

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

LUIS HENRIQUE ZAVATTIERI BIAGIONI

**A cafeína como indicador de poluição por contaminantes emergentes de esgoto
doméstico na Lagoa da Conceição: Revisão Sistemática da Literatura**

São Paulo

2022

LUIS HENRIQUE ZAVATTIERI BIAGIONI

A cafeína como indicador de poluição por contaminantes emergentes de esgoto doméstico na Lagoa da Conceição: Revisão Sistemática da Literatura

Versão Corrigida

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

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Marilda Mendonça Guazzelli Ramos Vianna

São Paulo

2022

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

Catálogo-na-publicação

Biagioni, Luis Henrique Zavattieri

A cafeína como indicador de poluição por contaminantes emergentes de esgoto doméstico na Lagoa da Conceição: Revisão Sistemática da Literatura. / L. H. Z. Biagioni -- São Paulo, 2022.

43 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Cafeína 2.Contaminantes emergentes 3.Águas residuárias 4.Águas subterrâneas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

RESUMO

Biagioni, Luis Henrique Zavattieri. A cafeína como indicador de poluição por contaminantes emergentes de esgoto doméstico na Lagoa da Conceição: Revisão Sistemática da Literatura. 2022. 43 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

A geração de esgoto doméstico em centros urbanos e a crescente demanda por água tratada, provoca discussões acerca da qualidade da água que é disponibilizada aos consumidores finais. O estabelecimento de normas e critérios de qualidade que não abrangem os contaminantes emergentes reflete a falta de regulamentação desses compostos pela legislação ambiental de muitos países, trazendo consequências para as futuras gerações. No Brasil, grande parte dos contaminantes emergentes, além de pouco conhecidos, não apresentam critérios de aceitação devidamente regulamentados pelas Resoluções CONAMA nº 396/2008 e 420/2009 e pela Portaria GM/MS nº 888/2021, em amostras de água e solo. Contudo, é evidente a preocupação com a qualidade dos ecossistemas aquáticos, principalmente daqueles que permeiam centros urbanos, como é o caso da Lagoa da Conceição (Florianópolis/SC). A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada a partir da ferramenta digital “StArt”. Ao todo 27 documentos foram revisados, entre eles artigos científicos, artigos de revisão e relatórios técnicos. O foco foi a cafeína, que atua como indicador da poluição causada por águas provenientes de esgoto, sendo comumente detectada em ecossistemas aquáticos. Os contaminantes emergentes mais comumente detectados fazem parte do grupo dos fármacos. Além dos medicamentos, também foram detectados produtos de higiene pessoal, pesticidas, repelentes de insetos, produtos derivados do plástico, bloqueadores solares, drogas psicotrópicas, açúcares, adoçantes, entre outros. As técnicas analíticas mais utilizadas para detecção e quantificação desses compostos são as cromatografias líquida e gasosa. Desta forma, esta revisão, além de compilar informações importantes sobre os contaminantes emergentes advindos de esgoto doméstico, busca contribuir para o aprimoramento do monitoramento da qualidade da água da Lagoa da Conceição, que teve suas características químicas e biológicas afetadas após o rompimento da lagoa de evapoinfiltração da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), em janeiro de 2021.

Palavras-chave: cafeína, contaminantes emergentes, águas residuárias, águas subterrâneas.

ABSTRACT

Biagioni, Luis Henrique Zavattieri. Caffeine as an indicator of pollution by emerging contaminants from domestic sewage in Lagoa da Conceição: A Systematic Literature Review. 2022. 43 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The production of domestic sewage in urban centers and the growing demand for treated water, causes discussions about the quality of the water that is made available to final consumers. The establishment of quality standards and criteria that do not cover emerging contaminants reflects the lack of regulation of these compounds by the environmental legislation of many countries, with consequences for future generations. In Brazil, most emerging contaminants, along with to being little known, do not have acceptance criteria properly regulated by CONAMA Resolutions No. 396/2008 and 420/2009 and by Ordinance GM/MS No. 888/2021, in water and soil samples. However, the concern with the quality of aquatic ecosystems is evident, especially those that permeate urban centers, as is the case of Lagoa da Conceição (Florianópolis, Santa Catarina). The Systematic Literature Review (SLR) was carried out using the digital tool “StArt”. A total of 27 documents were reviewed, including scientific articles, review articles and technical reports. The focus was on caffeine, which acts as an indicator of pollution caused by water from sewage, being commonly detected in aquatic ecosystems. The most frequently detected emerging contaminants are part of the pharmaceuticals group. In addition to medicines, personal care products, pesticides, insect repellents, products derived from plastic, sun blockers, psychotropic drugs, sugars, sweeteners, among others, were also detected. The technical methods of analysis most used for detection and quantification of these compounds are liquid and gas chromatography. Thus, this review, in addition to compiling important information on emerging contaminants from domestic sewage, seeks to contribute to improving the monitoring of the water quality of Conceição lagoon, which had its chemical and biological characteristics affected after the rupture of the lagoon dam of the Sewage Treatment Plant (STP), in January 2021.

Keywords: caffeine, emerging contaminants, wastewater, groundwater.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos	10
3. JUSTIFICATIVA.....	11
4. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
4.1 Contaminantes emergentes	12
4.2 Cafeína.....	13
4.3 Técnicas analíticas	15
4.4 Sistemas de infiltração.....	15
4.5 Lagoa da Conceição.....	16
5. METODOLOGIA	19
5.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)	19
5.2 Uso da ferramenta “StArt”	19
6. RESULTADOS	23
6.1 Contaminantes emergentes detectados nos artigos revisados.....	23
6.2 O papel da cafeína como indicador	28
6.3 Técnicas analíticas de detecção e quantificação da cafeína	32
7. DISCUSSÕES	34
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

O panorama do setor de saneamento básico no Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2021), está em constante avanço. Conforme os dados disponíveis no SNIS, em 2019, a população brasileira atendida com rede de água representava 83,7%, enquanto que 54,1% possuem atendimento com rede de esgoto. Desde 2010, observa-se um aumento gradativo no atendimento com redes de água e esgoto, assim como para os investimentos em sistemas de esgoto (SNIS, 2021).

Após a utilização da água para consumo humano, o esgoto gerado deve ter uma destinação adequada a fim de garantir não só a prevenção de uma série de doenças, como também condições dignas de habitação e a preservação do meio ambiente. Os processos de tratamento do esgoto envolvem as atividades, infraestruturas e instalações operacionais adequadas de coleta, transporte, tratamento e disposição final do esgoto sanitário.

A abrangência do serviço de esgotamento sanitário por rede coletora apresenta números bem abaixo dos índices de abastecimento de água, apresentando um comportamento muito mais heterogêneo quando comparado às redes de abastecimento de água (IBGE, 2020). Os volumes diários de esgoto gerado, coletado e tratado no Brasil, em 2017, foram de 21.267.971, 14.251.582 e 10.983.179 metros cúbicos (m³), respectivamente. Observa-se que 67% do volume de esgoto gerado foi coletado, porém cerca de 51% do volume gerado foi tratado. Na região Sul do país, o volume coletado foi de 55,3% em relação ao esgoto gerado, sendo que apenas 50% foi tratado.

O sistema de saneamento básico no Brasil atende os habitantes utilizando principalmente o tratamento convencional, tanto no tratamento de esgoto quanto para a água de abastecimento público. Nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) convencionais, as principais etapas de remoção de contaminantes envolvem os seguintes processos: eliminação de sólidos grosseiros; adsorção em sólidos suspensos, sedimentação ou coagulação; biodegradação aeróbica, por meio de lodo ativado ou filtro biológico, e/ou biodegradação anaeróbica, por meio de reator anaeróbio de fluxo ascendente; degradação química por processos de hidrólise ou nitrificação e, por fim, a desinfecção. Tal tratamento é eficiente para descontaminação microbiológica e remoção de quantidades elevadas de nutrientes, responsáveis pelos processos de eutrofização de um corpo d'água. Porém, algumas substâncias

não são efetivamente removidas do esgoto após o tratamento, permanecendo no efluente final (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017).

Após o tratamento, o efluente líquido gerado é descartado em sistemas de águas naturais e o material sólido pode ser utilizado para fertilização e/ou condicionamento de solos agricultáveis, por exemplo. Se tratando do uso agrícola, tais contaminantes presentes no lodo de esgoto que é aplicado ao solo, também podem alcançar as águas naturais por meio do processo de escoamento superficial. Assim, a elaboração de um estudo prévio e a implantação de sistemas de saneamento básico adequados e específicos a cada realidade é fundamental para garantir a qualidade das águas, sua oferta e, conseqüentemente a saúde da biota aquática e da população (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017).

Os contaminantes emergentes são compostos orgânicos sintéticos ou naturais presentes em diversos bens de consumo, representando substâncias químicas novas, não regulamentadas, que de certa forma apresentam incertezas quanto ao risco ambiental (IDE et al., 2013). Atualmente, os contaminantes emergentes têm sido estudados com o objetivo de relacionar sua presença com a de despejos domésticos em corpos aquáticos. Com a crescente preocupação em relação aos danos que os contaminantes emergentes podem provocar, novas técnicas analíticas têm sido propostas a fim de adequar a precisão e sensibilidade dos métodos (IDE et al., 2013).

Conforme Fries et al. (2016), a presença de cafeína pode indicar a presença de contaminação por esgoto doméstico. A cafeína, substância frequentemente detectada nas matrizes estudadas (águas superficiais, águas subterrâneas, águas de reuso, águas utilizadas como fontes de abastecimento e até águas potáveis), é um composto chave utilizado como indicador da poluição por poluentes orgânicos emergentes em amostras de água (IDE et al., 2013). A substância pode indicar a presença de uma extensa variedade de compostos como fármacos de uso humano, produtos de limpeza e higiene pessoal e seus metabólitos. Ide et al. (2013) ressaltam que a presença de cafeína deve ser analisada em conjunto com outros parâmetros químicos e microbiológicos, pois sua presença pode estar relacionada à contribuição por águas residuais recentes ou lançamentos contínuos. Ainda, salientam que no caso de amostras que não forem identificadas a presença de cafeína, não significa a ausência de esgotos.

A disposição final dos efluentes tratados em sistemas de infiltração é uma prática comum em locais sem acesso a rede de esgotamento sanitário e podem ser consideradas importantes fontes de contaminação por contaminantes orgânicos emergentes (GAO et al.,

2018). Um sistema de infiltração é encontrado na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, situada no leste do município de Florianópolis, Santa Catarina. Como parte fundamental das etapas de tratamento do esgoto doméstico gerado na região, os efluentes tratados na ETE são depositados nas lagoas de evapoinfiltração (CASAN, 2021).

Nesse contexto, destaca-se um acidente ocorrido no dia 25 de janeiro de 2021, referente a um aporte repentino de efluente tratado na Lagoa da Conceição (Florianópolis – Santa Catarina). Nesta ocasião, ocorreu o rompimento da barragem da lagoa de evapoinfiltração, última etapa do tratamento de esgoto, utilizada pela concessionária responsável pelo sistema de esgotamento sanitário. O rompimento da barragem causou a inundação da área local urbanizada e fluíu em direção à Lagoa da Conceição, despejando toneladas de sedimentos (areia) e matéria orgânica. Após o episódio, houve mortandade de peixes no local afetado. O rompimento do corpo hídrico artificial ressalta a urgência em discutir sobre o tratamento e, principalmente, a destinação final de efluentes domésticos. Este caso é apenas um dos exemplos de tragédias ambientais envolvendo ETE's (DAMACENA; CORTESE, 2021; PES, 2021).

A fim de discorrer sobre os principais compostos emergentes presentes no esgoto doméstico, este trabalho de revisão apresenta os resultados relatados em artigos científicos quanto à existência e metodologias de detecção de contaminantes emergentes relacionados aos efluentes domésticos, principalmente da cafeína. A variedade dos contaminantes é apresentada conforme os resultados das análises químicas, de amostras coletadas de efluentes domésticos e outros tipos de águas, direta ou indiretamente afetadas pela ação antrópica.

O panorama dessa análise é o rompimento da barragem da lagoa de evapoinfiltração da ETE da Lagoa da Conceição, local de relevância nacional e um importante atrativo turístico do município de Florianópolis. Além da sua importância histórica e cultural, é um ponto estratégico para a gestão dos recursos hídricos e saneamento. Portanto, este trabalho de revisão pode servir como uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos na região da Lagoa da Conceição, auxiliando no monitoramento da qualidade da água da laguna que, ao que tudo indica, teve suas características químicas e biológicas afetadas por conta do aporte repentino de esgoto tratado, sobretudo, do possível aporte de contaminantes emergentes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática da literatura sobre os contaminantes emergentes presentes no esgoto doméstico, assim como abordar a importância da cafeína como indicador da presença de contaminação por esgoto em amostras de águas superficiais e subterrâneas.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) a partir do *software* “*State of the Art through Systematic Review - StArt*” e por meio de buscas realizadas na base de dados científicos *Web of Science* sobre a presença de contaminantes emergentes no esgoto doméstico, como por exemplo a cafeína;
- Discorrer sobre os principais contaminantes emergentes encontrados nos efluentes domésticos;
- Abordar o papel da cafeína como indicador da poluição causada por atividades antropogênicas;
- Listar as técnicas analíticas utilizadas ou citadas pelos pesquisadores para a identificação de cafeína em ambientes aquáticos;
- Contribuir para o “Projeto Ecoando Sustentabilidade – PES”, conduzido por pesquisadores e pela comunidade científica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), responsável pela elaboração de notas técnicas a respeito do monitoramento da qualidade da água da Lagoa da Conceição, que atua principalmente depois da tragédia ambiental da ETE da Lagoa.

3. JUSTIFICATIVA

Os contaminantes emergentes são pouco conhecidos, tanto pela população quanto pela legislação, pois atualmente os critérios de aceitação dessas substâncias não são devidamente regulamentados no Brasil, mesmo sendo compostos que podem oferecer riscos à saúde humana (tóxico e carcinogênico), além de serem danosos ao meio ambiente. Produtos de origem farmacêutica, produtos de limpeza e de higiene pessoal e seus metabólitos, são alguns exemplos de contaminantes emergentes (FRIES et al., 2016).

A falta de regulamentação de grande parte desses compostos pode acarretar em problemas sociais relacionados ao direito de acesso à água potável, além de causar perturbações na fauna e na flora, podendo causar um desequilíbrio ecológico. Assim, este trabalho considera-se importante por contemplar os contaminantes emergentes, devido ao fato de grande parte desses compostos não serem regulamentados pela legislação brasileira vigente (Portaria GM/MS nº 888/2021, Resoluções CONAMA nº 420/2009 e 396/2008), ou seja, não possuírem valores orientadores para o controle da presença da maioria desses compostos nas matrizes ambientais, como em amostras de água e solo.

Este trabalho revela a sua importância ao contemplar a temática que envolve a ocorrência destes poluentes no esgoto doméstico. De tal forma, auxiliar na identificação desses compostos nos corpos hídricos receptores de efluentes domésticos, atuando como ferramenta de gestão dos recursos hídricos. A apresentação dos principais poluentes emergentes contidos em amostras de águas residuais, tratadas, naturais, potáveis, subterrâneas, entre outras, a partir da leitura dos artigos científicos revisados, promoverá a divulgação do conhecimento a respeito de tais compostos ainda pouco conhecidos, a fim de melhorar a regulação sobre eles, garantindo a qualidade dos recursos ambientais para as futuras gerações.

A crescente preocupação com a manutenção da qualidade da água da Lagoa da Conceição, por conta do elevado crescimento demográfico da região, demonstra a necessidade de se aprimorar o monitoramento dos parâmetros físico-químicos e biológicos da Lagoa da Conceição. Se faz necessária a conciliação entre o uso e ocupação da terra com a conservação dos patrimônios naturais, visto que essas áreas representam pontos de interesse social, ambiental, histórico e cultural, que detêm riquezas incomparáveis e que devem ser protegidas.

4. CONTEXTUALIZAÇÃO

4.1 Contaminantes emergentes

Atualmente se ouve falar com frequência sobre áreas contaminadas por produtos derivados dos hidrocarbonetos, como em postos de revenda ou bases de distribuição de combustíveis, ou então sobre os compostos organoclorados detectados em áreas industriais contaminadas. Porém, nota-se um aumento considerável da preocupação em relação à presença dos contaminantes emergentes no meio ambiente, assim como à sua persistência e os impactos gerados nos ecossistemas (FRIES et al., 2016).

A crescente demanda por água é um assunto polêmico que envolve as esferas da população que utilizam a água para consumo humano, uso comercial, industrial, recreativo, entre outros. É preciso estabelecer normas e critérios de qualidade que regulam a concentração de substâncias tóxicas e/ou cancerígenas existentes no meio ambiente, a fim de evitar que tais compostos venham a contaminar os recursos hídricos. Em busca da concretização do que reza o Art. 225 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, o qual estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”, se faz necessária uma política de gestão eficiente.

Grandes cidades exigem complexos sistemas de abastecimento de água e saneamento, onde ao mesmo tempo que se abastece as comunidades com água limpa, opera uma rede de coleta de esgoto que conduz os efluentes gerados para estações de tratamento, garantindo que a água tratada retorne ao ciclo hidrológico para que seja reutilizada. Diversos estudos (BRUTON et al., 2010; FRIES et al., 2016; BALAKRISHNA et al., 2017; EDWARDS et al., 2019) relacionaram a presença de contaminantes, como cafeína, ibuprofeno e bisfenol-A, atuando como indicadores da poluição causada por águas provenientes do esgoto, sendo comumente detectados. Ainda, atribuem a presença desses compostos em efluentes tratados à ineficiência dos sistemas de tratamento de efluentes relacionados ao esgoto.

Segundo Montagner, Vidal e Acayaba (2017), os contaminantes emergentes podem ser definidos como centenas de compostos que têm sido detectados em diferentes compartimentos ambientais (solo, água e ar), sendo eles tanto de origem antrópica quanto de ocorrência natural

(presentes em diferentes espécies de plantas, por exemplo). Para os autores, diversas substâncias, como fármacos, compostos usados em produtos de higiene pessoal, hormônios, drogas ilícitas, adoçantes artificiais, pesticidas, entre outros, são classificados como micro e nanopoluentes de preocupação emergente.

Montesdeoca-Esponda et al. (2021) chamam a atenção para os compostos farmacêuticos, produtos amplamente utilizados para diversas finalidades e, muitas vezes, sem prescrição médica. Ainda, ressalta que os compostos farmacêuticos não estão sujeitos a regulamentação e nem estão incluídos em programas de monitoramento na Espanha. Uma vez consumidos e/ou indevidamente descartados, eles entram nas ETE's, que muitas vezes não possuem mecanismos específicos para eliminá-los completamente, oferecendo riscos de contaminação aos sistemas aquáticos naturais.

No caso do Brasil, alguns contaminantes emergentes apresentam valores de orientação (VMP – Valores Máximos Permitidos) definidos na Portaria GM/MS nº 888/2021 e nas Resoluções CONAMA nº 396/2008 e 420/2009, como é o caso de agrotóxicos e pesticidas, entre eles aldrin, ametrina, atrazina, dieldrin, carbofurano, clorotalonil, glifosato, pentaclorofenol, entre outros. No entanto, diversos outros compostos não possuem regulamentação, como é o caso da cafeína, sucralose, ibuprofeno e outros.

A ocorrência de contaminantes de preocupação emergente é algo cada vez mais real, na medida em que os estudos e artigos científicos que envolvem a identificação desses compostos nas mais variadas matrizes aquáticas vão sendo publicados. Segundo Fries et al. (2016) e Balakrishna et al. (2017), os contaminantes emergentes incluem uma extensa variedade de compostos, podendo ser encontrados não somente no efluente bruto, mas também em efluentes tratados, águas de reuso, nos solos, sedimentos e ambientes aquáticos, como águas superficiais e subterrâneas.

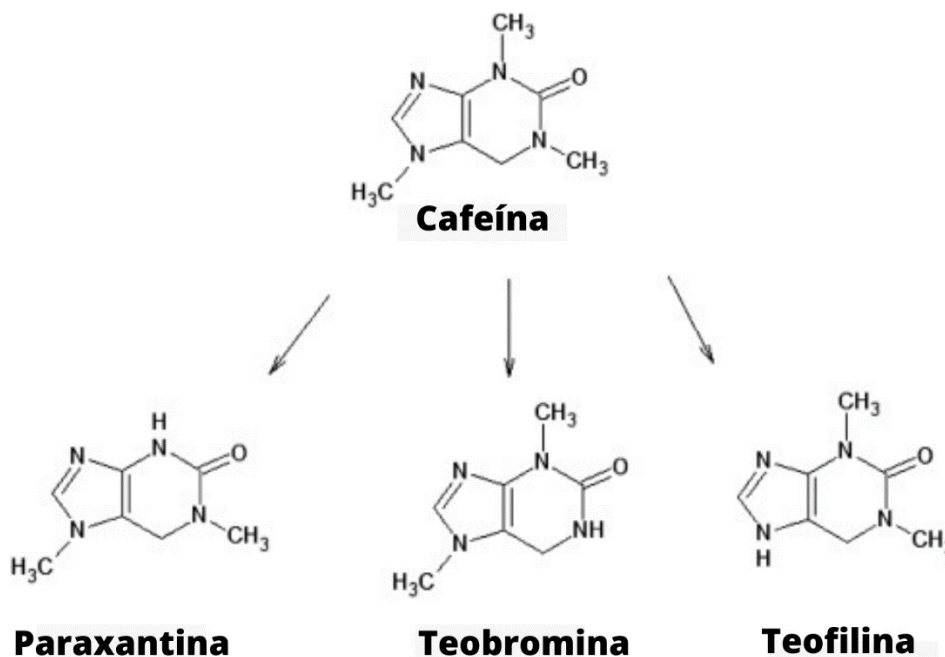
4.2 Cafeína

Classificada como alcaloide e de nome IUPAC 1,3,7-trimetilxantina, a cafeína é um composto químico orgânico amplamente conhecido e presente no cotidiano da maioria das pessoas por estar contido em alimentos, bebidas, medicamentos e produtos de higiene pessoal. A presença dessa substância e de um de seus metabólitos, a paraxantina, chama a atenção nos

estudos pelo caráter solúvel, e em certos casos, como descrito posteriormente, pode ser utilizado como indicador de contaminação (BRUTON et al., 2010; IDE et al., 2012; EDWARDS et al., 2019; FENNELL et al., 2021).

A cafeína (1,7-dimetilxantina) e seus metabólitos estão contidos em medicamentos não controlados, assim como cotinina, ibuprofeno e acetaminofeno. Ambos foram detectados com mais frequência do que qualquer outro grupo de compostos em amostras de águas superficiais, além dos esteroides naturais (FOCAZIO et al., 2008). Os metabólitos da cafeína são considerados os produtos dos processos de metabolismo e podem resultar em três tipos de compostos: paraxantina, teobromina e teofilina (Figura 1), sendo gerados a partir de um conjunto de reações enzimáticas.

Figura 1 – Estruturas químicas da cafeína e dos metabólitos: paraxantina, teobromina e teofilina



Fonte: GRASES; RODRIGUEZ; COSTA-BAUZA (2014)

Sabendo da origem doméstica da cafeína, cerca de 2 a 3% da substância derivada do café consumida por humanos é excretada diretamente no sistema de esgoto para ser degradada por microrganismos, que sucedem em quebrar apenas uma fração das moléculas dissolvidas (BRUTON et al., 2010; FENNELL et al., 2020). A vantagem é que segundo Bruton et al. (2010), a cafeína possui meia vida curta e não possui toxicidade em baixos níveis para humanos.

4.3 Técnicas analíticas

Os métodos e técnicas analíticas de detecção e quantificação dos contaminantes emergentes podem ser divididas em duas etapas. A primeira etapa da análise envolve a extração dos compostos, que tem por objetivo a seleção dos compostos de interesse. A principal técnica é chamada de Extração em Fase Sólida (SPE, do inglês *Solid Phase Extraction*), sendo unanimemente usada nos artigos revisados, pois representa de uma sequência de adição de solventes e eluentes até que se extraia o composto desejado. Conforme Bisceglia et al. (2010), no desenvolvimento de um procedimento de SPE, a identidade do solvente, pH e solvente de eluição (operação em que se separam substâncias adsorvidas) foram selecionados como parâmetros relevantes nesse processo.

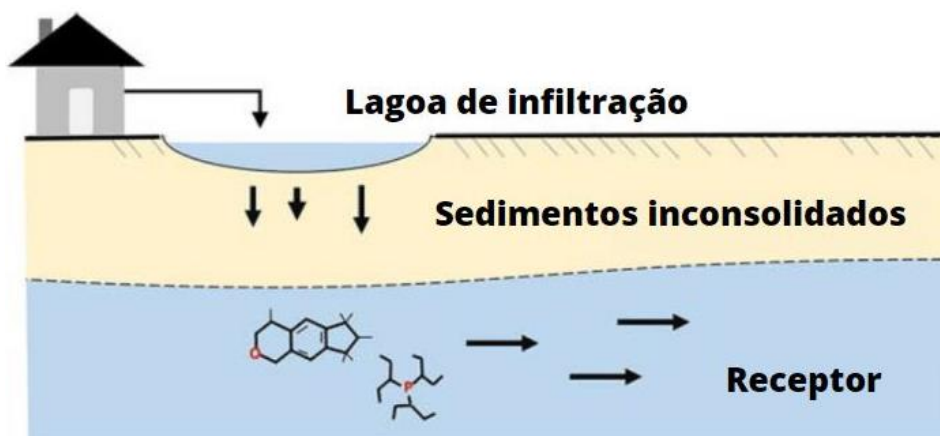
A segunda etapa da análise representa a fase de detecção e quantificação das amostras. A análise pode ser feita de diferentes métodos, sendo que as principais técnicas são a Cromatografia Líquida acoplada a Espectrometria de Massas sequencial (LC-MS/MS), a Cromatografia Líquida acoplada a Espectrometria de Massas (LC-MS) e a Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (GC-MS).

A LC-MS/MS é um sistema em que dois espectrômetros de massa são utilizados em sequência, separados por uma câmara de colisão. A GC-MS é um método analítico que combina os recursos de cromatografia em fase gasosa e espectrometria de massa para identificar diferentes substâncias em uma amostra teste. A HPLC é uma técnica utilizada para separar moléculas baseadas no tamanho e carga superficial, entre outras propriedades. A incorporação da espectroscopia ultravioleta (UV) com o HPLC permite que a concentração de moléculas seja determinada após a separação. Já a UPLC-MS/MS é uma técnica de cromatografia líquida capaz de detectar compostos em maiores intervalos de concentração.

4.4 Sistemas de infiltração

A forma de disposição final dos efluentes tratados em lagoas de evapoinfiltração (Figura 2) é considerada por Gao et al. (2018) como sendo uma alternativa comum em áreas rurais e semiurbanas, principalmente em localidades onde a rede de esgotamento municipal é inacessível. Tais sistemas são frequentemente encontrados em países em desenvolvimento, assim como pode ser comum em países desenvolvidos.

Figura 2 – Sistemas de infiltração



Fonte: GAO et al. (2018).

A exposição dos contaminantes orgânicos podem não somente oferecer riscos aos ecossistemas aquáticos, mas também promover riscos à saúde humana por meio da ingestão de água potável contaminada e para a biota. A eficácia dos sistemas de tratamento, que envolvem sistemas de infiltração, na remoção de contaminantes orgânicos depende de fatores como as características do projeto, propriedades do aquífero e comportamento físico-químico dos compostos orgânicos. Ainda, fatores ambientais como índices de radiação ultravioleta, temperatura, condições aeróbicas ou anaeróbicas e atividade microbiana, influenciam na capacidade de remoção de contaminantes orgânicos (GAO et al., 2018).

4.5 Lagoa da Conceição

Cabral, Bercovich e Fonseca (2019) realizaram uma avaliação da qualidade da água da Lagoa da Conceição, por meio da investigação dos mecanismos de eutrofização da lagoa e consequente interpretação da eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto na prevenção da entrada de material orgânico e nutrientes no sistema lagunar, entretanto, os contaminantes emergentes não foram incluídos na lista de compostos alvo de detecção. No entanto, os autores demonstram preocupação com a ineficiência dos mecanismos de remoção de poluentes orgânicos durante os processos de tratamento secundário, somado ao fato de que apenas 15% da população que vive na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição é atendida pela rede de esgotamento público.

No caso da ETE da Lagoa da Conceição, são realizados dois tipos de tratamento, o pré-tratamento e o tratamento secundário. É um procedimento relativamente simples de ser descrito e aplicado, pois possui um sistema partilhado em etapas (CASAN, 2021). Após o tratamento, os efluentes são lançados no Parque Natural Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, mais precisamente na Lagoa de Evapoinfiltração (LEI) em uma unidade de preservação integral. A sequência remete primeiro ao pré-tratamento, que é a segregação física pelo gradeamento do efluente e o encaminhamento para a caixa de areia e para a caixa de gordura. Posteriormente, é realizado o tratamento secundário, que envolve valos de oxidação, que são tanques de aeração orbitais com aeradores de eixo inclinado. Em seguida, dentro da etapa secundária vem o decantador secundário, que após decantado o fluido é infiltrado nas dunas (Figura 3). O excesso de lodo dessa parte final que não é infiltrado nas dunas é recirculado e disposto em leitos de secagem. O lodo após seco deve ser encaminhado para aterros sanitários (CASAN, 2021).

Figura 3 – Lagoa de evapoinfiltração da CASAN, evidenciado pela seta amarela

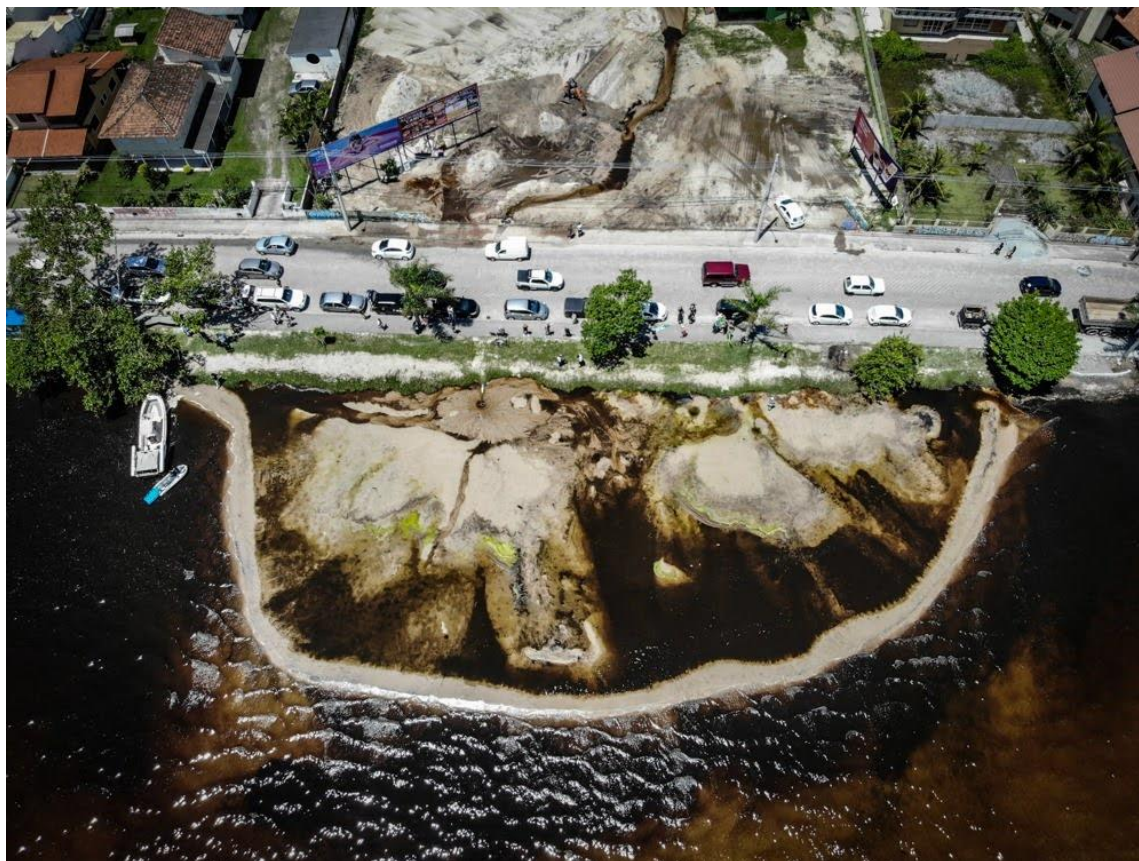


Fonte: CASAN (2021).

O caso do rompimento da barreira da lagoa de evapoinfiltração na estação da Lagoa da Conceição é um caso de tragédia ambiental, que até o momento, não se sabe as causas e consequências completas do ocorrido. Segundo o Comunicado Lagoa da Conceição emitido pela CASAN, a Companhia reafirma que o fluxo de água que escorre é composto por efluente

já tratado, o mesmo que em outras unidades após o tratamento pode retornar a cursos de água como rios e lagoas. E que o deslizamento foi de uma das lagoas de infiltração de efluentes, a menor, que não suportou o volume de chuvas dos últimos dias (CASAN, 2021). Segundo PES (2021), o rompimento provocou a liberação de mais de 100 milhões de litros de efluente rico em nutrientes, hormônios, metais, detritos e abundante água doce no sistema (Figura 4).

Figura 4 – Depósitos de sedimentos gerado por conta do rompimento



Fonte: MAB (2021).

Como prova dessa perturbação e eutrofização na lagoa, foi feito um estudo quinze dias após o rompimento para verificar a condição da biota no local. Sabendo que a eutrofização é um processo que limita a quantidade de oxigênio dissolvido em ambientes aquáticos, foi comprovado com análises de oxigenação da água que os estratos mais afetados, foram os basais, e obtiveram níveis de oxigênio dissolvido $< 2,0$ mg/L, onde se desenvolve uma “zona morta”. Segundo PES (2021), o artigo essa zona é formada, periodicamente e é influenciada pela disponibilidade de luz e pela estratificação salina da coluna da água de áreas mais profundas do sistema.

5. METODOLOGIA

5.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

As abordagens de revisão da literatura são métodos que, a depender do tipo de temática e pesquisa, amparam o estudo e o pesquisador a desenvolver e a apresentar a temática de forma mais consistente (EVANS; PEARSONS, 2001; COOK; MULROW; RAYNES, 1997). Tratando-se de uma revisão, existem diferentes formas de se desenvolver uma metodologia. Dentre elas, a escolhida foi a abordagem sistemática, a qual é muito diferente das revisões bibliográficas narrativas, pois essa abordagem possui uma sequência de etapas definidas, em que a metodologia é especificada com técnicas padronizadas e passíveis de reprodução (apud BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011 página 4).

Esse método é planejado para responder a uma pergunta específica e que utiliza métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos, e para coletar e analisar dados desses estudos incluídos na revisão, conforme Castro (2006) (apud BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011, página 5). Para Perissé, Gomes e Nogueira (2001), é a aplicação de estratégias científicas que permite limitar o viés de seleção de artigos, avaliá-los e sintetizar todos os estudos relevantes em um tópico específico (apud BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011, página 6).

A revisão bibliográfica sistemática é definida por Greenhalgh (1997) como “uma síntese de estudos primários que contém objetivos, materiais e métodos claramente explicitados e que foi conduzida de acordo com uma metodologia clara e reprodutível” (apud BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011, página 2). Whitemore e Knafl (2005) argumentam que o processo combina a evidência de diversos estudos, podendo assim incorporar resultados de uma pesquisa, como por exemplo, os dados estatísticos. Para Galvão, Sawada e Trevisan (2004), o método sistemático consiste em evitar possíveis desvios de tema no momento da análise da literatura sobre o tema (apud BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011 página 6).

5.2 Uso da ferramenta “StArt”

A metodologia deste trabalho é baseada na utilização da ferramenta digital denominada “StArt – *State of the Art through Systematic Review*”. O *software StArt* foi utilizado para realizar a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a fim de auxiliar os mecanismos de busca e pesquisa por artigos científicos de maneira padronizada. Este trabalho consistiu de uma revisão de 27

artigos científicos sobre contaminantes emergentes encontrados nas águas residuais, superficiais e subterrâneas, como produtos da indústria farmacêutica, produtos de higiene pessoal e outros compostos orgânicos identificados no esgoto doméstico.

O uso do aplicativo começa com a definição da estrutura inicial da revisão, como o título, os pesquisadores envolvidos e a descrição da revisão. Em seguida, inicia-se a etapa da construção do protocolo, como parte do planejamento da RSL. O protocolo é preenchido com o objetivo da revisão, a pergunta principal, as palavras-chave e os critérios de seleção, inclusão e exclusão. Durante o preenchimento do protocolo, é possível inserir critérios de inclusão, de forma a conduzir a seleção dos artigos com base em diferentes aspectos que possam interessar mais que outros. Ainda, no protocolo é definida a base de dados a ser escolhida, de acordo com a área do conhecimento que envolve a revisão. Neste trabalho, a base de dados *Web of Science* foi utilizada.

O tópico “Objetivo” foi preenchido com: “Realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a presença de contaminantes emergentes no esgoto doméstico, listando as técnicas analíticas disponíveis para a identificação de cafeína em amostras de água, substância considerada indicadora da presença de contaminantes emergentes relacionados”. As perguntas a serem respondidas pela revisão foram divididas em “Pergunta principal” e “Perguntas secundárias”. A pergunta principal foi definida por: “Quais são os contaminantes emergentes presentes no esgoto doméstico?”. Um exemplo de pergunta secundária utilizada foi “Como a cafeína pode ser utilizada para indicar a presença de contaminantes emergentes relacionados à contribuição antropogênica de compostos orgânicos? ”.

Inicialmente, foi feita a busca de artigos científicos na base de dados da *Web of Science* a partir das palavras-chave: contaminantes emergentes, cafeína, fármacos, águas subterrâneas e águas residuais. A *string* de busca utilizada foi: *caffeine AND emerging contaminants AND pharmaceuticals AND wastewater AND groundwater*. A busca foi realizada em 30 de setembro de 2021, considerando a presença de tais palavras no título, resumo ou palavras-chave e como tipo de documentos, foram escolhidos artigos de pesquisa e artigos de revisão.

A Figura 5 ilustra a nuvem de palavras gerada no “StArt” a partir da busca realizada na *Web of Science*. As principais palavras encontradas foram *pharmaceuticals*, *wastewater*, *groundwater*, *emerging contaminants* e *surface water*. De maneira menos frequente, as palavras

Os critérios utilizados na etapa de extração foram elaborados a fim de refinar os artigos selecionados com base em parâmetros específicos, sendo eles:

- Faz uma revisão bibliográfica dos contaminantes emergentes no esgoto doméstico ou é estudo de caso? = {revisão, caso, indiferente};
- O artigo trata exclusivamente de análise ou avaliação de risco? = {sim, não, indiferente};
- Entre os contaminantes emergentes detectados, a cafeína pode ser considerada um indicador? = {sim, não, indiferente};
- A cafeína é o foco do artigo? = {sim, não, indiferente};
- O tema foge do assunto de interesse? = {sim, não, indiferente}.

Ao todo, foram gerados 22 documentos, sendo que 5 deles foram rejeitados com base nos critérios de exclusão (3 na etapa de seleção e 2 na etapa de extração). Os 17 documentos aceitos (15 artigos de pesquisa e 2 artigos de revisão) foram carregados automaticamente na aba de seleção do “*StArt*”. Ainda, foram adicionados manualmente 5 artigos, que envolvem casos ocorridos no Brasil. Além disso, foram adicionadas 5 notas técnicas de Instituições de Ensino Superior referente ao acontecimento na Lagoa da Conceição. No total, 27 documentos foram revisados, entre eles artigos científicos, artigos de revisão e relatórios técnicos.

6. RESULTADOS

A fim de listar os principais contaminantes emergentes identificados nos artigos revisados, de maneira a elucidar os principais compostos que são frequentemente detectados nos efluentes domésticos brutos, tratados, águas de reuso, assim como em águas superficiais e águas subterrâneas, foi realizada uma revisão sistemática da literatura acerca dos contaminantes emergentes relacionados ao esgoto.

Este capítulo apresenta os principais contaminantes emergentes citados nos artigos revisados, precedido de uma introdução ao universo dos contaminantes emergentes e suas implicações. Além disso, nesta seção são abordadas as principais técnicas analíticas de detecção da cafeína, como os métodos de extração e análise quantitativa. Posteriormente, será explanado sobre o uso da cafeína como traçador das atividades antrópicas, devido à frequente ocorrência em áreas impactadas por esgotos domésticos. Ainda, um quadro com os valores de concentração e frequência de detecção da cafeína, extraídos dos artigos revisados é apresentada, esclarecendo de maneira organizada os dados encontrados.

Os artigos revisados (artigos e artigos de revisão) foram publicados em revistas científicas que envolvem estudos das áreas de química, geociências, ecotoxicologia, poluição do meio ambiente, recursos hídricos, entre outras. A data de publicação dos artigos variou entre 2008 e 2021, sendo que a maioria dos artigos revisados foram publicados de 2016 em diante. Os artigos abrangeram estudos em diversas regiões e países do mundo, principalmente Estados Unidos da América, Brasil, Espanha, China, Índia e Paquistão. Ainda, de maneira subordinada, os artigos envolveram estudos na Alemanha, Arábia Saudita, Bangladesh, Barbados, Canadá, Chipre, Colômbia, Coreia, Eslovênia, França, Grandes Lagos, Hungria, Irã, Irlanda, Itália, Mar Mediterrâneo, Península Antártica, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia, Taiwan, Tunísia e Vietnã.

6.1 Contaminantes emergentes detectados nos artigos revisados

Os contaminantes emergentes mais encontrados fazem parte do grupo dos medicamentos (antibióticos, anti-inflamatórios, analgésicos), produtos farmacêuticos (fragrâncias, bloqueadores solares, produtos de higiene pessoal), derivados da indústria alimentícia (adoçantes: acesulfame e sucralose) estimulantes (cafeína e nicotina), pesticidas,

drogas psicoativas, hormônios e esteroides, entre outros. Ainda, foram encontrados de maneira frequente diversos metabolitos, como paraxantina (metabolito da cafeína) e cotinina (metabolito da nicotina), além do bisfenol-A, que é utilizado na fabricação de polímeros.

O Quadro 1 apresenta, de maneira resumida, os contaminantes emergentes detectados em esgoto doméstico bruto e tratado, águas de reuso, assim como nas matrizes ambientais aquáticas (águas superficiais e águas subterrâneas), águas potáveis e águas utilizadas como fontes de abastecimento (águas de captação), apresentados nos artigos revisados. As informações foram retiradas dos artigos revisados e mantêm a nomenclatura utilizada pelos autores quanto à sua categorização. A notável presença da cafeína, ocupando a posição dos compostos mais frequentemente encontrados é abordada em seguida, assim como os valores de concentração que foram detectados e as principais técnicas analíticas envolvidas nos artigos que foram revisados.

Quadro 1 – Contaminantes emergentes detectados nos efluentes domésticos brutos, tratados, águas de reuso, águas superficiais, águas subterrâneas, águas potáveis e águas de captação, explicitados nos artigos revisados

REFERÊNCIA	CONTAMINANTES EMERGENTES
Focazio et al. (2008)	Antibióticos (azitromicina, ciprofloxacina, enrofloxacina, sarafloxacina, sulfametoxazol e trimetoprim), medicamentos (acetaminofeno, cafeína, cotinina, codeína, carbamazepina, desidro-nifedipina, diltiazem, difenidramina, fluoxetina, 1,7-dimetilxantina e ibuprofeno), esteroides biogênicos (beta-sitosterol, colesterol, coprostanol e estigmastanol) e outros compostos relacionados ao esgoto, como bisfenol A e mentol).
Makris e Snyder (2010)	Produtos farmacêuticos (atenolol, atorvastatina, cafeína, carbamazepina, diclofenaco, dilantina, diazepam, fluoxetina, genfibrozila, ibuprofeno, iopromida, meprobamato, muscofenaco, primidona, sulfametoxazol, triclosan, trimetoprim), pesticidas (atrazina), fragrâncias (benzofenona) e outros (bisfenol A, diclorofenol).
Bruton et al. (2010)	Cafeína.
Teijon et al. (2010)	Medicamentos (atenolol, cafeína, carbamazepina, codeína, diclofenaco, furosemida, gemfibrozila, hidroclorotiazida, ibuprofeno, iopamidol, iopromida, mepivacaína, N-acetil-4-aminoantipirina, naproxeno, N-formyl-4-amino-antipirine, nicotina, ofloxacina, paraxantina, sulfametazina, sulfametoxazol, sulfapiridina, venlafaxina) produtos de higiene pessoal (BHT, etilhexil metoxicinamato, galaxolida, TCPP), herbicida (diuron).
Bisceglia et al. (2010)	Produtos farmacêuticos (acetaminofeno, albuterol, alopurinol, amitriptilina, bromfeniramina, carbamazepina, carisoprodol, ciclopirox, diazepam, fenofibrato, metoprolol, primidona, terbinafina metropolol, bronfenilamina, amitripilina, carbamazepina, terbinafina, diazepam e fenofibrato), cafeína, celulose, surfactante, DEET (repelente de insetos).
Ide et al. (2012)	Cafeína.
Fries et al. (2016)	Medicamentos (atenolol, benzafrato, 1-h-benzotriazol, cafeína, carbamazepina, cetoprofeno, diclofenaco, etilparabeno, fenofibrato, furosemida, gemfibrozila, ibuprofeno, metilparabeno, metoprolol, naproxeno, nonilfenol, oxazepam, paracetamol, propilparabeno, sulfametoxazol), bisfenol A, anticorrosivos (tolyltriazole), pesticida (triclocarban, triclosan).
Bernot et al. (2016)	Antibióticos (azitromicina, cloranfenicol, eritromicina, lincomicina, sulfadimetoxina, sulfatiazol, sulfametazina, sulfametoxazol e trimetoprim), produtos farmacêuticos (acetaminofeno, albuterol, carbamazepina, cimetidina, codeína, desvenlafaxina, difenidramina, fluoxetina, genfibrozila, naproxeno, norcodeína, ranitidina, venlafaxina), produtos de casa (cotinina, cafeína, paraxantina, sucralose e triclosan).
Machado et al. (2016)	Atrazina, cafeína, triclosan, bisfenol A, 4-N-octilfenol, 4-N-nonilfenol, estrona, 17 β -estradiol, 17 α -etinilestradiol, estriol, dietilestilbestrol, levonorgestrel, mestranol, progesterona, testosterona, fenolftal.

* Montagner, Vidal e Acayaba (2017)	Acetamiprida, ácido clorofíbrico, aldrin, alquifenois, atrazina, azoxistrobina, benzaflibato, benzofenona-3, benzoilecgonina, bisfenol A, cafeína, carbendazim, carbofurano, cetoprofeno, clomazona, clorpirifós, cocaína, desetilatrazina, dibutilftalato, diclofenaco, dieldrin, dietilftalato, diuron, EDTA, endossulfano, epoxiconazol, estrona, fenofibrato, flutriafol, genfibrozila, glifosato, heptacloro, ibuprofeno, imidacloprida, indometacina, irgarol, mebendazol, metolacolor, metomil, metribuzim, miconazol, naproxeno, permetrina, propilparabeno, PDFA, PFNA, PFOA, PFOS, simazina, sulfametoxazol, tebuconazol, teflubenzuron, trimetoprim e 17b-estradiol.
Balakrishna et al. (2017)	Medicamentos (acetaminofeno, ácido carboxílico, ácido mefenâmico, alprazolam, ampicilina, aripriprazol, atenolol, atorvastatina, azitromicina, bupropiona, carbamazepina, cefuroxima, cetoprofeno, ciprofloxacina, ciprofloxacina, citalopram, clindamicina, clopidogrel, codeína, desacetyl diltiazem, diazepam, diclofenaco, difenidramina, diltiazem, DPMA, eritromicina, gatifloxacina, ibuprofeno, levofloxacina, lincomicina, lorazepam, metoprolol, miconazol, naproxeno, norfloxacina, ofloxacina, oxazepam, oxazepam, oxicodona, propranolol, quetiapina, ranitidina, sertralina, sulfametoxazol, tiabendazol, triclocarban, triclosan, trimetoprim, venlafaxina, verapamil), bloqueador solar (benzofenona, oxibenzona), drogas (anfetamina, cocaína, benzoilecgonina, MDMA, MDA, metanfetamina, morfina), cafeína e paraxantina, açúcares (acesulfame, ciclamato, sacarina, sucralose).
Ma et al. (2018)	Carbamazepina, cafeína, N,N-dimetil-meta-toluamida (DEET), trimetoprim, benzaflibato, ácido clorofíbrico, cloranfenicol, diclofenaco, genfibrozila, indometacina e ácido mefenâmico.
Gao et al. (2018)	Medicamentos (ibuprofeno, galaxolida, valsartan), aditivos alimentares (acesulfame, sucralose), estimulantes (cafeína e nicotina), retardante (TCPP, TBEP), plástico (BPA), reagente (TMD), composto de perfumaria (benzofenona), adoçante (acesulfame).
Montagner et al. (2018)	Pesticidas (ametrina, atrazina, azoxistrobina, bromacil, carbendazima, clomazona, difenoconazol, epoxiconazol, fipronil, flunquinconazol, imidacloprida, malation, picoxistrobina, piraclostrobina, simazina, tebuconazol, entre outros), PPCP (cafeína, cefalexina, ciprofloxacina, diclofenaco, ibuprofeno, norfloxacina, fenoltaleína, sulfametoxazol, trimetoprim, triclosan), drogas ilícitas (cocaína, benzoilecgonina, morfina, morfina-glucuronamida, 3-MDEA-glucuronamida, 3-acetilamorfina, 3,4-metilamoronamida, 3-MDEA, anfetamina, 3-acetilmetamina, 4-MDMA, 3,4-MDA), hormônios (17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol, dietilestilbestrol, estriol, estrona, levonorgestrel, mestranol, progesterona, testosterona), compostos industriais (4-N-nonilfenol, 4-N-octilfenol, benzilbutilftalato, bisfenol A, dibutilftalato, dietilftalato, dimetilftalato, dioctilftalato).
Kibuye et al. (2019)	Medicamentos antibióticos (ampicilina, ofloxacina, sulfametoxazol, trimetoprim), anti-inflamatórios (naproxeno, paracetamol) e estimulantes (cafeína).
Edwards et al. (2019)	Cafeína, adoçantes artificiais (acesulfame, ciclamato sucralose, sacarina), produtos farmacêuticos (carbamazepina, gemfibrozila, ibuprofeno, sulfametoxazol, trimetoprim), hormônios (androstenediona, estrógeno) e fungicida (clorotalonil e 4-hidroxiclorotalonil).
Ashfaq et al. (2019)	Medicamentos (acetofenona, ácido mefenâmico, antipirina, aspartame, atenolol, benzil parabeno, benzofenona-3, BP-3, cafeína, carbamazepina, cetoprofeno, ciclofosfamida, ciprofloxacina, clenbuterol, crotamiton, danofloxacina, diazepam, diclofenaco, enrofloxacina, etenzamida, fenoprofeno, fluoxetina, gemfibrozila, glibenclamida, ibuprofeno, indometacina, losartan, metil parabeno, metoprolol, miconazol, naproxeno, norfloxacina, octocrileno, ofloxacina, OMC, OTC, oxitetraciclina, parabeno de metila, paracetamol, pirenzepina, propifenazona, propilfenol, propilparabeno, propranolol, sildenafil, sulfametoxazol, sulfametazina, tiabendazol, tetraciclina).

* López-Pacheco et al. (2019)	Produtos farmacêuticos (acetaminofeno, aciclovir, amantadina, amitriptilina, ampicilina, aspirina, atenolol, atorvastatina, benzafibrato, bromazepan, carbamazepina, cefalexina, cefotaxima, cefuroxima, celestolide, cimetidina, ciprofloxacina, citalopram, claritomicina, climbazol, ácido clofíbrico, clomipramina, codeína, coprostanol, ciclofosfamida, danofloxacina, diazepam, diclofenaco, diltiazem, dimetritazol, doxiciclina, enrofloxacin, eritromicina, estazolam, fenbendazol, fenoprofeno, fexofenadina, fluconazol, flumequina, fluoxetina, furosemida, gabapentina, gemfibrozila, hidroclorotiazida, ibuprofeno, indometacina, irbenstana, cetoprofeno, levamisol, lidocaína, lincomicina, lorazepam, ácido mefenâmico, meprobamato, metamizol, metformina, metocarbamol, metoprolol, metronidazol, mianserina, miconazol, naproxeno, ácido nalidíxico, nicotina, nordazepam, norfloxacina, ofloxacina, omeprazol, oxazepam, oxcarbazepina, oxitetraciclina, paracetamol, paraxantina, paroxetina, fenacetina, fenazona, piroxicam, pravastina, propranolol, progesterona, ranitidina e testosterona, roxitromicina, ácido salicílico, sertralina, sotradecol, sarafloxacina, espiramicina, sulfadiazina, sulfametazina, sulfametizol, sulfametoxazol, sulfamonometoxina, sulfatiazol, temazepam, testosterona, tetraciclina, triantereno, tramadol, trimetoprim, trimipramina, valsartan, venlafaxina, verapamil), produtos agrícolas ou pesticidas (atrazina, acetamiprida, aldrin, ácido aminometilfosfônico, azoxistrobina, carbendazim, dimetoato, diuron, endossulfano, fipronil, glifosato, heptacloro, imidacloprida, isoproturon, malation, metalaxil, metalocloro, propiconazol, tebuconazol, tebutiuron, tiametoxam, fipronil), narcóticos e drogas ilegais (anfetaminas, cocaína, codeína, cetamina, metadona, metanfetamina, morfina, nicotina e benzoilecgonina A), derivados da indústria alimentar (bisfenol, cafeína) e produtos de higiene pessoal (benzofenona, salicilato de benzila, butilparabeno, etilparabeno, galaxolida, HHCB, lauramida dietanolamina, metilparabeno, octocrileno, octilsaliciato, PBSA, octil dimetil PABA, propilparabeno, triclocarban, triclosan e benzotriazol e estabilizadores ultravioleta).
NG et al. (2021)	Produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (cafeína, carbamazepina, diclofenaco, N,N-dimetil-meta-toluamida, equilin, triclosan).
Montesdeoca-Esponda et al. (2021)	Anti-inflamatórios (ibuprofeno), estimulantes (cafeína), beta-bloqueadores (atenolol), antidepressivos (fluoxetina), drogas psicoativas (nicotina), metabólitos (paraxantina).
Fennell et al. (2021)	Adoçante (acesulfame), antibiótico (sulfametoxazol).

(*) Artigos de revisão.

6.2 O papel da cafeína como indicador

Em relação à cafeína, este composto foi frequentemente relacionado nos artigos revisados, tendo sido detectado nas matrizes aquáticas, lodos e sedimentos. Segundo López-Pacheco et al. (2019), a principal proveniência da cafeína é da indústria alimentícia, em menor quantidade da indústria farmacêutica e de higiene pessoal. Focazio et al. (2008) citam que a cafeína, em função de sua origem doméstica, pode ser utilizada como substância parâmetro de detecção, sendo extremamente importante para a investigação de uma série de outros contaminantes emergentes.

Apesar da cafeína ter sido considerada como traçador de atividades antropogênicas por muitos autores, Fries et al. (2016), no entanto, demonstram que a cafeína pode não ser um indicador apropriado para monitorar a qualidade das águas subterrâneas em áreas agricultáveis que utilizam sistemas de irrigação (águas de reuso). Focazio et al. (2008) ressaltam que a cafeína é pouco detectada em amostras de água subterrânea, em função de sua degradação e tempo de meia vida. Tal situação também é ressaltada por Fennell et al. (2021), que concluíram que a cafeína apresenta aplicação limitada quanto à atribuição de contaminação por esgoto, visto que não foram detectadas em amostras de águas subterrâneas na Irlanda.

Contudo, a ocorrência da cafeína nos artigos revisados é comum, tendo sido identificada na maioria dos casos. Com a exceção de um artigo que aborda parâmetros reguladores para a avaliação da qualidade da água (CABRAL; BERCOVICH; FONSECA, 2019), como oxigênio dissolvido, nitrogênio, fósforo, entre outros, nos demais artigos revisados a cafeína foi identificada em pelo menos uma das matrizes analisadas.

O Quadro 2 apresenta os valores de concentração da cafeína nas diversas matrizes aquáticas, lodo e sedimentos detectados nos artigos revisados. As águas de reuso especificadas foram analisadas por Fries et al. (2016) e Montesdeoca-Esponda et al. (2021) em sistemas de irrigação e em sistemas de recarga artificial de aquíferos. O Quadro 3 expõe a ocorrência em forma de frequência de detecção da cafeína em diversas matrizes aquáticas, extraída diretamente dos artigos. Os valores de concentração e frequência expostos nos quadros exibem grande variação, com dados que variam de ng/L a µg/L, a depender da matriz analisada. De maneira geral, os valores mais altos foram detectados nos esgotos, enquanto os valores mais baixos foram detectados nas águas subterrâneas e algumas águas superficiais. Vale ressaltar que nem todos os artigos dispõem dos dados de interesse, portanto o quadro exhibe apenas os valores de concentração e frequência que são apresentados nos artigos revisados.

Quadro 2 – Valores de concentração da cafeína nas matrizes ambientais detectados nos artigos revisados

REFERÊNCIA	PAÍS	ESGOTO BRUTO	ESGOTO TRATADO	ÁGUAS DE REUSO	ÁGUAS SUPERFICIAIS	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	ÁGUAS POTÁVEIS	ÁGUAS DE ABASTECIMENTO	LODO / SEDIMENTO
Focazio et al. (2008)					73 ng/L				
Makris e Snyder (2010)		82 µg/L	26 ng/L						
* Bruton et al. (2010)		1,144 ng/L (per capita)	67 pg/L (per capita)						3 a 100 ng/L (lodo; per capita)
Teijon et al. (2010)		327 µg/L	140,5 µg/L (30,2 µg/L com tratamento adicional)			63,56 µg/L			
Bisceglia et al. (2010)		> 2 µg/L	60 ng/L						
Ide et al. (2012)					0,170 a 22,84 µg/L				
Fries et al. (2016)			20 ng/L a 165 µg/L	97,6 µg/L	1 µg/L				
Bernot et al. (2016)					420 ng/L				
Machado et al. (2016)							1,8 a 2,0 µg/L	0,04 a 19 µg/L	
* Montagner, Vidal e Acayaba (2017)					0,29 ng/L a 753,5 µg/L			1,8 ng/L a 5,8 µg/L	
Balakrishna et al. (2017)		102,84 µg/L	51,7 µg/L						
Ma et al. (2018)					36,7 µg/L				2,59 µg/L
Gao et al. (2018)			Máximo 14 µg/L			500 ng/L			

Montagner et al. (2018)		2,707 µg/L	333 ng/L		19 ng/L a 127 µg/L	2 a 53 ng/L	2 ng/L a 5,845 µg/L		
Kibuye et al. (2019)		841,32 µg/L	23,23 µg/L			2,65 µg/L			
Edwards et al. (2019)						média 64 ng/L (fevereiro) e 136 ng/L (junho)			
Ashfaq et al. (2019)		6,2 µg/L			80 ng/L				50 ng/L (sedimento drenagem) 6 ng/L (sedimento canal superficial)
* López-Pacheco et al. (2019)		7,708 µg/L	5.2 ng/L a 7,63 µg/L		20 ng/L a 13 µg/L	2,42 a 686 ng/L	2,64 µg/L		
NG et al. (2021)					55,5 a 156 ng/L				
Montesdeoca-Esponda et al. (2021)				167 ng/L		10,4 a 44,9 ng/L			
Fennell et al. (2021)						> 25 ng/L			

(*) Artigos de revisão.

Quadro 3 – Valores de frequência da cafeína nas matrizes ambientais investigadas nos artigos revisados

REFERÊNCIA	PAÍS	FREQUÊNCIA (%)						
		ESGOTO BRUTO	ESGOTO TRATADO	ÁGUAS DE REUSO	ÁGUAS SUPERFICIAIS	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	ÁGUAS POTÁVEIS	ÁGUAS DE ABASTECIMENTO
Focazio et al. (2008)					77,5			
Teijon et al. (2010)		100	100			77,4		
Bernot et al. (2016)					78			
Machado et al. (2016)							93	
* Montagner, Vidal e Acayaba (2017)					62			93
Ma et al. (2018)					29	67		
Gao et al. (2018)						100		
Montagner et al. (2018)					97	55	90	
Kibuye et al. (2019)		88	70			32		
NG et al. (2021)					> 90%			

(*) Artigos de revisão.

6.3 Técnicas analíticas de detecção e quantificação da cafeína

Diversos tipos de métodos analíticos são utilizados para a detecção dos compostos, sendo que os mais comuns estão relacionados às técnicas de cromatografia líquida e gasosa (BRUTON et al., 2010; IDE et al., 2012). Segundo Montagner, Vidal e Acayaba (2017) a técnica LC-MS/MS, empregada desde 2010 em análises de águas tratadas no Brasil, é considerada a ferramenta analítica mais adequada para análise de compostos em baixas concentrações em amostras de água tratada, por conta da elevada capacidade de detecção e exatidão das medidas. Além disso, outros fatores que interferem na escolha das técnicas utilizadas estão relacionados a disponibilidade, oferta e finalidade para diferentes situações.

A técnica de análise por LC-MS/MS apresentou utilização bastante difundida entre os artigos revisados, no entanto Bisceglia et al. (2010) ressaltam que a GC-MS pode ser utilizada como alternativa mais acessível quando comparada à LC-MS/MS, gerando resultados satisfatórios na análise de poluentes com concentrações baixas em ambientes aquáticos. Outras técnicas que tiveram seu uso bastante relatado foram: a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com detector Ultravioleta (HPLC-UV) e a Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência acoplada a Espectrometria de Massas sequencial (UPLC-MS/MS).

No Quadro 4 são expostas as técnicas analíticas empregadas na detecção e quantificação da cafeína, compostas pelos procedimentos de extração e análise química, assim como o país correspondente ao artigo revisado.

Quadro 4 – Técnicas analíticas de extração e análise de cafeína nas matrizes investigadas nos países dos artigos revisados

REFERÊNCIA	TÉCNICAS ANALÍTICAS		PAÍS
	EXTRAÇÃO	ANÁLISE	
Focazio et al. (2008)	SPE	LC/MS com ionização por eletropulverização ajustada no íon selecionado.	EUA
Makris e Snyder (2010)	SPE	LC-MS/MS	Chipre
* Bruton et al. (2010)	SPE	GC-MS LC-MS LC/DAD	EUA
Teijon et al. (2010)	SPE	LC-MS/MS	Espanha
Bisceglia et al. (2010)	SPE	GC-MS	EUA
Ide et al. (2012)	SPE	LC-HRMS	Brasil
Fries et al. (2016)	SPE	UPLC-MS/MS	Tunísia
Bernot et al. (2016)	SPE	LC-MS/MS	EUA
Machado et al. (2016)	SPE	LC-MS/MS	Brasil
* Montagner, Vidal e Acayaba (2017)	SPE	LC-MS/MS HPLC-UV GC-MS	Brasil
Ma et al. (2018)	SPE	LC-MS/MS	China
Gao et al. (2018)	SPE	GC-HRMS LC-MS/MS LC-HRMS	Suécia
Montagner et al. (2018)	SPE	LC(ESI)MS/MS HPLC-UV/DAD HPLC-FLD	Brasil
Kibuye et al. (2019)	SPE	HESI - HRAM	EUA
Edwards et al. (2019)	SPE	LC(ESI)MS/MS	Barbados
Ashfaq et al. (2019)	SPE	LC(ESI)MS/MS	Paquistão
NG et al. (2021)	SPE	LC-HRMS	EUA
Montesdeoca-Esponda et al. (2021)	SPE	HPLC-ESI-MS/MS	Espanha
Fennell et al. (2021)	SPE	GC-MS	Irlanda

(*) Artigos de revisão. SPE = extração em fase sólida. GC-MS = cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas. LC-MS = cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas. LC-MS/MS = cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas sequencial. LC/DAD = cromatografia líquida e detecção de matriz de diodos. LC-HRMS = cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas de alta resolução. HPLC-UV = cromatografia líquida de alta eficiência com detector ultravioleta. GC-HRMS = cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas de alta resolução. LC(ESI)MS/MS = cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas triplo quadrupolo. HPLC-UV/DAD = cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodo ultravioleta. HPLC-FLD = cromatografia líquida de alta eficiência com detectores de fluorescência. HESI-HRAM = cromatografia líquida – ionização por eletrospray aquecida acoplada a espectrômetro de massa de alta resolução. HPLC-ESI-MS/MS = cromatografia líquida-ionização por eletrospray acoplada a espectrometria de massa em tandem.

7. DISCUSSÕES

A partir da revisão dos artigos, foram gerados quatro quadros que resumem os dados apresentados pelos autores, expondo os principais contaminantes emergentes identificados nos artigos, assim como os valores de concentração e frequência da cafeína detectados nas mais variadas matrizes ambientais. Ainda, são apresentadas as principais técnicas analíticas utilizadas para a detecção e quantificação da cafeína.

O Quadro 1 indica quais compostos foram frequentemente encontrados nas matrizes ambientais analisadas. Os mais comumente detectados foram os fármacos, liderando em valores de concentração e frequência. Hormônios, antibióticos, imunossuppressores, anti-inflamatórios são apenas exemplos da vasta gama de compostos encontrados em conjunto com a cafeína, tanto em esgoto bruto, esgoto tratado, águas superficiais, águas subterrâneas, águas de abastecimento público, águas potáveis e em sedimentos. Além dos medicamentos, foram encontrados também agrotóxicos do tipo biocida, fungicida, pesticida, repelentes de insetos, fragrâncias, produtos derivados do plástico, bloqueadores solares, drogas psicotrópicas, açúcares, adoçantes, entre outros.

Com base nos resultados apresentados, os contaminantes emergentes mais comuns relatados nos artigos revisados foram: azitromicina, ibuprofeno, paracetamol, diclofenaco, sucralose, nicotina, paraxantina, cafeína, bisfenol, atrazina, diazepam, fluoxetina, naproxeno, progesterona e estrógenos. Ainda, é possível observar que a cafeína foi um dos compostos mais frequentemente detectados na maioria dos artigos revisados, evidenciando que este composto ocorre comumente nas matrizes aquáticas e, de maneira subordinada, em sedimentos, com concentrações variadas.

A concentração e a frequência da cafeína detectadas geram resultados importantes na investigação de áreas contaminadas por esgoto doméstico, inclusive promovendo informações cruciais na identificação das fontes de contaminação. O trajeto dos efluentes domésticos até o destino final promove o despejo de cargas poluidoras em ambientes aquáticos ou mesmo diretamente no solo, impactando indiretamente as águas subterrâneas por conta da migração para o lençol freático por lixiviação, através da infiltração natural, por regime de chuvas e também em lagoas de evapoinfiltração. A preocupação com a ocorrência de cafeína nas mais diversas matrizes ambientais tem papel fundamental na gestão dos recursos hídricos, exercendo

grande influência no monitoramento da qualidade da água de rios, reservatórios e poços de captação de água subterrânea, indispensáveis ao abastecimento humano.

Conforme o Quadro 2, na temática do esgoto bruto, as concentrações de cafeína detectadas nos artigos revisados apresentaram valores entre 2 (BISCEGLIA et al., 2010) e 841,32 µg/L (KIBUYE et al., 2019). Já no esgoto tratado, as concentrações variaram de 0,02 a 165 µg/L (FRIES et al., 2016). Devido aos processos de tratamento, é notável a disparidade entre os valores detectados em esgoto bruto quando comparados àqueles encontrados no esgoto tratado.

Nas águas superficiais, os valores de concentração de cafeína detectados nos artigos revisados estão entre 0,29 ng/L e 753,5 µg/L (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017). Já nas águas subterrâneas, os valores variaram entre 2 ng/L (MONTAGNER et al., 2018) e 63,56 µg/L (TEIJON et al., 2010). Observa-se que os valores máximos encontrados nas águas subterrâneas são bastante inferiores àqueles detectados nas águas superficiais. Edwards et al. (2019) apresentam dados relativos aos valores de concentração detectados em águas subterrâneas em diferentes meses do ano, exibindo valores médios de 64 ng/L no mês de fevereiro e 136 ng/L em junho, indicando que as concentrações de cafeína podem variar conforme a época do ano.

A respeito das análises feitas em águas de abastecimento público os valores apresentados estão entre 1,8 ng/L (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017) e 19 µg/L (MACHADO et al., 2016) e em águas potáveis, as concentrações detectadas variaram entre 2 ng/L a 5,845 µg/L (MONTAGNER et al., 2018). A presença de cafeína em proporções consideráveis eleva a preocupação com a qualidade da água distribuída para a população brasileira, assim como das águas utilizadas para o abastecimento público.

As análises feitas em águas de reuso exibiram valores entre 0,167 (MONTESDEOCA-ESPONDA et al., 2021) e 97,6 µg/L (FRIES et al., 2016). Ainda, dois artigos acusam concentrações de cafeína detectadas em sedimentos e lodo. Ma et al. (2018) apresentam dados que exibem valores de concentração de cafeína em amostras de sedimentos presentes na zona vadosa (não saturada) do solo, variando entre 0,5 e 3 µg/L, aproximadamente, enquanto Ashfaq et al. (2019) detectaram valores de 6 ng/L em sedimentos de canal superficial e 50 ng/L em sedimentos de drenagem.

O fato das concentrações de cafeína detectadas nas águas superficiais apresentarem valores maiores do que nas águas subterrâneas pode ser explicado por mecanismos de diluição, depuração e metabolização da cafeína no trajeto para as águas subterrâneas, visto seu baixo poder de permanência nos ambientes e rápida transformação para seu metabólito (paraxantina). Segundo Fries et al. (2016), embora a cafeína seja recomendada em estudos anteriores, os resultados desse trabalho demonstram que pode não ser uma indicadora apropriada para monitorar a poluição de águas subterrâneas. O potencial de biotransformação *in situ* no ambiente deve ser considerado. Gao et al. (2019) indica que a atenuação natural média da cafeína é de 85%. As variações observadas pelos autores entre as amostras podem ter sido causadas por diferenças de carga (área de superfície, por exemplo) e fatores de sorção, como: tipo de solo, tamanho dos grãos e características, conteúdo de matéria orgânica, distância entre a superfície do solo e o lençol freático e o tempo de migração do contaminante da liberação para o ponto de amostragem.

Por fim, foram apresentadas formas diversas de se detectar e quantificar esses compostos, de acordo com cada tipo de concentração e necessidade de eficiência de cada estudo. A extração da fase sólida e a cromatografia líquida e gasosa foram, de fato, os métodos utilizados mais difundidos nos artigos revisados, podendo ser dotados de inúmeras variações, representando técnicas passíveis de serem aplicadas para detecção rápida em sistemas de tratamento de água, por exemplo.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos gerais e específicos foram atingidos, visto que os dados obtidos durante a revisão dos artigos e expostos neste trabalho propiciaram a compreensão dos contaminantes emergentes que podem ser detectados nas matrizes aquáticas relacionadas com esgotos domésticos, assim como do papel da cafeína como indicador deste tipo de contaminação e das técnicas analíticas disponíveis para a detecção e quantificação desse composto.

Compreende-se que a Lagoa da Conceição corre o risco de ter a qualidade de suas águas comprometida, principalmente após o contato direto com uma quantidade expressiva de esgoto tratado e, sobretudo, conforme exposto nesta monografia, com uma série de contaminantes emergentes que, mesmo em baixas concentrações, representam uma ameaça ao ecossistema local. Os tópicos discutidos neste trabalho, deverão servir como orientação para o monitoramento da qualidade da água da Lagoa da Conceição, realizado pelo Projeto Ecoando Sustentabilidade (PES), por meio da contribuição acerca da ocorrência de contaminantes emergentes na lagoa. Para tanto, a viabilidade de utilização da cafeína como um indicador da contaminação por efluentes domésticos pode exercer um papel fundamental.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHFAQ, Muhammad; LI, Yan; REHMAN, Muhammad Saif Ur; ZUBAIR, Muhammad; MUSTAFA, Ghulam; NAZAR, Muhammad Faizan; YU, Chang-Ping; SUN, Qian. Occurrence, spatial variation and risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in urban wastewater, canal surface water, and their sediments: a case study of lahore, pakistan. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 688, p. 653-663, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.285>.

BALAKRISHNA, Keshava; RATH, Amlan; PRAVEENKUMARREDDY, Yerabham; GURUGE, Keerthi Siri; SUBEDI, Bikram. A review of the occurrence of pharmaceuticals and personal care products in Indian water bodies. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 137, p. 113-120, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.014>.

BERNOT, Melody J.; BECKER, Jesse C.; DOLL, Jason; LAUER, Thomas E.. A national reconnaissance of trace organic compounds (TOCs) in United States lotic ecosystems. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 572, p. 422-433, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.060>.

BISCEGLIA, Kevin J.; YU, Jim T.; COELHAN, Mehmet; BOUWER, Edward J.; ROBERTS, A. Lynn. Trace determination of pharmaceuticals and other wastewater-derived micropollutants by solid phase extraction and gas chromatography/mass spectrometry. **Journal Of Chromatography A**, [S.L.], v. 1217, n. 4, p. 558-564, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2009.11.062>.

BOTELHO, Louise Lira Roedel; CUNHA, Cristiano Castro de Almeida; MACEDO, Marcelo. O Método da Revisão Integrativa nos Estudos Organizacionais. *Gestão e Sociedade*, [S.L.], v. 5, n. 11, p. 121, 2 dez. 2011. **Revista Gestão e Sociedade**. <http://dx.doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220>.

BRASIL. Constituição (2021). Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 85. ed. Brasília, DF, 04 maio 2021. Seção 1, p. 127.

BRUTON, Thomas; ALBOLOUSHI, Ali; LAGARZA, Bella de; KIM, Bi-O.; HALDEN, Rolf U.. Fate of Caffeine in the Environment and Ecotoxicological Considerations. **Acs Symposium Series**, [S.L.], p. 257-273, jan. 2010. American Chemical Society. <http://dx.doi.org/10.1021/bk-2010-1048.ch012>.

CABRAL, Alex; BERCOVICH, Manuel Vivanco; FONSECA, Alessandra. Implications of poor-regulated wastewater treatment systems in the water quality and nutrient fluxes of a subtropical coastal lagoon. **Regional Studies In Marine Science**, [S.L.], v. 29, p. 100672, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100672>.

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. **Programa de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD**. Lagoa da Conceição, Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2021. 105 p.

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. **ETE - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS**. Disponível em: <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#0>. Acesso em: 20 out. 2021.

CONAMA, Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; “Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências”; publicada no Diário Oficial nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

CONAMA, Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; “Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”; publicada no Diário Oficial nº 249, de 30 de dezembro de 2009, páginas 81-84.

DAMACENA, Fernanda Dalla Libera; CORTESE, Tatiana Tucunduva Philippi. **O desastre “nada natural” na Lagoa da Conceição e o Direito**. Elaborada por Fernanda Dalla Libera Damacena, professora da Universidade de Caxias do Sul, e Tatiana Tucunduva Philippi Cortese, pesquisadora do USP Cidades Globais do Instituto de Estudos Avançados da USP. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/o-desastre-nada-natural-na-lagoa-da-conceicao-e-o-direito/>. Acesso em: 05 dez. 2021.

EDWARDS, Quincy A.; SULTANA, Tamanna; KULIKOV, Sergei M.; GARNER-O'NEALE, Leah D.; METCALFE, Chris D.. Micropollutants related to human activity in groundwater resources in Barbados, West Indies. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 671, p. 76-82, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.314>.

FENNELL, Chris; MISSTEAR, Bruce; O'CONNELL, David; DUBBER, Donata; BEHAN, Patrice; DANAHER, Martin; MOLONEY, Mary; GILL, Laurence. An assessment of contamination fingerprinting techniques for determining the impact of domestic wastewater treatment systems on private well supplies. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 268, p. 115687, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115687>.

FOCAZIO, Michael J.; KOLPIN, Dana W.; BARNES, Kimberlee K.; FURLONG, Edward T.; MEYER, Michael T.; ZAUGG, Steven D.; BARBER, Larry B.; THURMAN, Michael E.. A national reconnaissance for pharmaceuticals and other organic wastewater contaminants in the United States — II) Untreated drinking water sources. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 402, n. 2-3, p. 201-216, 1 set. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.021>.

FRIES, Elke et al. Occurrence Of Contaminants Of Emerging Concern (Cec) In Conventional And Nonconventional Water Resources In Tunisia. **Fresenius Environmental Bulletin**, Alemanha, v. 25, n. 9, p. 3317-3339, jan. 2016.

GAO, Qiuju; BLUM, Kristin M.; GAGO-FERRERO, Pablo; WIBERG, Karin; AHRENS, Lutz; ANDERSSON, Patrik L.. Impact of on-site wastewater infiltration systems on organic contaminants in groundwater and recipient waters. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 651, p. 1670-1679, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.016>.

GRASES F, RODRIGUEZ A, COSTA-BAUZA A. Theobromine Inhibits Uric Acid Crystallization. A Potential Application in the Treatment of Uric Acid Nephrolithiasis. **PLoS ONE** 9(10): e111184, out. 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111184>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério da Economia. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 124 p.

IDE, Alessandra Honjo et al. Utilização da Cafeína como Indicador de Contaminação por Esgotos Domésticos na Bacia do Alto Iguaçu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos: RBRH**, Brasil, v. 18, n. 2, p. 201-211, jun. 2013.

KIBUYE, Faith A.; GALL, Heather E.; ELKIN, Kyle R.; AYERS, Brittany; VEITH, Tamie L.; MILLER, Megan; JACOB, Shannon; HAYDEN, Kathryn R.; WATSON, John E.; ELLIOTT, Herschel A.. Fate of pharmaceuticals in a spray-irrigation system: from wastewater to groundwater. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 654, p. 197-208, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.442>.

LÓPEZ-PACHECO, Itzel Y.; SILVA-NÓÑEZ, Arisbe; SALINAS-SALAZAR, Carmen; ARÉVALO-GALLEGOS, Alejandra; LIZARAZO-HOLGUIN, Laura A.; BARCELÓ, Damiá; IQBAL, Hafiz M.N.; PARRA-SALDÍVAR, Roberto. Anthropogenic contaminants of high concern: existence in water resources and their adverse effects. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 690, p. 1068-1088, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.052>.

MA, Lin; LIU, Yifei; ZHANG, Jing; YANG, Qing; LI, Guanghe; ZHANG, Dayi. Impacts of irrigation water sources and geochemical conditions on vertical distribution of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in the vadose zone soils. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 626, p. 1148-1156, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.168>.

MAB - Movimento dos Atingidos por Barragens (Florianópolis). **Passados 4 meses do rompimento de barragem em Florianópolis, atingidos cobram cumprimento de acordos**. 2021. Disponível em: <https://mab.org.br/2021/05/25/passados-4-meses-do-rompimento-de-barragem-da-casan-em-florianopolis-atingidos-cobram-cumprimento-de-acordos/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

MACHADO, Kelly C.; GRASSI, Marco T.; VIDAL, Cristiane.; PESCARA, Igor. C.; JARDIM, Wilson. F.; FERNANDES, A. N.; SODRÉ, Fernando F.; ALMEIDA, Fernanda V.; SANTANA, Joyce S.; CANELA, Maria C., NUNES, Camila R.O.; BICHINHO, Kátia M.; SEVERO, Flaviana J.R. A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 572, n. 9, p. 138-146, 1 dez. 2016. Elsevier BV. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716316643?via%3Dihub>.

MAKRIS, Konstantinos C.; SNYDER, Shane A.. Screening of pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in water supplies of Cyprus. **Water Science And Technology**, [S.L.], v. 62, n. 11, p. 2720-2728, 1 dez. 2010. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2010.549>.

MONTAGNER, Cassiana; SODRÉ, Fernando; ACAYABA, Raphael; VIDAL, Cristiane; CAMPESTRINI, Iolana; LOCATELLI, Marco; PESCARA, Igor; ALBUQUERQUE, Anjaína; UMBUZEIRO, Gisela; JARDIM, Wilson. Ten Years-Snapshot of the Occurrence of Emerging Contaminants in Drinking, Surface and Ground Waters and Wastewaters from São Paulo State, Brazil. **Journal Of The Brazilian Chemical Society**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 614-632, jan. 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20180232>.

MONTAGNER, Cassiana C.; VIDAL, Cristiane; ACAYABA, Raphael. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, [S.L.], p. 1094-1110, 11 jul. 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>.

MONTESDEOCA-ESPONDA, Sarah; PALACIOS-DÍAZ, María del Pino; ESTÉVEZ, Esmeralda; SOSA-FERRERA, Zoraida; SANTANA-RODRÍGUEZ, José Juan; CABRERA, María del Carmen. Occurrence of Pharmaceutical Compounds in Groundwater from the Gran Canaria Island (Spain). **Water**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 262, 22 jan. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w13030262>.

NG, Brian; QUINETE, Natalia; MALDONADO, Stephanie; LUGO, Kathleen; PURRINOS, Julian; BRICEÑO, Henry; GARDINALI, Piero. Understanding the occurrence and distribution of emerging pollutants and endocrine disruptors in sensitive coastal South Florida Ecosystems. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 757, p. 143720, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143720>.

PES – Projeto Ecoando Sustentabilidade (Santa Catarina). **Nota Técnica N°03/PES/2021**. Mortandade de organismos e cheiro de água podre na Lagoa da Conceição. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 25 de fevereiro de 2021. 13p.

PES – Projeto Ecoando Sustentabilidade (Santa Catarina). **Nota Técnica N°04/PES/2021**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021. 15 p.

PES – Projeto Ecoando Sustentabilidade (Santa Catarina). **Nota Técnica Nº12/PES/2021**. Dez meses após desastre: Sucessão ecológica, fauna e importância do baixo formado pelo desastre da LEI – CASAN para biorremediação do desastre. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 25 de novembro de 2021. 36 p.

PES – Projeto Ecoando Sustentabilidade (Santa Catarina). **Nota técnica sobre o rompimento da barragem da CASAN**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021. 7 p.

PES – Projeto Ecoando Sustentabilidade (Santa Catarina). **Relatório: Os primeiros 15 dias após o Rompimento da Barragem da LEI-CASAN**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021. 15 p.

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional. (org.). Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>. Acesso em: 05 dez. 2021.

TEIJON, Gloria; CANDELA, Lucila; TAMOH, Karim; MOLINA-DÍAZ, Antonio; FERNÁNDEZ-ALBA, A.R. Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain). **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 408, n. 17, p. 3584-3595, 1 ago. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.041>.