,3-butadieno
1,2-difenil-hidrazina	1,2-difenil-hidrazina	1,3-dinitrobenzeno	1,4-dioxano
1,3-dicloropropano	1,3-dicloropropano	1,4-dioxano	17alpha-estradiol
1, 3-dicloropropeno	1, 3-dicloropropeno	17alpha-estradiol	1-butanol
2,4,6-triclorofenol	2,4,6-triclorofenol	1-butanol	2-metoxietanol
2,2 dicloropropano	2,2 dicloropropano	2-metoxietanol	2-Propen-1-ol
2,4-diclorofenol	2,4-diclorofenol	2-Propen-1-ol	3-hidroxicarbofurano
2,4-dinitrofenol	2,4-dinitrofenol	3-hidroxicarbofurano	4,4'-Metilenodiilina
2,4-dinitrotolueno	2,4-dinitrotolueno	4,4'-Metilenodiilina	Acefato
2,6-dinitrotolueno	2,6-dinitrotolueno	Acefato	Acetaldeído
2-metil-fenol (o-cresol)	2-metil-fenol (o-cresol)	Acetaldeído	Acetamida
Acetocloro	Acetocloro	Acetamida	Acetócloro
Alacloro ESA e outros produtos de degradação de pesticidas de acetanilida	Alacloro ESA e outros produtos de degradação de pesticidas de acetanilida	Acetócloro	Ácido acetoclorano-etanossulfônico
Aldrin	Alumínio	Ácido acetoclorano-etanossulfônico (ESA)	Ácido oxoílico de acetocloro (OA)
Alumínio	Boro	Acido oxoílico de acetocloro (OA)	Acroleína
Boro	Bromobenzeno	Acroleína	Alaclor ácido etanossulfônico (ESA)
Bromobenzeno	DCPA mono-acido	Alaclor ácido etanossulfônico (ESA)	Alaclor ácido oxanílico
DCPA mono-acido	DCPA di-acido	Alaclor ácido oxanílico	Alfa-hexaclorociclohexano
DCPA di-acido	DDE	Alfa-hexaclorociclohexano	Anilina

DDE	Diazinon	Anilina	Bensulide
Diazinon	Disulfato	Bensulide	Cloreto de benzilo
Dieldrin	Diuron	Cloreto de benzila	Hidroxianisol butilado
Disulfato	EPTC (s-etil-dipropiltiocarbamato)	Hidroxianisol butilado	Captain
Diuron	Fonofos	Captain	Clorato
EPTC (s-etil-dipropiltiocarbamato)	P-isopropiltolueno (p-cimeno)	Clorato	Clorometano
Fonofos	Linuron	Clorometano	Clethodim
Hexaclorobutadieno	Brometo de metila	Clethodim	Cobalto
P-isopropiltolueno (p-cimeno)	Éter de metil-t-butil (MTBE)	Cobalto	Hidroperóxido de cumeno
Linuron	Metolachlor	Hidroperóxido de cumeno	Cianotoxinas
Manganês	Molinate	Cianotoxinas	Dicrotofos
Brometo de metila	Nitrobenzeno	Dicrotofos	Dimethipin
Éter de metil-t-butil (MTBE)	Organotins	Dimethipin	Diuron
Metolachlor	Perclorato	Dimetoato	Equilenin
Metribuzin	Prometon	Disulfoton	Equilin
Molinate	RDX	Diuron	Eritromicina
Naftaleno	Terbacil	Equilenina	Estradiol (17-beta estradiol)
Nitrobenzeno	Terbufos	Equilíbrio	Estriol
Organotins	Triazinas e produtos de degradação	Eritromicina	Estrone
Perclorato	Vanádio	Estradiol (17-beta estradiol)	17-alfa etinil estradiol
Prometon		Estriol	Ethoprop
RDX		Estrona	Etilenoglicol
Sódio		17-alfa etinil estradiol	Óxido de etileno
Sulfato		Ethoprop	Etileno-tioureia
Terbacil		Etilenoglicol	Formaldeído
Terbufos		Óxido de etileno	Germânio
Triazinas e produtos de degradação		Etileno-tioureia	HCFC 22
Vanádio		Fenamiphos	Halon 1011 (bromo-clorometano)
		Formaldeído	Hexano
		Germânio	Hidrazina

		Halon 1011 (bromoclorometano)	Manganês
		HCFC 22	Mestranol
		Hexano	Methamidophos
		Hidrazina	Metanol
		Mestranol	Brometo de metilo (bromometano)
		Methamidophos	Éter metil terc-butílico (MTBE)
		Metanol	Metolaclor
		Brometo de metila	Metolaclor ácido etanossulfônico (ESA)
		Éter metil terc-butílico	Metolacloro ácido oxanílico (OA)
		Metolaclor	Molibdênio
		Metolaclor ácido etanossulfônico (ESA)	Nitrobenzeno
		Metolacloro ácido oxanílico (OA)	Nitroglicerina
		Molinado	N-Metil-2-pirrolidona
		Molibdênio	N-nitrosodiethylamine (NDEA)
		Nitrobenzeno	N-nitrosodimetilamina (NDMA)
		Nitroglicerina	N-nitroso-di-n-propilamina (NDPA)
		N-Metil-2-pirrolidona	N-nitrosodifenilamina
		N-nitrosodiethylamine (NDEA)	N-nitrosopirrolidina (NPYR)
		N-nitrosodimetilamina (NDMA)	Nonylphenol2
		N-nitroso-di-n-propilamina (NDPA)	Norethindrone (19-Norethisterone)
		N-nitrosodifenilamina	N-propilbenzeno
		N-nitrosopirrolidina (NPYR)	O-Toluidina
		Norethindrone (19-Norethisterone)	Oxirano de metila
		N-propilbenzeno	Oxidemeton de metila
		O-Toluidina	Oxyfluorfen

		Oxirano	Ácido perfluorooctanossulfónico (PFOS)
		Oxidemeton-methyl	Ácido perfluorooctanoico (PFOA)
		Oxyfluorfen	Permethrin
		Perclorato	Profenofos
		Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS)	Quinolina
		Ácido perfluorooctanoico (PFOA)	RDX
		Permethrin	Sec-butilbenzeno
		Profenofos	Tebuconazol
		Quinolina	Tebufenozide
		RDX (Hexahidro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazina)	Telúrio
		Sec-butilbenzeno	Tiodicarbe
		Estrôncio	Tiofanato-metilo
		Tebuconazol	Diisocianato de tolueno
		Tebufenozide	Tribufos
		Telúrio	Trietilamina
		Terbufos	Hidróxido de trifenilestanho (TPTH)
		Terbufos sulfona	Uretano
		Tiodicarbe	Vanádio
		Tiofanato-metilo	Vinclozolin
		Diisocianato de tolueno	Ziram
		Tribufos	
		Trietilamina	
		Hidróxido de trifenilestanho	
		Uretano	
		Vanádio	
		Vinclozolin	
		Ziram	
<b>Contaminantes Biológicos</b>			
Acantamoeba	Adenovírus	Adenovírus	Adenovírus
Adenovírus	<i>Aeromonas hydrophila</i>	Calicivírus	Calicivírus

Aeromonas hydrophila	Calicivírus	Campylobacter jejuni	Campylobacter jejuni
Calicivírus	Coxsackie virus	Enterovírus	Enterovírus
Coxsackieviruses	Cianobactérias (algas azul-verdes), outras algas de água doce e suas toxinas	<i>Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
Cianobactérias (algas azul-verdes), outras algas de água doce e suas toxinas	Echovírus	<i>Helicobacter pylori</i>	<i>Helicobacter pylori</i>
Echovírus	<i>Helicobacter pylori</i>	Vírus da hepatite A	Vírus da hepatite A
<i>Helicobacter pylori</i>	<i>Microsporidia</i>	<i>Legionella pneumophila</i>	<i>Legionella pneumophila</i>
<i>Microsporidia</i>	<i>Mycobacterium avium</i>	<i>Mycobacterium avium</i>	<i>Mycobacterium avium</i>
<i>Mycobacterium avium</i>		<i>Naegleria fowleri</i>	<i>Naegleria fowleri</i>
		<i>Salmonella enterica</i>	<i>Salmonella enterica</i>
		<i>Shigella sonnei</i>	<i>Shigella sonnei</i>

**Fonte:** EPA, 2017.

**Anexo IV: Concentrações (ng/L) de Contaminantes Abordados neste Trabalho  
Determinados em Mananciais de Diferentes Países**

<b>Compostos</b>	<b>Concentração média (ng/L)</b>	<b>Concentração máxima ou faixa de concentração (ng/L)</b>	<b>País (Cidade)</b>
Estrona	0,3 0,4	2	Itália
		(0,2 - 2)	Itália
		3,4	Holanda
		21,7	Bélgica
		0,9	EUA
		2,0	EUA
		600	Brasil (Jaboticabal)
		0,7 - 7,5)	China
17β-estradiol	17	0,9	Itália
		1	Holanda
		2,3	Bélgica
		17	EUA
		(106 - 6,8606)	Brasil (Campinas)
		(8,6 - 25,8)	Brasil (Jaboticabal)
		(1,5 - 36,8)	Brasil (Belo Horizonte)
(<1 - 7,5)	China		
testosterona	1,1	1,2	EUA
progesterona	2,2	3,1	EUA
		195	Brasil (Campinas)
17α- etinilestradiol	1,4	0,4	Holanda
		1,4	EUA
		(3 - 54)	Brasil (Belo Horizonte)
levonorgestrel		663	Brasil (Campinas)
bisfenol A	5	68	Itália
		(0,9 - 61)	Itália
		(106 - 880)	Portugal
	9,4	(2 - 46)	Suíça
		(136 - 156)	França
	5319		Alemanha
	57	1924	Alemanha
		580	Bélgica
		22000	Holanda
	6,1	14	EUA
		360	EUA
	1000	1900	EUA
	2,1	87	Canadá
(0,6 - 18,8)		Canadá	
(204 - 13016)		Brasil (Campinas)	
(2,2 - 1030)		China	

octilfenol	2,4	(<1,2 - 6,9) (1 - 2470)	Suíça China
nonilfenol	64 387 100 89	240 (<29 - 195) 1500 130 141 1400 (37 - 313) (44 - 1918)	Itália Suíça Alemanha Espanha EUA EUA EUA Canadá Brasil (Belo Horizonte)
triclosan	3,0 3,0 734	15 8,8 6,4 (2,1 - 9,8) (0,6 - 347)	Itália EUA EUA EUA EUA China
atrazina	2	4 (0,3 - 3,2) 400 -13000 (2 - 48) (25 - 29) 870 1011	Itália Itália Holanda Bélgica Canadá Espanha EUA EUA
cafeína	137 143 1926 14 30	1467 (0,6 - 1056) (13 - 107) (12,2 - 415) 2991 (1,6 - 224,8) 270 (18 - 176) 190 (8,4 - 160) (174 - 127,092)	Itália Itália Alemanha França Espanha Espanha EUA EUA EUA EUA Canadá Brasil (Campinas)

Fonte: RAIMUNDO, 2011.