

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
BACHARELADO EM CIÊNCIA BIOLÓGICAS, ÊNFASE EM GESTÃO
AMBIENTAL MARINHA E COSTEIRA**

MARIA EDUARDA DOS SANTOS CARLOSSO

**A GOTA D'ÁGUA: DESAFIOS PARA A INTEGRAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS
COMO PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA**

**IMBÉ
Janeiro de 2024**

MARIA EDUARDA DOS SANTOS CARLOSSO

**A GOTA D'ÁGUA: DESAFIOS PARA A INTEGRAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS
COMO PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Gestão Ambiental Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Fernandino de Andrade Neto

**IMBÉ
2024**

CIP - Catalogação na Publicação

Carlosso, Maria Eduarda dos Santos
A GOTA D'ÁGUA: DESAFIOS PARA A INTEGRAÇÃO DOS
MICROPLÁSTICOS COMO PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA /
Maria Eduarda dos Santos Carlosso. -- 2024.
35 f.
Orientador: Gerson Fernandino de Andrade Neto.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Biociências, Curso de Ciências Biológicas: Gestão
Ambiental Marinha e Costeira, Porto Alegre, BR-RS,
2024.

1. Legislação ambiental. 2. Gestão ambiental . 3.
Saúde humana . 4. Qualidade da água. I. Neto, Gerson
Fernandino de Andrade, orient. II. Título.

MARIA EDUARDA DOS SANTOS CARLOSSO

**A GOTA D'ÁGUA: DESAFIOS PARA A INTEGRAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS
COMO PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Gestão Ambiental Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Fernandino de Andrade Neto

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Maria Fernanda Romanelli Alegre
Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo

Rossana Colla Soletti
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico à minha avó Diorema Benites por ter sido a essência de tudo em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha avó Diorema e à minha mãe Daniela por dividirem a vida comigo, por serem constantes fontes de amor, carinho e cuidado, e por sonharem a chegada desse momento comigo. Nesse momento celebro a nossa conquista.

Agradeço ao Gabriel pelo amor, cuidado e companheirismo, especialmente por todas as noites que se manteve acordado, me fazendo companhia enquanto eu fazia trabalhos até tarde. Tua presença foi fundamental e encheu esses momentos desafiadores de carinho e apoio.

Agradeço a Gabriela Menegolla, Kristina Leão, Luísa Bertolini, Lucas Nunes, Ana Marques e Janaína Rosa, meus amigos da biomar, pela amizade inestimável. Agradeço por todos os cafés e momentos felizes compartilhados, assim como pelas inúmeras horas de apoio e trocas durante os estudos. Conhecê-los tornou a vida muito mais feliz.

Agradeço a Maria Vitória, minha amiga de uma vida inteira, por compartilhar cafés, conselhos e momentos felizes, mas acima de tudo por se fazer presente, mesmo à distância.

Agradeço ao João Pedro, meu amigo de longa data, pela cumplicidade, risadas compartilhadas e pelos momentos felizes que vivemos juntos.

Agradeço ao Gerson, meu orientador, pela amizade, pelo suporte, pelos conselhos valiosos, por toda a inspiração e por sempre ter um chá de bergamota a postos. Agradeço também por sempre acreditar em mim e por me incentivar constantemente.

Agradeço ao Guilherme, meu primeiro orientador da biomar, pela amizade, pelas longas conversas, mas principalmente por sempre acreditar em mim.

Agradeço à Tatiana e ao Alexandre, minha segunda família, por todo amor, apoio e incentivo durante esta trajetória.

Agradeço aos professores da biomar por terem sido fonte de inspiração e conhecimento ao longo desses anos.

Agradeço a Carla Elliff, por sua disposição em ajudar logo no início do projeto e por compartilhar seu conhecimento comigo.

Agradeço ao Manuel Rodrigues Loncan e a Ana de Araújo Carrion, servidores da FEPAM, pelas enriquecedoras reuniões e valiosas trocas de conhecimento, essenciais para o desenvolvimento desse projeto.

RESUMO

Partículas plásticas cujo tamanho varia de 1 μm a 5 mm, denominadas microplásticos (MP), podem ser classificadas em MP primário e MP secundário. O MP primário é produzido dentro dessa faixa de tamanho e desempenha o papel de matéria-prima na indústria plástica, como ocorre no caso dos *pellets*. Por outro lado, o MP secundário é formado por meio da fragmentação de objetos plásticos de maiores dimensões. O MP está presente nos diferentes compartimentos, desde o compartimento geológico, atmosférico, hidrológico até o compartimento biológico, pondo em risco a vida terrestre e marinha exposta a esse poluente. Os riscos associados à exposição aos MPs se estendem aos seres humanos, uma vez que vivem nesses ambientes, respiram o ar contaminado, consomem alimentos contaminados, utilizam a água para consumo direto e para a preparação de alimentos. Como consequência da interação com MP, estudos apontam como potenciais impactos à saúde humana a citotoxicidade, a toxicidade hepática, dentre outros riscos associados. Portanto, nota-se a necessidade de um estudo que avalie a possibilidade de enquadrar o MP como padrão de qualidade no Brasil, uma vez que estudos apontam potenciais danos à saúde humana. Porém, mesmo com evidências observadas sobre os possíveis impactos à saúde, o MP ainda é ignorado na legislação ambiental brasileira, em especial na resolução CONAMA, N° 357 de 17 de março de 2005, alterada e complementada pela resolução CONAMA N° 430 de 13 de maio de 2011, que classifica os corpos de água e fornece diretrizes para o enquadramento nos padrões de qualidade da água. Embora não seja considerado um parâmetro, o MP já foi detectado na água engarrafada e água da torneira, sem contar diversas outras fontes as quais o ser humano está exposto ao consumo. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a possibilidade de enquadrar o MP como padrão de qualidade da água para consumo humano no Brasil, uma vez que os estudos apontam potenciais danos à saúde humana. O presente estudo se concentrou em uma pesquisa bibliográfica abrangente que foi conduzida utilizando artigos científicos indexados em bases de dados e também foi utilizada a base de dados do projeto *Plastics Policy Inventory* que hospeda informações sobre políticas públicas voltadas à temática de poluição plástica em todo o mundo. Com a sistematização dessas informações foi elaborado um *checklist* com vistas a avaliar o potencial de inclusão dos MPs como parâmetro de qualidade da água, sendo este o principal produto desta pesquisa. O resultado do presente estudo identificou seis critérios para a regulamentação de padrões de qualidade da água no Brasil, necessários para a inclusão de novos indicadores. A viabilidade do enquadramento foi avaliada com base no preenchimento do *checklist* e o resultado confirma a hipótese de que os MP podem ser incluídos em padrões de qualidade da água, de modo que dos seis critérios, cinco foram atendidos e um foi parcialmente atendido. No entanto, é evidente a necessidade de mais estudos na temática, para a elaboração de medidas regulatórias adequadas ao tamanho do problema.

Palavras-Chave: Legislação ambiental. Gestão ambiental. Saúde humana. Qualidade da água.

ABSTRACT

Plastic particles whose size ranges from 1 μm to 5 mm, referred to as microplastics (MP), can be classified into primary MP and secondary MP. Primary MP is produced within this size range and serves as raw material in the plastic industry, as is the case with pellets. On the other hand, secondary MP is formed through the fragmentation of larger plastic objects. MP is present in various compartments, from the geological, atmospheric, and hydrological compartments to the biological compartment, posing a risk to terrestrial and marine life exposed to this pollutant. The risks associated with exposure to MPs extend to humans who inhabit these environments, as they breathe contaminated air, consume contaminated food, and use water for direct consumption and food preparation. As a consequence of interaction with MPs, studies point to potential impacts on human health, including cytotoxicity, hepatic toxicity, among other associated risks. Therefore, there is a need for a study that assesses the possibility of classifying MP as a quality standard in Brazil, as studies indicate potential harm to human health. However, despite observed evidence of possible health impacts, MPs are still overlooked in Brazilian environmental legislation, especially in CONAMA Resolution No. 357 of March 17, 2005, amended and complemented by CONAMA Resolution No. 430 of May 13, 2011, which classifies water bodies and provides guidelines for compliance with water quality standards. Although not considered a parameter, MPs have been detected in bottled water and tap water, not mentioning various other sources to which humans are exposed for consumption. Therefore, the aim of this study was to assess the possibility of including MPs as a water quality standard for human consumption in Brazil, given the potential health risks indicated by studies. This study focused on a comprehensive literature review conducted using scientific articles indexed in databases, and the Plastics Policy Inventory project database, which hosts information on public policies related to plastic pollution worldwide, was also utilized. With the systematization of this information, a checklist was developed to assess the potential inclusion of MPs as a water quality parameter, representing the main outcome of this research. The results of this study identified six criteria for regulating water quality standards in Brazil, necessary for the inclusion of new indicators. The feasibility of inclusion was evaluated based on checklist completion, and the results confirm the hypothesis that MPs can be included in water quality standards, so that out of the six criteria, five were met and one was partially met. However, the need for further studies on the subject is evident for the development of regulatory measures appropriate to the scale of the problem.

Keywords: Environmental legislation. Environmental management. Human health. Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de publicações na temática de MP relacionadas à saúde humana ao longo do tempo demonstrando aumento do interesse científico pelo assunto..... 19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potenciais efeitos dos MP observados em seres humano a partir de organismos modelo, com diferentes composições poliméricas, concentrações e tamanhos. 22

Tabela 2 - Checklist dos critérios necessários para a regulamentação de padrões de qualidade da água. 26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 CRITÉRIOS PARA REGULAMENTAÇÃO DE PADRÕES DE QUALIDADE	17
4.2 AÇÕES REGULATÓRIAS EM DISCUSSÃO	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

A poluição plástica é um desafio global para a conservação, em especial do oceano, uma vez que gera impactos à economia e ao bem-estar, comprometendo os serviços ecossistêmicos ofertados por esse ambiente (BEAUMONT *et al.*, 2019). De acordo com a pesquisa realizada por Geyer *et al.*, (2017), cerca de 60% de todo o plástico produzido até 2015 foi destinado a aterros ou então acabou sendo liberado no ambiente, seja em decorrência da inadequada gestão dos resíduos sólidos ou de falhas no sistema de saneamento básico. O sumidouro para todo esse plástico é o oceano (ROCHMAN, 2018), sendo que 80% da poluição plástica presente no oceano advém de vias terrestres e vias fluviais, conforme discutido por Jambeck *et al.*, (2015).

Os microplásticos (MP) são partículas plásticas com diâmetro variando de 1 µm a 5 mm e podem ser subdivididos em MP primário e MP secundário (FRIAS & NASH, 2019). O microplástico primário é proveniente da indústria, fabricado em tamanho micro para servir de matéria-prima para os demais plásticos, como os *pellets*, ou então aqueles utilizados em cosméticos, denominadas microesferas, enquanto o MP secundário é resultante da fragmentação de itens plásticos maiores (GESAMP, 2015). Agentes físicos, químicos e biológicos estão envolvidos na degradação do plástico, no entanto, a foto-oxidação provocada pela radiação ultravioleta (UV) torna o plástico quebradiço e propenso a fragmentação em partículas menores (BROWNE *et al.*, 2007).

Os MP têm acrescidos à sua composição os aditivos químicos, estes responsáveis por melhorar o desempenho e a funcionalidade dos plásticos, como retardantes de chama, plastificantes, estabilizadores térmicos e pigmentos (HAHLADAKIS *et al.*, 2018). Além dos aditivos químicos presentes, o plástico pode adsorver poluentes presentes na água, dentre os quais estão Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), metais pesados e pesticidas. Conforme demonstrou o estudo de Li *et al.*, (2023), a exposição de ratos a uma combinação de pesticida associado a MP induziu a alteração da microbiota intestinal e provocou toxicidade hepática. Campanale *et al.*, (2020) dissertam que para além dos efeitos químicos associados aos aditivos, devido à lixiviação destes e à adsorção de poluentes químicos disponíveis no ambiente, os MP apresentam efeitos físicos deletérios, associados ao tamanho, formato e concentração em organismos. Um estudo de Park *et al.*, (2023) relata o efeito físico do MP como indutor da progressão de câncer de mama humano. Os distúrbios relacionados aos efeitos físicos e químicos ocorrem como consequência da ingestão dessas partículas, uma das principais vias de

exposição ao MP, conforme a revisão de Prata *et al.*, (2020), uma vez que adentram os tecidos e órgãos interagem com estes, causando potenciais impactos.

Desse modo, os MP podem estar afetando negativamente a saúde humana, uma vez que foram observados em diferentes amostras biológicas de seres humanos. A presença foi detectada na placenta humana (RAGUSA *et al.*, 2021), no mecônio (primeira excreção fecal do recém-nascido) (BRAUN *et al.*, 2021) e no leite materno (RAGUSA *et al.*, 2022). Também foi detectada no sangue humano (LESLIE *et al.*, 2022), em fezes humanas (WIBOWO *et al.*, 2021) e na urina. A presença na urina foi reportada em um estudo preliminar, no qual 4 dos 6 voluntários expeliram fragmentos via urina (PIRONTI *et al.*, 2023), demonstrando a capacidade de eliminação de parte dos fragmentos, porém, é possível que uma porção seja retida em outros tecidos. Somado a isso, recentemente foi registrada a presença de MP no coração humano (YANG *et al.*, 2023). Nesse estudo, amostras de tecido e sangue foram obtidas e o resultado alerta para um potencial de bioacumulação, pois os tecidos apresentaram maior número de fragmentos quando comparado com amostragens de sangue. Outra preocupação evidenciada pelos autores é a circulação destes fragmentos na corrente sanguínea, possibilitando a entrada dos MP em tecidos. Essas evidências da presença de MP em seres humanos em diferentes amostras biológicas demonstram o potencial de permeabilidade e de translocação das partículas ao longo do corpo humano, o que pode levar a potenciais impactos na saúde, antes mesmo do nascimento e possivelmente perdurando ao longo de toda a vida. Um estudo de Urbina *et al.*, (2023) demonstrou que caranguejos expostos cronicamente ao MP foram mais afetados do que os caranguejos submetidos a exposição aguda, apresentando prejuízos nutricionais associados, ao passo que a exposição aguda não demonstrou danos significativos.

Para além da detecção em seres humanos, há evidências de possíveis impactos a partir de estudos em organismos modelos, incluindo a descoberta de uma doença em aves marinhas (CHARLTON-HOWARD *et al.*, 2023). Conforme a revisão conduzida por Chang *et al.*, (2019) a ingestão de MP pode ocasionar toxicidade gastrointestinal, toxicidade hepática e neurotoxicidade. Li *et al.*, (2023) observaram o potencial citotóxico dos MP a saúde a partir da cultura de células humanas. Deng *et al.*, (2017) avaliaram o acúmulo de MP em tecidos de camundongo e o resultado demonstrou o acúmulo de MP no fígado, rim e intestino, fator este que corrobora as evidências da translocação do MP nos tecidos. O estudo demonstrou comprometimento do metabolismo energético, metabolismo lipídico, estresse oxidativo e a indução de respostas neurotóxicas. Em outro estudo recente, Da Costa Araújo *et al.*, (2020) observaram alteração morfológica externa, mutagênicas e citotóxicas e bioacumulação em uma

espécie de anfíbio exposta à MP. Porém, mesmo com evidências observadas sobre os possíveis impactos à saúde, o MP ainda é ignorado na legislação ambiental brasileira.

O arcabouço legal brasileiro dispõe de legislação ambiental consistente que remonta a criação da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei Nº 6.938/1981) (PNMA), seguida da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 [CONSTITUIÇÃO (1988)], e demais leis ambientais, como a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei Nº 11.445/ 2007) (PNSB), a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/ 2010) (PNRS), dentre muitas outras de cunho mais específicos. A lei de 1981 estabelece um marco para a questão ambiental no país, conforme discorre Benjamin (1999), e pautou a inclusão das questões ambientais no conjunto de políticas públicas do país (MARTINS SANTOS & LORETO, 2019). A Constituição Federal, marco da redemocratização no Brasil, disserta em seu artigo 225 exclusivamente sobre o meio ambiente e a relação sócio-ambiental pertinente, na qual reconhece o direito de todo indivíduo ao acesso a um meio ambiente sadio que garanta a dignidade humana, esta diretamente relacionada à saúde e qualidade de vida, para as gerações presentes e futuras (BRASIL, 1988).

A defesa do direito assegurado pela Constituição Federal e pela PNMA é garantido por meio de órgãos governamentais, como o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (IBAMA, 2022). O CONAMA atua como órgão auxiliar do SISNAMA, e possui como atribuição a responsabilidade pelo estabelecimento de normas e padrões de qualidade ambiental, especialmente dos recursos hídricos (BRASIL, 1981), uma vez que a qualidade desse recurso é essencial à sustentabilidade ambiental e ao bem-estar humano.

O CONAMA, tem, portanto, a resolução Nº 357 de 17 de março de 2005, alterada e complementada pela resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011, que classifica os corpos de água e fornece diretrizes para o enquadramento nos padrões de qualidade da água, necessários para seus usos (BRASIL, 2005). Tratando-se da água doce para consumo humano há uma série de parâmetros que precisam ser atendidos, a fim de garantir água de qualidade. A resolução apresenta uma lista de padrões, como parâmetros inorgânicos (*e.g.* arsênio dissolvido, chumbo total, mercúrio total), parâmetros orgânicos (*e.g.* Dicloro-Difenil Tricloroetano (DDT), glifosato e Bifenilas Policloradas (PCB)) e outros parâmetros (*e.g.* sólidos dissolvidos totais) e seus respectivos valores máximos. No entanto, o microplástico, classificado como poluente emergente, conforme destaca Richardson & Kimura (2016), não é listado como padrão de qualidade na resolução supracitada, mesmo diante da magnitude do problema. O MP já foi detectado na água engarrafada (OßMANN *et al.*, 2018; SCHYMANSKI *et al.*, 2018) e água da

torneira (KOSUTH *et al.*, 2018), sem contar diversas outras fontes as quais o ser humano está exposto ao consumo, como mel, leite, refrigerantes e cerveja (DIAZ-BASANTES *et al.*, 2020), estes últimos contaminados também durante o processo produtivo que utiliza água, conforme discutem os autores, circunstância que fundamenta a necessidade de estudos que avaliem a viabilidade da inclusão dos MP em padrões de qualidade.

Com isso, percebeu-se a necessidade de investigar o microplástico como potencial parâmetro a ser incluído como padrão de qualidade da água para consumo humano, uma vez que os estudos demonstram a presença de MP em águas engarrafadas e de torneira, além da ocorrência em água bruta e tratada de Estação de Tratamento de Água (ETA) (PIVOKONSKY *et al.*, 2018) e em mananciais de abastecimento (FERRAZ *et al.*, 2020; BERTOLDI *et al.*, 2021) e o seu potencial risco à saúde humana. Sob outra perspectiva, também não há na legislação brasileira qualquer menção ao MP e sua regulamentação, a exemplo da lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 que versa sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), a principal lei na temática de resíduos sólidos, a qual não cita os microplásticos tampouco sua problemática em nenhum de seus artigos. Portanto, o presente estudo busca investigar a viabilidade do enquadramento de microplásticos em padrões de qualidade da água para consumo humano empregados no Brasil e busca também identificar se há possíveis lacunas em estudos técnico-científicos, em escala mundial, que possam estar dificultando o avanço da discussão sobre a temática.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente estudo foi investigar a viabilidade do enquadramento de microplásticos em padrões de qualidade da água para consumo humano.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Identificar os pré-requisitos disponíveis utilizados para o enquadramento de padrões de qualidade da água;
- II. Analisar se os estudos técnico-científicos elaborados até o momento permitem a inclusão de microplásticos em padrões de qualidade da água;
- III. Avaliar a viabilidade de incluir os microplásticos na Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 como indicador complementar para classificação dos corpos hídricos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Uma pesquisa bibliográfica foi conduzida a partir de artigos indexados nas bases de dados do Scopus, Web of Science e Google Scholar utilizando as palavras-chave a seguir, bem como combinações entre elas e suas respectivas traduções para a língua inglesa: “microplásticos”, “exposição humana”, “saúde humana”, “legislação”, “toxicidade”, “contaminação da água”, “água para consumo humano”, “indicadores de qualidade”, “qualidade da água” e “padrões de qualidade”. Somado a isso, foi utilizada a base de dados de acesso gratuito do projeto *Plastics Policy Inventory* (<https://nicholasinstitute.duke.edu/plastics-policy-inventory>) que hospeda dados sobre políticas públicas voltadas à temática de poluição plástica, desde o ano 2000 até o presente. A presente pesquisa utilizou-se de normativas presentes no arcabouço legal brasileiro como base para responder os objetivos propostos, tais como a lei nº 6.930 de 31 de agosto de 1981 (PNMA), a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, a resolução Nº 357 de 17 de março de 2005, alterada e complementada pela resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011, e a lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 (PNRS). Para fins desta pesquisa, o ano de publicação dos artigos não foi considerado fator excludente. Os documentos, estudos e legislações foram analisadas com base no título, no resumo e nos resultados e discussão que continham as informações de interesse. Além disso, foram investigados os parâmetros empregados pelo CONAMA (*e.g.* estudos toxicológicos) para inclusão de novos indicadores de qualidade da água. A partir da sistematização dessas informações foi elaborado um *checklist* com vistas a avaliar o potencial de inclusão dos MP como parâmetro de qualidade da água. A viabilidade do enquadramento foi avaliada com base no preenchimento do *checklist*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram identificados seis critérios para a regulamentação de padrões de qualidade da água no Brasil. Estes critérios são elaborados com base em normativas internacionais, conforme discutido por Santiago *et al.*, (2017), uma vez que utilizam diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) e possivelmente da *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) que também estabelece normativas em relação à qualidade da água (USEPA, 2023). Para o enquadramento de um contaminante em padrões de qualidade da água, ele deve atender aos seguintes critérios: 1) *Os padrões devem ser estruturados de forma que as alterações nos seus valores específicos ou nos métodos analíticos de contaminantes possam ser feitas facilmente, conforme o desenvolvimento da ciência e da tecnologia ou com a consideração de novos riscos ambientais (SANTIAGO et al., 2017);* 2) *O processo de elaboração dos padrões deve estar fundamentado em conhecimento técnico e científico especializado (SANTIAGO et al., 2017);* 3) *Todos os atores envolvidos na utilização dos recursos naturais devem participar da elaboração de padrões para que esses sejam, de fato, apropriados pela sociedade (SANTIAGO et al., 2017);* 4) *O contaminante pode ter efeitos adversos na saúde humana (USEPA, 2023);* 5) *A ocorrência do contaminante é conhecida ou existe uma probabilidade substancial de que o contaminante ocorra em sistemas públicos de água com frequência e em níveis preocupantes para a saúde pública (USEPA, 2023);* e 6) *No julgamento exclusivo do Administrador, a regulamentação do contaminante apresenta uma oportunidade significativa para redução de riscos à saúde para pessoas atendidas por sistemas públicos de água (USEPA, 2023).* A problemática destes critérios estarem baseados em normativas internacionais está no fato de que provavelmente não estão adequados à realidade do país em questão, podendo manifestar limitações inadequadas, conforme discute Santiago *et al.*, (2017). A seguir, cada um dos seis critérios será apresentado e discutido individualmente.

4.1 CRITÉRIOS PARA REGULAMENTAÇÃO DE PADRÕES DE QUALIDADE

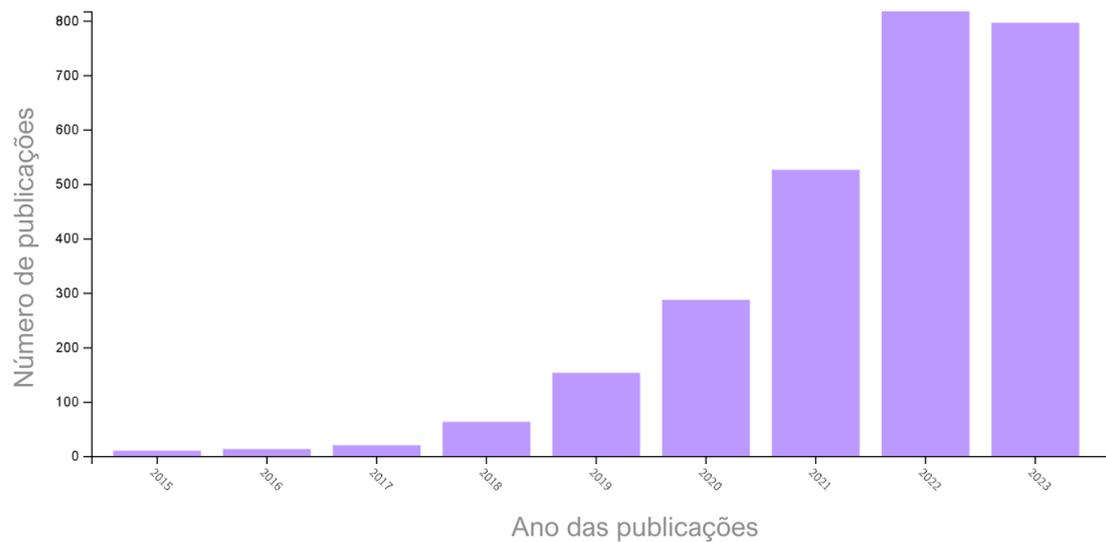
Critério 1. Os padrões devem ser estruturados de forma que as alterações nos seus valores específicos ou nos métodos analíticos de contaminantes possam ser feitas facilmente, conforme o desenvolvimento da ciência e da tecnologia ou com a consideração de novos riscos ambientais

Conforme o desenvolvimento da ciência e da tecnologia ou em decorrência da descoberta de novos efeitos deletérios ocasionados pelos MP os métodos analíticos e valores específicos podem ser alterados, caso necessário, de modo que o MP pode ser enquadrado neste critério, principalmente pelo fato de que estudos na temática vem evoluindo e se demonstrando promissores. A evolução em pesquisas na temática de microplásticos têm sido constantes, de modo que os riscos associados ao MP já foram detalhadamente descritos em diferentes estudos, como em diferentes compartimentos (FERNANDINO *et al.*, 2015; PEEKEN *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2020; ZENG *et al.*, 2023), com diferentes riscos (CHANG *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2023; PARK *et al.*, 2023). Sendo assim, a ciência tem acompanhado e colaborado com o desenvolvimento de pesquisas na temática, evidenciando progresso na área em relação a compreensão dos potenciais efeitos deletérios por meio de uma abordagem analítica, com estudos que relatam a presença e os impactos dos MP, com uma análise em diferentes níveis de concentração, variadas composições poliméricas e distintas frações de tamanho. Desse modo, especialistas no assunto podem ser consultados para propor limites seguros aceitáveis em água para consumo humano, por meio de um conselho consultivo, colaborando com a Câmara Técnica de Qualidade Ambiental (CTQA), que atua em diferentes áreas, dentre elas a qualidade da água. Entre as competências desta câmara está desenvolver e discutir em primeira instância padrões, normas e critérios dentro da temática, conforme dispõe no Regimento Interno do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (CONAMA, 2022).

Critério 2. O processo de elaboração dos padrões deve estar fundamentado em conhecimento técnico e científico especializado

Os estudos sobre MP associados à saúde humana vêm num crescente desde o ano de 2015 até o ano de 2022 (Figura 1), demonstrando grande interesse científico na temática, conforme o gráfico disponibilizado na Web of Science (2024). A revisão de Chang *et al.*, (2019) reúne evidências científicas desde o ano de 2012 até o ano de 2019. Os autores revisaram ao menos 15 documentos, os quais tratam apenas do potencial tóxico dos MP na saúde humana a partir de organismos modelo, demonstrando efeitos observados como toxicidade gastrointestinal, toxicidade hepática, neurotoxicidade e toxicidade reprodutiva. No presente trabalho, foram reunidos 17 estudos realizados em laboratório, utilizando diferentes concentrações e tamanhos de MP, trazendo um panorama dos efeitos adversos causados pela exposição em diversas condições.

Figura 1 - Número de publicações na temática de MP relacionadas à saúde humana ao longo do tempo demonstrando aumento do interesse científico pelo assunto.



Fonte: Modificado de Web of Science, 2024 (site)

Portanto, este critério é amplamente atendido, tendo em vista que há uma gama de estudos na temática de MP e saúde humana sendo desenvolvidos ao longo do tempo, o que demonstra que há uma base de conhecimento sólida para a elaboração de padrões quanto aos MP. Nesse contexto, o desafio é a consolidação destes estudos pelos órgãos responsáveis e a condução de uma análise minuciosa das informações, para que se tenha um panorama geral dos riscos do MP para saúde humana. Além disso, é crucial realizar uma análise em relação à qualidade das evidências obtidas por meio de experimentos *in vivo*, bem como o potencial e a viabilidade de transpor esses resultados para o contexto da saúde humana. Somente assim será possível estabelecer níveis seguros de ingestão de MP de forma adequada. É essencial também avaliar e fundamentar-se em estudos que utilizam concentrações próximas às encontradas no ambiente, a fim de evitar estudos tendenciosos ou enviesados.

Critério 3. Todos os atores envolvidos na utilização dos recursos naturais devem participar da elaboração de padrões para que esses sejam, de fato, apropriados pela sociedade

A Constituição Federal de 1988 prevê em seu art.193, parágrafo único, a participação da sociedade em diferentes processos no planejamento de políticas sociais, desde a formulação, monitoramento e controle, em conjunto com o Estado. A participação dos diferentes atores

envolvidos na formulação de políticas públicas é essencial, em especial a participação da sociedade, esta diretamente afetada pelas decisões tomadas, uma vez que vive a realidade do ambiente a ser transformado (GASPARDO *et al.*, 2020). Um estudo de Scrich *et al.*, (2024) realizou uma Análise de Atores, pioneiro no Brasil no monitoramento de lixo no mar, a fim de levantar o poder e interesse dos atores envolvidos (*stakeholders*), de modo a avaliar o papel de cada um e assim potencializar sua participação. O resultado demonstra a potencialidade da participação dos diferentes atores (*e.g.* setor privado, poder público) e a necessidade de se adaptar a diferentes estratégias para aumentar a adesão e participação dos múltiplos setores. Com isso, percebe-se a necessidade de adequar as estratégias ao tipo de público com quem se deseja comunicar, desde o método de divulgação das informações, até o formato dos encontros, por exemplo. Um bom exemplo em relação à participação social é a Agenda 2030 e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que guiam o planejamento de políticas públicas a nível internacional, incluindo o Brasil, e que propiciam o desenvolvimento sustentável. Dentre os eixos está a necessidade da participação cidadã no processo (GASPARDO *et al.*, 2020), pois vê a necessidade da apropriação da população envolvida como essencial para a elaboração de políticas adequadas ao contexto em que estão inseridas. Outro bom exemplo é o Projeto Orla, que prevê e incentiva a participação social na elaboração e implementação de políticas de planejamento costeiro, assim como a participação dos diferentes atores (*e.g.* setor privado, sociedade civil organizada, prefeituras, ONGs) (MANUAL DO PROJETO ORLA, 2022). Nesse sentido, a sociedade fornece informações importantes e colabora diretamente com a construção de políticas adequadas durante todo o processo. Os comitês de Bacia hidrográfica também desempenham um papel fundamental na gestão participativa, espaço no qual os representantes colaboram ativamente na administração dos diversos usos das águas das bacias, de modo que a gestão desse recurso é compartilhada entre as esferas governamentais e a sociedade (Agência Nacional de Águas, 2023). Sendo assim, o Brasil tem bons exemplos de políticas que fomentam a integração entre a sociedade e os gestores públicos, especialmente, para que sejam elaboradas políticas públicas que atendam às necessidades, mas também adequadas à realidade. Deste modo, o enquadramento do MP neste critério é viável, uma vez que é possível, necessária e assegurada na Constituição Federal a participação da sociedade em diferentes etapas de elaboração de uma política pública. A participação dos diferentes atores também é indispensável, pois favorece a ampla e completa compreensão da realidade e favorece o desenvolvimento de políticas que atendam as demandas de modo equilibrado e justo a todas as partes interessadas, desde a sociedade civil até o setor privado. No entanto, é necessário ampliar o incentivo à participação, em especial, da sociedade, nestes locais de discussão para

que cada vez mais se tenha uma visão holística do planejamento público. O CONAMA, por exemplo, realiza reuniões de acesso público, com a disponibilização das atas e documentos da reunião de modo eletrônico no site do CONAMA, permitindo a participação da sociedade nestes espaços de decisão (CONAMA, 2024). No entanto, o principal desafio nesse quesito é chamar atenção da sociedade para a importância da participação efetiva e contínua dessas atividades.

Critério 4. O contaminante pode ter efeitos adversos na saúde humana

Foram encontrados 17 estudos que demonstram a presença de MP em seres humanos e os potenciais impactos dos microplásticos a partir de organismos modelo. Destes 17 estudos, seis relatam apenas a ocorrência de MP em seres humanos (*e.g.* RAGUSA *et al.*, 2021; WIBOWO *et al.*, 2021; RAGUSA *et al.*, 2022) e 11 estudos relatam os efeitos observados a partir da exposição aos MP a partir de organismos modelo (*e.g.* mexilhão) (*e.g.* DENG *et al.*, 2017; ZENG *et al.*, 2023; LI *et al.*, 2023). Dentre os efeitos observados para a saúde foram identificadas alterações fisiológicas e morfológicas nos organismos, alterações estas que causam efeitos adversos com potencial risco à saúde humana. Acúmulo em órgãos, citotoxicidade, toxicidade reprodutiva, toxicidade gastrointestinal e neurotoxicidade são alguns dos efeitos observados que foram identificados neste estudo (Tabela 1). Além dos efeitos observados na tabela acima, nota-se a ampla gama de tamanhos, concentrações, composição polimérica, tipologia dos MP e variedades de organismos, incluindo relatos de detecção em humanos, demonstrando condições já conhecidas passíveis de causar efeitos adversos. Nesse contexto, esse critério é atendido, uma vez que os estudos apontam que há riscos associados, embora seja imprescindível conduzir mais análises voltadas à saúde humana. Até o momento as abordagens se concentram na exposição aguda ao MP, refletindo as consequências a curto prazo. No entanto, investigações sobre a exposição crônica podem fornecer dados mais coerentes com a realidade. O desafio está na ausência de uma sistematização das informações relativas ao MP, tornando-se outro complicador, uma vez que não há padronização na metodologia e na caracterização dos mesmos, gerando dados de difícil comparação até o momento.

Tabela 1 - Potenciais efeitos dos MP observados em seres humanos a partir de organismos modelo, com diferentes composições poliméricas, concentrações e tamanhos.

Organismo	Concentração	Efeito observado	Tamanho	Categoria	Tipologia	Polímero	Autor
Camundongo	0,01 mg/dia 0,1 mg/dia 0,5 mg/dia	Acúmulo no rim, fígado e intestino	5 µm e 20 µm	-	-	Poliestireno	Deng <i>et al.</i> , 2017
Sapo	60mg/L	Citotoxicidade, mutagenicidade, alteração morfológica	35,46 ±18,17µm (média)	-	-	Polietileno	Araújo <i>et al.</i> , 2020
Cultura de células	1, 5, 25, 75 e 125 µg/mL	Citotoxicidade, dano oxidativo	20, 60, 100, 500 e 1.000 nm	Primário	Microesferas	Poliestireno	Li <i>et al.</i> , 2023
Camundongos	0,10 mg/kg	Alteração da microbiota intestinal e provocou toxicidade hepática, alteração no metabolismo lipídico	6 a 12 µm	Secundário	Fragmentos	Policarbonato	Li <i>et al.</i> , 2023
Cultura de células	1,6 mg/ml	Alteração no padrão de determinados genes e progressão do câncer de mama	16,4 µm	Secundário	Fragmentos	Polipropileno	Park <i>et al.</i> , 2023
Amostras de leite	-	Estudo observacional (somente quantificação)	2 a 12 µm	Primário e Secundário	Fragmentos e microesferas	Polietileno, Policloreto de vinila e Polipropileno	Ragusa <i>et al.</i> , 2022
Amostra de fezes	6,94 µg/g a 16,55 µg/g	Estudo observacional (somente quantificação)	-	-	-	Polipropileno, Polietileno de alta densidade, Poliestireno e Polietileno	Wibowo <i>et al.</i> , 2021
Amostra de urina	-	Estudo observacional (somente quantificação)	4–15 µm	Primário e Secundário	Fragmentos e microesferas	Polietileno vinil acetato, Policloreto de vinila, Polipropileno e Polipropileno	Pironti <i>et al.</i> , 2022
Amostra de placenta	-	Estudo observacional (somente quantificação)	5 a 10 µm	Secundário	Fragmentos	Polipropileno	Ragusa <i>et al.</i> , 2021

Organismo	Concentração	Efeito observado	Tamanho	Categoria	Tipologia	Polímero	Autor
Amostra de sangue	1,6 µg/ml (média)	Estudo observacional (somente quantificação)	5–8 µm	Primário e Secundário	Fragmentos e microesferas	Politereftalato de etileno , polietileno, polímeros de estireno e polimetilmetacrilato	Leslie <i>et al.</i> , 2022
Amostra de tecido	-	Estudo observacional (somente quantificação)	20 a 469 µm	-	-	-	Yang <i>et al.</i> , 2023
Mexilhão	~1 partícula mL ⁻¹ ou 25 µg L ⁻¹	Redução na produção de fios de bisso e tenacidade	65,6 µm a 102,6 µm (média)	Primário e Secundário	Fragmentos e microesferas	Ácido polilático e polietileno de alta densidade	Green <i>et al.</i> , 2019
Água-viva	1 × 10 ⁴ partículas mL ⁻¹	Redução na reprodução assexuada	1–6 µm	Primário	Microesferas	Poliestireno	Eom <i>et al.</i> , 2022
Camarão	0,02 a 1 mg L ⁻¹	Acúmulo em órgãos, Inibição do crescimento, comportamento nadador anormal e redução do desempenho natatório	2 µm	Primário	Microesferas	Poliestireno	Zeng <i>et al.</i> , 2023
Diversos*	-	Toxicidade gastrointestinal, toxicidade hepática, neurotoxicidade, toxicidade reprodutiva	-	-	-	-	Chang <i>et al.</i> , 2019
Camundongo	0,5–50 mg/kg	Ultrapassar barreira hematoencefálica, degeneração neuronal (neurotoxicidade)	42 nm (média)	Secundário	Nanopartícula	Poliestireno	Shan <i>et al.</i> , 2022
Peixe-zebra	0,1, 1 e 10 ppm	Acúmulo no saco vitelino, redução da frequência cardíaca, hipoatividade natatória	51 nm (média)	Secundário	Nanopartícula	Poliestireno	Pitt <i>et al.</i> , 2018

* O estudo em questão é uma revisão da literatura, por isso abrange diversos organismos, com diferentes concentrações e composições em relação ao MP.

Critério 5. A ocorrência do contaminante é conhecida ou existe uma probabilidade substancial de que o contaminante ocorra em sistemas públicos de água com frequência e em níveis preocupantes para a saúde pública

A ocorrência de MP na água foi documentada em água bruta e tratada de Estação de Tratamento de Água (ETA) (PIVOKONSKY *et al.*, 2018), em mananciais de abastecimento (FERRAZ *et al.*, 2020; BERTOLDI *et al.*, 2021), em água engarrafada (OßMANN *et al.*, 2018; SCHYMANSKI *et al.*, 2018) e em água da torneira (KOSUTH *et al.*, 2018). Apesar das Estações de Tratamento de Águas Residuais urbanas (ETARs) possuírem altas taxas de remoção de MP, com valor de 84,6% (ZHANG *et al.*, 2023), a eficiência de remoção depende da tecnologia utilizada e ainda assim parte do MP retorna ao ambiente (YUAN *et al.*, 2021). O problema da entrada de água proveniente de ETARs contendo quantidade significativa de MP está no volume, uma vez que se trata da entrada volumosa de água repleta MP no ambiente. Sendo assim, conforme discute Kay *et al.* (2018), as Estações de Tratamento de Água (ETAs) atuam como fonte de MP para as bacias hidrográficas, elevando a quantidade de MP presentes em rios. Nesse contexto, conforme observado neste estudo, há contaminação de fontes de água, evidenciando que há potenciais riscos à saúde humana, uma vez que a água é um recurso indispensável à vida e essencial à qualidade de vida, necessitando, portanto, de medidas que garantam a qualidade deste recurso a longo prazo. Deste modo, mesmo que algumas tecnologias sejam capazes de reduzir a quantidade de MP vale ressaltar que é necessário a regulamentação quanto a limites máximos tolerados, uma vez que os danos à saúde já são evidenciados em estudos (SARKAR *et al.*, 2021). Sendo assim, o MP atende parcialmente a este critério, uma vez que está presente na água destinada ao consumo humano e conseqüentemente disponível para consumo durante a ingestão de água. No entanto, não é possível inferir que o MP está em níveis preocupantes, tendo em vista que não há valores mínimos e máximos estabelecidos para este poluente, considerando que não há regulamentação alguma neste sentido. Porém, mesmo com a ausência de valores seguros regulamentados, seguindo o princípio da precaução, mencionado na Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 (SENADO FEDERAL, 2017) e explicitado também na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010) é fundamental que, com o risco latente, a possibilidade de ocorrência de danos à saúde, neste caso, e obviamente ao ecossistema como um todo, sejam tomadas as medidas cabíveis a fim de reduzir os impactos, não sendo a ausência de certeza científica uma justificativa para a ausência de medidas. Sendo assim, o desafio associado a este critério está no monitoramento dos corpos hídricos, pois o monitoramento permite um banco

de dados consistente e permite um acompanhamento a longo prazo, mas conforme constatado por Santiago et al., (2017) os dados de monitoramento de qualidade da água são dispersos no Brasil, o que prejudica o desenvolvimento de ações. Considerando um cenário em que o MP é regulamentado na água disponível para o consumo humano e seus níveis excedam os limites estabelecidos em determinado corpo hídrico, ocorria a alteração da classificação desse sistema, resultando na não conformidade com a categoria que permitiria que esta água fosse consumida. Contudo, compete às companhias de abastecimento de água, bem como órgãos estaduais, a responsabilidade de realizar o monitoramento da qualidade de água fornecida aos consumidores.

Critério 6. No julgamento exclusivo do Administrador, a regulamentação do contaminante apresenta uma oportunidade significativa para redução de riscos à saúde para pessoas atendidas por sistemas públicos de água

O resultado combinado dos estudos relacionados à presença de MP na água (PIVOKONSKY *et al.*, 2018; OßMANN *et al.*, 2018; SCHYMANSKI *et al.*, 2018; KOSUTH *et al.*, 2018; FERRAZ *et al.*, 2020; BERTOLDI *et al.*, 2021) e os resultados relacionados aos potenciais efeitos adversos à saúde humana (DENG *et al.*, 2017; PITT *et al.*, 2018; CHANG *et al.*, 2019; GREEN *et al.*, 2019; DA COSTA ARAÚJO *et al.*, 2020; WIBOWO *et al.*, 2021; RAGUSA *et al.*, 2021; SHAN *et al.*, 2022; RAGUSA *et al.*, 2022; PIRONTI *et al.*, 2022; EOM *et al.*, 2022; LESLIE *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2023; ZENG *et al.*, 2023; YANG *et al.*, 2023; LI *et al.*, 2023; PARK *et al.*, 2023) apontam que a ingestão de água pode estar influenciando no consumo diário de MP e consequentemente trazendo potenciais riscos à saúde humana. Dessa forma, a redução de MP na água disponível para consumo, através do enquadramento dos MP em padrões de qualidade, proporcionaria benefícios à saúde, qualidade de vida e bem-estar aos consumidores, podendo reduzir potenciais danos à saúde humana, e por isso, o MP atende a este critério e uma regulação quanto aos limites aceitáveis deve ser definida, combinada com o estímulo ou obrigatoriedade de aplicação de tecnologias que removam essas partículas durante o tratamento da água.

A tabela abaixo (Tabela 2) detalha os critérios, os status e as justificativas utilizados que possibilitaram o enquadramento dos MP nos padrões de qualidade da água:

Tabela 2 - Checklist dos critérios necessários para a regulamentação de padrões de qualidade da água.

Critérios para regulamentação de padrões de qualidade da água			
Critério	Status	Justificativa	Fonte
1	Verde	+ Ciência utiliza abordagem analítica; + Valores podem ser alterados com auxílio da ciência e da tecnologia;	Santiago <i>et al.</i> , 2017
2	Verde	+ Há estudos que demonstram a evolução das pesquisas na temática;	Santiago <i>et al.</i> , 2017
3	Verde	+ Existem bons exemplos da participação dos atores em espaços de decisão;	Santiago <i>et al.</i> , 2017
4	Verde	+ Estudos revelam potenciais riscos do MP na saúde humana;	USEPA, 2023
5	Amarelo	+ MP ocorre em sistemas públicos de água; - Não há monitoramento do MP em corpos hídricos;	USEPA, 2023
6	Verde	+ A regulamentação pode fornecer água com mais qualidade; + MP presente na água de consumo pode estar influenciando na quantidade de MP ingerido.	USEPA, 2023

Fonte: Autora (2024).

Nota - Critério 1: Os padrões devem ser estruturados de forma que as alterações nos seus valores específicos ou nos métodos analíticos de contaminantes possam ser feitas facilmente, conforme o desenvolvimento da ciência e da tecnologia ou com a consideração de novos riscos ambientais; **Critério 2:** O processo de elaboração dos padrões deve estar fundamentado em conhecimento técnico e científico especializado; **Critério 3:** Todos os atores envolvidos na utilização dos recursos naturais devem participar da elaboração de padrões para que esses sejam, de fato, apropriados pela sociedade; **Critério 4:** O contaminante pode ter efeitos adversos na saúde humana; **Critério 5:** A ocorrência do contaminante é conhecida ou existe uma probabilidade substancial de que o contaminante ocorra em sistemas públicos de água com frequência e em níveis preocupantes para a saúde pública; **Critério 6:** No julgamento exclusivo do Administrador, a regulamentação do contaminante apresenta uma oportunidade significativa para redução de riscos à saúde para pessoas atendidas por sistemas públicos de água. **Símbolos:** (+) favorece a regulamentação do MP; (-) dificulta a regulamentação do MP. **Código de cores:** Verde (Atendido); Amarelo (Parcialmente atendido);

4.2 AÇÕES REGULATÓRIAS EM DISCUSSÃO

Foram encontradas apenas duas legislações referentes à regulamentação do MP em água potável, uma delas no estado da Califórnia (EUA). O projeto de lei busca definir diretrizes para o estabelecimento de limites seguros de MP na água potável e busca definir uma abordagem metodológica padronizada para realização de testes e o monitoramento, com intuito de chegar a um valor preliminar seguro para o consumo humano (CALIFÓRNIA, 2018). A outra regulamentação é uma iniciativa da União Europeia, por meio de uma diretiva elaborada em 2020, que busca o monitoramento de MP e outros poluentes emergentes e prevê a apresentação

de um relatório sobre os potenciais riscos dos MP em águas disponíveis para consumo humano até 2029 (UNIÃO EUROPEIA, 2020). Ambas as legislações demonstram um interesse inicial dos governos em elaborar medidas regulatórias em relação ao MP, tendo em vista que a maioria das medidas regulatórias já existentes ainda se restringem a produtos plásticos específicos e o MP é pouco discutido neste âmbito (KARASIK *et al.*, 2023), se limitando apenas à proibição de microesferas em produtos de beleza e higiene. Nesse sentido, o Estado do Rio de Janeiro aprovou a lei nº 8090 de 30 de agosto de 2018, tornando-se o primeiro a aprovar uma lei na temática no Brasil. A legislação estadual proíbe fabricação, distribuição, comercialização e venda de produtos de higiene e beleza que contenham na composição microesferas plásticas, incluindo multa e interrupção das atividades em caso de descumprimento da lei (RIO DE JANEIRO, 2018).

O *Science Advisory Board* (SAB), o Conselho Consultivo Científico da USEPA, emitiu um relatório em 2022 que revisou a 5ª lista de candidatos a contaminante da USEPA, na qual faz algumas recomendações, dentre as quais sugere que o MP seja incluído na próxima lista como um poluente químico a ser considerado, devido a capacidade de adsorver compostos orgânicos (USEPA, 2022). No entanto, é necessário que o MP como poluente físico seja contemplado também em próximas ações, tendo em vista os possíveis efeitos deletérios já observados.

No Brasil a discussão sobre a regulamentação do plástico ainda se limita apenas à regulamentação de produtos plásticos específicos, como os canudos e sacolas plásticas, que possuem legislação específica nas capitais de 24 estados brasileiros (BUZO & TECCO, 2020), e não há evidências, pelo menos de acesso público, sobre estudos sendo feitos a respeito da regulamentação do MP, em especial o MP presente na água para consumo humano. No entanto é urgente que medidas regulatórias na temática sejam pautadas pelos diferentes atores, em especial por gestores públicos, na tentativa de atenuar os efeitos deletérios a curto e longo prazo, uma vez que somente assim será possível salvaguardar a saúde humana e a qualidade ambiental.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou a viabilidade do MP ser enquadrado como um parâmetro de qualidade da água complementar à Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, alterada e complementada pela resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011, tendo em vista que dos seis critérios identificados para o *checklist*, considerados como necessários para a regulamentação de padrões de qualidade, cinco foram considerados atendidos e um foi considerado parcialmente atendido pelo MP. Os potenciais riscos causados pela interação do MP com os seres humanos vêm sendo estudados nas duas últimas décadas, porém a comunidade científica chama a atenção para a necessidade de mais trabalhos para que seja possível afirmar com segurança os reais impactos. Estudos que avaliem os efeitos da exposição crônica e a aplicação de protocolos consistentes permitirão uma análise mais precisa dos potenciais efeitos, permitindo a elaboração de procedimentos adequados. Cabe também às agências reguladoras brasileiras reunir as informações já existentes dentro desta temática e iniciar pesquisas com o objetivo de estabelecer limites aceitáveis e seguros de MP disponíveis na água potável consumida por seres humanos, mesmo que estes sejam limites preliminares.

Nesse sentido, destaca-se a carência de estudos abordando a exposição crônica ao MP como a principal lacuna a ser preenchida em pesquisas futuras e os desafios associados ao estabelecimento de medidas regulatórias identificados foram: 1) compilar as informações disponíveis; 2) padronizar as metodologia de análise dos efeitos da exposição ao MP, bem como da caracterização destas partículas na água e em amostras animais; 3) sensibilizar a sociedade para a problemática dos MP e seus possíveis efeitos adversos à saúde e atrair a atenção para a relevância da participação na gestão pública; e 4) aumentar a efetividade na rede monitoramento dos corpos hídricos.

Mesmo que os estudos relacionados aos potenciais riscos à saúde humana não sejam conclusivos, sendo difícil afirmar com certeza os reais riscos, os potenciais danos demonstrados em estudos apontam a necessidade de ação imediata, uma vez que a ausência da certeza científica não justifica a ausência de tomada de medidas a fim de reduzir os impactos, conforme o princípio da precaução, presente na legislação brasileira. Portanto, torna-se imperativo que medidas acerca de regulamentações no espectro desta questão sejam tomadas, como uma tentativa de abrandar os riscos associados à exposição ao MP. Além disso, é essencial uma gestão adequada dos resíduos sólidos para combater as fontes de MP para o ambiente, bem como promover e implementar medidas mitigadoras destinadas a abordar a problemática.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Comitês de Bacia Hidrográfica**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/comites-de-bacia-hidrografica>. Acesso em: 19 fev. 2024.

BEAUMONT *et al.* **Global ecological, social and economic impacts of marine plastic**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 142, p. 189-195, mar. 2019.

BENJAMIN, A. H. D. V. E. **Introdução ao Direito Ambiental Brasileiro**. Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito – PPGDir./UFRGS, v. 2, n. 5, 15 ago. 2014.

BERTOLDI, C. *et al.* **First evidence of microplastic contamination in the freshwater of Lake Guaíba, Porto Alegre, Brazil**. *Science of The Total Environment*, v. 759, p. 143503, mar. 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 20 jun. 2023.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm. Acesso em: 03 ago. 2023.

BRASIL. Lei no 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 12 ago. 2023.

BRASIL. Lei no 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 03 ago. 2023.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_200

5_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 27 jun. 2023.

BRAUN, T. *et al.* **Detection of Microplastic in Human Placenta and Meconium in a Clinical Setting.** *Pharmaceutics*, v. 13, n. 7, p. 921, 22 jun. 2021.

BROWNE, M. A.; GALLOWAY, T.; THOMPSON, R. **Microplastic-an emerging contaminant of potential concern?:** *Learned Discourses. Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 3, n. 4, p. 559–561, out. 2007.

BUZO, M. G.; TECCO, V. DE S. **Levantamento de legislações proibitivas para o consumo de plásticos descartáveis nas capitais dos estados brasileiros.** n. 12, 2020.

CALIFORNIA, EUA. **SB-1422, de 30/08/2018. Texto do Projeto de Lei.** Leginfo. Disponível em: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201720180SB1422. Acesso em: 10 Jan. 2024.

CAMPANALE *et al.* **A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 4, p. 1212, 13 fev. 2020.

CHANG, X. *et al.* **Potential health impact of environmental micro- and nanoplastics pollution.** *Journal of Applied Toxicology*, V. 40, 4-15. 2019.

CHARLTON-HOWARD, H. S. *et al.* **‘Plasticosis’: Characterising macro- and microplastic-associated fibrosis in seabird tissues.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 450, p. 131090, maio 2023.

CONAMA. **Resolução nº 823 de 06/08/2022.** Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), 2022. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=823. Acesso em: 05 Jan. 2024.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Site do CONAMA.** Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 14 Jan. 2024.

DA COSTA ARAÚJO, A. P. *et al.* **How much are microplastics harmful to the health of amphibians? A study with pristine polyethylene microplastics and *Physalaemus cuvieri*.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 382, p. 121066, jan. 2020.

DENG, Y. *et al.* **Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure.** *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 46687, 24 abr. 2017.

DIAZ-BASANTES, M. F.; CONESA, J. A.; FULLANA, A. **Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants.** *Sustainability*, v. 12, n. 14, p. 5514, 8 jul. 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **EPA-SAB-22-007, 2022.** United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-10/EPA-SAB-22-007.pdf>. Acesso em: 17 Jan. 2024.

EOM, H.-J. *et al.* **Effects of extremely high concentrations of polystyrene microplastics on asexual reproduction and nematocyst discharge in the jellyfish *Sanderia malayensis*.** *Science of The Total Environment*, v. 807, p. 150988, fev. 2022.

FERNANDINO, G. *et al.* **Plastics fragments as a major component of marine litter: A case study in Salvador, Bahia, Brazil.** *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v.16. 2015.

FERRAZ, M. *et al.* **Microplastic Concentrations in Raw and Drinking Water in the Sinos River, Southern Brazil.** *Water*, v. 12, n. 11, p. 3115, 6 nov. 2020.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. European Union, 2020. **Overview of the EU Water Framework Directive.** Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/eur201243.pdf>. Acesso em: 20 Dez. 2023.

FRIAS, J. P. G. L.; NASH, R. **Microplastics: Finding a consensus on the definition.** *Marine Pollution Bulletin*, v. 138, p. 145–147, jan. 2019.

GASPARDO, Murilo; OLIVEIRA, Adolpho Raphael Silva Mariano de; PAIVA, Cláudio Cesar de. **Guia de Introdução à Participação Cidadã.** [S. l.]: Cidades Sustentáveis, 2020. Disponível em: https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/participacao-cidada/Guia-deintroducao-a-participacao-cidada_final.pdf. Acesso em: 08 Jan. 2024.

GESAMP. **Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment.** Organização Marítima Internacional/Food and Agriculture Organization of the United Nations/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/Intergovernmental Oceanographic Commission/United Nations Industrial Development Organization/World Meteorological Organization/International Atomic Energy

Agency/United Nations/United Nations Environment Programme/United Nations Development Programme Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Edited by Kershaw, P. J. Rep. Stud. GESAMP N. 90, 96p. 2015.

GEYER, J. R. *et al.* **Production, use, and fate of all plastics ever made.** Science advances, v. 03, p. 7. 2017.

GREEN, D. S. *et al.* **Exposure to microplastics reduces attachment strength and alters the haemolymph proteome of blue mussels (*Mytilus edulis*).** Environmental Pollution, v. 246, p. 423–434, mar. 2019.

HAHLADAKIS, J. N. *et al.* **An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling.** Journal of Hazardous Materials, v. 344, p. 179–199, fev. 2018

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatório de Qualidade do Meio Ambiente (RQMA) Brasil 2020.** Coordenação: Hanry Alves Coelho, Andrea Alimandro Corrêa. Brasília, DF: IBAMA, 2022. 29 p. [recurso eletrônico].

JAMBECK, J. R. *et al.* **Plastic waste inputs from land into the ocean.** Science, v. 347, ed. 6223, p. 768-771. 2015.

KARASIK, R., T. *et al.* **2023 Annual Trends in Plastics Policy: A Brief.** NI R 23-04. Durham, NC: Duke University. 2023. [recurso eletrônico]

KAY, P. *et al.* **Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments.** Environmental Science and Pollution Research, v. 25, n. 20, p. 20264–20267, jul. 2018.

KOSUTH, M.; MASON, S. A.; WATTENBERG, E. V. **Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt.** PLOS ONE, v. 13, n. 4, p. e0194970, 11 abr. 2018.

LESLIE, H. A. *et al.* **Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood.** Environment International, v. 163, p. 107199, maio 2022.

LI, J. *et al.* **Co-exposure of polycarbonate microplastics aggravated the toxic effects of imidacloprid on the liver and gut microbiota in mice.** Environmental Toxicology and Pharmacology, v. 101, p. 104194, ago. 2023.

LI, Y. *et al.* **Toxicity of polystyrene nanoplastics to human embryonic kidney cells and human normal liver cells: Effect of particle size and Pb²⁺ enrichment.** *Chemosphere*, v. 328, p. 138545, jul. 2023.

MANUAL PROJETO ORLA. Ministério da Economia. Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União – Brasília: Ministério da Economia. 2022. 324p.

MARTINS SANTOS, P.; LORETO, M. D. D. S. **Política Nacional do Meio Ambiente brasileira: uma análise à luz do ciclo de políticas públicas.** *Oikos: Família e Sociedade em Debate*, v. 30, n. 2, p. 211–236, 31 dez. 2019.

OßMANN, B. E. *et al.* **Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water.** *Water Research*, v. 141, p. 307–316, set. 2018.

PARK, J. H. *et al.* **Polypropylene microplastics promote metastatic features in human breast cancer.** *Scientific Reports*, v. 13, n. 1, p. 6252, 17 abr. 2023.

PEEKEN, I. *et al.* **Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic.** *Nature Communications*, v. 9, n. 1, p. 1505, 24 abr. 2018.

PIRONTI, C. *et al.* **First Evidence of Microplastics in Human Urine, a Preliminary Study of Intake in the Human Body.** *Toxics*, v. 11, n. 1, p. 40, 30 dez. 2022.

PITT, J. A. *et al.* **Uptake, tissue distribution, and toxicity of polystyrene nanoparticles in developing zebrafish (*Danio rerio*).** *Aquatic Toxicology*, v. 194, p. 185–194, jan. 2018.

PIVOKONSKY, M. *et al.* **Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water.** *Science of The Total Environment*, v. 643, p. 1644–1651, dez. 2018.

PIVOKONSKÝ, M. *et al.* **Occurrence and fate of microplastics at two different drinking water treatment plants within a river catchment.** *Science of The Total Environment*, v. 741, p. 140236, nov. 2020.

PRATA, J. C. *et al.* **Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects.** *Science of The Total Environment*, v. 702, p. 134455, fev. 2020.

RAGUSA, A. *et al.* **Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta.** *Environment International*, v. 146, p. 106274, jan. 2021.

RAGUSA, A. *et al.* **Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk.** *Polymers*, v. 14, n. 13, p. 2700, 30 jun. 2022.

RICHARDSON, S. D.; KIMURA, S. Y. **Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues**. *Analytical Chemistry*, v. 88, n. 1, p. 546–582, 5 jan. 2016.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 8090, de 30/08/2018**. Jusbrasil. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/legislacao/620825134/lei-8090-18-rio-de-janeiro-rj>. Acesso em: 10 Jan. 2024.

ROCHMAN, C. M. **Microplastics research - from sink to source**. *Science*, v. 360, ed. 6384, p. 28-29. 2018.

SANTIAGO, T. O. M. *et al.* **A eficácia do estabelecimento de padrões de qualidade ambiental**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 5, n. 2, p. 85, 16 nov. 2016.

SARKAR, D. J. *et al.* **Microplastics removal efficiency of drinking water treatment plant with pulse clarifier**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 413, p. 125347, jul. 2021.

SCRICH, V. M. *et al.* **Stakeholder Analysis as a strategic tool in framing collaborative governance arenas for marine litter monitoring**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 198, p. 115799, jan. 2024.

SCHYMANSKI, D. *et al.* **Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water**. *Water Research*, v. 129, p. 154–162, fev. 2018.

SENADO FEDERAL. **Debates 25 anos Rio 92**. Brasília: Senado Federal, 2017.

SHAN, S. *et al.* **Polystyrene nanoplastics penetrate across the blood-brain barrier and induce activation of microglia in the brain of mice**. *Chemosphere*, v. 298, p. 134261, jul. 2022.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **What criteria does EPA consider to make a regulatory determination?** 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/ccl/basic-information-ccl-and-regulatory-determination>. Acesso em: 15 set. 2023.

URBINA, M. A. *et al.* **Slow and steady hurts the crab: Effects of chronic and acute microplastic exposures on a filter feeder crab**. *Science of The Total Environment*, v. 857, p. 159135, jan. 2023.

WEB OF SCIENCE. **Plataforma de pesquisa acadêmica**. Disponível em: <https://www.webofscience.com/>. Acesso em: 02 jan. 2024.

WIBOWO, A. T. *et al.* **Microplastic Contamination in the Human Gastrointestinal Tract and Daily Consumables Associated with an Indonesian Farming Community.** Sustainability, v. 13, n. 22, p. 12840, 19 nov. 2021.

YANG, Y. *et al.* **Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery.** Environmental Science & Technology, v. 57, n. 30, p. 10911–10918, 1 ago. 2023.

YUAN, F. *et al.* **Abundance, morphology, and removal efficiency of microplastics in two wastewater treatment plants in Nanjing, China.** Environmental Science and Pollution Research, v. 28, n. 8, p. 9327–9337, fev. 2021.

ZENG, Y. *et al.* **Tissue accumulation of polystyrene microplastics causes oxidative stress, hepatopancreatic injury and metabolome alterations in *Litopenaeus vannamei*.** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 256, p. 114871, mai. 2023.

ZHANG, Y. *et al.* **Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives.** Earth-Science Reviews, v. 203, p. 103118, abr. 2020.

ZHANG, B. *et al.* **Distribution and removal mechanism of microplastics in urban wastewater plants systems via different processes.** Environmental Pollution, v. 320, p. 121076, mar. 2023.