

Estudos sobre remoção de micropoluentes emergentes em efluentes no Brasil: uma revisão sistemática

Priscila Pauly Ribas^{1*}, Erickson Oliveira dos Santos², Cleideane Cunha Costa³, Pedro Luis Sosa Gonzáles⁴

¹Analista de Projetos P&D, Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR), Samsung Eletrônica da Amazônia, Brasil (*Autor correspondente: priscila.p@samsung.com)

²Analista de Projetos P&D, Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR), Samsung Eletrônica da Amazônia, Brasil.

³Analista Ambiental, Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR), Samsung Eletrônica da Amazônia, Brasil.

⁴Chefe de P&D em Desenvolvimento Ambiental Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR), Samsung Eletrônica da Amazônia, Brasil

Histórico do Artigo: Submetido em: 24/11/2020 – Revisado em: 23/12/2020 – Aceito em: 17/01/2021

RESUMO

A falta de saneamento e os baixos índices de tratamento de efluentes tem se mostrado um dos maiores problemas ambientais no Brasil. Cerca de 100 milhões de brasileiros não possuem coleta de efluente em seus domicílios e apenas uma parcela do coletado é tratado. Esse efluente acaba alterando a composição química da água e impactando diretamente o ambiente. Nos últimos anos, micropoluentes emergentes passaram a ser detectados em diversas matrizes aquosas, como água subterrânea, superficial e efluentes. As principais fontes dessa contaminação são as Estações de Tratamento de Efluentes, visto que, atualmente, não são projetadas para remover esses compostos durante o tratamento. No Brasil, os estudos sobre técnicas de remoção são recentes. Por este motivo, esta pesquisa visa apresentar uma revisão sistemática sobre os estudos em técnicas de remoção de micropoluentes emergentes no país. Os artigos foram consultados em bases de dados eletrônicas e 18 foram selecionados, de acordo com os critérios estabelecidos. Foi possível observar que as instituições públicas são as principais contribuintes em pesquisas na área. As principais técnicas estudadas envolvem transformações biológicas e os micropoluentes emergentes testados tendem a ter efeito disruptor endócrino. Com os dados obtidos, as pesquisas sobre a remoção de micropoluentes emergentes poderão ser ampliadas como prioridade governamental, considerando o risco para o meio ambiente, devido à grande variedade de compostos químicos registrados ou em processo de registro no Brasil. Futuramente, esses estudos servirão para a implantação de sistemas de tratamento capazes de remover completamente ou de forma segura estes compostos do efluente tratado.

Palavras-chave: micropoluentes emergentes, técnicas de remoção, tratamento de efluentes

Studies on emerging micropollutants removal from effluents in Brazil: a systematic review

ABSTRACT

The lack of basic sanitation and low effluent treatment rates have proven to be one of the biggest environmental problems in Brazil. About 100 million Brazilians do not have wastewater collection in their homes and only a portion is treated. This wastewater ends up changing the chemical composition of the environment and the environment is directly affected. In recent years, emerging micropollutants have been detected in several aqueous matrices, such as groundwater, surface water and wastewater. The main sources of contamination by emerging micropollutants are the Wastewater Treatment Plants, as they are not currently designed to remove these compounds during conventional treatment. In Brazil, studies on removal techniques are recent. For this reason, this research aims to present a systematic review of studies on emerging micropollutant removal techniques in the country. The articles were consulted in electronic databases and 18 were selected, according to the established criteria. It was possible to observe that public institutions are the main contributors to research in the area. The main techniques studied involve biological transformations and the emerging micropollutants tested tend to have an endocrine disrupting effect. With the data obtained, research on the removal of emerging micropollutants can be expanded as a government priority, considering the risk for the environment, due to the wide variety of chemical compounds registered or under registration process in Brazil. In the future, these studies will serve for the implementation of treatment systems capable of completely or safely removing these compounds from the treated wastewater.

Keywords: emerging micropollutants, removal techniques, wastewater treatment

Ribas, P.P., dos Santos, E.O., Costa, C.C., Gonzáles, P.L.S. (2021). Estudos sobre remoção de micropoluentes emergentes em efluentes no Brasil: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.9, n.1, p.165-175.



1. Introdução

O Brasil é o maior país da América do Sul com 8.510.295,914 km², divididos em 26 estados e 1 Distrito Federal. Em julho de 2019, a população total foi estimada em 210.147.125 habitantes, distribuídos em 5.570 municípios (IBGE, 2020). Em todo o país, o saneamento ainda é um desafio. De acordo com o último relatório do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), publicação oficial do Ministério do Desenvolvimento Regional, 53,2% dos domicílios no país são atendidos por rede coletora de esgoto (sistema de coleta de esgoto ou fossa séptica) e 74,5% do esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento (Brasil, 2019).

Considerando o Plano Nacional de Saneamento Básico (PlanSAB), o Brasil tem como meta universalizar o acesso aos serviços de saneamento como um direito humano (Brasil, 2007). Pelos números analisados aqui, essa meta ainda está longe de ser alcançada. Segundo Von Sperling (2016), em 2015, 1.899 municípios brasileiros possuíam ETE (Estação de Tratamento de Efluente), com 2.785 ETEs urbanas estimadas. Este relatório também informa que os principais tipos de tratamento nas ETEs brasileiras são as Lagoas Aeróbias em combinação com Lagoas Facultativas, seguidas pelo Reator UASB e por sistemas de tratamento com Lodo Ativado.

Os avanços da ciência têm possibilitado o desenvolvimento de diferentes estratégias de tratamento de efluentes com o objetivo de manter a qualidade dos recursos hídricos em todo o mundo. Diversos países se destacam no uso de novas tecnologias e na elaboração de políticas que garantam a qualidade dos recursos hídricos por meio de programas de monitoramento da qualidade e ampliação da regulamentação. Alguns países da União Europeia e os Estados Unidos da América estão bastante avançados, por exemplo, no que diz respeito ao monitoramento e regulamentação de micropoluentes emergentes (Ariese et al., 2001; Kot-Wasik et al., 2007; USEPA, 2015).

Micropoluentes emergentes são substâncias que podem ter efeitos adversos significativos no meio ambiente e na saúde humana e sua ocorrência no meio ambiente ocorre geralmente em uma faixa de concentração muito baixa, normalmente de $\mu\text{g L}^{-1}$ a ng L^{-1} (Jiang, 2009; Kümmerer, 2010). Embora a poluição por micropoluentes possa ser de origem natural, a principal fonte de introdução ambiental desses compostos é o lançamento de efluentes em corpos hídricos (Boni et al., 2012; Eggen et al., 2014; Fairbairn et al., 2016). Apesar disso, apenas há algumas décadas atrás esses compostos despertaram interesse de cientistas e os estudos sobre tratamentos para removê-los são ainda mais recentes (Bittencourt et al., 2016; Jiang, 2009; Nirazawa e Oliveira, 2018; Von Sperling, 2016).

Pesquisas, realizadas em diferentes países, indicam que alguns micropoluentes são efetivamente eliminados por meio de métodos de tratamento convencionais, mas a maioria deles é retida no efluente descartado, mesmo após o tratamento (Bui et al., 2016). Por esse motivo, pesquisas recentes têm testado alternativas para remoção de micropoluentes em efluentes, como (i) adsorção (Benstoem et al., 2017; Joseph et al., 2020), (ii) processos oxidativos e oxidação avançada (O_3 e $\text{UV} / \text{H}_2\text{O}_2$) (Derco et al., 2012; El-taliawy et al., 2017; Kim et al., 2009), e (iii) biorreatores de membrana (Clara et al., 2004; Kamaz et al., 2019).

Assim, a aplicação de diferentes tecnologias para remoção de micropoluentes durante o tratamento de efluentes aparece como ferramenta essencial para reduzir a contaminação ambiental e consequentemente reduzir os efeitos adversos à vida aquática e à saúde humana. Com base nisso, esta revisão tem como objetivo apresentar um diagnóstico sobre as técnicas de remoção de micropoluentes emergentes estudadas no Brasil nos últimos anos.

2. Desenvolvimento

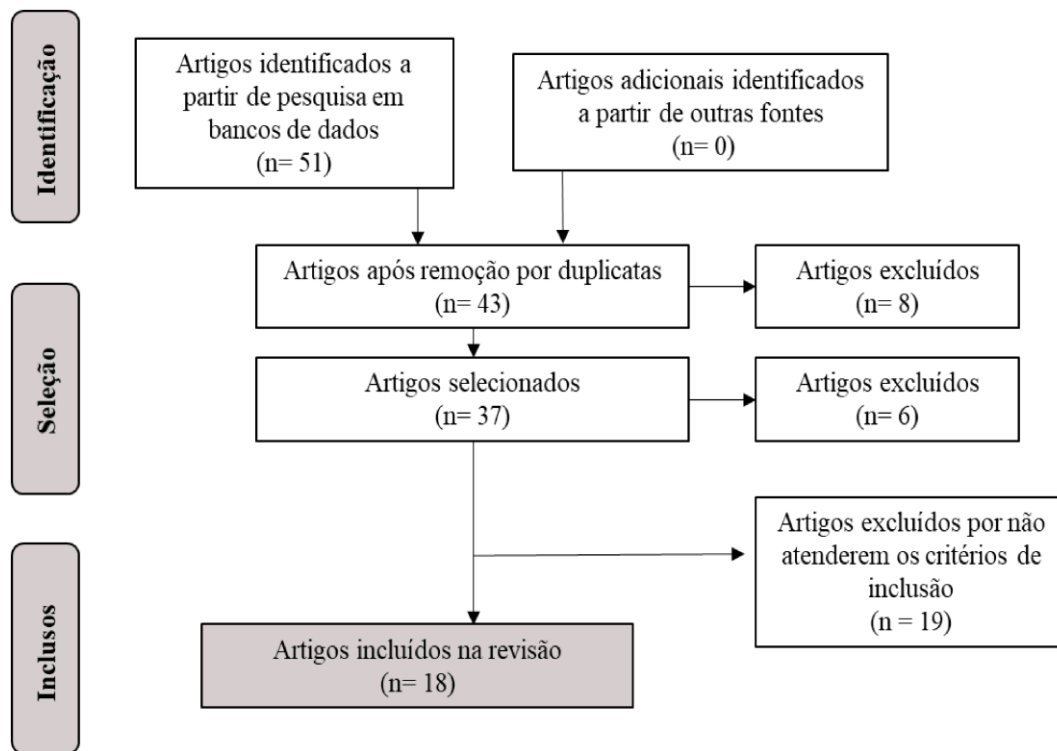
O artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura, realizada a partir de uma busca em diferentes bases de dados (Portal Capes, Scielo e Google Scholar) para selecionar estudos sobre técnicas de remoção de micropoluentes realizados no Brasil. Essas bases de dados foram selecionadas por serem interfaces muito abrangentes quanto aos periódicos apresentados, prezando pela confiabilidade, credibilidade e qualidade nas publicações apresentadas. Os artigos foram selecionados de acordo com os seguintes critérios de inclusão: ter como base a análise de dados produzidos no Brasil; retratarem pesquisas que envolvam tecnologias de remoção de micropoluentes em efluentes; tratem-se de pesquisas publicadas na forma de artigos completos. Os descritores de assunto utilizados na busca foram “tratamento de esgoto” e “tratamento de efluentes”, “micropolvente emergente” e “micropolvente”, em língua portuguesa e inglesa. O operador booleano “e” (“and”) foi aplicado em combinação com os descritores de assunto com para direcionar a pesquisa.

Após a identificação inicial dos estudos e retirada de duplicatas, os artigos foram triados por meio da leitura do título e resumo e, em seguida, os estudos selecionados foram analisados na íntegra. Apenas estudos desenvolvidos no Brasil que apresentaram resultados de técnicas de remoção de micropoluentes em efluentes foram incluídos. Após esse processo, 18 artigos foram selecionados como objeto de estudo desta revisão, e um diagrama de Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA – do inglês, a *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) detalhando a identificação do estudo e o processo de seleção foi feito (Moher et al., 2009).

Todos os artigos revisados foram analisados em uma planilha com as seguintes informações: autor, ano de publicação, periódico, estado onde o estudo foi realizado, tecnologia utilizada para remoção, micropoluentes analisados, e, considerações adicionais. Para essa revisão, se considerou como “estados que realizam os estudos”, aqueles onde as amostras foram coletadas e as análises foram realizadas e, se considerou como “estados envolvidos”, aqueles que apoiaram os estudos em algum nível. Os dados foram apresentados por meio de imagens elaboradas no Origin Pro versão 2017 e QGIS 3.14.

A busca inicial identificou 51 artigos. Após o ajuste de duplicatas, 43 permaneceram. Destes, seis estudos foram descartados, pois, não atendiam aos critérios de seleção. O texto completo dos 37 estudos restantes foi revisado em detalhes e 19 estudos foram descartados por não atenderem aos critérios de inclusão. Finalmente, 18 estudos foram incluídos na revisão. Um diagrama PRISMA (Moher et al., 2009) detalhando a identificação do estudo e o processo de seleção é dado na Figura 1.

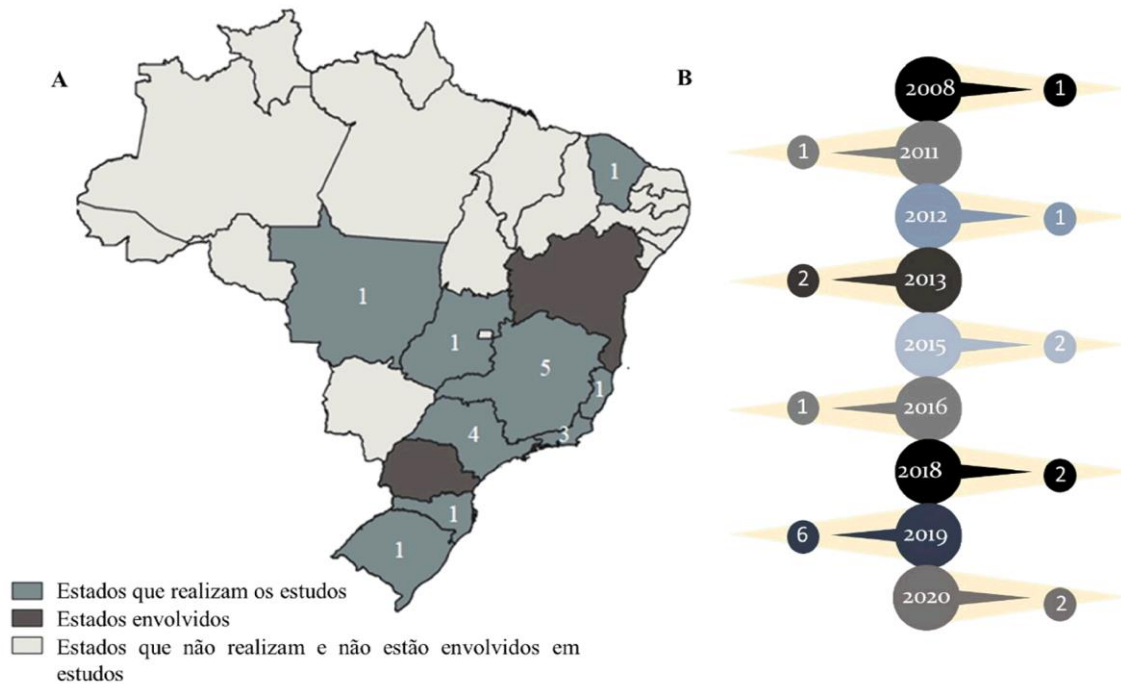
Figura 1 – Diagrama PRISMA detalhando a identificação dos estudos e o processo de seleção e inclusão nessa revisão.



Assim, é revelado que nove estados brasileiros estão realizando estudos sobre a remoção de micropoluentes emergentes de efluentes e outros dois estados estão diretamente envolvidos nesses estudos (Figura 2A). O Estado de Minas Gerais concentra o maior número de estudos realizados, somando cinco artigos publicados, seguido por São Paulo e Rio de Janeiro, com 4 e 3 artigos publicados respectivamente. Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso e Ceará têm um artigo publicado cada. Esses dados indicam que a maioria dos estudos se concentra na região sudeste do país.

As regiões Sul, Centro-Oeste e Nordeste desenvolvem pesquisas sobre a remoção de micropoluentes emergentes de efluentes, enquanto os estados do Norte não possuem estudos na área. O número de artigos publicados por ano é variável e 2019 foi o ano com maior número de publicações em técnicas para a remoção de micropoluentes emergentes, totalizando seis artigos publicados (Figura 2B). Em 2020, até junho, quando a seleção dos artigos foi concluída, dois artigos já haviam sido publicados (Figura 2B).

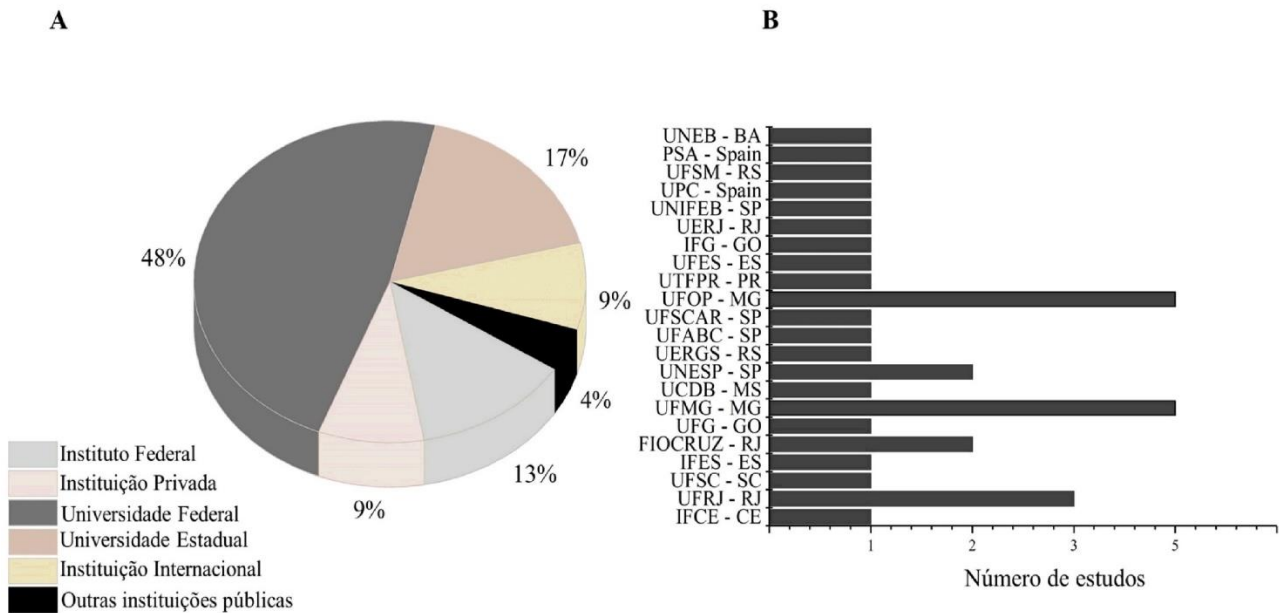
Figura 2 – Estados conduzindo e envolvidos em estudos de remoção de micropoluentes emergentes de efluentes (A) e, número de publicações em cada estado, por ano (B).



Analisando a categoria de instituições que estudaram a remoção de micropoluentes emergentes de efluentes, 69% dos estudos foram realizados por instituições públicas, como Universidades Federais, Universidades Estaduais, Institutos Federais e outros. Apenas 9% eram instituições privadas relacionadas ao setor educacional e 9% eram instituições internacionais em parceria com instituições brasileiras (Figura 3A). A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) apresentam o maior número de artigos publicados (Figura 3B).

Esses dados mostram que a produção científica brasileira está concentrada em instituições públicas, principalmente em programas de pós-graduação. Esse fato já foi observado em estudo anterior sobre a produção científica do Brasil (Hilu e Gisi, 2011). As parcerias entre a pesquisa científica e o setor privado, no Brasil, são extremamente importantes para o desenvolvimento científico do país, mas até o momento, o setor público é o principal financiador das pesquisas em remoção de micropoluentes emergentes (Schwartzman, 2009).

Figura 3 - Categorias das instituições envolvidas em estudos sobre remoção de micropoluentes emergentes de efluentes no Brasil (A) e, número de artigos publicados em cada instituição (B).



Considerando a remoção de micropoluentes emergentes no Brasil, o foco principal dos compostos analisados esteve nos fármacos, como hormônios, antibióticos, analgésicos, anti-inflamatórios, entre outros compostos (Bisognin et al., 2019; Brandt et al., 2013; Brasil Bernardelli et al., 2015; Buarque et al., 2019; Castro et al., 2019; M. de Oliveira et al., 2019; Lopes et al., 2017; Matsubara et al., 2019; Morais et al., 2018; Queiroz et al., 2012; Ribeiro et al., 2011; Sánchez-Montes et al., 2020; Silva et al., 2017; Trovó et al., 2008; Vassalle et al., 2020). A eficiência de remoção de xenoestrogênios, como compostos fenólicos e parabens também foram estudados no Brasil (Anjos et al., 2019; Brandt et al., 2013; Buarque et al., 2019; Machado et al., 2015; Queiroz et al., 2012; Vassalle et al., 2020). Todos os micropoluentes emergentes analisados em estudos de remoção no Brasil podem ser vistos na Tabela 1.

Os grupos de compostos estudados no Brasil, tem como principal relevância seus efeitos sobre os organismos, pois, supostamente, atuam como desreguladores endócrinos, que, lançados no meio aquático afetam a todos os organismos vivos (Bolong et al., 2009). Os desreguladores endócrinos precisam ser removidos na fonte primária, as ETEs, porém, as tecnologias disponíveis, na maioria das vezes, não são totalmente eficazes para a remoção completa dos micropoluentes emergentes (Bertoldi et al., 2019). Este fato é o desafio para os sistemas de tratamento, que deverão garantir a remoção desses compostos a níveis seguros no meio ambiente.

Tabela 1 – Micropoluentes emergentes estudados no Brasil.

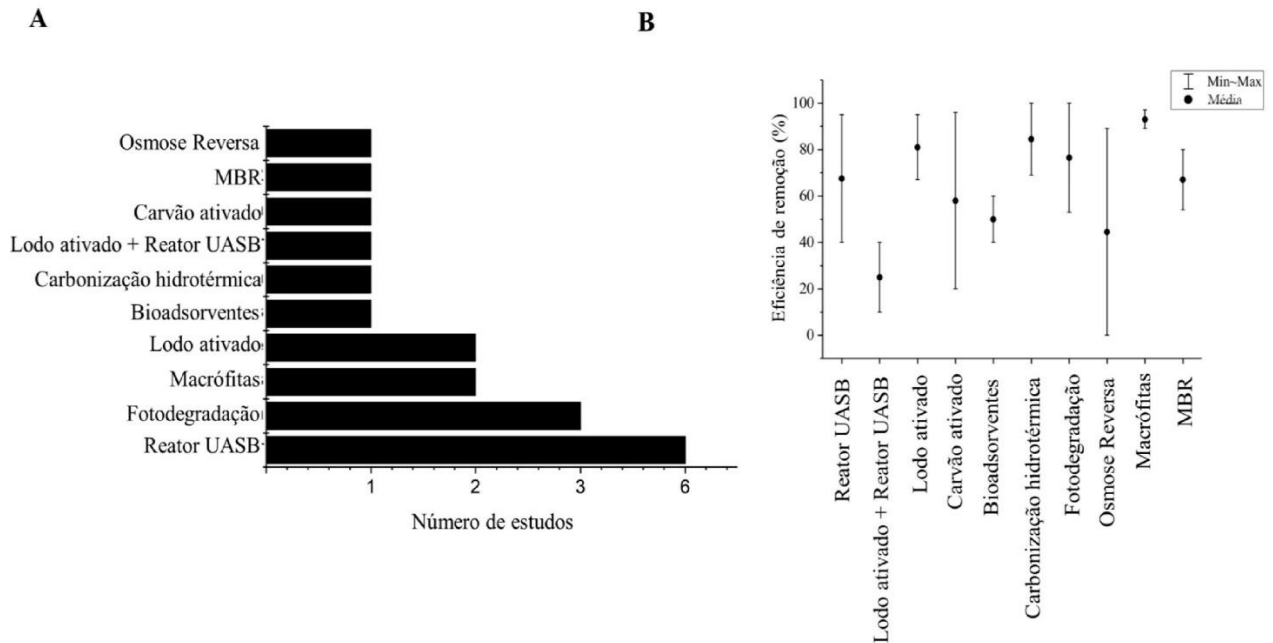
Grupo	Substâncias	Publicações
Hormônios Naturais	Estrona, Estriol, Androstenediona, Progesterona, Testosterona	(Brasil Bernardelli et al., 2015) (Silva et al., 2017) (Castro et al., 2019) (Bisognin et al., 2019)

		(Buarque et al., 2019) (Vassalle et al., 2020)
Hormônios Sintéticos	17 β -estradiol, 17 α -etinilestradiol, Acetato de megestrol, Etisterona, Acetato de Ciproterona, Gestodeno	(Queiroz et al., 2012) (Brandt et al., 2013) (Brasil Bernardelli et al., 2015) (Silva et al., 2017) (Morais et al., 2018) (Castro et al., 2019) (Bisognin et al., 2019) (Buarque et al., 2019) (Vassalle et al., 2020)
Analgésicos e anti-inflamatórios	Diclofenaco, Naproxeno, Paracetamol, Ibuprofeno, Flunixinina	(Trovó et al., 2008) (Ribeiro et al., 2011) (Queiroz et al., 2012) (Brandt et al., 2013) (Lopes et al., 2017) (Castro et al., 2019) (Bisognin et al., 2019) (M. de Oliveira et al., 2019) (Buarque et al., 2019) (Sánchez-Montes et al., 2020) (Vassalle et al., 2020)
Antibióticos	Amoxicilina, Sulfametoxazol, Trimetoprima, Sulfadoxina, Lincomicina, Florfenicol, Sulfaquinoxalina, Sulfamazina, Sulfatiazol, Norfloxacin, Tilmicosina, Tilosina, Marbofloxacin, Tetraciclina, Sulfacloropiridazina, Sulfadiazina, Sulfadimetoxina, Sarafloxacin, Oxitetraciclina, Clorotetraciclina, Ofloxacin, Danofloxacin, Enrofloxacin, Doxiciclina, Clorofenicol, Clindamicin, Ciprofloxacin	(Trovó et al., 2008) (Queiroz et al., 2012) (Brandt et al., 2013) (Lopes et al., 2017) (Matsubara et al., 2019) (Bisognin et al., 2019) (Buarque et al., 2019) (Sánchez-Montes et al., 2020)
Betabloqueadores	Atenolol	(Lopes et al., 2017)
Anticonvulsivos	Carbamazepina	(Sánchez-Montes et al., 2020)
Estimulantes	Cafeína	(Bisognin et al., 2019) (M. de Oliveira et al., 2019) (Sánchez-Montes et al., 2020)
Antilipêmicos	Gemfibrozil, Bezafibrato	(Trovó et al., 2008) (Queiroz et al., 2012) (Brandt et al., 2013) (Castro et al., 2019) (Vassalle et al., 2020)
Antiparasíticos	Ivermectina, Fenbendazol sulfona, Fenbendazol, Metronidazol	(Bisognin et al., 2019)

Antifúngicos	Miconazol	(Queiroz et al., 2012) (Brandt et al., 2013)
Herbicidas	Atrazina	(J. L. M. Oliveira et al., 2013)
Xenoestrogênicos	Bisfenol A, Nonilfenol, Fenol, Etilparabeno, Metilparabeno, Propilparabeno	(Queiroz et al., 2012) (Brandt et al., 2013) (Machado et al., 2015) (Castro et al., 2019) (Anjos et al., 2019) (Buarque et al., 2019) (Vassalle et al., 2020)

Sobre as técnicas de remoção de micropoluentes emergentes, nessa revisão observou-se que embora existam técnicas mais avançadas conhecidas (processos oxidativos avançados, por exemplo), quando se trata do tratamento de efluentes no Brasil, ainda buscamos adequar as técnicas mais utilizadas nos sistemas de tratamento convencionais, verificando sua eficácia na remoção de micropoluentes. O tratamento biológico é o mais estudado, com uso de reator UASB ou seu uso em combinação com outros processos, seguido de fotodegradação, lodo ativado e também macrófitas (Figura 4A). Os processos biológicos são um recurso utilizado mundialmente para o tratamento de efluentes e a recalcitrância que alguns micropoluentes emergentes apresentam torna necessário pensar nos processos de biodegradação como uma alternativa de baixo custo aos processos físicos e químicos convencionais (Grandclément et al., 2017).

Figura 4 – Técnicas de remoção de micropoluentes emergentes estudadas no Brasil (A) e, Eficiência de remoção das diferentes técnicas estudadas no Brasil (B).



De acordo com a Figura 4B, os processos biológicos de tratamento, como Lodo Ativado, Macrófitas, Reator UASB e combinações foram estudados com muitos micropoluentes emergentes e a eficiência de remoção alcançada pode variar em torno de 100% para muitos deles (Brasil Bernardelli et al., 2015; Lopes et al., 2017; Vassalle et al., 2020). Estes dados corroboram os resultados do projeto AMPERES (do inglês - “*Analysis of priority and emerging pollutants in wastewater and surface waters*”), onde se concluiu que cerca de metade dos contaminantes orgânicos e inorgânicos estudados foram removidos com eficiência superior a 70% com tratamento biológico (Martin Ruel et al., 2012).

A remoção de micropoluentes emergentes através de tecnologias de membrana (MBR e Osmose Reversa) pode apresentar resultados variados já que os micropoluentes apresentam diferentes características físico-químicas, como tamanho, carga, difusibilidade e hidrofobicidade (Khanzada et al., 2020). Este fato pôde ser constatado em estudos brasileiros (Figura 4B), quando o uso da Osmose Reversa apresentou uma alta variabilidade na eficiência de remoção (Silva et al., 2017) e o processo MBR, que foi testado apenas com amoxicilina, apresentou uma variabilidade considerável na eficiência de remoção deste composto (Matsubara et al., 2019).

Ambos os estudos envolvendo macrófitas apresentaram bons resultados na remoção dos micropoluentes testados, como fármacos e parabenos, com eficiências de remoção média acima de 90% (Anjos et al., 2019; M. de Oliveira et al., 2019). Os bons resultados também foram obtidos com hormônios (Guedes-Alonso et al., 2020). Esses autores explicam que muitos fatores, incluindo o tipo e configuração do sistema, parâmetros operacionais, a qualidade do efluente, luz solar, temperatura, condições redox, pH e as características do poluente, podem influenciar na eficiência de remoção.

O processo de adsorção já é conhecido na remoção de micropoluentes emergentes, utilizando carvão ativado na forma granular ou em pó (Piai et al., 2020). Os resultados obtidos no Brasil estão de acordo com as pesquisas globais, apresentando eficiência de até 96% na remoção de micropoluentes (Machado et al., 2015). Outros materiais começam a ser estudados e o uso de biossorbentes é uma alternativa viável para reaproveitar matéria orgânica e remover de forma eficiente os micropoluentes (Ribeiro et al., 2011). Além disso, a carbonização hidrotérmica, que é um processo sintético do carbono, é considerada uma técnica inovadora e apontada por Morais et al. (2018) como uma técnica promissora de remoção de micropoluentes em amostras aquosas.

Outra estratégia de remoção de micropoluentes que tem sido amplamente estudada em todo o mundo são os Processos de Oxidação Avançada (POA). Esses métodos aparentemente são promissores na eliminação de micropoluentes que não são removidos durante o tratamento convencional (de Araújo et al., 2016). Nesta revisão, constatou-se que a fotodegradação foi o POA mais estudado. Os resultados indicam alta eficiência, com valores entre 53% e 100% (Sánchez-Montes et al., 2020; Silva et al., 2017; Trovó et al., 2008).

3. Conclusão

O número de estudos envolvendo técnicas de remoção de micropoluentes está aumentando no Brasil e as instituições públicas são essenciais para o desenvolvimento dessas pesquisas. Nestes estudos, a eficiência de remoção de muitos micropoluentes emergentes foi testada. Além disso, é possível identificar uma tendência aos estudos de remoção dos desreguladores endócrinos, principalmente pelo seu impacto no meio ambiente e na saúde humana.

Sobre as técnicas de remoção, no Brasil foram realizados principalmente estudos com processos de tratamento biológico. Desta forma, os reatores UASB e lodo ativado são as técnicas mais estudadas e apresentam bons resultados quando o processo é adaptado para melhorar o processo de biodegradação. Por fim, as técnicas mais avançadas, como fotodegradação, carbonização hidrotérmica e outros Processos de

Oxidação Avançada, são menos estudadas na pesquisa aplicada, mas vêm ganhando destaque quando se trata de resultados de eficiência de remoção.

Assim, pode-se concluir que as pesquisas estão evoluindo no sentido de desenvolver técnicas mais eficientes e menos onerosas para a remoção completa ou segura dos micropoluentes emergentes na sua fonte primária de contaminação, as estações de tratamento de efluentes.

4. Agradecimentos

Esse artigo é resultado de um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento realizado pela SAMSUNG Eletrônica da Amazônia com recursos previstos na Lei Federal nº 8.387/1991, em concordância com o art. 21 do Decreto nº 10.521/2020.

5. Referências

Anjos, M. L., Isique, W. D., Albertin, L. L., Matsumoto, T., & Henares, M. N. P. (2019). Parabens Removal from Domestic Sewage by Free-Floating Aquatic Macrophytes. **Waste and Biomass Valorization**, *10*(8), 2221–2226.

Bisognin, R. P., Wolff, D. B., Carissimi, E., Prestes, O. D., & Zanella, R. (2019). Occurrence and fate of pharmaceuticals in effluent and sludge from a wastewater treatment plant in Brazil. **Environmental Technology**, 1–12.

Brandt, E. M. F., de Queiroz, F. B., Afonso, R. J. C. F., Aquino, S. F., & Chernicharo, C. A. L. (2013). Behaviour of pharmaceuticals and endocrine disrupting chemicals in simplified sewage treatment systems. **Journal of Environmental Management**, *128*, 718–726.

Brasil Bernardelli, J. K., Liz, M. V., Belli, T. J., Lobo-Recio, M. A., & Lapolli, F. R. (2015). Removal of estrogens by activated sludge under different conditions using batch experiments. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, *32*(2), 421–432.

Buarque, P. M. C., Lima, R. B. P. de, Vidal, C. B., Buarque, H. L. de B., Firmino, P. I. M., & Santos, A. B. dos. (2019). Enhanced removal of emerging micropollutants by applying microaeration to an anaerobic reactor. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, *24*(4), 667–673.

Castro, L. V., Azevedo, L. S., Aquino, S. F., Moreira, C. C., Freitas, M. P., Passos, F., & Filho, C. R. M. (2019). The fate of micro-pollutants in an anaerobic-aerobic based system treating domestic sewage. **16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion**, Delft - Netherlands, *340 L*, 8–10.

de Oliveira, M., Atalla, A. A., Frihling, B. E. F., Cavalheri, P. S., Migliolo, L., & Filho, F. J. C. M. (2019). Ibuprofen and caffeine removal in vertical flow and free-floating macrophyte constructed wetlands with *Heliconia rostrata* and *Eichornia crassipes*. **Chemical Engineering Journal**, *373*, 458–467.

Khanzada, N. K., Farid, M. U., Kharraz, J. A., Choi, J., Tang, C. Y., Nghiem, L. D., Jang, A., & An, A. K. (2020). Removal of organic micropollutants using advanced membrane-based water and wastewater treatment: A review. **Journal of Membrane Science**, *598*, 117672.

Lopes, B. C., Sanson, A. L., Aquino, S. F. de, Leite de Souza, C., Chernicharo, C. A. de L., & Afonso, R. J.

de C. F. (2017). Behavior of pharmaceuticals in UV photoreactors fed with sewage treated by anaerobic/aerobic system. **Environmental Technology**, 38(21), 2775–2784.

Machado, C. R. A., Leite e Silva, Y. G., Santos Pereira, L. P., Saggioro, E. M., & Campos, J. C. (2015). Avaliação da adsorção de Fenol e Bisfenol A em carvões ativados de diferentes matrizes carbonáceas. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 10(4).

Matsubara, M., Subtil, E., & Coelho, L. (2019). Evaluation of Amoxicillin removal and degradation products in an A/O-MBR operated under long hydraulic retention time (HRT). **International Water Association (IWA) Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse**, Toulouse - France.

Morais, R. L., Santiago, M. F., Zang, J. W., Fonseca-Zang, W. A., & Schmidt, F. (2018). Removal of synthetic sex hormones by hydrothermal carbonization. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, 90(2), 1327–1336.

Oliveira, J. L. M., Ferreira, E. M., Silva, D. D. P., Dezotti, M., & Langenbach, T. (2013). Fate of the herbicide 14C-atrazine during sewage treatment on a lab-scale bioreactor. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 8(2).

Queiroz, F. B., Brandt, E. M. F., Aquino, S. F., Chernicharo, C. A. L., & Afonso, R. J. C. F. (2012). Occurrence of pharmaceuticals and endocrine disruptors in raw sewage and their behavior in UASB reactors operated at different hydraulic retention times. **Water Science and Technology**, 66(12), 2562–2569.

Ribeiro, A. V. F. N., Belisário, M., Moretto Galazzi, R., Cazoni Balthazar, D., De Godoi Pereira, M., & Nardy Ribeiro, J. (2011). Evaluation of two bioadsorbents for removing paracetamol from aqueous media. **Electronic Journal of Biotechnology**, 14(6).

Sánchez-Montes, I., Salmerón García, I., Rivas Ibañez, G., Aquino, J. M., Polo-López, M. I., Malato, S., & Oller, I. (2020). UVC-based advanced oxidation processes for simultaneous removal of microcontaminants and pathogens from simulated municipal wastewater at pilot plant scale. **Environmental Science: Water Research & Technology**, 6, 2553-2566.

Silva, L. L. S., Sales, J. C. S., Campos, J. C., Bila, D. M., & Fonseca, F. V. (2017). Advanced oxidative processes and membrane separation for micropollutant removal from biotreated domestic wastewater. **Environmental Science and Pollution Research**, 24(7), 6329–6338.

Trovó, A. G., Melo, S. A. S., & Nogueira, R. F. P. (2008). Photodegradation of the pharmaceuticals amoxicillin, bezafibrate and paracetamol by the photo-Fenton process—Application to sewage treatment plant effluent. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, 198(2–3), 215–220.

Vassalle, L., García-Galán, M. J., Aquino, S. F., Afonso, R. J. de C. F., Ferrer, I., Passos, F., & R Mota, C. (2020). Can high rate algal ponds be used as post-treatment of UASB reactors to remove micropollutants? **Chemosphere**, 248, 125969.