

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
*MODALIDADE PROFISSIONAL*

**POLUENTES EMERGENTES, ABORDAGEM ECOTOXICOLÓGICA NA LEGISLAÇÃO  
E ESTUDO DE CASO SOBRE A IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM UM  
CORPO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE MACAÉ/RJ**

THAMIRIS ROCHA GUERRA DA SILVA

MACAÉ-RJ

2024

**THAMIRIS ROCHA GUERRA DA SILVA**

**POLUENTES EMERGENTES, ABORDAGEM ECOTOXICOLÓGICA NA  
LEGISLAÇÃO E ESTUDO DE CASO SOBRE A IDENTIFICAÇÃO DE  
MICROPLÁSTICOS EM UM CORPO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE  
MACAÉ/RJ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

**Orientador:** D. Sc. Manildo Marcião de Oliveira

**Coorientador:** D. Sc. Jader Lugon Junior

MACAÉ-RJ

2024

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586p

Silva, Thamiris Rocha Guerra da, 1993-.

Poluentes emergentes, abordagem ecotoxicológica na legislação e estudo de caso sobre a identificação de microplásticos em um corpo hídrico no município de Macaé/RJ / Thamiris Rocha Guerra da Silva — Macaé, RJ, 2024. xv, 71f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Manildo Marcião de Oliveira, 1969-.

Coorientador: Prof. Dr. Jader Lugon Junior, 1962-.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2024.

Inclui referências.

Área de concentração: Sustentabilidade Regional.

Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.


1. Poluentes. 2. Ecotoxicologia. 3. Poluição marinha - Macaé (RJ). 4. Controle de qualidade da água. 5. Água - Poluição - Legislação - Brasil. I. Oliveira, Manildo Marcião de, 1969-, orient. II. Lugon Junior, Jader, 1962-, coorient. III. Título.

CDD 577.6 (23. ed.)

Dissertação intitulada **POLUENTES EMERGENTES, ABORDAGEM ECOTOXICOLÓGICA NA LEGISLAÇÃO E ESTUDO DE CASO SOBRE A IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM UM CORPO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE MACAÉ/RJ**, elaborada por **Thamiris Rocha Guerra da Silva** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.


Aprovada em: 02 de julho de 2024

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **MANILDO MARCIAO DE OLIVEIRA**  
Data: 06/09/2024 18:37:59-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Manildo Marcião de Oliveira, Doutor em Biologia / Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **JADER LUGON JUNIOR**  
Data: 09/09/2024 20:21:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Jader Lugon Junior, Doutor em Modelagem Computacional / Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Coorientador

---

Gabriel de Pinna Mendez, Doutor em Engenharia Civil / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

---

Mauricio Mussi Molisani, Doutor em Geociências (Geoquímica) / Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

## AGRADECIMENTOS

A finalização de minhas atividades no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA) é uma das muitas dádivas que tenho para agradecer ao Senhor Deus, pois graças a Ele cheguei até aqui. Glória seja dada a Ele.

Agradeço aos meus pais por perseverarem em me incentivar a sempre romper novos desafios. Este é um fruto dos ensinamentos que tenho recebido em toda a minha vida por eles.

Sou muito agradecida, também, pelas orientações, incentivos e ao apoio recebidos dos professores Manildo Marcião, Augusto Eduardo Miranda e Jader Lugon, e os demais docentes que se dispuseram em compartilhar seus conhecimentos nesta trajetória.

Os agradecimentos se estendem aos graduandos participantes de atividades do Laboratório de Ecotoxicologia Ambiental (LEMAN) – IFF Cabo Frio, assim como o aluno Samir Emmanuel Pereira Teixeira Dutra, que acrescentaram e me auxiliaram nesta minha jornada experimental acadêmica.

O estudo na linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental foi uma jornada de muito aprendizado e amadurecimento, e finalizo este processo jubilosa por toda experiência vivida e por cada processo de desenvolvimento intelectual.

*“Clamarei ao Deus Altíssimo, ao Deus que  
por mim tudo executa.”.*

Salmo 57:2

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Principais fontes de efluentes sanitários no corpo hídrico. ....	10
<b>Figura 2</b> – Estados brasileiros que possuem leis que incluem testes ecotoxicológicos. .....	12
<b>Figura 3</b> – Localização do município de Macaé no estado do Rio de Janeiro. ....	27
<b>Figura 4</b> – Pontos de coleta das amostras do experimento. ....	29
<b>Figura 5</b> – Filtragem de amostra de água bruta. ....	31
<b>Figura 6</b> – Amostras da 2ª coleta dispostas na estufa, antes do processo de secagem. .	32
<b>Figura 7</b> – Solução NaCl (6g/50 mL) e resíduos da oxidação dos reagentes $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ , com as partículas sólidas da amostras, sendo transferidos para funis de separação. ....	33
<b>Figura 8</b> – Etapa de eliminação de material sedimentável da solução NaCl (6g/50 mL), pelo processo de sedimentação no funil de separação. ....	33
<b>Figura 9</b> – Observação microscópica das amostras processadas. ....	34
<b>Figura 10</b> – Fluxograma para a análise de microplásticos em amostras de água. ....	35
<b>Figura 11</b> – Média das massas dos resíduos sólidos das amostras de água da Lagoa Imboassica, apresentadas em média $\pm$ desvio padrão. ....	36
<b>Figura 12</b> – Quantitativo de partículas identificadas na 1ª coleta em pontos da Lagoa Imboassica. ....	38
<b>Figura 13</b> – Quantitativo de partículas identificadas na 2ª coleta em pontos da Lagoa Imboassica. ....	38
<b>Figura 14</b> – Quantitativo de partículas identificadas na 3ª coleta em pontos da Lagoa Imboassica. ....	38
<b>Figura 15</b> – Quantitativo de partículas de microplásticos identificadas, expressos no gráfico <i>box plot</i> (mediana e quartis 25-75%). ....	40
<b>Figura 16</b> – Registro de microplástico em amostras da 1ª coleta de água bruta da Lagoa Imboassica (originários do ponto 1). ....	41
<b>Figura 17</b> – Registro microscópico de fibras incolores em amostras de água bruta da Lagoa Imboassica, respectivamente, da 2ª e 3ª coleta (originários dos pontos 2 e 3). ...	42
<b>Figura 18</b> – Registro microscópico de partículas de forma não-classificada (NC) em amostras de água bruta da Lagoa Imboassica da 3ª coleta (originárias dos pontos 2 e 3). .....	43
<b>Figura 19</b> – Registro microscópico de fibra de microplástico incolor, em amostra de controle do experimento. ....	44

<b>Figura 20</b> – Coletas em superfície de amostras de água nos três pontos geográficos do experimento. ....	56
<b>Figura 21</b> – Transferência de resíduos sólidos através do despejo de água destilada na peneira de 53 µm no Ponto 1 - Cais da Lagoa Imboassica. ....	57
<b>Figura 22</b> – Transferência de resíduos sólidos através do despejo de água destilada na peneira de 53 µm no Ponto 2 – Rua Anfilóbio Trindade. ....	57
<b>Figura 23</b> – Transferência de resíduos sólidos através do despejo de água destilada na peneira de 53 µm no Ponto 3 – Mirante da Lagoa. ....	58
<b>Figura 24</b> – Registros das três amostras coletadas na 1ª fase de coleta do experimento. ....	58
<b>Figura 25</b> – Registros das três amostras coletadas na 2ª fase de coleta do experimento. ....	59
<b>Figura 26</b> – Registros das três amostras coletadas na 3ª fase de coleta do experimento. ....	59
<b>Figura 27</b> – Registro da etapa de obtenção das massas das amostras. ....	60
<b>Figura 28</b> – Registro das três amostras da 1ª coleta na estufa, antes do processo de secagem. ....	60
<b>Figura 29</b> – Registro de amostras após 24h na estufa de secagem. ....	61
<b>Figura 30</b> – Registro da obtenção da massa seca das amostras 1, 2 e 3 da 1ª coleta do experimento. ....	61
<b>Figura 31</b> – Reagentes químicos (FeSO <sub>4</sub> e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) a serem adicionados na amostra contida no béquer. ....	62
<b>Figura 32</b> – Reagentes químicos (FeSO <sub>4</sub> e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) nas provetas para serem adicionados na amostra contida no béquer. ....	62
<b>Figura 33</b> – Reação à temperatura ambiente de 20 mL de FeSO <sub>4</sub> e de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> nas amostras 1 da 1ª e 2ª coleta do experimento. ....	63
<b>Figura 34</b> – Registro da amostra 1 da 1ª coleta sendo aquecida a 75°C, na placa de aquecimento por 30 minutos, e o seu resultado após o período definido. ....	63
<b>Figura 35</b> – Filtragem da solução de FeSO <sub>4</sub> e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , com os resíduos da amostra de água bruta, pela peneira de abertura de 45 µm. ....	64
<b>Figura 36</b> – Registro da solução salina [NaCl (aq)] preparada para uso no separador de densidade. ....	64
<b>Figura 37</b> – Amostras sendo transferidas para seus respectivos funis de separação, na finalidade de se obter a separação do plástico. ....	65



<b>Figura 38</b> – Amostras em processo de sedimentação de matérias sólidas de microplásticos das matérias orgânicas, em funis de separação. ....	65
<b>Figura 39</b> – Etapa de eliminação de material orgânico da solução NaCl [aq], pelo processo de sedimentação no funil de separação.....	66
<b>Figura 40</b> – Registros de solução NaCl e sólidos em suspensão no funil de separação.	66
<b>Figura 41</b> – Registros de transferência de solução homogênea de NaCl [aq] e resíduos sólidos, do separador de funil para a proveta na 3 <sup>a</sup> coleta do experimento. ....	67
<b>Figura 42</b> – Lâminas e lamínulas em processo de secagem para o recebimento das amostras para análise. ....	67
<b>Figura 43</b> – Transferência da solução de NaCl (aq), contendo resíduos sólidos em suspensão, para uma lâmina de vidro. ....	68
<b>Figura 44</b> – Amostras da 1 <sup>a</sup> coleta do experimento preparadas para serem analisadas no microscópio. ....	68

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Organismos-teste recomendados pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro para o controle da ecotoxicidade de efluentes sanitários. .....	16
<b>Tabela 2</b> – Quantitativo amostral de partículas oriundas da Lagoa Imboassica.....	37
<b>Tabela 3</b> – Resultado da análise das médias dos pontos de cada coleta da Lagoa Imboassica. ....	39
<b>Tabela 4</b> – Resultado da Análise de Variância (ANOVA, $p \leq 0,05$ ) dos pontos de cada coleta da Lagoa Imboassica.....	39
<b>Tabela 5</b> – Resultado das massas iniciais, contendo líquido e resíduos sólidos da água bruta coleta nos copos hídricos ( $M_{inicial}$ ).....	69
<b>Tabela 6</b> – Resultado das massas finais das amostras, resultando em resíduos sólidos ( $M_{final}$ ). ....	69
<b>Tabela 7</b> – Resultados da Análise de Variância (ANOVA, $p \leq 0,05$ ) das massas iniciais ( $M_{inicial}$ ) das amostras de água da Lagoa Imboassica.....	70
<b>Tabela 8</b> – Resultados da Análise de Variância (ANOVA, $p \leq 0,05$ ) das massas finais ( $M_{final}$ ) das amostras de água da Lagoa Imboassica. ....	71

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AOP	<i>Adverse Outcome Pathway</i>
CEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Paraná
CERH-MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais
CEs	Contaminantes Emergentes
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais
E&P	Exploração e Produção
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FATMA	Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina
IFFluminense	Instituto Federal Fluminense
INEA	Instituto Estadual Ambiental do Estado do Rio de Janeiro
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LEMAM	Laboratório de Ecotoxicologia e Microbiologia Ambiental do Instituto Federal Fluminense – Campus Cabo Frio
MS	Ministério da Saúde do Brasil
MP	Microplástico
NOP	Norma Operacional Padrão
NT	Norma Técnica
NUPEM	Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

SMA	Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

### **LISTA DE SÍMBOLOS**

%	Por cento
Aq	Aquoso
°C	Grau Celsius
FeSO <sub>4</sub>	Sulfato de Ferro (II)
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Sulfato de Ferro II (Heptaidrato)
NaCl	Cloreto de Sódio
X	Vezez (fator de multiplicação)

**LISTA DE UNIDADES**

“	Polegada
g/mol	Gramas por mol
g/L	Gramas por litro
L	Litros
mL	Mililitro
mm	Milímetro
μm	Micrômetro
M	Molar
mol/L	Mol por litro

**POLUENTES EMERGENTES, ABORDAGEM ECOTOXICOLÓGICA NA  
LEGISLAÇÃO E ESTUDO DE CASO SOBRE A IDENTIFICAÇÃO DE  
MICROPLÁSTICOS EM UM CORPO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE  
MACAÉ/RJ**

**RESUMO**

O Brasil se destaca, entre os países da América do Sul, por possuir legislações próprias que apresentam diretrizes e padrões, sob critérios ecotoxicológicos, de lançamento de efluentes sanitários em corpos de água. Este crédito se dá pela colaboração de agências ambientais internacionais, como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico OCDE, nos regulamentos nacionais. Contudo, há legislações, vigentes no país, que não contemplam plenamente análises ecotoxicológicas que possam proporcionar uma garantia de maior segurança hídrica, diante da contaminação por poluentes emergentes – tais como microplásticos, fármacos e nanocompostos –, tendo em vista que os sistemas de tratamento de esgoto convencionais ainda não possuem tecnologias para a remoção destes. Dessa forma, devido à crescente demanda pelo controle da toxicidade de efluentes sanitários em mananciais, o presente estudo analisa normas estaduais vigentes que se destacam por apresentarem critérios e padrões ecotoxicológicos para o lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Como efeito, a revisão bibliográfica visa fomentar propostas de melhorias e adequações na avaliação da qualidade das águas residuais oriundas de estações de tratamento de efluentes sanitários, industriais e hospitalares. Além disso, este trabalho científico apresenta um estudo experimental de observação e identificação de microplásticos em amostras de água coletadas de um corpo hídrico receptor do município de Macaé/RJ, região Norte Fluminense no estado do Rio de Janeiro, afim de confirmação da presença de contaminantes emergentes em corpos hídricos.

**Palavras-chave:** Ecotoxicologia. Efluentes Sanitários. Compostos emergentes.

**EMERGING POLLUTANTS, ECOTOXICOLOGICAL APPROACH IN  
LEGISLATION AND CASE STUDY ON THE IDENTIFICATION OF  
MICROPLASTICS IN A WATER BODY IN THE MUNICIPALITY OF MACAÉ/RJ**

**ABSTRACT**

*Brazil stands out among the countries of South America for having its own legislation that sets out guidelines and standards, based on ecotoxicological criteria, for the discharge of sanitary effluents into bodies of water. This is due to the collaboration of international environmental agencies, such as the United States Environmental Protection Agency (USEPA) and the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), in national regulations. However, there is legislation in force in the country that does not fully contemplate ecotoxicological analyses that can provide a guarantee of greater water safety in the face of contamination by emerging pollutants - such as microplastics, pharmaceuticals and nanocompounds - given that conventional sewage treatment systems do not yet have the technologies to remove them. Thus, due to the growing demand for control of the toxicity of sanitary effluents in water sources, this study analyses current state regulations that stand out for presenting ecotoxicological criteria and standards for the discharge of effluents into receiving bodies of water. As an effect, the literature review aims to encourage proposals for improvements and adjustments in the assessment of the quality of wastewater from sanitary, industrial and hospital effluent treatment plants. In addition, this scientific paper presents an experimental study of the observation and identification of microplastics in water samples collected from a receiving water body in the municipality of Macaé/RJ, in the North Fluminense Region of the state of Rio de Janeiro, in order to confirm the presence of emerging contaminants in water bodies. ....*

**Keywords:** *Ecotoxicology. Sanitary Effluents.. Emerging Compounds.*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS .....	x
LISTA DE UNIDADES .....	xi
RESUMO .....	xii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
SUMÁRIO.....	xiv
APRESENTAÇÃO.....	1
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 1</b> .....	4
RESUMO.....	4
<i>ABSTRACT</i> .....	5
1 INTRODUÇÃO .....	6
2 METODOLOGIA .....	8
3 RESULTADOS .....	8
3.1 Legislação brasileira sobre lançamento de efluentes em corpos d'água receptores .....	8
3.2 Legislações estaduais sobre o lançamento de efluentes em corpos d'água receptores e avaliações ecotoxicológicas .....	12
4 DISCUSSÃO .....	18
5 CONCLUSÃO .....	19
REFERÊNCIAS.....	20
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 2</b> .....	24
RESUMO.....	24
<i>ABSTRACT</i> .....	25
1. INTRODUÇÃO.....	25
2. METODOLOGIA.....	27
2.1. ÁREA DE ESTUDO .....	27
2.2. MATERIAL .....	29
2.3. MÉTODO.....	30
3. RESULTADOS .....	36
4. DISCUSSÃO .....	44



5. CONCLUSÃO .....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO .....	54
APÊNDICE A - Registro fotográfico da Metodologia .....	56
APÊNDICE B – Análises de Variância .....	69

## APRESENTAÇÃO

No contexto de ações internacionais, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, a *Environmental Protection Agency* (EPA), promulgou em 1972 a Lei da Água Limpa, do inglês *Clean Water Act* (CWA) para o estabelecimento da regulamentação de descargas de poluentes em corpos hídricos, e para o controle de padronização da qualidade das águas superficiais nacionais (USEPA, 2022). Assim, a CWA promoveu programas de controle da poluição por meio de padrões de águas residuais industriais e de definição de critérios de qualidade da água para poluentes em águas superficiais do país (USEPA, 2022).

Já a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) estabeleceu na Europa em 1981 um conjunto internacional de diretrizes para testes de produtos químicos, a *OECD Guidelines for Testing of Chemicals*, para avaliar os efeitos potenciais de produtos químicos na saúde humana e no meio ambiente (OCDE, 2022). Iniciando a Seção 2: Efeitos em Sistemas Bióticos, em 1984, foi adotada a diretriz nº 201 – “Algas de Água Doce e Cianobactérias, Teste de Inibição do Crescimento”, tendo por objetivo determinar os efeitos de uma substância no crescimento de microalgas e/ou cianobactérias de água doce (OCDE, 2022). As sucessivas diretrizes da Organização da Seção 2 (até o nº 251, adotada em 2022) dão continuidade as análises toxicológicas em ambientes aquáticos.

No Brasil, a padronização de ensaios ecotoxicológicos iniciou-se a partir de um programa internacional de padronização de testes de toxicidade aguda com peixes, por intermédio do Comitê Técnico de Qualidade das Águas TC 147 da *International Organization for Standardization* (ISO), tendo a participação da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A partir daí, foram desenvolvidos e adaptados diversos métodos de ensaios de toxicidade para a avaliação da poluição hídrica no país (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2014).

Em conjunto aos serviços públicos de abastecimento de água potável, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, o esgotamento sanitário integra as esferas de atuação do saneamento básico no Brasil.

De acordo com a lei que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, o sistema de esgotamento sanitário é constituído pelas atividades, seja de operação e manutenção de “infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, até sua

destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento” de modo ambientalmente adequado (BRASIL, 2007).

Entretanto, ainda há significativas atividades antrópicas – como a de refinarias petroquímicas, indústrias siderúrgicas e de fertilizantes (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2014) – que não atendem às diretrizes ambientais como as que são estabelecidas na Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011), na qual atua em prol da gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores.

Desse modo, tem sido cada vez mais necessário no Brasil um adequado gerenciamento de agentes químicos nocivos, nos quais são introduzidos por efluentes sanitários (e industriais) aos ambientes aquáticos e que, potencialmente, configuram uma ameaça à saúde humana. Diante disso, a ecotoxicologia é uma ciência que tem contribuído para a regulação da qualidade da água, visto que há compostos que não são removidos pelos processos convencionais de tratamento de esgoto e que, conseqüentemente, são lançados em corpos de água superficiais causando, assim, efeitos nocivos aos organismos aquáticos (RIBEIRO et al., 2020).

Segundo a Resolução CONAMA n° 430/2011 “os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários poderão ser objeto de teste de ecotoxicidade no caso de interferência de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor, a critério do órgão ambiental competente” (BRASIL, 2011).

Assim, a primeira parte deste estudo, apresentado no artigo científico 1, avalia requisitos legais da legislação nacional e do estado do Rio de Janeiro concernentes ao controle de efluentes sanitários, devido a presença de contaminantes ou poluentes emergentes. Associadamente é discorrido o cenário de outros estados brasileiros que se destacam por possuírem legislações que têm, de mesmo modo, a função de exercer uma competência suplementar aos regimentos que vigoram no âmbito federal. Além disso, uma revisão bibliográfica, efetuada por meio de artigos e documentos relevantes, contribuiu para o embasamento teórico do estudo.

Em continuidade, a segunda parte do estudo, no qual é transcrito no artigo científico 2, tem a aplicação experimental de analisar e identificar a presença de microplásticos em pontos de um corpo hídrico superficial localizado no município de Macaé/RJ.

Em geral, é apresentado inicialmente na pesquisa estudos que visam a verificação da presença de contaminantes químicos emergentes, na classificação de desreguladores

endócrinos – estando os microplásticos inclusos nesta classificação –, nos quais interferem no sistema endócrino de seres humanos e outros organismos vivos.

Logo, o artigo científico 1 tem por finalidade a exposição de uma pesquisa bibliográfica, de natureza exploratória e descritiva. Já o segundo, em continuidade o ao estudo, visa avaliar a presença de microplásticos em corpo de água receptor, visto que tais partículas de plásticos podem ser categorizadas como contaminantes emergentes e, também, como objetos de adsorção de outros contaminantes.

Por meio de sua natureza, os microplásticos podem sofrer a ação de intemperismo ou fragmentações adicionais, que provocam a alteração de suas propriedades físico-químicas (tamanho, cor, área de superfície, etc.), e tais efeitos tendem na liberação de aditivos e de derivados, multiplicando-se os contaminantes tóxicos (LIU et al., 2020; ENFRIN et al., 2020; REDDY & NAIR, 2022).

Portanto, a análise empírica se baseia no fato de que as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), sejam as que usam processos tradicionais ou avançados de tratamento, têm se tornando uma fonte de emissão destes fragmentos para mares, rios, lagos, e outros tipos de corpos hídricos receptores, a partir da condição de que as ETEs, no geral, não possuem tecnologias suficientes para reter completamente, em suas etapas de tratamento os microplásticos (ARENZON et al., 2011; REDDY & NAIR, 2022), visto que o tratamento de esgotos alcança até, se necessário, o estágio de remoção de materiais não biodegradáveis e nutrientes, como nitrogênio e fósforo (SNS/MDR, 2021). E assim, estes são lançados no corpo hídrico através de descargas de lodo e efluentes sanitários.

**Este artigo foi aceito pela revista científica “Ciência e Natura”**

**ARTIGO CIENTÍFICO 1**

UMA ABORDAGEM ECOTOXICOLÓGICA PARA CRITÉRIOS E NORMAS DE  
CONTROLE DE EFLUENTES SANITÁRIOS NO BRASIL

***A ECOTOXICOLOGICAL APPROACH FOR BRAZILIAN SANITARY EFFLUENT  
CONTROL CRITERIA AND STANDARDS***

Thamiris Rocha Guerra da Silva - IFFluminense/PPEA

Augusto Eduardo Miranda Pinto - IFFluminense/PPEA

Rachel Ann Hauser-Davis – Fundação Oswaldo Cruz

Renato Matos Lopes – Fundação Oswaldo Cruz

Victor Barbosa Saraiva - IFFluminense/PPEA

Jader Lugon Junior - IFFluminense/PPEA

Manildo Marcião de Oliveira - IFFluminense/PPEA

**RESUMO**

O Brasil se destaca na América do Sul devido a diversas legislações referentes à avaliação ecotoxicológica de efluentes. Devido à crescente demanda por controle de toxicidade de efluentes sanitários em ambientes urbanos, este estudo realizou uma avaliação abrangente das normas vigentes quanto aos critérios e normas ecotoxicológicas para lançamento de efluentes em corpos receptores de água no Brasil. Os resultados indicam que a legislação federal é aplicada majoritariamente nos estados, sendo que apenas seis estados (SP, RJ, MG, PR, SC, RS) possuem legislações estaduais mais protetivas. Estes resultados podem auxiliar no estabelecimento de ajustes das legislações ambientais, visando maior segurança ambiental e evitando a contaminação por contaminantes de interesse emergente, como microplásticos, certos medicamentos e nanocompósitos, que não são removidos pelo sistema de tratamento convencional de esgoto.

**Palavras-chave:** Ecotoxicologia; Efluentes sanitários; Legislação

**ABSTRACT**

*Brazil is noteworthy in South America due to several laws concerning effluent ecotoxicological assessments. Due to the growing demand for sanitary effluent toxicity control in urban settings, this study carried out a comprehensive assessment of current ecotoxicological criteria and standards for effluent release in receiving water bodies in Brazil. The findings reveal that states mostly apply federal legislation, with only six states (SP, RJ, MG, PR, SC, RS) establishing more protective laws. These results aid in establishing environmental legislation adjustments, aiming at greater environmental safety and preventing contamination by contaminants of emerging interest, such as microplastics, certain drugs and nanocomposites, which are not removed by conventional sewage systems treatment.*

**Keywords:** *Ecotoxicology; Sanitary effluents; Legislation*

## 1 INTRODUÇÃO

As análises físico-químicas, tais como a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), os sólidos em suspensão e as determinações de poluentes, não distinguem compostos inertes ao ambiente dos são biologicamente ativos (substâncias que afetam os sistemas biológicos) e, por conseguinte, tais análises não são suficientes para caracterizar os potenciais riscos ambientais (COSTA et al., 2008). Os ensaios de ecotoxicidade são, portanto, necessários para determinar os efeitos biológicos dos poluentes.

O termo “ecotoxicologia” iniciou-se em 1969 pelo pesquisador francês René Truhaut, a partir da derivação das palavras “ecologia”, ciência que trata da relação entre os seres vivos e o ambiente que habitam, e “toxicologia”, ciência que analisa os potenciais efeitos nocivos causados por uma determinada dose de substâncias químicas num determinado organismo (WALKER et al., 2001, p.13). Esse termo refletiu a crescente preocupação da época em relação aos efeitos adversos ecológicos e humanos de substâncias químicas naturais ou produzidas pelo homem, e sua consolidação levou ao desenvolvimento de um campo de estudo que avalia os efeitos tóxicos, agudos ou crônicos (BRASIL, 2005), de substâncias químicas naturais ou sintéticas sobre os componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2014).

Nesse sentido, as avaliações ecotoxicológicas compreendem ser ferramentas eficazes no auxílio às avaliações de licenciamento, na definição de leis, limites, regulamentos e normas técnicas referentes a parâmetros físicos, biológicos e químicos de elementos naturais e sintéticos e na fiscalização e monitoramento de insumos químicos no meio ambiente (AZEVEDO & CHASIN, 2003; BRASIL, 1988). Os efeitos ecotoxicológicos, no entanto, variam de acordo com o tempo de exposição e o comportamento ambiental e biológico do contaminante (AZEVEDO & CHASIN, 2003). Por conseguinte, as propriedades físico-químicas do contaminante, a magnitude e a frequência da exposição, as vias de exposição e a sensibilidade dos organismos devem ser consideradas nas avaliações ecotoxicológicas.

Nesse contexto, embora as análises de qualidade da água em todo o mundo tenham sido tradicionalmente focadas em nutrientes, bactérias, metais e poluentes orgânicos que impactam negativamente a saúde humana, como pesticidas, produtos

químicos industriais e hidrocarbonetos de petróleo (PAL et al., 2014), os avanços na pesquisa técnica têm contribuído cada vez mais para a detecção de muitos outros contaminantes presentes em águas residuais e superficiais em áreas urbanas, mesmo após o tratamento de esgoto bruto por Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). As etapas desse tipo de tratamento compreendem, resumidamente, o tratamento preliminar, para remoção de sólidos grosseiros e areia, o tratamento primário, no qual são removidos materiais particulados, flutuantes e sedimentáveis, o tratamento secundário para remoção de matéria orgânica por meio de processos biológicos, aeróbios ou anaeróbios e, se necessário, a remoção de materiais não biodegradáveis e nutrientes, como nitrogênio e fósforo (Secretaria Nacional de Saneamento/Ministério do Desenvolvimento Regional [SNS/MDR], 2021).

As Estações de Tratamento de Esgoto, no entanto, não removem eficientemente diversas classes de poluentes, como os Contaminantes Emergentes (CEs) ou poluentes emergentes, também chamados de Contaminantes de Preocupação Emergente (CEC) (SAUVÉ & DESROSIERS, 2014). O termo “emergente” está relacionado com a sua recente detecção no ambiente como resultado da melhoria das técnicas analíticas (SOARES et al., 2020). Esses contaminantes compreendem diversas classes de compostos, como microplásticos, antibióticos, produtos de higiene pessoal, hormônios sintéticos, adoçantes artificiais, certos metais e diversos medicamentos e fármacos, destacando-se pela sua diversidade e potencial de causar efeitos adversos ao ecossistema aquático e à saúde humana (TRAN et al., 2018; VÉLEZ et al., 2019).

Apesar de o Brasil estar entre as nações que possuem o maior volume de recursos de água do mundo, esse valioso bem natural tem sofrido negativos impactos, progressivamente, devido ao contínuo aporte de poluentes, entre outros fatores existentes, resultando em significativa degradação de sua qualidade (MELLO et al., 2020). A Lei Federal Brasileira nº 9.433/1997 define como um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (BRASIL, 1997). Portanto, o direito de lançar esgotos e outros efluentes, tratados ou não, em corpos d'água para diluição, transporte ou disposição final deve ser outorgado pelo Poder Público.

Entretanto, de acordo com a Constituição Federal Brasileira (BRASIL, 1988), os estados do país devem exercer a competência legislativa plena para atender às



suas peculiaridades na ausência de lei federal sobre normas gerais, incluindo, mas não se limitando a florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição, responsabilidade por dano ao meio ambiente, turismo e paisagens. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar leis estaduais vigentes no Brasil sobre avaliações ecotoxicológicas.

## **2 METODOLOGIA**

A revisão bibliográfica aqui apresentada foi realizada de forma exploratória e descritiva. Assim, foi efetuada uma pesquisa de referências de 2007 a novembro de 2022 para identificar artigos e documentos relevantes para o embasamento teórico do estudo. Logo, foram utilizadas no levantamento bases de dados como Pub-Med, Scopus, *Science Direct*, *Google Scholar*, bem como documentos da legislação para a observação dos resultados. Os artigos foram considerados elegíveis para inclusão nesta revisão quando cumpriam os seguintes critérios: (1) artigos originais de pesquisa publicados em periódicos revisados por pares, bem como leis, normas e resoluções políticas; (2) publicados em português, inglês e espanhol, para artigos, e em português para documentos normativos; (3) com foco na legislação da água; (4) compreendendo abordagens ecotoxicológicas, legislação e a presença de contaminantes de preocupação emergente em seres aquáticos e humanos.

## **3 RESULTADOS**

### **3.1 Legislação brasileira sobre lançamento de efluentes em corpos d'água receptores**

No Brasil, as avaliações da qualidade da água e dos potenciais efeitos de poluentes são regulamentadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), instituído pela Lei Federal nº 6.938/81, artigo 6º, inciso II. O CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), e suas competências compreendem o estabelecimento de normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, a ser concedido pela União, estados brasileiros, Distrito Federal e municípios, bem como o estabelecimento de normas, critérios e padrões relativos ao

controle e manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, especialmente os hídricos (BRASIL, 1981, Art.8, inciso VII).

A promulgação da Resolução CONAMA n° 357/2005 estabeleceu disposições públicas para a classificação dos corpos de água superficiais e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabeleceu condições e padrões de lançamento de efluentes. Essa Resolução definiu que os efluentes sanitários não devem causar ou apresentar potencial de causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos do corpo receptor, considerando critérios de toxicidade, incluindo o método empregado, organismos-teste, frequência de análise e toxicidade tolerada estabelecidos pelo órgão ambiental competente (BRASIL, 2005). A Resolução CONAMA n° 430/2011 determina que os efluentes dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários poderão ser submetidos a ensaios de ecotoxicidade no caso de interferência de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor, a critério do órgão ambiental competente (BRASIL, 2011).

A Lei n° 6.938/1981 define que os estados brasileiros, no âmbito de suas competências e nas áreas de sua jurisdição, deverão elaborar normas e padrões supletivos e complementares relativos ao meio ambiente, observando os estabelecidos pelo CONAMA (BRASIL, 1981, Art. 6º, VI, § 1º). Essa condição foi revogada em 2011, pois a maioria dos órgãos ambientais dos diferentes estados não conseguiu estabelecer métodos e critérios padronizados de ecotoxicidade, faltando também definições sobre grau de toxicidade tolerado e espécies-teste.

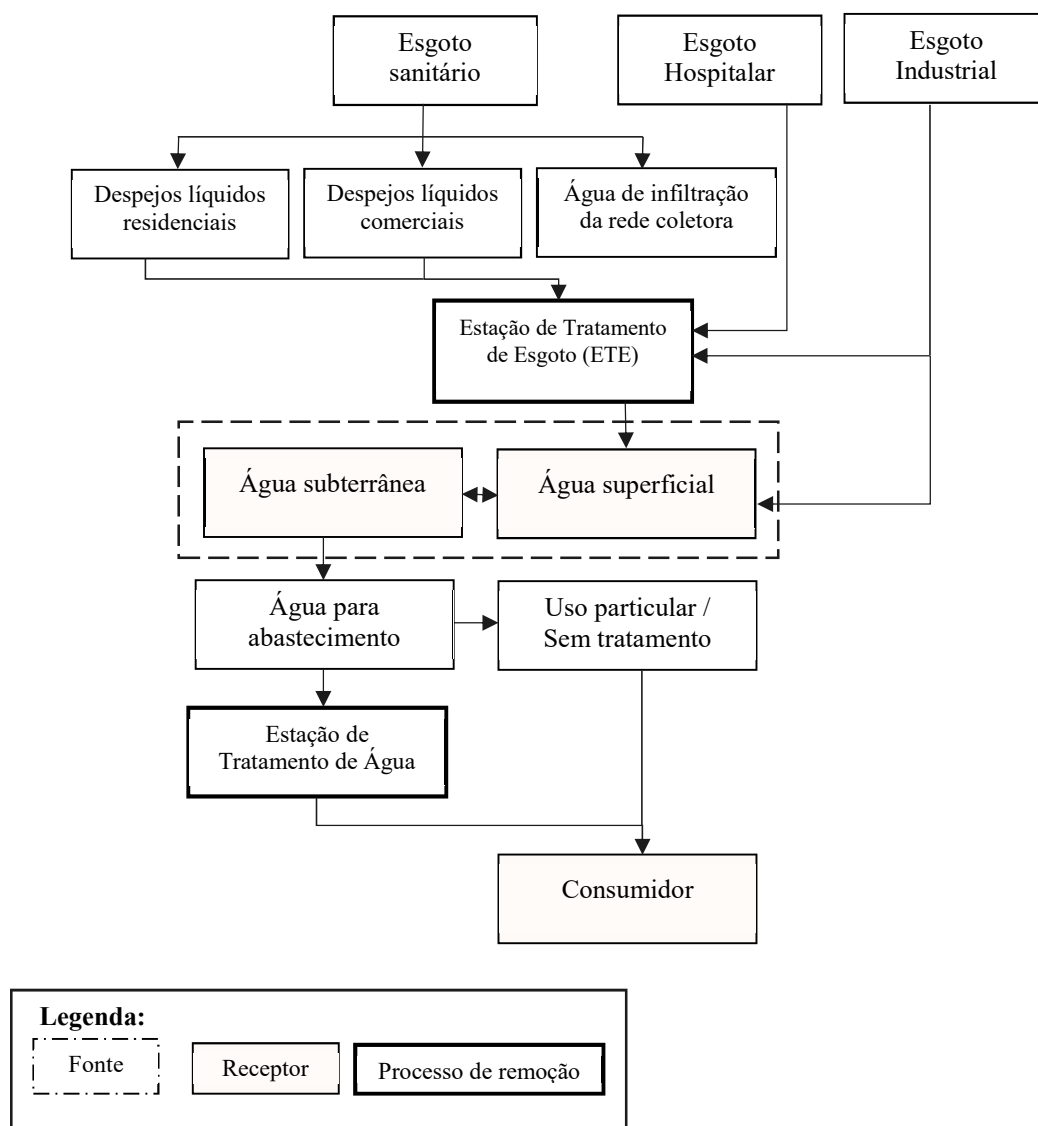
Contudo, a legislação brasileira é limitada no que diz respeito aos seus padrões e critérios de qualidade da água (MONTAGNERA et al., 2017). Por exemplo, dentre os diversos de contaminantes emergentes conhecidos atualmente, apenas alguns agrotóxicos são citados na Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde e na Resolução CONAMA n° 357/2005, ambas que tratam da qualidade da água. Isso representa menos de 10% dos cerca de 380 agrotóxicos autorizados para uso no Brasil, que é o maior consumidor de agrotóxicos do mundo.

A Resolução CONAMA n° 430/2011 altera parcialmente a Resolução CONAMA n° 357/2005, dispondo sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o gerenciamento do lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores. Essa Resolução teve como objetivo auxiliar os estados brasileiros que, até então, não possuíam regulamentação própria para o controle da toxicidade dos efluentes, e

define que os efluentes resultantes dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários devem atender a condições e padrões específicos (BRASIL, 2011). Essa Resolução, no entanto, não estabelece condições para a identificação de poluentes emergentes nos corpos hídricos receptores, embora a legislação vigente liste mais de 200 parâmetros químicos para a padronização da qualidade da água.

A Figura 1 ilustra as principais fontes e vias de lançamento de efluentes no corpo hídrico (adaptado de STUART et al., 2012).

Figura 1 – Principais fontes de efluentes sanitários no corpo hídrico.



Fonte: Adaptado de Stuart et al. (2012)

O respaldo oferecido pela Constituição Federal Brasileira, através do Artigo 225, estabelece o direito de todos a ter um “meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida”

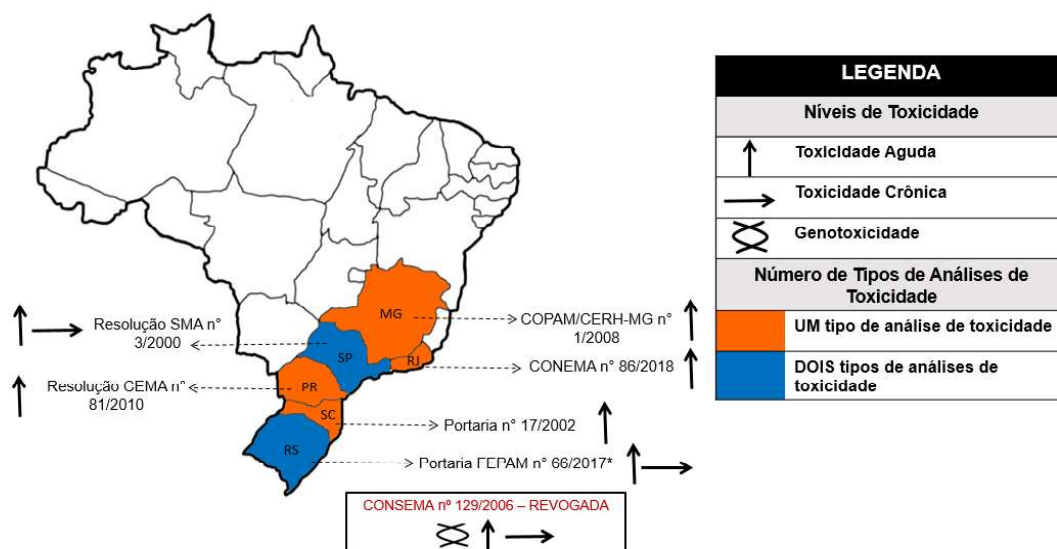
(BRASIL, 1988), de modo que o poder público e a coletividade têm o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

O Ministério da Saúde, por meio da Portaria de Consolidação MS nº 5/2017 e da Resolução CONAMA nº 430/2011, estabeleceu a necessidade legal de ações conservacionistas em relação aos ambientes aquáticos e à qualidade da água a ser utilizada para consumo humano. Isso é fortemente compartilhado pela visão “*One health*”, na qual a saúde dos seres humanos, animais domésticos e silvestres, plantas e ecossistemas são interdependentes. Por conseguinte, a definição de parâmetros para a proteção da vida selvagem e dos ecossistemas protege sobretudo os seres humanos (DYE, 2022).

No entanto, apesar do desenvolvimento de resoluções e normas que classificam e definem diretrizes para a gestão dos lançamentos de efluentes em corpos hídricos receptores no território brasileiro, como a determinação das Concentrações Letais Medianas-CL50 ou Concentrações Efetivas Medianas-CE50, ou seja concentrações de efluentes que causam efeitos agudos (letalidade ou imobilidade) a 50% dos organismos expostos dentro de um determinado período de exposição (geralmente por 96 horas) sob condições específicas de teste (BRASIL, 2011), a legislação brasileira não incorpora as particularidades estatuais. Logo, estabelece expressamente limites e parâmetros baseados em análises ecotoxicológicas em efluentes sanitários de forma generalista.

Na verdade, como o Brasil é um país de dimensões continentais, cada estado tem a flexibilidade de aplicar controles distintos para os efluentes. Alguns estados brasileiros se destacam por editarem leis mais restritivas que preenchem lacunas constitucionais de competência suplementar à Resolução CONAMA nº 357/2005, aplicando análises ecotoxicológicas, como mostra a Figura 2, que compreende os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Todos esses estados estão localizados em áreas altamente industrializadas, nas regiões Sul e Sudeste do país.

Figura 2 – Estados brasileiros que possuem leis que incluem testes ecotoxicológicos.



Fonte: Autores (2022)

## 3.2 Legislações estaduais sobre o lançamento de efluentes em corpos d'água receptores e avaliações ecotoxicológicas

### 3.2.1 São Paulo

O modelo ISO/TC - 147/SC - 5 WG3 estabelecido pela *International Organization for Standardization* em 1975, com a participação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), introduziu normas de procedimentos técnicos para a realização de testes e análises de toxicidade aguda de substâncias tóxicas em todo o mundo (BERTOLLETTI et al., 1989). Esse modelo foi então adotado no Brasil, sob a proposta de definir uma triagem analítica de produtos e substâncias químicas causadoras de toxicidade aguda para peixes de água doce. Desde então, a CETESB tem desenvolvido metodologias para aplicação em ensaios de curta e longa duração, para a determinação da toxicidade aguda e crônica de substâncias ou efluentes tóxicos (PEREIRA et al., 1987).

Da mesma forma, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu normas como a NBR 12648: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com algas (*Chlophyceae*) (2018) e a NBR 12713: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia spp.*

(Crustacea, Cladocera) (2022) para auxiliar nas avaliações ecotoxicológicas no Brasil.

O Decreto Estadual nº 8.468/1976 estabelece que o sistema de prevenção e controle da poluição ambiental no Estado de São Paulo seja regido em consonância com as normas vigentes, tornando proibido o lançamento ou a descarga de poluentes na água, no ar ou no solo (SÃO PAULO, 1976). Este Decreto aprova o Regulamento nº. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, enquanto a Resolução SMA nº 3/2000 complementa as legislações anteriores, definindo limites de controle ecotoxicológico para efluentes líquidos no estado. Considerando as interações potenciais entre as substâncias dos efluentes, esta Resolução determina que estas não devem causar ou apresentar potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos do corpo receptor, de acordo com as relações que estabelecem os níveis de toxicidade permissíveis. Os organismos utilizados nos testes de toxicidade, bem como os métodos de ensaio, são definidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (SÃO PAULO, 2000).

Em 2012, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), em São Paulo, elaborou e publicou o “Guia de Potabilidade de Substâncias Químicas”, com o objetivo de oferecer subsídios técnico-científicos para que entidades públicas e privadas do estado de São Paulo pudessem dialogar sobre o complexo processo de priorização de substâncias químicas a serem regulamentadas no estado, critérios a serem adotados, limitações tecnológicas e ferramentas para proteger a saúde das populações que consomem água fora dos padrões de potabilidade ou proveniente de áreas contaminadas (ABES, 2012). Nesse sentido, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) apresentou um diagnóstico da contaminação das águas superficiais, subterrâneas e sedimentos por agrotóxicos em 2019, direcionado ao estado. O uso intensivo de agrotóxicos na agricultura pode causar danos significativos à qualidade dos recursos hídricos, afetando diretamente os ecossistemas aquáticos e a saúde humana (CETESB, 2019). Tanto as normas da ABES quanto da CETESB são direcionadas à água utilizada para consumo humano.

### **3.2.2 Rio Grande do Sul**

A definição de critérios e padrões de emissão relativos à toxicidade de efluentes líquidos lançados em águas superficiais no Rio Grande do Sul foi estabelecida através de uma Resolução criada pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) nº 129/2006. Essa resolução também indica a necessidade de avaliações comportamentais (THORÉ et al., 2021) e de genotoxicidade (BHAT et al., 2019), além de testes de toxicidade aguda e crônica (RIO GRANDE DO SUL, 2006). No entanto, a Resolução CONSEMA nº 334/2016 revoga a Resolução anterior sob a justificativa de atualizar e revisar critérios e padrões de emissão para a toxicidade de efluentes líquidos lançados em águas superficiais (RIO GRANDE DO SUL, 2016).

Em 2017, foi publicada no estado a Portaria nº 66/2017 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), que estabelece a frequência de monitoramento da toxicidade das fontes emissoras que lançam seus efluentes em águas superficiais no território do estado. Esta Portaria estabelece o dever das fontes geradoras de efluentes líquidos que tenham sido lançados em corpos hídricos superficiais de realizar análises ecotoxicológicas empregando pelo menos dois níveis tróficos, avaliando os efeitos de toxicidade aguda e crônica, conforme critérios estabelecidos no § 3º, Art. 18 da Resolução CONAMA nº 430/2011 (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

### **3.2.3 Santa Catarina**

A Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA), através da Portaria nº 17/2002, estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. Esta norma define que as substâncias dos efluentes não podem causar ou apresentar potencial para causar efeitos tóxicos capazes de alterar o comportamento e a fisiologia dos organismos aquáticos presentes no corpo receptor. Além disso, são estabelecidos limites máximos de toxicidade aguda para efluentes pertencentes a diferentes categorias (SANTA CATARINA, 2002).

### **3.2.4 Paraná**

A Resolução CEMA n° 81/2010 dispõe sobre critérios e padrões de ecotoxicidade para o controle de efluentes líquidos lançados em águas superficiais no estado do Paraná. Esta Resolução estabelece critérios e padrões de emissão associados à ecotoxicidade de efluentes líquidos para fontes geradoras que lançam seus efluentes em águas doces, salinas e salobras, para fins de licenciamento e automonitoramento exigidos pelo órgão ambiental paranaense competente (PARANÁ, 2010).

### **3.2.5 Minas Gerais**

Por intermédio do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e no uso das atribuições do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (CERH-MG) a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 1/2008 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo, ainda, as condições e padrões de lançamento de efluentes no estado de Minas Gerais, em atenção às condições da Resolução federal CONAMA n° 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Portanto, a qualidade dos ambientes aquáticos no estado de Minas Gerais deve ser avaliada por indicadores biológicos, utilizando as comunidades aquáticas, com critérios a serem definidos por deliberação conjunta do COPAM e CERH-MG (MINAS GERAIS, 2008). Essa deliberação define padrões físico-químicos de qualidade da água para as classes 1 e 3 e especifica o enquadramento dos corpos d'água nos casos de pesca ou cultivo de organismos para consumo intensivo. Os critérios de toxicidade referentes às condições e padrões de lançamento de efluentes estão descritos no § 1° da instrução normativa, que devem ser baseados nos resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados com organismos aquáticos.

### **3.2.6 Rio de Janeiro**

A Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONEMA) n° 86/2018 (RIO DE JANEIRO, 2018) foi instituída no estado do Rio de Janeiro em



2018. A resolução revoga a norma técnica NT 213.R4, que define critérios e padrões de controle de toxicidade para efluentes líquidos industriais, publicada em 18 de outubro de 1990, e estabelece critérios e padrões de ecotoxicidade para o lançamento de efluentes líquidos em mananciais superficiais no estado, utilizando ensaios ecotoxicológicos como parte integrante do sistema de licenciamento ambiental.

Entre as condições estabelecidas, as atividades licenciadas devem atender a metas progressivas de redução da ecotoxicidade aguda, associada a efeitos deletérios, letais ou não letais, sobre organismos-teste específicos, visando à melhoria da qualidade dos efluentes. Os organismos-teste recomendados pela resolução para o controle da ecotoxicidade aguda em efluentes de esgoto para este estado são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Organismos-teste recomendados pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro para o controle da ecotoxicidade de efluentes sanitários.

	<b>Organismos teste</b>
Efluentes com: a) Salinidade $\leq$ a 0,5% ou b) Condutividade $\leq$ 1066 $\mu$ S/cm	Peixes ( <i>Danio rerio</i> e <i>Pimephales promenales</i> ), Crustáceos ( <i>Daphnia</i> spp) e Bactéria luminescente ( <i>Vibrio fischeri</i> )
Efluentes com: a) Salinidade $>$ a 0,5% ou b) Condutividade $>$ 1066 $\mu$ S/cm	Crustáceos Misídeos ( <i>Mysidiopsis juniae</i> e <i>Mysidium gracile</i> ), Bactéria luminescente ( <i>Vibrio fischeri</i> ) e Crustáceos Branchiopoda ( <i>Artemia</i> sp)

Fonte: Resolução CONEMA n° 86/2018 (RIO DE JANEIRO, 2018)

A legislação do Rio de Janeiro define que os ensaios ecotoxicológicos devem ser realizados com organismos aquáticos pertencentes a pelo menos dois níveis tróficos diferentes, referentes à posição de um organismo na cadeia ecológica (RIO DE JANEIRO, 2018). Assim, a Resolução mantém as condições mínimas de nível trófico estabelecidas pela Resolução CONAMA n° 430, não exercendo, portanto, uma responsabilidade mais restritiva que a da norma federal. Os desenvolvedores de atividades licenciadas podem solicitar a substituição dos organismos-teste recomendados pela regulamentação, desde que a amostragem e os ensaios de toxicidade sejam realizados por laboratório credenciado, utilizando métodos da

ABNT ou, na ausência destes, métodos de normas internacionais, em sua última versão (RIO DE JANEIRO, 2018).

Em contrapartida a Resolução CONEMA n° 86 do estado do Rio de Janeiro, que estabelece critérios e padrões de ecotoxicidade relativos ao lançamento de efluentes líquidos industriais e sanitários em bacias hidrográficas superficiais, a Resolução CONEMA n° 90, em 8 de fevereiro de 2021, aprovou a Norma Operacional Padrão NOP-INEA-45, que estabelece critérios e padrões para o lançamento de esgoto sanitário tratado em corpos receptores para o estado do Rio de Janeiro.

O esgoto sanitário é denominado genericamente na Resolução n° 90 como os despejos líquidos residenciais e comerciais e as águas de infiltração na rede coletora. Assim, não são especificados nesta Resolução os resíduos líquidos, efluentes de estações de tratamento, gerados por percolação de efluentes (lixiviados), de origem externa ou da própria decomposição dos resíduos, localizados em aterros sanitários e/ou industriais, efluentes industriais e/ou não-sanitários. Aplica-se, portanto, à disposição de efluentes no solo, na qual devem ser estabelecidas condições de licenciamento ambiental para evitar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Essa norma altera integralmente a DZ 215-R4 (diretriz para o controle da carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária, republicada em 8 de novembro de 2007) e a NT 202 R10 (norma técnica publicada em 12 de dezembro de 1986, que estabelece critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos), no que se refere aos padrões de lançamento de esgotos sanitários. Portanto, os padrões estabelecidos na NOP-INEA-45 se aplicam aos esgotos gerados em qualquer edificação, como residências, comerciais, industriais, portos, aeroportos, concessionárias (públicas e privadas) de sistemas de tratamento de esgoto, bem como estações de tratamento de esgoto ligadas à rede pública (RIO DE JANEIRO, 2021).

Ao não implicar em alterações na Resolução n° 86/2018, a Resolução n° 90 preconiza que os efluentes dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários poderão ser submetidos a ensaios de ecotoxicidade em caso de interferência de efluentes com

características potencialmente tóxicas ao corpo receptor, a critério do órgão ambiental competente, desde que haja o cumprimento do estabelecido nas legislações estaduais vigentes. Portanto, apesar das recentes atualizações nas leis do Rio de Janeiro que estabelecem critérios e padrões para efluentes sanitários, este estado ainda não possui exigências de análises de toxicidade crônica.

#### 4 DISCUSSÃO

Considerando que os estados brasileiros devem exercer competência legislativa plena para atender às suas peculiaridades na ausência de lei federal, este estudo teve como objetivo analisar as normas legais vigentes em todo o Brasil referentes ao controle ecotoxicológico dos corpos d'água receptores de efluentes sanitários. Os achados revelam que os padrões, parâmetros e critérios ecotoxicológicos estabelecidos para o lançamento de efluentes sanitários em corpos hídricos receptores definidos no estado do Rio de Janeiro, e nos demais estados abordados, em competência suplementar às leis federais (Resolução CONAMA n° 357/2005 e n° 430/2011), necessitam de reavaliações quanto ao uso de análises ecotoxicológicas como ferramenta eficaz de auxílio à tomada de decisão.

O Brasil possui uma das legislações ambientais mais avançadas em comparação com outros países. De fato, ela responsabiliza o Estado e a sociedade pela manutenção de um meio ambiente saudável para as gerações atuais e futuras (SANCHEZ OCAMP et al., 2022). No entanto, a legislação brasileira ainda faz pouco uso de metodologias de avaliação de exposição crônica, como biomarcadores (HANDY et al., 2003; LOMARTIRE et al., 2021) e avaliações de risco mais detalhadas, como a abordagem *Adverse Outcome Pathway* (AOP). Essa abordagem, por exemplo, pode ser empregada para avaliar compostos que inibem a aromatase, enzima responsável pela transformação de andrógenos em estrógenos, expressa em diversos tecidos de vertebrados, como cérebro, tecido adiposo e placentário (ROCHA & UMBUZEIRO, 2022; MERLOTTI et al., 2011), para obter uma visão abrangente dos mecanismos de ação de determinados poluentes.

Os resultados aqui relatados também indicam que nenhum estado brasileiro é obrigado a realizar análises de genotoxicidade de efluentes para avaliar danos à estrutura ou função do DNA. Como os sistemas tradicionais de tratamento de esgoto

geralmente não são capazes de remover micropoluentes mutagênicos e/ou carcinogênicos, fica clara a necessidade de estudos mais aprofundados nesse sentido (MACHADO, 2016).

Por fim, para atender a uma adequada regulação de poluentes emergentes, é evidente que diversos setores da sociedade (político, econômico, social e ambiental) devem atuar por meio de ações coordenadas pelos gestores públicos (SANCHEZ OCAMP et al., 2022). Além disso, programas de informação e educação ambiental têm se mostrado ferramentas eficazes para afetar significativamente o cumprimento da regulamentação ambiental e, portanto, também devem ser implementados (SANCHEZ OCAMP et al., 2022).

## **5 CONCLUSÃO**

Poucos estados brasileiros estabeleceram leis que exigem a aplicação de análises ecotoxicológicas para monitorar a exposição de poluentes em efluentes industriais e/ou sanitários, e nenhum estado inclui análises de genotoxicidade. Além disso, a legislação federal brasileira estabelece que, a critério do órgão ambiental estadual competente, os efluentes sanitários podem ser submetidos a testes de ecotoxicidade, desde que interfiram nas características potencialmente tóxicas do corpo receptor. Entretanto, na prática, nem todos os efluentes sanitários são monitorados por meio de abordagens ecotoxicológicas em todo o país. Isso revela riscos consideráveis e iminentes de contaminação por poluentes emergentes de origem antropogênica tanto para a biota aquática quanto para o homem.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. São Paulo (Brasil): Editora Rima, 2003.

BERTOLLETTI, E.; GOLDSTEIN, E. G.; ZAGATTO, P. A. Variabilidade de testes de toxicidade com peixes. **Revista Ambiente**, v. 3 n.1, p. 52–58, 1989.

BHAT, S. A.; CUI, G; LI, F.; VIG, A. P. Biomonitoring of genotoxicity of industrial wastes using plant bioassays. **Bioresource Technology Reports**, v. 6, p. 207-216, 2019.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 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: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 2005.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 2011.

BRASIL. Presidência da República. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Presidência da República. **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. Brasília: Senado Federal, 1981.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 1997.

BRASIL. SNS/MDR – Secretaria Nacional de Saneamento/Ministério do Desenvolvimento Regional. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Diagnóstico da contaminação de águas superficiais, subterrâneas e sedimentos por agrotóxicos**. São Paulo: CETESB, 2019.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31 n. 7, p. 1820-1830, 2008.

DYE, C. One Health as a catalyst for sustainable development. **Nature Microbiology**, v.7, n. 4, p. 467-468, 2022.

HANDY, R. D.; GALLOWAY, T. S.; DEPLEDGE, M. H. A proposal for the use of biomarkers for the assessment of chronic pollution and in regulatory toxicology. **Ecotoxicology**, v. 12, p. 331-343, 2003.

LOMARTIRE, S.; MARQUES, J. C.; GONÇALVES, Ana M. M. Biomarkers based tools to assess environmental and chemical stressors in aquatic systems. **Ecological Indicators**, v. 122, p. 107207, marc. 2021.

MACHADO, C. S. **Quantificação do risco à saúde humana pela exposição a poluentes químicos e potencial carcinogênico às comunidades adjacentes ao Rio Pardo, Brasil**. 2016. (Doutorado em Enfermagem de Saúde Pública) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, 2016.

MELLO, K; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T.O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, n. 15, 110879, sep. 2020.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1**, de 05 de maio de 2008. 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. Minas Gerais [Belo Horizonte]: Secretaria Executiva do Governo do Estado de Minas Gerais, 2008.

MONTAGNERA, C. C.; VIDALA C.; ACAYABAB, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094-1110, 2017.

NBR ISO 12648 (2018). **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com algas (*Chlophyceae*)**.

NBR ISO 12713 (2022). **Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda — Método de ensaio com *Daphnia spp* (*Crustacea, Cladocera*)**.

PAL, A.; HE, Y.; JEKEL, M.; REINHARD, M.; GIN, K. W. H. Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle. **Environment International**, v. 71, p. 46–62, oct. 2014.

PARANÁ. **Resolução CEMA nº 81, de 19 de outubro de 2010**. Dispõe sobre Critérios e Padrões de ecotoxicidade para o Controle de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais no estado do Paraná. Conselho Estadual do Meio Ambiente: 2010.

PEREIRA, D. N.; GOLDSTEIN, E. G.; ZAGATTO, P. A.; SASSI, R. Bioensaios: um programa a serviço do controle da poluição – Resultados iniciais. **Revista Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 32–36, 1987.

RIO DE JANEIRO. CONEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro. **Resolução nº 86, de 07 de dezembro de 2018**. Aprova a NOP-INEA-08-REV00 – critérios e padrões para controle da ecotoxicidade aguda em efluentes líquidos. Rio de Janeiro: Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, 2018.

RIO DE JANEIRO. CONEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro. **Resolução nº 90, de 08 de fevereiro de 2021**. Aprova a NOP-INEA-45, que estabelece critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, 2021.

RIO GRANDE DO SUL. CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA nº 129**, de 24 de novembro de 2006. Dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul [Porto Alegre]: Conselho Estadual do Meio Ambiente, 2006.

RIO GRANDE DO SUL. CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA nº 334**, de 13 de dezembro de 2016. Revoga a Resolução CONSEMA 129/2006, que dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul [Porto Alegre]: Conselho Estadual do Meio Ambiente, 2016.

RIO GRANDE DO SUL. FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Portaria FEPAM nº 66, de 19 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre o estabelecimento da frequência de monitoramento de toxicidade para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no território do Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul [Porto Alegre]: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, 2017.

SÁNCHEZ-OCAMPO, E. M.; TÉLLEZ-LÓPES, A. M.; ISLAS-FLORES, H.; GÓMEZ-OLIVÁN, L. M. Environmental laws and politics, the relevance of implementing regulation of the presence of emerging pollutants in Mexico: a systematic review. **Water Emerging Contaminants & Nanoplastics**, mar. 2022.

SANTA CATARINA. FATMA – Fundação do Meio Ambiente. **Portaria nº 017/02 – FATMA**, de 18 de abril de 2002. Estabelece os Limites Máximos de Toxidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. Santa Catarina: Fundação do Meio Ambiente, 2002.

SÃO PAULO. **Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 1976.

SÃO PAULO. **Resolução SMA nº 3, de 22 de fevereiro de 2000**. O Secretário do Meio Ambiente, no uso de suas atribuições legais e, em face da deliberação da Diretoria Plena da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental que provou a necessidade de implementar o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2000.

SAUVÉ, S.; DESROSIERS, M. A review of what is an emerging contaminant. **Chemistry Central Journal**, v. 8, n. 15, p. 1-7, 2014.

SOARES, A. F. S.; SOUZA, L. P. S. Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde. **Revista de Direito Sanitário**, v. 20, n. 2, p. 100-133, 2020.

STUART, M.; LAPWORTH, D.; CRANE E.; HART, A. Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. **Science of the Total Environment**, v. 416, p. 1-21, 2012.

THORÉ, E. S. J. PHILIPPE, C; BRENDONCK, L; PINCEEL, T. Towards improved fish tests in ecotoxicology-efficient chronic and multi-generational testing with the killifish *Nothobranchius furzeri*. **Chemosphere**, v. 273, 129697, 2021.

TRAN, N. H.; REINHARD, M.; GIN, K. Y.-H. Occurrence and Fate of Emerging Contaminants in Municipal Wastewater Treatment Plants from Different Geographical Regions-a Review. **Water research**, v. 133, p. 182–207, 2018.

VÉLEZ, V. P. P.; HERNÁNDEZ, G. E.; AVILA, I. C.; ABRIL, E. M. CISNEROS, J. F.; ALVARADO, A.; ULLOA, V. A. Emerging Contaminants in Trans-American Waters - IPABHi. **Revista Ambiente & Água. Taubaté**, v. 14, n. 6, p. 1-26, 2019.

WALKER, C. H.; HOPKIN, S. P.; SIBLY, R. M.; PEAKALL, D. B. **Principles of ecotoxicology**. 2nd ed. New York (USA): Taylor & Francis, 2001.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: Princípios e Aplicações**. 2nd ed. São Paulo (Brasil): Editora Rima, 2014.



## **Artigo em preparação para ser submetido à revista científica**

### **ARTIGO CIENTÍFICO 2**

#### **IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM AMOSTRAS DE ÁGUA SUPERFICIAL DA LAGOA IMBOASSICA, MACAÉ-RJ**

##### **RESUMO**

Microplásticos são poluentes emergentes que estão ubiquamente distribuídos em todos os ambientes. Em ambientes aquáticos o aporte causado por escoamento superficial, efluentes domésticos e de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), podem estabelecer fonte contínua de contaminação para estes ambientes. Logo, o presente estudo, teve como objetivo identificar a presença de microplásticos em amostras de água coletadas em distintos pontos da Lagoa Imboassica, localizada no município de Macaé-RJ, tendo em vista que este é em corpo hídrico receptor de efluentes sanitários. O método de pesquisa aplicado foi baseado no documento “Métodos laboratoriais para a análise de microplásticos no ambiente marinho: Recomendações para a quantificação de partículas sintéticas em águas e sedimentos” publicado pelo Programa de Detritos Marinhos da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) vinculado ao Departamento de Comércio dos EUA. Nos três períodos de coletas (junho, agosto e setembro de 2023) foram encontrados microplásticos em formato de fibras e fragmentos, sendo a maior parte microplásticos incolores/transparentes. Deste modo, a Lagoa Imboassica apresenta microplásticos em suas águas de superfície requerendo, assim, implementação de programas de monitoramento para o devido acompanhamento e, também, para servir de base para tomadas de decisão direcionadas à melhoria da qualidade de água na Lagoa.

**Palavras chave:** Microplásticos. Compostos Emergentes. Corpo Hídrico Superficial.

## **ABSTRACT**

*Microplastics are emerging pollutants that are ubiquitously distributed in all environments. In aquatic environments, the input caused by surface runoff, domestic effluents and Sewage Treatment Plants (STP) can establish a continuous source of contamination for these environments. The aim of this study was therefore to identify the presence of microplastics in water samples collected at different points in the Imboassica Lagoon, located in the municipality of Macaé-RJ, given that this is a water body receiving sanitary effluents. The research method applied was based on the document “Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for the Quantification of Synthetic Particles in Waters and Sediments” published by the Marine Debris Program of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), which is linked to the US Department of Commerce. In the three collection periods (June, August and September 2023) microplastics were found in the form of fibers and fragments, most of which were colorless/transparent microplastics. Thus, the Imboassica Lagoon has microplastics in its surface waters, requiring the implementation of monitoring programs for proper follow-up and also to serve as a basis for decision-making aimed at improving water quality in the Lagoon.*

**Keywords:** *Microplastics. Emerging compounds. Surface water body.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O desafio de cidades e de estados atenderem às diretrizes ambientais de regulação de lançamento de efluentes sanitários em corpos hídricos receptores origina-se majoritariamente dos impactos causados pela atuação de significativas atividades antrópicas – como a da agropecuária; e de indústrias de refinarias petroquímicas, siderúrgicas e de fertilizantes (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2014), além de atividades residenciais e comerciais – na concentração de contaminantes emergentes, tais como microplásticos, fármacos e nanocompostos, em corpos hídricos, visto que, até então, os sistemas de tratamento de esgoto convencionais não efetuam a remoção destes dos efluentes liberados aos corpos d’água (SNS/MDR, 2021).

Além disso, os corpos hídricos tendem a receber o aporte de tais poluentes emergentes através dos esgotos lançados irregularmente em galerias de águas pluviais, além do aporte proveniente da poluição difusa.

Dessa forma, o gerenciamento e o controle do efeito de tais contaminantes, que são introduzidos no meio ambiente, principalmente, por meio do lançamento efluentes sanitários aos ambientes aquáticos, contribuem na mitigação dos potenciais impactos à saúde humana (USEPA ,2021).

Os contaminantes emergentes (CEs) ou poluentes emergentes, também denominados contaminantes de preocupação emergente (CEC), são compostos provenientes de fontes antrópicas, podendo ser detectáveis em efluentes domésticos, industriais e hospitalares, tais como fármacos (substâncias químicas que são o princípio ativo do medicamento), pesticidas (que se encontram nas classificações como a de herbicidas, inseticidas e fungicidas) e microplásticos – seja devido a decomposição de plásticos em partículas consideravelmente pequenas, ou à produção para o uso de produtos de higiene pessoal (denominados microesferas) (MONTAGNER et al., 2017).

Por meio de sua natureza, os microplásticos podem sofrer a ação de intemperismo ou fragmentações adicionais, que provocam a alteração de suas propriedades físico-químicas (tamanho, cor, área de superfície, etc.), e tais efeitos tendem na liberação de aditivos e de derivados, multiplicando-se os contaminantes tóxicos (LIU et al., 2020; ENFRIN et al., 2020; REDDY & NAIR, 2022).

Análises e debates iniciais realizados no Programa de Detritos Marinhos da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (ARTHUR et al, 2009), definiram microplásticos como diferentes materiais sintéticos de poliméricos de tamanho menor ou igual a 5 mm. E como efeito desta ação, recentemente a norma técnica ISO/TR 21960:2020 *Plastics — Environmental aspects — State of knowledge and methodology* (ISO, 2020), definiu tais tipos de plásticos em microplásticos e “microplásticos grandes” (do inglês *large microplastic*).

Desse modo, de acordo com a norma, os microplásticos são categorizados como qualquer partícula sólida de plástico insolúvel em água com uma dimensão entre 1  $\mu\text{m}$  e 1000  $\mu\text{m}$  (=1 mm) e os “microplásticos grandes” como qualquer partícula sólida de plástico insolúvel em água com uma dimensão entre 1 mm e 5 mm (ISO, 2020).

Seja devido à produção em proporção de microesferas, ou por efeito de degradação de plásticos em partículas consideravelmente pequenas, as principais fontes de microplásticos são classificadas em terminologias que se assemelham as das ciências atmosféricas. Tais fontes são denominadas primárias – matérias-primas plásticas produzidas intencionalmente para serem utilizadas de forma direta, ou como precursoras de outros produtos – e secundárias, as quais são microplásticos formados no meio-ambiente a partir da degradação de macrolásticos (YUSUF, et al., 2022).

Exemplos de fontes primárias deste polímero são os *pellets* (condição em que os plásticos são comercializados, em outros termos, fase de pré-produção de plásticos), visto que estes comumente se quebram e se espalham na etapa de transporte; além de abrasivos

industriais, tais como produtos de cuidados pessoais, entre outros produtos de consumo (ARTHUR et al., 2009; PETERSEN & HUBBART, 2021).

Já as fontes secundárias representam todo tipo de microplástico, que ao ser exposto às intempéries, ou à energia mecânica, oriunda da movimentação da água, sofre a degradação, consistindo na quebra do material em pequenos fragmentos (ARTHUR et al., 2009; PETERSEN & HUBBART, 2021), tornando-se indetectáveis a olho nu.

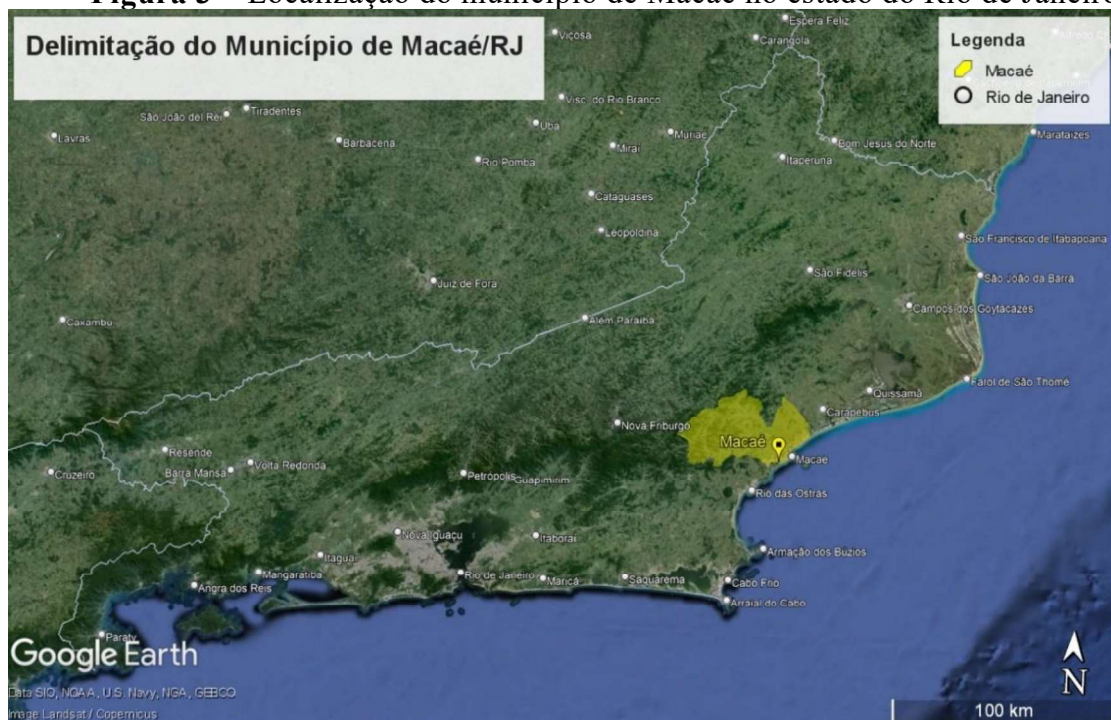
Isto posto, decorrente a contribuição que estudos científicos possam dar à pesquisas e avaliações de possíveis impactos causados pela presença de microplásticos em ambientes aquáticos, o objetivo deste estudo foi o de analisar, por meio de amostragens de água, a presença de microplásticos em uma lagoa costeira, exutório de uma bacia hidrográfica cuja ocupação urbana teve início no final da década de 1970 (BOZELLI et al., 2009; SOFFIATI, 2011), a bacia hidrográfica da Lagoa Imboassica.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

As análises foram realizadas em amostras de água coletadas em três pontos distintos da Lagoa Imboassica no município de Macaé, região Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro (Figura 3).

**Figura 3** – Localização do município de Macaé no estado do Rio de Janeiro.



Fonte: Google Earth, 2024.

Com uma área territorial de aproximadamente 1.217 km<sup>2</sup> (IBGE, 2024), correspondente a 12,5% da área da Região Norte Fluminense (MACAÉ, 2024), o crescimento econômico da cidade se deu com o advento das atividades do setor petrolífero no fim da década de 70, em razão da descoberta do petróleo na Bacia de Campos<sup>1</sup> e da sua posição geograficamente estratégica em função do apoio logístico às plataformas marítimas (LOUREIRO et al., 2014).

Nesse contexto, as atividades petrolíferas progridiram em uma região historicamente baseada na produção de cana-de-açúcar e na pecuária bovina, que até então se encaminhava para o declínio (PIQUET, 2012).

A crescente expansão industrial, e conseqüentemente, populacional e urbana, ocorrida em Macaé corroborou para a implantação do bairro Mirante da Lagoa, sendo este um dos primeiros impactos diretos da urbanização sobre a Lagoa Imboassica, visto que outrora não havia ocupação no seu entorno (FARIAS, 2018).

A Lagoa, localizada no bairro homônimo em Macaé/RJ, é um corpo hídrico responsável pelo desenvolvimento de diversas atividades elementares concebidas em seu entorno, “tais como atividades de lazer, prática de esportes aquáticos, valorização imobiliária, controle de inundações, produção de pescado e diluição de efluentes sanitários e industriais” (FARIAS, 2018). Dada a sua importância, o manancial superficial vem sofrendo os negativos impactados causados pelo avanço das atividades de exploração e produção de petróleo, acrescidos das de gás natural na região, decorrentes de ocupação inadequada da bacia hidrográfica e das áreas inundáveis; o aporte de efluentes sanitários (domésticos e comerciais) e industriais sem tratamento e/ou tratados; e as frequentes aberturas artificiais da barra arenosa que separa o corpo hídrico do mar (ESTEVEZ, 1998 apud FARIAS, 2018).

A área selecionada para o estudo configura-se em um corpo hídrico localizado à margem da costa (**Figura 4**). E decorrente a este arranjo, está sujeito a sofrer impactos como a de lançamento de efluentes (STUART et al., 2012) lançados nas áreas limítrofes.

---

<sup>1</sup> A Bacia de Campos é composta por uma área sedimentar que se estende do estado do Espírito Santo (na proximidade de sua capital, Vitória) até a cidade de Cabo Frio, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro. Esta representa a principal área sedimentar explorada no Brasil, se destacando por abrigar aproximadamente 80% das reservas totais de petróleo e 42% do gás natural produzidos no país. Além disso, a sua denominação é em função de sua proximidade com a cidade de Campos dos Goytacazes (PIQUET, 2012).

A coleta amostral do experimento correspondeu a três pontos distintos da Lagoa Imboassica, localizada em uma divisa com o município de Rio das Ostras, na qual possui uma área aproximada de 5 km<sup>2</sup>.

**Figura 4** – Pontos de coleta das amostras do experimento.



Fonte: Google Earth, 2024.

Conforme ilustra a **Figura 4**, os pontos definidos para a realização das coletas de amostras foram as seguintes localidades:

- Ponto 1: Cais da Lagoa Imboassica (22°24'55.3"S 41°49'03.3"W)

Endereço: Av. José Passos de Souza Junior, 638 - Macaé, RJ, 27920-570

- Ponto 2: R. Anfilóbio Trindade – Bairro Lagoa (22°24'38.5"S 41°48'44.5"W)

Endereço: R. Anfilóbio Trindade, 233 - Praia do Pecado, Macaé - RJ, 27920-530

- Ponto 3: Bairro Mirante da Lagoa (22°24'36.2"S 41°50'26.2"W)

Endereço: Av. Ver. Adir Luís de Schueller, 1150 - Mirante da Lagoa, Macaé - RJ, 27925-410.

## 2.2. MATERIAL

O material utilizado para o desenvolvimento do experimento pode ser acompanhado adiante:

- Balde metálico de 10 L

- Peneiras de aço inoxidável, cada uma com as dimensões de 8” de diâmetro e 2” de profundidade, nas malhas de 4,75 mm, 53  $\mu\text{m}$  e 45  $\mu\text{m}$
- Frasco de esguicho com água destilada
- Copos de vidro (béqueres) de 500 ml
- Balança digital
- Estufa de secagem (90°C – 100°C)
- Solução de Sulfato de Ferro II ( $\text{FeSO}_4$ ) (0,05 M)
- Solução de peróxido de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a 30%
- Cloreto de sódio
- Água destilada
- Barra de agitação
- Placa de aquecimento de laboratório
- Vidro de relógio
- Placa de Petri de vidro
- Lâminas e lamínulas de vidro
- Funis de separação de vidro
- Funil de vidro
- Provetas graduadas de vidro
- Pipeta graduada de vidro
- Folha de alumínio
- Microscópio de dissecação (ampliação de 40X e 100X)

### 2.3. MÉTODO

A metodologia de coleta e análise dos microplásticos realizada teve como base o manual de “Métodos laboratoriais para a análise de microplásticos no ambiente marinho: Recomendações para a quantificação de partículas sintéticas em águas e sedimentos” aplicado pelo Programa de Detritos Marinhos da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica – do inglês *Marine Debris Program National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA, vinculado ao Departamento de Comércio dos EUA (NOAA, 2015).

### Coleta, filtragem e armazenamento das amostras

Através da coleta de água de superfície por um balde metálico, o método consiste na filtragem dos sólidos por peneiras de 4,75 mm e 53  $\mu\text{m}$ , respectivamente empilhados, para a retenção das partículas de tamanho pretendido (**Figura 5**). Coletou-se 40 L de água em cada ponto de coleta. Em seguida, as amostras foram peneiradas, armazenadas em frascos de vidro âmbar e levadas ao laboratório. No total, este procedimento foi executado por três vezes, sendo cada uma referendada por fase ou coleta. Desse modo, em cada fase houve a análise das amostras coletadas nos três referidos pontos fixos.

**Figura 5** – Filtragem de amostra de água bruta.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.



### **Análises de laboratório**

No laboratório, as amostras foram transferidas para béqueres e secas em estufa à 90°C por pelo menos 24h. Após a secagem foi aferida a massa dos resíduos sólidos da amostra, de acordo com a metodologia da NOAA (2015). Tais resíduos são submetidos a oxidação pelos reagentes de Sulfato de Ferro II ( $\text{FeSO}_4$ ), na solução de 0,05 mol/L, e do Peróxido de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a 30%, sendo adicionados 20 mL de cada um destes para que a matéria orgânica presente na amostra possa ser digerida à 75°C por 30 min. Neste processo as partículas de microplásticos permanecem inalteradas (**Figura 6**).

**Figura 6** – Amostras da 2ª coleta dispostas na estufa, antes do processo de secagem.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

Após o procedimento de secagem as amostras, ainda na fase líquida, foram filtradas pela peneira de malha de 45  $\mu\text{m}$  e, posteriormente, os resíduos, de cada amostra, retidos na peneira foram transferidos para um funil de separação de 50 mL com o auxílio da solução de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) 12% (6 g/50 mL), conforme ilustra a **Figura 7**.

**Figura 7** – Solução NaCl (6g/50 mL) e resíduos da oxidação dos reagentes  $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ , com as partículas sólidas das amostras, sendo transferidos para funis de separação.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

As amostras se mantiveram em funis de separação em um período médio de 7 dias. Logo, esse tempo foi necessário para a sedimentação de partículas de minerais mais densos, e não digeridos nas etapas anteriores. Já os sólidos suspensos, que se mantiveram na solução NaCl, foram recolhidos do funil para a finalização do experimento na análise microscópica da solução (**Figura 8**).

**Figura 8** – Etapa de eliminação de material sedimentável da solução NaCl (6g/50 mL), pelo processo de sedimentação no funil de separação.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

As amostras foram individualmente transferidas para suas respectivas provetas de 100 mL. Em continuidade, lâminas e lamínulas secas e higienizadas foram usadas para a observação das amostras retiradas das provetas, contendo partículas de pequenas dimensões. Assim, foram usadas ampliações de 40 e 100x de aumento (**Figura 9**).

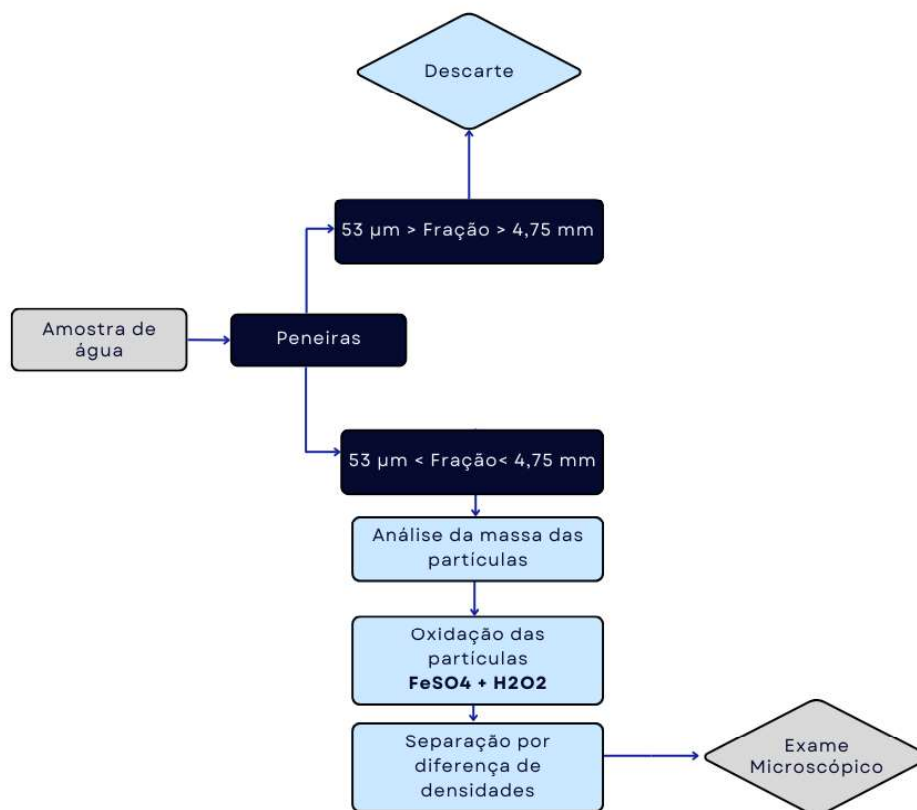
**Figura 9** – Observação microscópica das amostras processadas.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

A **Figura 10** apresenta o fluxograma seguido para a análise de microplásticos em amostras de água.

**Figura 10** – Fluxograma para a análise de microplásticos em amostras de água.



### Análises estatísticas

A observação dos resíduos sólidos, oriundos das amostras de água e que se mantiveram após as reações físico-químicas, no microscópio resultou-se em análises estatísticas, nos quais os dados das amostras coletadas em cada ponto foram organizados em planilhas nos programas (*softwares*) Excel e Past 4. Além das análises paramétricas, feitas por meio de análises de variância<sup>2</sup> – ANOVA ( $p < 0,05$ ), com teste Tukey post hoc (para a verificação parametrizada da média amostral discrepante) –, e análises estatísticas não paramétricas, Kruskal-Wallis<sup>3</sup> com teste Dunn's post hoc (para a verificação da média amostral discrepante, de forma não parametrizada).

As análises estatísticas aplicadas neste estudo compreenderam na apresentação de dados numéricos dos resultados observados no experimento, e na comparação ponderada

<sup>2</sup> A análise de variância (ANOVA) consiste na verificação estatística de médias populacionais de três ou mais grupos baseando-se na análise das variâncias amostrais. Esta análise é aplicada na condição de as médias populacionais terem uma distribuição normal. Assim, a ANOVA permite identificar se tais grupos possuem diferenças estatísticas significativas, ou não, entre si (MAIA, 2017).

<sup>3</sup> O teste de Kruskal-Wallis é o teste não paramétrico aplicado para a comparação de três ou mais amostras independentes, indicando se há diferença entre pelo menos dois destes. As distribuições estatísticas deste tipo de teste independem da distribuição das amostras (CONTADOR & SENNE, 2016).

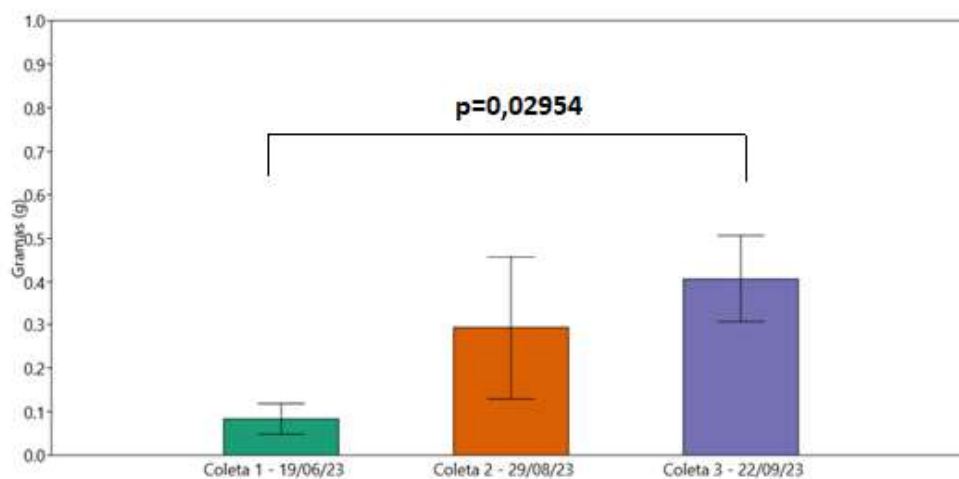
destes. Dessa forma, as análises constituíram um mecanismo de auxílio na compreensão dos resultados observados, de forma a torná-los mais representativos.

### 3. RESULTADOS

#### Massa dos resíduos sólidos

A massa inicial obtida no experimento corresponde aos resíduos retidos na etapa de filtração das amostras de água da Lagoa, nos quais passaram pelo processo de incubação, em estufa por 24h, à 90°C. Desse modo, os resultados são mostrados na **Figura 11**.

**Figura 11** – Média das massas dos resíduos sólidos das amostras de água da Lagoa Imboassica, apresentadas em média  $\pm$  desvio padrão<sup>4</sup>.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

#### Triagem das partículas de microplásticos

As amostras resultantes das análises físico-químicas, detectadas microscopicamente, foram classificadas como microplástico – na condição de cor (colorida ou incolor), e de forma (sendo fibra) – ou partícula com forma não-classificada, ou seja partícula incolor de microplástico, ou de outra natureza, cuja forma não fora identificada).

Tais classificações atribuídas às amostras residuais observadas baseam-se na condição pelas quais as reações químicas puderam eliminar os resíduos vegetais presentes nas amostras de água. Assim, os resultados das amostras coletadas nos três pontos

<sup>4</sup> O desvio padrão é uma medida de dispersão em torno da média populacional de uma variável aleatória. Assim, no estudo esta medida indica diferença significativa entre as médias (ANOVA  $p < 0,05$ ; teste Tukey *post hoc*).

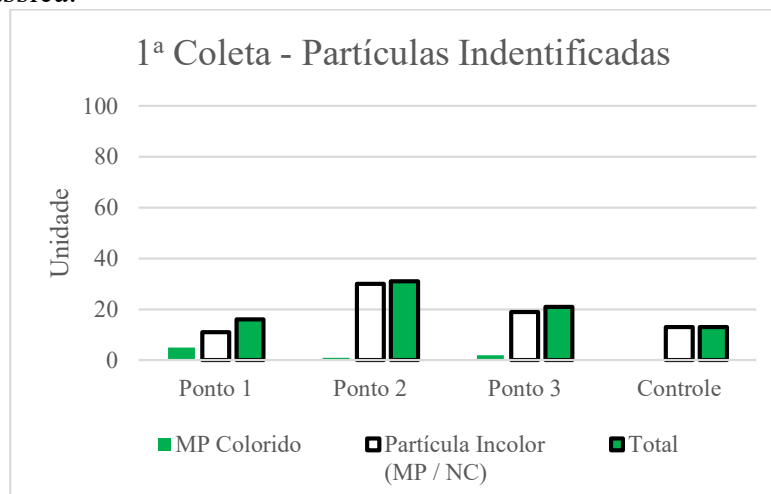
geográficos da área de estudo, além das amostras de controle (comparativo dos resultados obtidos com os resultados esperados), são apresentados na **Tabela 2**. Esta indica o quantitativo total e a média calculada das partículas verificadas pela observação microscópica.

**Tabela 2** – Quantitativo amostral de partículas oriundas da Lagoa Imboassica.

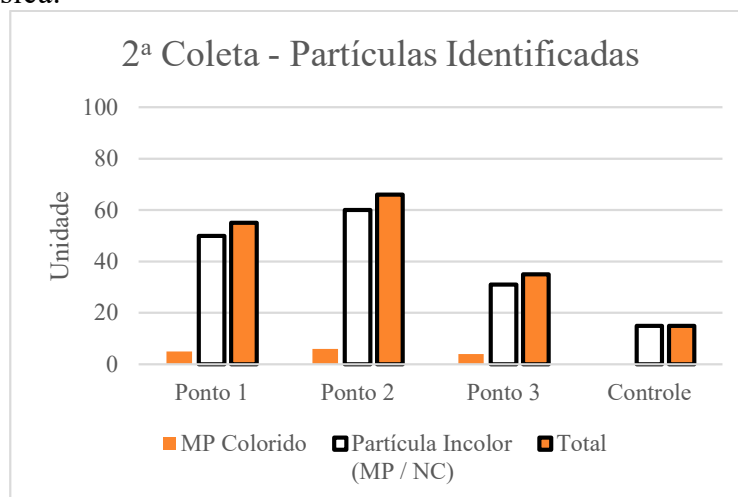
	Pontos de Coleta	Partícula Colorida	Partícula Incolor	Partícula Não-Classificada	Total
<b>Coleta 1</b>	<b>Ponto 1</b>	5	9	2	16
	<b>Ponto 2</b>	1	25	5	31
	<b>Ponto 3</b>	2	15	4	21
	<b>Controle</b>	0	13	0	13
	<b>Média</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>20</b>
<b>Coleta 2</b>	<b>Ponto 1</b>	5	40	10	55
	<b>Ponto 2</b>	6	48	12	66
	<b>Ponto 3</b>	4	25	6	35
	<b>Controle</b>	0	15	0	15
	<b>Média</b>	<b>4</b>	<b>32</b>	<b>7</b>	<b>43</b>
<b>Coleta 3</b>	<b>Ponto 1</b>	8	74	13	95
	<b>Ponto 2</b>	7	19	4	30
	<b>Ponto 3</b>	12	41	9	62
	<b>Controle</b>	4	18	0	22
	<b>Média</b>	<b>8</b>	<b>38</b>	<b>7</b>	<b>52</b>

A partir dos dados estatísticos apresentados na **Tabela 2**, as partículas de microplásticos (MP) e de classificação não-identificada foram agrupadas em MP colorido e partícula incolor (sendo MP ou de aspecto característico não definido denominada como forma não-classificada, NC). Desse modo, a quantificação obtida por observação microscópica de tais resíduos sólidos, dos três pontos de coleta, resultou nos gráficos ilustrados nas **Figuras 12, 13 e 14**.

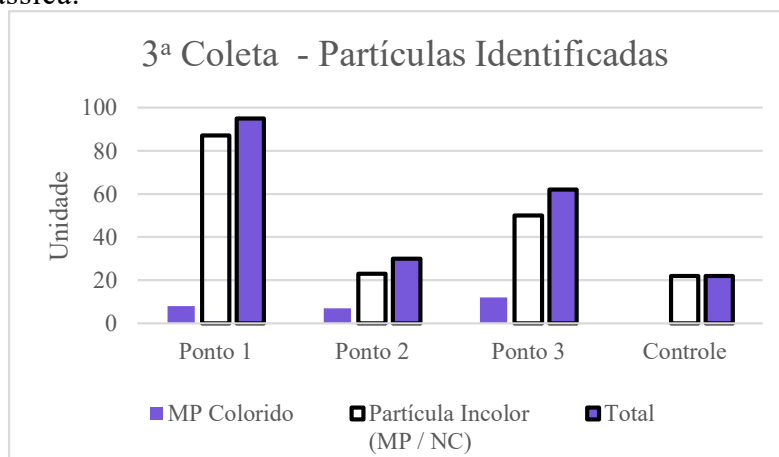
**Figura 12** – Quantitativo de partículas identificadas na 1ª coleta em pontos da Lagoa Imboassica.



**Figura 13** – Quantitativo de partículas identificadas na 2ª coleta em pontos da Lagoa Imboassica.



**Figura 14** – Quantitativo de partículas identificadas na 3ª coleta em pontos da Lagoa Imboassica.



Desse modo, observa-se que as partículas incolores compuseram o maior quantitativo identificado nas análises microscópicas nas três coletas (média entre 83% e 90% do resultado final). E conseqüentemente, os microplásticos coloridos observados compreenderam uma média de 10% a 17% de todos os identificados nas coletas.

Vale ressaltar que nas amostras de “controle” não foram identificadas partículas de microplásticos coloridos, e sim de partículas incolores, seja propriamente de microplásticos ou de classificação não identificada, representando assim o total de partículas observadas nas amostras.

A partir daí, foram realizadas análises de média e desvio padrão dos pontos de cada coleta e do controle (**Tabela 3**), além da análise de variância (ANOVA,  $p \leq 0,05$ ), por meio do *software* Excel, para assim se obter a comparação das médias entre as amostras de três ou mais grupos, e verificar se há diferença entre os seus valores (FAVERO & BELFIORE, 2017), conforme ilustra a **Tabela 4**.

**Tabela 3** – Resultado da análise das médias dos pontos de cada coleta da Lagoa Imboassica.

Coleta	Grupos	Contagem	Soma	Média
Coleta 1	Ponto 1	3	18	6
	Ponto 2	3	36	12
	Ponto 3	3	25	8,33
	Controle	3	13	4,33
Coleta 2	Ponto 1	3	65	21,67
	Ponto 2	3	78	26
	Ponto 3	3	41	13,67
	Controle	3	15	5
Coleta 3	Ponto 1	3	108	36
	Ponto 2	3	34	11,33
	Ponto 3	3	71	23,67
	Controle	3	22	7,33

**Tabela 4** – Resultado da Análise de Variância (ANOVA,  $p \leq 0,05$ ) dos pontos de cada coleta da Lagoa Imboassica.

ANOVA						
Fonte de Variação	Soma Quadrática (SQ)	Grau de Liberdade (gl)	Média Quadrática (MQ)	Estatística F	P-valor	F <sub>crítico</sub>
Entre Grupos	3305,89	11	300,54	0,741	0,691	2,216
Dentro dos Grupos	9738,67	24	405,78			
<b>Total</b>	<b>13044,56</b>	<b>35</b>				



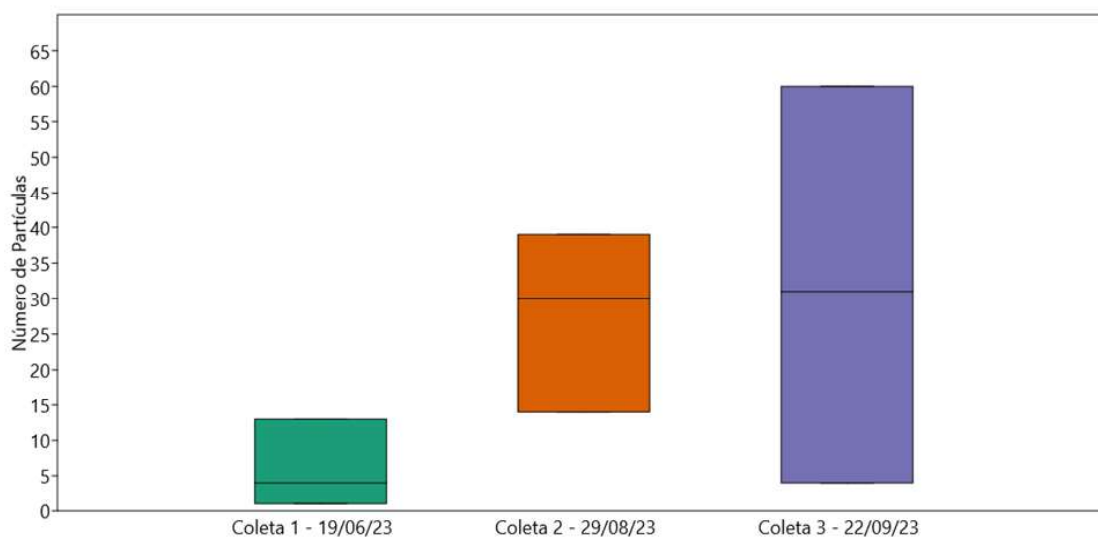
Por meio dos fundamentos da análise de variância, p-valor representa a probabilidade de ser obtida uma observação da distribuição F com  $k - 1$  e  $k(r - 1)$  graus de liberdade maior ou igual ao valor observado pela  $F_{\text{crítico}}$  (FAVERO & BELFIORE, 2017).

Assim, se p-valor corresponder uma probabilidade maior que 5% da análise de variância observada ( $\alpha = 0,05$ ), considera-se a hipótese nula ( $H_0$ ) de que não há evidências estatísticas de que as médias das amostras sejam diferentes. Caso contrário, considera-se p-valor  $< 0,05$ , ou seja, rejeita-se a hipótese nula, visto que a análise indica a existência de pelo menos uma média amostral desigual.

Desta forma, a **Tabela 4** indica o resultado da probabilidade de significância p-valor equivalente a 0,691 (ou seja,  $> 0,05$ ). Logo, aceitamos a hipótese nula ( $H_0$ ) e concluímos que não há diferença entre as médias das amostras analisadas.

Posteriormente a evidência da igualdade das médias de número de partículas identificadas em cada coleta do estudo, por análise paramétrica, foi-se realizada a análise não paramétrica dos dados. Assim, os resultados gerados confirmam que não há diferença significativa entre as medianas das amostras 2 e 3, diferenciando-se somente a amostra 1 das demais, conforme ilustra a **Figura 15**. O total de partículas de microplásticos de cada coleta, já descontadas as do controle, está sendo apresentado na referida figura.

**Figura 15** - Quantitativo de partículas de microplásticos identificadas, expressos no gráfico *box plot* (mediana e quartis 25-75%).

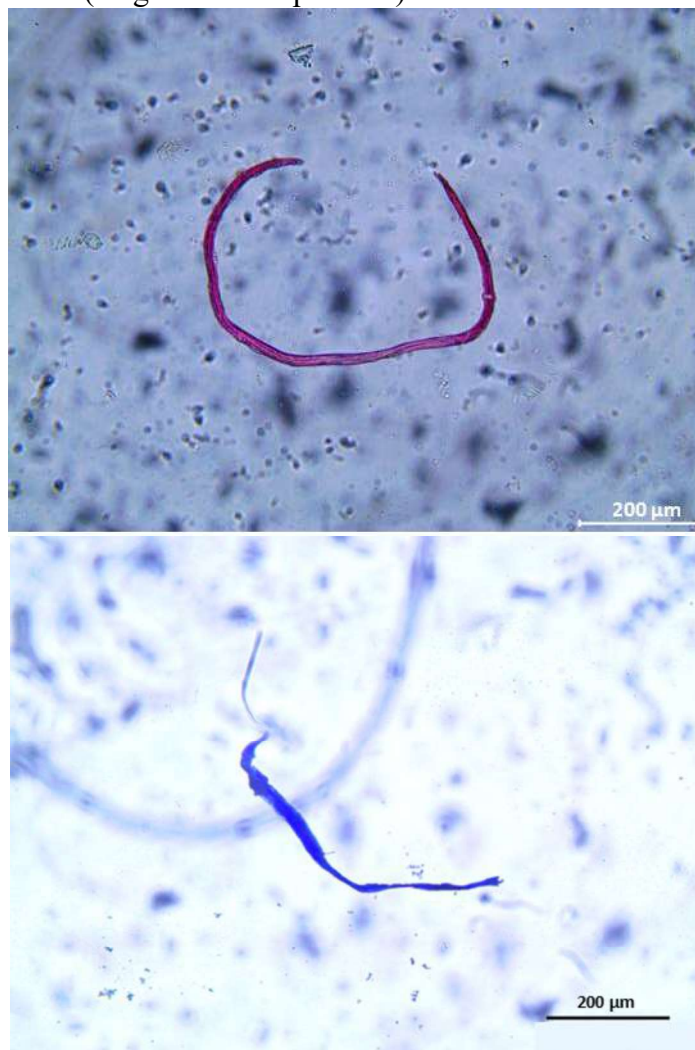


Fonte: Programa Past 4.0, 2024.

### Registro visual de partículas de microplásticos por microscopia óptica

Alguns dos registros fotográficos microscópicos, de microplásticos coloridos identificados em amostras são apresentados na **Figura 16**, considerando a barra de escala de 200  $\mu\text{m}$ .

**Figura 16** - Registro de microplástico em amostras da 1ª coleta de água bruta da Lagoa Imboassica (originários do ponto 1).



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Já registros de fibras incolores, em amostras, são apresentados na **Figura 17** (com barra de escala de 200  $\mu\text{m}$ ).

**Figura 17** – Registro microscópico de fibras incolores em amostras de água bruta da Lagoa Imboassica, respectivamente, da 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> coleta (originários dos pontos 2 e 3).



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

As partículas de forma não-classificada (NC) na observação microscópica das amostras foram as que não se caracterizaram como fibra de microplástico colorido e incolor. Dessa forma, esta categoria de resíduo sólido foi feita por eliminação dos critérios adotados para os elementos anteriores. Assim, a **Figura 18** apresenta registros microscópicos de tal tipo de partícula (com barra de escala de 200 μm).

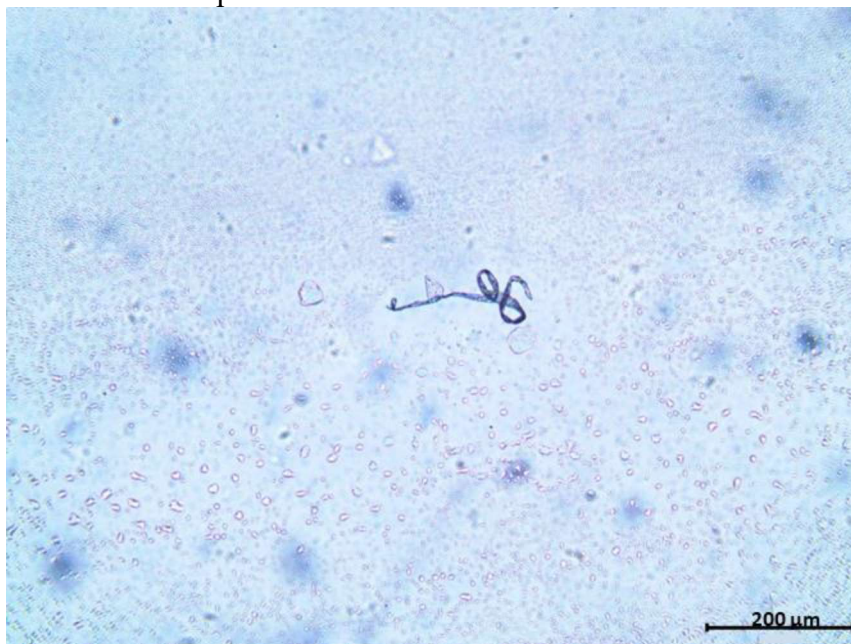
**Figura 18** – Registro microscópico de partículas de forma não-classificada (NC) em amostras de água bruta da Lagoa Imboassica da 3ª coleta (originárias dos pontos 2 e 3).



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

Em observação às amostras do controle laboratorial (utilizadas na finalidade de verificar a incidência de partículas de micropoplásticos na execução do experimento no laboratório) foi possível observar a presença de fibras de microplásticos incolores (**Figura 19**), possivelmente oriundas de contaminação do ar atmosférico, das vestimentas dos manipulados das amostras, nas ocasionalidades em que o recipiente de vidro – utilizado para as análises dos reagentes químicos – esteve sem a vedação superior.

**Figura 19-** Registro microscópico de fibra de microplástico incolor, em amostra de controle do experimento.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

#### 4. DISCUSSÃO

Foi observado, por meio dos dados apresentados na **Figura 11**, que as massas das amostras iniciais, resultantes da 2ª e 3ª coleta de água bruta da Lagoa Imboassica, foram superiores às massas da 1ª coleta, resultando em p-valor equivalente a 0,02954.

Dessa forma, os resultados gerados na análise de variância (ANOVA,  $p \leq 0,05$ ), registrados na **Tabela 8**, do APÊNDICE B, confirmam que há disparidade em pelo menos uma das médias das massas residuais amostrais das três fases de coletas, pois p-valor é menor que 0,05, rejeitando-se assim, a hipótese nula ( $H_0$ ). Logo, é observado na **Figura 11** que a diferença entre a média das massas ocorre entre a 1ª e a 3ª coleta, tendo em vista que no processamento das amostras da 1ª coleta, houve uma pequena variação no método de obtenção das massas na balança digital, diferenciando-se dos procedimentos realizados nas últimas campanhas de coleta.

A vedação dos béqueres que continham os resíduos sólidos das amostras de água foi feita a partir da 2ª fase de coleta do experimento, em específico a começar da etapa de medição das massas secas nas balanças digitais. Dessa forma, a proteção contra a influência de agentes externos nas amostras (possíveis partículas vegetais e sintéticas presentes do ar atmosférico) fora aplicado como mecanismo de controle e de minimizar a interferência de tais partículas externas nos resultados das massas.

A detecção de microplásticos nas amostras preparadas para análises no microscópio foi feita a partir da observação de cores nas partículas, além da forma destas.

Para as amostras classificadas como microplásticos incolores – podendo ser confundidas com as fibras vegetais – a identificação foi realizada por meio da observação de elementos com nítido grau de transparência e/ou de porosidade. A exemplo de fibras vegetais apresentam-se o algodão e as fibras originárias de plantas (sementes, flores ou folhas) (GONÇALVES et al., 2018). Entretanto, a reação de Fenton ( $\text{FeSO}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) usada neste estudo apresenta eficiência na eliminação das fibras vegetais (TAGG et al., 2017; PFEIFFER; FISCHER, 2020). Aliada a isto, a etapa de separação por densidade – devido ao uso de NaCl (12%), entre os resíduos sólidos em suspensão e os decantáveis, nos funis de separação em todas as coletas – perdurou-se aproximadamente por 7 dias, período este superior ao executado pelo manual da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2015)

Desse modo, este período foi satisfatório para que houvesse a decantação dos sólidos não selecionados para as análises microscópicas, a exemplo de tais elementos são as matérias orgânicas. Contudo, não é descartado que este processo e o da oxidação química, efetuado através da reação de Fenton, não tenham eliminado todas as matérias orgânicas presentes nas amostras de água coletadas da Lagoa Imboassica.

Logo, as partículas de forma não-classificada (NC) foram categorizadas assim por apresentarem porosidade e textura visual diferente dos microplásticos coloridos ou incolores. Assim, tais partículas não foram denominadas como microplásticos. Conjectura-se que a presença dessas nas amostras decorre-se de possíveis contaminações externas ocorridas durante a execução do experimento.

Em síntese, este trabalho apresenta as condições observadas em pontos distintos de um exutório da bacia hidrográfica da Lagoa Imboassica, corpo hídrico receptor de efluentes sanitários do município de Macaé, comprovando a presença de microplásticos no manancial, em razão da não decomposição destes nos processos de reação química existentes no experimento.

Além disso, vale a ressaltar que as coletas amostrais de água da Lagoa, feitas nos meses de junho, agosto e setembro de 2023, ocorreram em um ano de estiagem e de maiores temperaturas climáticas.

Visto que a estiagem tende a comprometer a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos receptores (BATISTA & CABRAL, 2017) e, conseqüentemente, a aumentar a concentração de matéria inorgânica nestes, como possível efeito de tais

fenômenos climáticos, observou-se a tendência de aumento de partículas de microplásticos entre a primeira e a terceira fase de coleta do experimento. Dessa forma, pode-se considerar este como um fator de contribuição para a diferença obtida entre a média das massas dos particulados da 1ª e a 3ª coleta amostral.

Segundo resultados de Bertoldi et al. (2021), análises de 7 pontos no Lago Guaíba/RS gerou uma média de  $11,9 \pm 0,6$  a  $61,2 \pm 6,1$  itens.m<sup>-3</sup>, com predominância de fragmentos e fibras entre as formas de microplásticos, e as cores predominantes foram o transparente e o vermelho. Entretanto, no presente estudo não foi possível estabelecer concentrações das partículas de microplásticos. Assim, os resultados foram semi-quantitativos, já que a totalidade dos microplásticos não fora analisada. Contudo, a ocorrência de microplásticos transparentes é confirmada pelo trabalho realizado no Lago Guaíba.

Nos dias atuais já existem evidências de que os microplásticos transportam organismos patogênicos através de *habitats* aquáticos. Contudo, ainda há informações insuficientes para avaliar categoricamente os riscos da exposição destes aos seres humanos (YUSUF et al., 2022). Todavia, o consumo direto dos principais consumidores de microplásticos na cadeia alimentar marinha (organismos aquáticos) tendem a gerar riscos aos seres humanos (YUSUF et al., 2022).

Por meio de sua natureza, os microplásticos podem sofrer a ação de intemperismo ou fragmentações adicionais, que provocam a alteração de suas propriedades físico-químicas (tamanho, cor, área de superfície, etc.), e tais efeitos tendem na liberação de aditivos e de derivados, multiplicando-se os contaminantes tóxicos e implicando, a exemplo, na interferência do sistema endócrino de seres humanos e outros organismos vivos (REIS FILHO et al., 2007). Em relação a saúde humana, estes poluentes podem provocar principalmente desregulação da glândula da tireóide, do sistema nervoso e do sistema reprodutor (KABIR et al., 2015).

## 5. CONCLUSÃO

No estudo apresentado confirma-se a premissa da presença de microplásticos, de forma inequívoca, em ambientes aquáticos. As coletas amostrais obtidas da laguna de Imboassica (extensão rasa de água marinha salobra ou salgada, retida por uma faixa de terra) mostrou que as amostras de água coletadas nos três distintos pontos tinham

fragmentos de microplásticos, nos quais foram classificados como microplásticos coloridos e incolores.

A incidência de poluentes emergentes, tais como os microplásticos em corpos hídricos, não se limita a contribuição de efluentes, em parte *in natura* e em outra, de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), ou de Estações de Tratamento de Efluentes Industriais. É de ciência que há a contribuição de esgotos sanitários em redes de drenagem de águas pluviais (seja por irregularidade ou pelo extravasamento do sistema unitário de esgoto)<sup>5</sup>. Além de outras fontes poluidoras contribuintes, tais como o carreamento de pesticidas, por percolação da água no solo, além do aporte proveniente da poluição difusa.

Desse modo, como efeito de continuidade desta pesquisa, concluí-se ser pertinente a realização de testes ecotoxicológicos no corpo hídrico observado neste estudo, visto que este tipo de análise avalia os efeitos tóxicos, agudos ou crônicos de substâncias químicas naturais ou sintéticas, sobre os componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas.

Dessa forma, as etapas que existem para o tratamento de esgoto e que são aplicadas em ETEs convencionais abrangem desde a remoção de sólidos grosseiros à biodegradação de matéria orgânica ou à remoção de compostos inorgânicos, tais como nitrogênio, fósforo, microrganismos patogênicos. Contudo, há compostos que não são removidos de forma eficiente do esgoto tratado, devido as suas propriedades físico-químicas.

Logo, este estudo considera o fato de que pesquisas científicas tendem a competência de agregar e contribuir para futuras modelagens de Estações de Tratamento de Esgoto, a fim de que seja alcançada a viabilidade de remoção eficaz de contaminantes emergentes, tais como os microplásticos, no processo de tratamento de esgotos, seja sanitários, industriais e hospitalares.

Além disso, as pesquisas científicas sugeridas no presente trabalho têm, de mesmo modo, o potencial de contribuir para o desenvolvimento de estudos que avaliem os possíveis impactos que a carência das análises ecotoxicológicas em efluentes sanitários podem acarretar, visto que a Resolução CONAMA nº 430/2011 define que os efluentes dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários poderão ser submetidos a ensaios de ecotoxicidade em caso de interferência de efluentes com características potencialmente

---

<sup>5</sup> O sistema unitário é constituído por uma única rede que coleta e transporta tanto as águas pluviais quanto os esgotos. E em períodos de chuva, em que as vazões de projeto de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são superadas, devido ao lançamento das águas pluviais na rede de esgoto, o volume excedente é desviado e encaminhado diretamente ao corpo hídrico (SNS/MDR, 2021).



tóxicas ao corpo receptor, sendo definido pelo órgão ambiental estadual competente a realização de tais análises.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENZON, A.; NETO, T. J. P.; GERBER, W. (2011). **Manual sobre toxicidade em efluentes industriais**. Porto Alegre: CEP SENAI de Artes Gráficas Henrique d'Ávila Bertazo.

ARTHUR, C.; BAKER, J.; BAMFORD, H. (2009). *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris*. Memorando Técnico da NOAA NOS-OR&R-30.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. (2003). **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. São Paulo: Editora Rima.

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P. (2017). Modelos Matemáticos Para Avaliação do Índice de Qualidade de Água: Uma Revisão. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.11, n.25. p. 111-136.

BERTOLDI, C., LARA, L. Z., MIZUSHIMA, F. A. D. L., MARTINS, F. C., BATTISTI, M. A., HINRICHS, R., & FERNANDES, A. N. (2021). *First evidence of microplastic contamination in the freshwater of Lake Guaíba, Porto Alegre, Brazil*. **Science of the Total Environment**, v. 759, 143503.

BOZELLI, R. L.; CALIMAN, A.; GUARIENTO, R. D.; CARNEIRO, C. S.; SANTANGELO, J. M.; FIGUEIREDO-BARROS, M. P.; LEAL, J. J. F.; ROCHA, A. M.; QUESADO, L. B.; LOPES, P. M.; FARJALLA, V. F.; MARINHO, C. C.; ROLAND, F.; ESTEVES, F. A. (2009). Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon. **Limnologia**, v. 39, p. 306-313.

BRASIL. (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Senado Federal, 05 de outubro de 1988.

BRASIL. (1997). **Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras

providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 07 de agosto de 1997.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). **Resolução 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: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011). **Resolução nº 430, 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília – DF.

BRASIL. SNS/MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional/Secretaria Nacional de Saneamento. (2021). **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021**. Brasília – DF.

CONTADOR, J. L.; SENNE, E. L. F. (2016). Testes não paramétricos para pequenas amostras de variáveis não categorizadas: um estudo. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 23, n. 3, p. 588-599.

ENFRIN, M.; LEE, J.; GILBERT, Y.; BASHEER, F.; KONG, L.; DUMÉE, L. F. (2020). *Release of hazardous nanoplastic contaminants due to microplastics fragmentation under shear stress forces*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 384, 121393.

ESTEVES, F. A. (1998). Lagoa Imboassica: Impactos Antrópicos, Propostas Mitigadoras e sua importância para a pesquisa ecológica. In: \_\_\_\_\_. (ed.). **Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro: NUPEM/UFRJ. p. 401-429.

FAVERO, L. P.; BELFIORE, P. (2017). **Manual de Análise de Dados – Estatística e Modelagem Multivariada com Excel, SPSS® e Stata®** (1 ed). São Paulo: GEN LTC.

GONÇALVES, F. A. C.; AMARAL, E. L. S.; LOPES JUNIOR, J. L.; LOPES, B. L. S.; RIBEIRO JUNIOR, L. S.; BRABO, D. R.; AMARANTE, C. B. (2018). Fibras Vegetais: Aspectos Gerais, Aproveitamento, Inovação Tecnológica e uso em Compósitos. **Espacios**, v. 39, 12.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). **Cidades – Macaé**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/macaee/panorama>.

ISO – International Organization for Standardization (2020). **Plastics – Environmental aspects: State of knowledge and methodologies**. ISO/TR 21960:2020.

KABIR, E. R.; RAHMAN, M. S.; RAHMAN, I. (2015). *A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health*. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 40, n. 1, p. 241-258.

LIU, P.; ZHAN, X.; WU, X.; LI, J.; WANG H.; GAO, S. (2020). *Effect of weathering on environmental behavior of microplastics: Properties, sorption and potential risks*. **Chemosphere**, v. 242, 125193.

LOUREIRO, W. L. M. et al. (2014). **A Indústria do Petróleo em Macaé: características e impactos socioeconômicos sob a ótica do desenvolvimento sustentável**. *Vértices*, Campos dos Goytacazes/RJ, v.16, n.2, p. 189-220.

MACAÉ. (2024). **Macaé - Capital Nacional do Petróleo**. Disponível em: <https://macaee.rj.gov.br/cidade/conteudo/titulo/capital-nacional-do-petroleo>.

MAIA, A. G. (2017). **Econometria: Conceitos e Aplicações**. Editora Saint Paul.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. (2017). Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, p. 1094-1110.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. (2015). **Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments**. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. (2021). **“What are microplastics?”**. Washington, D.C.: NOAA Publishing. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/microplastics.html#transcript>.

PETERSEN, F.; HUBBART, J. (2021). *The occurrence and transport of microplastics: The state of the science*. **Science of the Total Environment**, v. 758, 143936.

PFEIFFER, F.; FISCHER, E.K. (2020). *Various Digestion Protocols Within Microplastic Sample Processing—Evaluating the Resistance of Different Synthetic Polymers and the*

*Efficiency of Biogenic Organic Matter Destruction. Frontiers in Environmental Science.* v.8, 572424.

PIQUET, R. P. S. (2012). O lugar do regional na indústria do petróleo. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 1, p. 51.

REDDY, A. S.; NAIR, A. T. (2022). *The fate of microplastics in wastewater treatment plants: An overview of source and remediation technologies.* **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, 102815.

REIS FILHO, R. W.; LUVIZOTTO-SANTOS, R.; VIEIRA, E. M. (2007). Poluentes emergentes como desreguladores endócrinos. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 2, n. 3, p. 283-288.

SOFFIATI, A. A. (2011). **Macaé em Quatro Tempos.** . In: HERCULANO, S. (Org.). Impactos Sociais, Ambientais e Urbanos das Atividades Petrolíferas: o caso de Macaé (RJ). I Seminário Nacional de Programa Pós-Graduação em Ciências Sociais, UFES.

STUART, M.; LAPWORTH, D.; CRANE E.; HART, A. (2012). *Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater.* **Science of the Total Environment**, v. 416, p. 1-21.

TAGG, A. S.; HARRISON, J. P.; JU-NAM, Y.; SAPP, M.; BRADLEY, E. L.; SINCLAIRD, C. J.; OJEDA, J. J. (2017). *Fenton's reagent for the rapid and efficient isolation of microplastics from wastewater.* **Chemical Communications**, v.53, p. 372-375.

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2024). **Pesquisadores do Nupem participam da despoluição de lagoa em Macaé.** Disponível em: <https://conexao.ufrj.br/2024/01/pesquisadores-do-nupem-participam-da-despoluicao-de-lagoa-em-macae/>.

YUSUF, A.; SODIQ, A.; GIWA, A.; EKE, J.; PIKUDA, O.; ENIOLA, J.; AJIWOKEWU, B.; SAMBUDI, N.; BILADH, M. (2022). *Updated review on microplastics in water, their occurrence, detection, measurement, environmental pollution, and the need for regulatory standards.* **Environmental Pollution**, v. 292, 118421.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (2014). **Ecotoxicologia aquática – Princípios e Aplicações** (2a ed.). São Paulo: RiMa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o começo do processo de despoluição da Lagoa Imboassica, iniciativas de pesquisas realizadas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)-Macaé, em conjunto à pautas políticas municipais, tal como o processo de audiência e de reuniões públicas, que se iniciou no último trimestre de 2023 no município em estudo, organizações civis e entes do poder público municipal têm se mobilizado a fim de requerer um serviço de tratamento de esgoto sanitário eficaz, além de publicidade no controle da qualidade dos efluentes sanitários que são lançados em corpos receptores da região. Para que, assim, seja minimizado os impactos causados pelo lançamento de tais efluentes no manancial.

Em consonância, pesquisadores da região salientam que neste projeto, de parceria entre a universidade e o órgão público municipal, é necessário incluir o monitoramento de poluentes químicos, tais como os microplásticos, e que, até o presente, não são inteiramente controlados no processo de tratamento de esgoto (MACAÉ, 2023).

Dessa maneira, os trabalhos de monitoramento e aplicação de testes ecotoxicológicos, em conjunto da avaliação de risco ecológico, podem contribuir para a promoção de medidas protetivas da qualidade da água, visto que há compostos que não são removidos pelos processos convencionais de tratamento de esgoto e que, conseqüentemente, são lançados em mananciais superficiais causando, assim, efeitos nocivos aos organismos aquáticos (RIBEIRO et al., 2020).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO

BRASIL. (2011). Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília.

BRASIL. (2007). **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978 Brasília, DF.

BRASIL. SNS/MDR – Secretaria Nacional de Saneamento/Ministério do Desenvolvimento Regional. (2021). **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional.

ENFRIN, M.; LEE, J.; GILBERT, Y.; BASHEER, F.; KONG, L.; DUMÉE, L. F. (2020). *Release of hazardous nanoplastic contaminants due to microplastics fragmentation under shear stress forces*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 384, 121393.

FARIAS, R. N. (2018). De campo a cidade: urbanização e eutrofização artificial de um ecossistema aquático costeiro (Lagoa Imboassica, RJ). Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Macaé Prof. Aloísio Teixeira.

LIU, P.; ZHAN, X.; WU, X.; LI, J.; WANG H.; GAO, S. (2020). *Effect of weathering on environmental behavior of microplastics: Properties, sorption and potential risks*. **Chemosphere**, v. 242, 125193.

MACAÉ. (2023). **Audiência pública debate despoluição da Lagoa de Imboassica**. Câmara Municipal de Macaé. Disponível em: <https://cmmaca.e.rj.gov.br/audiencia-publica-debate-despoluicao-da-lagoa-de-imboassica/>.

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2022). **Diretrizes da OCDE para o Teste de Produtos Químicos, Seção 2 – Efeitos em sistemas bióticos**. Paris: OECD Publishing. Disponível em: <https://www.oecd->

ilibrary.org/environment/oecd-guidelines-for-the-testing-of-chemicals-section-2-effects-on-biotic-systems\_20745761?page=1.

REDDY, A. S.; NAIR, A. T. (2022). *The fate of microplastics in wastewater treatment plants: An overview of source and remediation technologies*. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, 102815.

RIBEIRO R. X.; BRITO R. S.; PEREIRA A. C.; BORGES K.; MONTEIRO S.; GONÇALVES B. B.; ROCHA T. L. (2020). *Ecotoxicological assessment of effluents from Brazilian wastewater treatment plants using zebrafish embryotoxicity test: A multi-biomarker approach*. **Science of the Total Environment**, v. 735, 139036.

USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. (2021). *Endocrine Disruptor Screening Program (EDSP) Overview*. Washington, D.C.: USEPA Publishing. Disponível em: <https://www.epa.gov/endocrine-disruption/endocrine-disruptor-screening-program-edsp-overview#approach>.

USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. (2022). *Summary of the Clean Water Act*. Washington, D.C.: USEPA Publishing. Disponível em <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: Princípios e Aplicações**. 2nd ed. São Paulo (Brasil): Editora Rima, 2014.



## APÊNDICE A - Registro fotográfico da Metodologia

**Figura 20** – Coletas em superfície de amostras de água nos três pontos geográficos do experimento.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 21** – Transferência de resíduos sólidos através do despejo de água destilada na peneira de 53  $\mu\text{m}$  no Ponto 1 - Cais da Lagoa Imboassica.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

**Figura 22** – Transferência de resíduos sólidos através do despejo de água destilada na peneira de 53  $\mu\text{m}$  no Ponto 2 – Rua Anfilóbio Trindade.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

**Figura 23** – Transferência de resíduos sólidos através do despejo de água destilada na peneira de 53  $\mu\text{m}$  no Ponto 3 – Mirante da Lagoa.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 24** – Registros das três amostras coletadas na 1ª fase de coleta do experimento.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 25** – Registros das três amostras coletadas na 2ª fase de coleta do experimento.



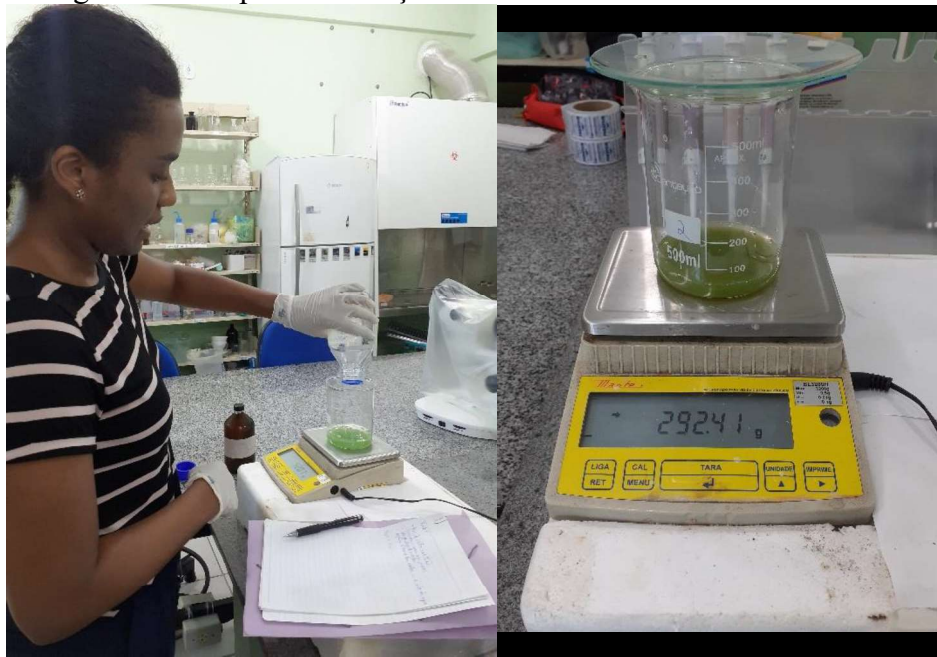
Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 26** – Registros das três amostras coletadas na 3ª fase de coleta do experimento.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 27** – Registro da etapa de obtenção das massas das amostras.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 28** – Registro das três amostras da 1ª coleta na estufa, antes do processo de secagem.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 29** – Registro de amostras após 24h na estufa de secagem.



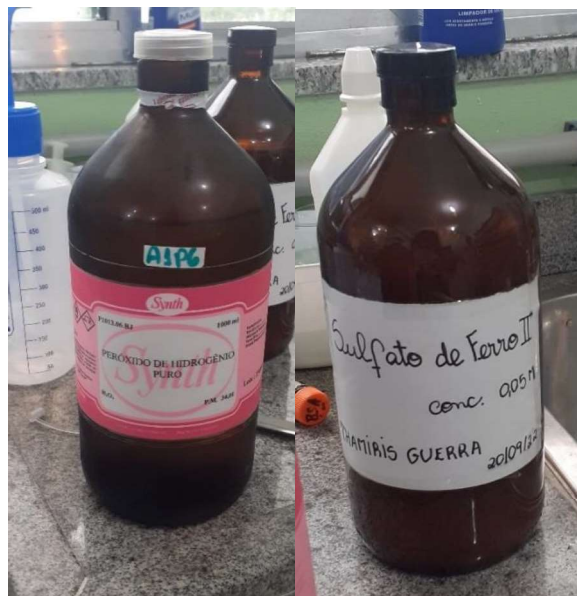
Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 30** – Registro da obtenção da massa seca das amostras 1, 2 e 3 da 1ª coleta do experimento.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 31** – Reagentes químicos ( $\text{FeSO}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a serem adicionados na amostra contida no béquer.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 32** – Reagentes químicos ( $\text{FeSO}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) nas provetas para serem adicionados na amostra contida no béquer.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 33** – Reação à temperatura ambiente de 20 mL de  $\text{FeSO}_4$  e de  $\text{H}_2\text{O}_2$  nas amostras 1 da 1ª e 2ª coleta do experimento.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 34** – Registro da amostra 1 da 1ª coleta sendo aquecida a  $75^\circ\text{C}$ , na placa de aquecimento por 30 minutos, e o seu resultado após o período definido.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

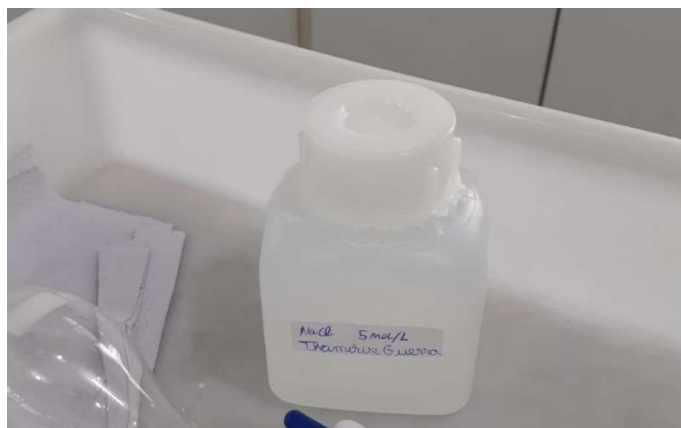


**Figura 35** – Filtragem da solução de  $\text{FeSO}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ , com os resíduos da amostra de água bruta, pela peneira de abertura de  $45\ \mu\text{m}$ .



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

**Figura 36** – Registro da solução salina [ $\text{NaCl}$  (aq)] preparada para uso no separador de densidade.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

**Figura 37** – Amostras sendo transferidas para seus respectivos funis de separação, na finalidade de se obter a separação do plástico.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 38** – Amostras em processo de sedimentação de matérias sólidas de microplásticos das matérias orgânicas, em funis de separação.



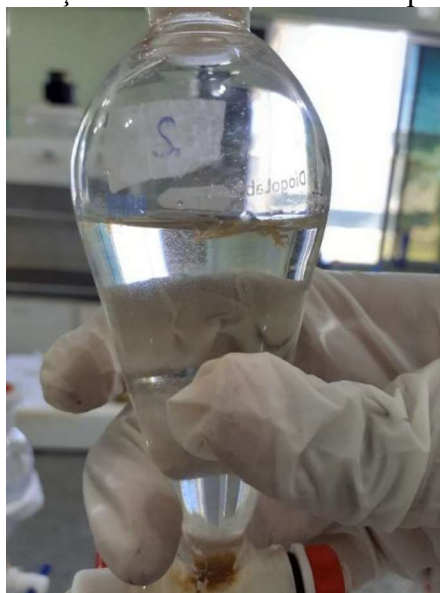
Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 39** – Etapa de eliminação de material orgânico da solução NaCl [aq], pelo processo de sedimentação no funil de separação.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 40** – Registros de solução NaCl e sólidos em suspensão no funil de separação.



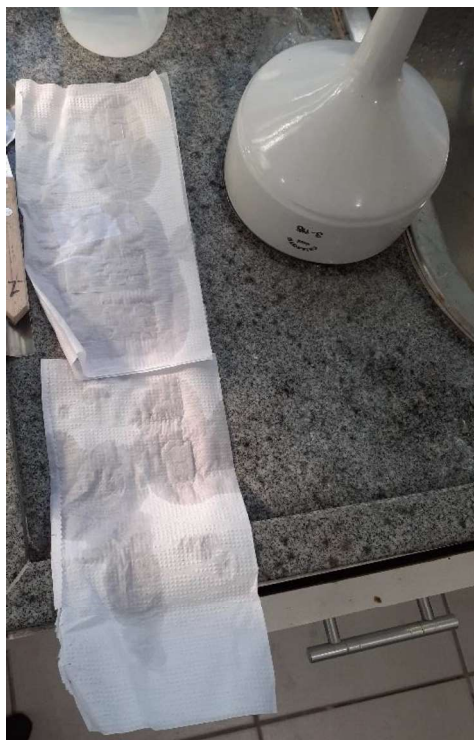
Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 41** – Registros de transferência de solução homogênea de NaCl [aq] e resíduos sólidos, do separador de funil para a proveta na 3<sup>a</sup> coleta do experimento.



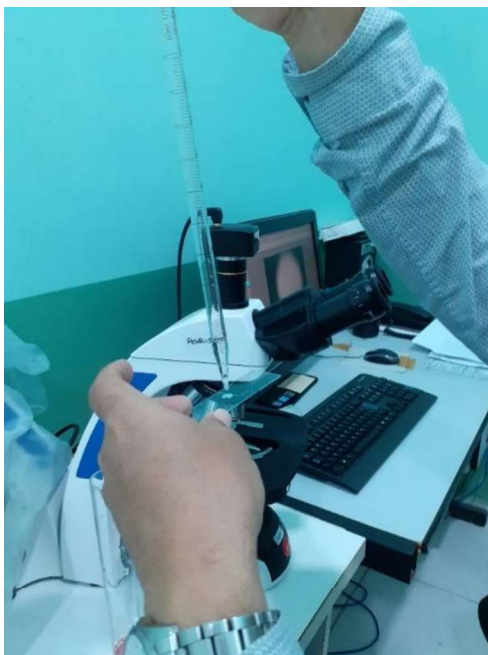
Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 42** – Lâminas e lamínulas em processo de secagem para o recebimento das amostras para análise.



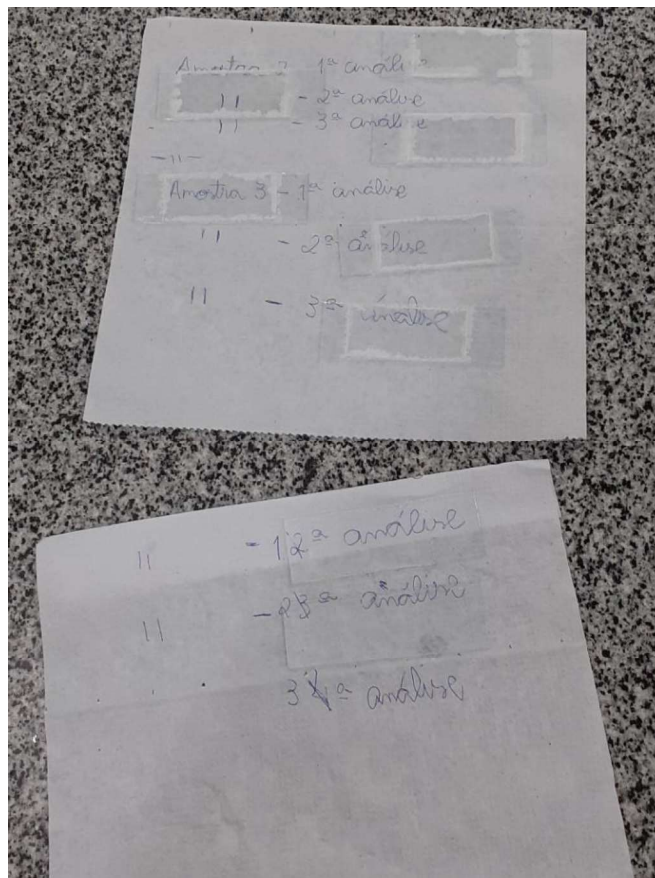
Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Figura 43** – Transferência da solução de NaCl (aq), contendo resíduos sólidos em suspensão, para uma lâmina de vidro.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

**Figura 44** – Amostras da 1ª coleta do experimento preparadas para serem analisadas no microscópio.



**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

## APÊNDICE B – Análises de Variância

As amostras de água bruta coletadas do corpo receptor, oriundas dos três pontos de referência foram denominadas como massas iniciais e os valores observados nas três fases de coleta do experimento são apresentados na **Tabela 5**.

**Tabela 5** – Resultado das massas iniciais, contendo líquido e resíduos sólidos da água bruta coleta nos copos hídricos ( $M_{inicial}$ ).

<b>Massas das Amostras Iniciais (<math>M_{inicial}</math>)</b>				
<b>Coleta</b>	<b><math>M_{inicial1}</math> (g)</b>	<b><math>M_{inicial2}</math> (g)</b>	<b><math>M_{inicial3}</math> (g)</b>	<b><math>M_{controle}</math> (g)</b>
1 <sup>a</sup>	67,06	76,29	47,03	
2 <sup>a</sup>	22,45	33,46	27,01	
3 <sup>a</sup>	46,13	43,20	55,48	0,00

**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

Ressalta-se que somente na 3<sup>a</sup> coleta do experimento foi realizada uma quarta análise desde a observação das massas iniciais, em simulação aos mesmos procedimentos feitos com a amostragem, contudo sem o uso de amostra coletada. Ou seja, foram tomados os resultados de massas de um 4<sup>o</sup> béquer higienizado e vazio para servir como um comparativo dos resultados obtidos com as amostras reais. Dessa forma, esta amostra simbólica está sendo denominada “controle”.

Já após os béqueres serem levados à estufa, com o ajuste de temperatura entre 90°C e 100°C, por um período de 24h para a realização da secagem do material líquido, as amostras resultantes foram denominadas “amostras secas” e as suas respectivas massas por massa final ( $M_{final}$ ). Logo, os resultados finais resultaram nas massas dos resíduos sólidos presentes nas amostras de água do corpo receptor, conforme são apresentados na **Tabela 6**.

**Tabela 6** – Resultado das massas finais das amostras, resultando em resíduos sólidos ( $M_{final}$ ).

<b>Massas das Amostras Finais (<math>M_{final}</math>)</b>				
<b>Coleta</b>	<b><math>M_{final1}</math> (g)</b>	<b><math>M_{final2}</math> (g)</b>	<b><math>M_{final3}</math> (g)</b>	<b><math>M_{controle}</math> (g)</b>
1 <sup>a</sup>	<b>0,08</b>	<b>0,12</b>	<b>0,05</b>	<b>0,00</b>
2 <sup>a</sup>	<b>0,48</b>	<b>0,23</b>	<b>0,31</b>	<b>0,00</b>
3 <sup>a</sup>	<b>0,40</b>	<b>0,17</b>	<b>0,51</b>	<b>0,74</b>

**Fonte:** Elaboração própria, 2023.

É válido destacar que houve exceção na obtenção dos resultados das amostras da 1ª coleta do experimento, visto que nesta etapa a balança digital fora tarada<sup>6</sup> nas vezes em que cada béquer vazio teve a sua massa observada. Dessa forma, as massas iniciais ( $M_{\text{inicial}}$ ) foram obtidas na própria balança.

Em síntese, mesmo havendo variações na obtenção da massa final dos resíduos sólidos de cada amostra, os valores individuais nas três coletas resultam em  $M_{\text{final}}$ .

A **Tabela 7** apresenta a análise de variância (ANOVA,  $p \leq 0,05$ ) para a observação das médias das amostras iniciais ( $M_{\text{inicial}}$ ).

**Tabela 7** – Resultados da Análise de Variância (ANOVA,  $p \leq 0,05$ ) das massas iniciais ( $M_{\text{inicial}}$ ) das amostras de água da Lagoa Imboassica.

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
Coleta 1	4	190,380	47,595	1155,964		
Coleta 2	4	82,920	20,730	211,394		
Coleta 3	4	144,810	36,2025	609,921		
ANOVA						
Fonte de Variação	Soma Quadrática (SQ)	Grau de Liberdade (gl)	Média Quadrática (MQ)	Estatística F	P-valor	F <sub>crítico</sub>
Entre Grupos	1454,554	2	727,277	1,1035	0,3727	4,2565
Dentro do Grupos	5931,838	9	659,093			
<b>Total</b>	<b>7386,392</b>	<b>11</b>				

Fonte: Adaptado do Excel, 2024.

Já a **Tabela 8** apresenta a análise de variância (ANOVA,  $p \leq 0,05$ ) das médias das amostras finais ( $M_{\text{final}}$ ), ou seja, das amostras correspondentes aos resíduos sólidos das amostras.

<sup>6</sup> Inicialmente o béquer foi limpo e seco para que a sua massa fosse aferida. Em seguida, após o copo de vidro ter sido colocado na balança digital, o equipamento eletrônico fora tarado (massa zerada), para que as medidas resultantes  $M_{\text{inicial}}$  e  $M_{\text{final}}$  fossem geradas de forma fidedigna na própria balança.

**Tabela 8** – Resultados da Análise de Variância (ANOVA,  $p \leq 0,05$ ) das massas finais ( $M_{\text{final}}$ ) das amostras de água da Lagoa Imboassica.

<b>Grupos</b>	<b>Contagem</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>		
Coleta 1	4	0,25	0,0625	0,002558		
Coleta 2	4	1,02	0,255	0,039767		
Coleta 3	4	1,82	0,455	0,056167		
<b>ANOVA</b>						
<b>Fonte de Variação</b>	<b>Soma Quadrática (SQ)</b>	<b>Grau de Liberdade (gl)</b>	<b>Média Quadrática (MQ)</b>	<b>Estatística F</b>	<b>P-valor</b>	<b>F<sub>crítico</sub></b>
Entre Grupos	0,30815	2	0,154075	4,693037	0,040169	4,256495
Dentro do Grupos	0,295475	9	0,032831			
<b>Total</b>	<b>0,6036</b>	<b>11</b>				

**Fonte:** Adaptado do Excel, 2024.