Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – FAENG
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Quantificação e caracterização de Microplástico no Córrego Bandeira

Mileidy Guarnieri

CAMPO GRANDE – MS
Novembro de 2024

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental / UFMS

Quantificação e caracterização de Microplástico no Córrego Bandeira

Mileidy Guarnieri

Trabalho desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como parte da avaliação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Orientador: Kennedy Francis Roche

Campo Grande – MS
Novembro de 2024

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental / UFMS

Quantificação e caracterização de Microplástico no Córrego Bandeira

Mileidy Guarnieri

Trabalho desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como parte da avaliação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Aprovado em _____de_____de_____.

Prof. Dr. Kennedy Francis Roche

Orientador – FAENG/UFMS

Dr. Marcelo Campos

Me. Rodrigo de Moraes Pompeu

Campo Grande – MS
Novembro de 2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha querida avó Maria, que sempre acreditou no meu potencial e tantas vezes enxugou minhas lágrimas. Seus gestos, repletos de carinho e incentivo, marcaram profundamente minha vida, fortalecendo-me para que conquistas como esta se tornassem possíveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente aos meus pais, Loreni Ramos e Edson Guarnieri, pelo apoio incondicional, pela orientação e pelo suporte constantes em todas as etapas da minha vida. Cada gesto de carinho e cada palavra de incentivo foram fundamentais para o meu crescimento e realização.

Agradeço ao meu orientador, Kennedy Francis Roche, pela generosidade em compartilhar seu vasto conhecimento, pela paciência ao longo de todo o processo e, principalmente, por acreditar no potencial deste trabalho.

Agradeço imensamente aos meus amigos Isabelle Doueidar, Lazaro Pansato, Matheus Garcett, Amanda França, Álefe Cáceres, Julia Stritar e Laura Ferri, que tornaram esta jornada acadêmica mais leve e divertida. Cada um de vocês esteve sempre pronto para oferecer apoio nos momentos desafiadores e para comemorar comigo as conquistas, fazendo com que cada passo desse processo fosse mais significativo.

Aos amigos de uma vida inteira, Melissa Gonçalves, Matheus Dias e Rafael Castro, que estiveram ao meu lado desde o início, quando a graduação ainda era um sonho distante. Agradeço por todo o apoio e por continuarem ao meu lado, ouvindo as minhas reclamações, vibrando comigo a cada momento e agora celebrando esta realização. Esta conquista também é um reflexo da nossa amizade e companheirismo ao longo dos anos.

Aos técnicos do Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA), Dr. Marcelo Campos, Dr.ª Simone Reis, Dr.ª Thais Colman, M.e Rodrigo Pompeu e Dr. William Ide, agradeço imensamente pelo suporte, apoio e incentivo contínuo, tanto dentro quanto fora do laboratório, mas especialmente durante a realização dos experimentos. A dedicação e a paciência de cada um foram essenciais para a execução dos experimentos, contribuindo diretamente para a qualidade e o sucesso desta pesquisa.

Aos professores, coordenadores e diretores, minha sincera gratidão por acreditarem na importância da formação acadêmica como um processo enriquecedor de troca de saberes.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC - Brasil. Agradeço a esta instituição por fornecer as condições necessárias para o desenvolvimento da pesquisa e por todo o suporte oferecido ao longo deste processo acadêmico.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Por fim, gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu noivo, Fábio José Roca dos Santos, cuja paciência, amor e apoio incondicional foram fundamentais em cada passo dessa jornada. Nos momentos mais desafiadores, sua presença foi minha fonte de serenidade e motivação. Agradeço por acreditar em mim, por me apoiar nas horas de dúvida, por todas as vezes que, com sua paciência infinita, sentou-se ao meu lado para me ensinar com carinho, ajudando a esclarecer as incertezas que surgiram ao longo do caminho. Esta conquista também é sua, pois sem seu apoio constante, eu não teria chegado até aqui.

EPÍGRAFE

"Na luta pela preservação do meio ambiente, não estamos apenas salvando a natureza, mas protegendo a nós mesmos, nossa saúde, nossa dignidade e as gerações que ainda virão."
– Wangari Maathai, ambientalista e Prêmio Nobel da Paz.

RESUMO

A poluição por microplásticos é uma preocupação emergente devido à sua presença onipresente em ambientes aquáticos e potenciais impactos ecológicos e à saúde. Este estudo teve como objetivo quantificar e caracterizar microplásticos no Córrego Bandeira, em Campo Grande-MS, analisando dois pontos: a Nascente e a Foz. As amostras foram coletadas utilizando uma rede de 20 µm e processadas por filtragem em peneiras de 63 µm e 20 µm, seguidas por digestão da matéria orgânica pelo método de Oxidação com Peróxido Úmido (WPO) e separação por densidade. A análise microscópica revelou concentrações médias de 3147 partículas m^{-3} na Nascente e 6127 partículas m^{-3} na Foz, indicando um aumento significativo de mais de 94% ao longo do Córrego. Os microplásticos foram predominantemente fibras, com variações em formatos como contas e microesferas, além de diferenças de coloração associadas à dinâmica de transporte e fontes de poluição. Os índices de qualidade da água mostraram que o IQA_{CETESB} apresentou classificação boa nos dois pontos analisados. Já o IQA_{SMITH} apontou coliformes termotolerantes como parâmetro crítico na Nascente e Fósforo Total na Foz, evidenciando alterações qualitativas entre os trechos analisados.

Palavras-chave: Rios Urbanos; Quantificação e caracterização de microplásticos; Qualidade da água.

ABSTRACT

Microplastic pollution is an emerging concern due to its ubiquitous presence in aquatic environments and potential ecological and health impacts. This study aimed to quantify and characterize microplastics in the Bandeira stream, in Campo Grande-MS, analyzing two points: the source and the mouth. The samples were collected using a 20 µm mesh and processed by filtration through 63 µm and 20 µm sieves, followed by digestion of the organic matter using the Wet Peroxide Oxidation (WPO) method and separation by density. Microscopic analysis revealed average concentrations of 2847 particles m^{-3} at the source and 5527 particles m^{-3} at the mouth, indicating a significant increase of more than 94% along the stream. Microplastics were predominantly fibers, with variations in formats such as beads and microspheres, in addition to color differences associated with transport dynamics and pollution sources. The water quality indices showed that IQA_{CETESB} presented a good classification at the two points analyzed. IQA_{SMITH} identified thermotolerant coliforms as a critical parameter at the source and total phosphorus at the mouth, showing qualitative changes between the sections analyzed.

Keywords: Urban Rivers; Quantification and characterization of microplastics; Water quality

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas. 23
Figura 2 - Mapa de localização 25
Figura 3 - Bombeamento e filtragem 26
Figura 4 - Transferência e armazenamento 26
Figura 5- Peneira de 63 µm. 28
Figura 6 - Peneira de 20 µm. 28
Figura 7 - Amostras na chapa de aquecimento. 29
Figura 8 - Formação de bolhas. 29
Figura 9 - Conta 33
Figura 10 - Fibra 33
Figura 11 - Fragmento 33
Figura 12 - Microesfera 33
Figura 13 - Haste 33
Figura 14 - Resíduos provenientes de descarte inadequado 34
Figura 15 - Prevalência de formatos na peneira de 20 µm 35
Figura 16- Prevalência de formatos na peneira de 63 µm. 36
Figura 17 - Prevalência de cores na peneira de 63 µm 37
Figura 18 - Prevalência de cores na peneira de 20 µm. 38
Figura 19 - Macro plástico presente na área de coleta. 39
Figura 20 - Fragmento antes do aquecimento. 40
Figura 21 - Fragmento após o aquecimento. 40
Figura 22 - Fibra antes do aquecimento. 40
Figura 23 - Fibra após o aquecimento. 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do IQA.....24
Tabela 2 - Parâmetros analisados.....32
Tabela 3 - Índices de Qualidade na Nascente 41
Tabela 4 - Índices de Qualidade na Foz.....41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

2 OBJETIVOS 15

2.1 Objetivo Geral 15

2.2 Objetivos Específicos 15

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

3.1 Resíduos plásticos 16

3.2 Microplásticos 17

3.3 Impactos associados a microplásticos 19

3.4 Coleta e análise 20

3.5 Índices de qualidade da água 21

3.5.1 IQA_{CETESB} 21

3.5.2 IQA_{SMITH} 24

4 METODOLOGIA 25

4.1 Area de estudo 25

4.2 Coleta das amostras 26

4.3 Controle de contaminação 26

4.4 Preparação das amostras 27

4.5 Digestão da matéria orgânica 28

4.6 Separação por densidade 30

4.7 Análise microscópica 30

4.8 Caracterização e quantificação 31

4.9 Análise da qualidade da água.....31

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....33

5.1 Quantificação de microplásticos.....34

5.2 Classificação de microplásticos - Formato.....35

5.3 Classificação de microplásticos – Coloração.....36

5.4 Aplicação e otimização do método da agulha quente na identificação de microplásticos.....39

5.5 resultados IQA.....41

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....43

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....45

1 INTRODUÇÃO

A poluição plástica se tornou um problema ambiental global crítico, com uma estimativa de 8,3 bilhões de toneladas métricas de plástico produzidas desde sua criação (Mosquera, 2019). Aproximadamente 79% dos resíduos plásticos se acumulam em aterros sanitários ou no meio ambiente, persistindo por mais de 450 anos (Mykhailova, 2020).

Fonte crescente de atenção em todo o mundo, os microplásticos (MPs) são partículas plásticas que estão na faixa de 1 – 5000 µm (Sheriff *et al.*, 2024). As fontes de microplásticos incluem desgaste de pneus, poeira doméstica e processos industriais, com a maioria das emissões ocorrendo em áreas urbanas (Nizzetto; Futter; Langaas, 2016).

A sua presença em ambientes aquáticos tem sido amplamente reconhecida como uma preocupação emergente para a saúde ambiental. Eles são onipresentes em ambientes aquáticos em todo o mundo, incluindo ecossistemas de água doce, estuarinos e marinhos (Xu *et al*., 2020). MPs foram detectados em ambientes de água doce, com concentrações variando amplamente e frequentemente correlacionadas com a densidade populacional humana (Li *et al*., 2018). Eles podem causar efeitos nocivos em organismos aquáticos por meio da ingestão e agindo como transportadores de toxinas. (Mendoza; Balcer, 2020).

Devido ao impacto que esses poluentes podem causar nos ecossistemas e na qualidade da água. Estudos indicam que os microplásticos, resultantes da fragmentação de resíduos plásticos ou oriundos de fontes primárias como cosméticos e fibras têxteis, são persistentes no ambiente e podem acumular-se ao longo de corpos d'água.

De acordo com Senado (2021), no Brasil, não existe lei específica em nível nacional que trate de restrições ou banimento para plásticos descartáveis. Isso somado a ausência de pesquisas específicas sobre microplásticos em ambientes de água doce no país, evidencia a necessidade de investigações locais que considerem particularidades regionais, como o contexto social, econômico e ambiental, ampliando a compreensão global sobre o problema.

Este estudo objetiva ampliar o conhecimento por meio da investigação da presença e das características dos microplásticos ao longo do Córrego Bandeira, considerando quantidade, formato e coloração, bem como os fatores que influenciam sua dinâmica e concentração nos diferentes pontos de amostragem.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar a presença e as características dos microplásticos ao longo do Córrego Bandeira, considerando quantidade, formato e coloração, bem como os fatores que influenciam sua dinâmica e concentração nos diferentes pontos de amostragem.

2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar os microplásticos presentes nas amostras coletadas.
- Classificar os microplásticos identificados com base em suas formas.
- Classificar os microplásticos identificados com base em suas colorações.
- Avaliar o Índice de Qualidade da Água (IQA) nos pontos de amostragem.
- Comparar se há variação nas concentrações de microplásticos entre os pontos de amostragem.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos plásticos

De acordo com Karrer (1930), plásticos são materiais caracterizados por sua capacidade de serem moldados sob condições específicas, exibindo uma gama útil de plasticidade. Embora frequentemente usados de forma intercambiável como "polímeros", plásticos geralmente se referem a materiais comerciais que contêm não apenas macromoléculas de polímeros, mas também vários aditivos como corantes, estabilizadores e modificadores de fluxo (Mills; Jenkins; Kukureka, 2020).

Os plásticos comuns produzidos em massa incluem tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), cloreto de polivinila (PVC), polipropileno (PP) e poliestireno (PS) (Rochman *et al*., 2013; Andrady; Neal, 2009). Usados em várias aplicações, como garrafas, sacolas, cestas e produtos de higiene pessoal (Sharif; Sadaf; Aman, 2023).

Na área da saúde, os plásticos são usados para equipamentos médicos descartáveis, embalagens estéreis e engenharia de tecidos (North; Halden, 2013). Os plásticos também contribuem para a eficiência de combustível no transporte, tornando os veículos mais leves (Stein, 2002).

A produção global de plásticos cresceu exponencialmente desde 1950, com uma taxa de crescimento anual de 8,4% (Symeonides *et al*., 2021). Em 2015, aproximadamente 8.300 milhões de toneladas métricas de plásticos virgens foram produzidas (Geyer; Jambeck; Law, 2017). Sua versatilidade, durabilidade e baixo custo revolucionaram vários setores, incluindo embalagens, suprimentos médicos e bens de consumo (Prince-Ruiz, 2018; Thompson *et al*., 2009). Esse número aumentou para mais de 9 bilhões de toneladas métricas em 2017, com oito polímeros respondendo por 95% de todos os plásticos primários já feitos (Geyer, 2020).

A poluição plástica é um problema generalizado, afetando oceanos, vida selvagem e saúde humana (Hassan *et al*., 2019). A produção, uso e descarte de plásticos contribuem para o consumo insustentável de recursos, emissões de gases de efeito estufa e liberação de produtos químicos tóxicos (Jambeck; Walker-Franklin, 2023). Os plásticos contêm compostos nocivos como cloreto de vinila e dioxinas, que podem causar distúrbios hormonais, problemas reprodutivos e certos tipos de câncer (Koushal *et al*., 2014). A maioria dos plásticos convencionais não se biodegrada, persistindo no meio ambiente por centenas ou milhares de anos (Shah *et al*., 2008).

Além disso, um problema crescente em todo mundo é a formação de microplásticos, pois são contaminantes ambientais onipresentes e representam desafios significativos para os ecossistemas e potencialmente para a saúde humana (Montagner *et al*., 2021). Essas partículas se originam de várias fontes, incluindo produtos cosméticos e a degradação de detritos plásticos maiores (Vargas *et al*., 2022).

3.2 Microplásticos

Microplásticos são partículas plásticas que estão na faixa de 1 – 5000 µm (Sheriff *et al.*, 2024). Segundo Gesamp (2010), microplásticos podem ser divididos em duas categorias; primários: micropartículas introduzidas propositalmente em produtos como os esfoliantes; e secundários: partículas formadas pela degradação de pedaços plásticos maiores.

As fontes de microplásticos incluem desgaste de pneus, poeira doméstica e processos industriais, com a maioria das emissões ocorrendo em áreas urbanas (Nizzetto; Futter; Langaas, 2016). Eles são onipresentes em ambientes marinhos em todo o mundo, desde águas superficiais até mares profundos (Thompson, 2015).

Ainda não é consenso as classificações e os tipos de MPs na literatura, contudo Huang *et al*. (2024), propôs uma metodologia inovadora para classificação morfológica de microplásticos, detalhando cinco categorias principais com base na forma e nas características físicas das partículas. A primeira categoria, denominada conta, refere-se a partículas esféricas ou aproximadamente esféricas, caracterizadas por uma aparência relativamente regular. Já as fibras apresentam estrutura longa e delgada, com formato linear e um comprimento considerável em relação ao diâmetro.

Outra categoria é a de fragmentos, que são peças irregulares originadas da fragmentação de itens plásticos maiores. As microesferas, por sua vez, apresentam forma circular ou aproximadamente circular, com diâmetros variando de micrômetros a alguns milímetros. Por fim, as hastes são partículas com formato retangular ou semelhante a uma haste, sendo o comprimento significativamente maior que a largura.

Essa classificação foi utilizada em um estudo que integrou técnicas avançadas de aprendizado profundo e imagens fotoacústicas para análise de microplásticos. Por meio do modelo *Vector-Quantized Variational Auto Encoder* (VQVAE2), o método possibilitou a redução e o agrupamento de imagens de alta resolução, promovendo uma discriminação eficiente das partículas com base em sua forma.

Microplásticos em ambientes aquáticos exibem diversas cores, formas e tamanhos, o que pode influenciar suas interações com organismos. Estudos descobriram que branco, transparente, amarelo e marrom são as cores mais comuns de MPs marinhos (Martí *et al*., 2020).

Espécies de peixes mostram preferências por certas cores de MPs, com vermelho, amarelo e verde sendo ingeridos em taxas mais altas do que cinza e azul, provavelmente devido à visão de cores (Okamoto *et al*., 2022). A cor do MP pode afetar o crescimento de algas e o comportamento alimentar de dáfnias, com MPs verdes tendo o menor impacto nas algas devido à sua semelhança (Chen; Li; Li, 2020).

A distribuição de cores dos MPs pode ser influenciada por processos de intemperismo e predação seletiva (Martí *et al*., 2020). MPs foram detectados em vários ambientes aquáticos e também em faunas aquáticas e marinhas, com seus tamanhos variando de <50μm a 5000μm (Romaskila *et al*., 2023).

De acordo com Pereira *et al*. (2024), a quantificação de microplástico é realizada a partir da abundância, segundo os autores, abundância é a quantidade de microplásticos dada em número de partículas por metro cúbico, descontado os valores encontrados em amostra controle (branco), responsável por identificar a quantidade de MPs inseridos na análise a partir de possível contaminação (Equação 1).

$$Nt = (Ni - Ac) \quad (1)$$

Em que:

Nt = Abundância de Microplásticos total (partículas m^{-3});

Ni = concentração de Microplásticos média (partículas m^{-3});

Ac = Concentração de microplásticos da amostra controle (partículas m^{-3}).

A contaminação por microplásticos em rios urbanos é uma preocupação crescente, com estudos relatando concentrações variadas em diferentes locais. Em Melbourne, Austrália, os rios continham uma média de 9 ± 15 microplásticos/L (Samandra *et al*., 2023), enquanto os rios urbanos de Xangai apresentaram níveis mais altos de 7,5 ± 2,8 peças/L em águas superficiais e 1575,5 ± 758,4 peças/kg em sedimentos (Zhao *et al*., 2020).

Em Birmingham, Reino Unido, uma média de 165 partículas/kg foi encontrada em sedimentos fluviais (Tibbetts *et al*., 2018). A abundância de microplásticos está positivamente correlacionada com a densidade populacional e urbanização, variando de 0 a 230 peças/m³ ao longo de gradientes urbano-rurais (Kunz *et al*., 2023).

Os fatores que influenciam a distribuição de microplásticos incluem padrões de uso da terra, locais de tratamento de águas residuais e condições hidrodinâmicas, como lagos e ambientes de baixa velocidade (Tibbetts *et al*., 2018; Kunz *et al*., 2023). Os microplásticos mais comuns são fibras e partículas menores que 500 µm, sendo o poliéster um tipo de polímero dominante (Zhao *et al*., 2020).

3.3 Impactos associados a microplásticos

De acordo com Huang *et al.* (2024), sua presença pode potencialmente interromper a adaptabilidade dos organismos ao seu entorno, influenciando assim processos ecológicos críticos, como distribuição e reprodução de espécies, consolidando assim os microplásticos como uma preocupação central na ciência ambiental.

Os MPs podem causar vários efeitos adversos em animais, incluindo reações imunológicas, disfunção orgânica, danos ao neurodesenvolvimento e toxicidade reprodutiva (Ding *et al*., 2023). Os impactos variam dependendo das características dos MPs e poluentes coexistentes (Ding *et al.,* 2023; Jeong; Lee; Redwan, 2024). Em organismos aquáticos, os MPs podem prejudicar o comportamento alimentar, a fertilidade, o crescimento e o equilíbrio metabólico (Zolotova *et al*., 2022).

Microplásticos já foram identificados em peixes (Kim; Yu; Choi, 2021), zooplanctons (Yu; Cole; Chan, 2020), aves marinhas e mamíferos (Haave *et al.*, 2021) e estudos recentes revelaram a presença de MPs em vários órgãos humanos e fluidos corporais, incluindo fígado, sangue, coração, placenta, leite materno e urina (Enyoh *et al*., 2023; La Porta *et al*., 2023).

Embora a extensão total dos impactos dos microplásticos na saúde animal e humana ainda não esteja clara, mais pesquisas são necessárias para avaliar os riscos potenciais e os níveis de exposição (Haave *et al*., 2021; Kristanti *et al*., 2022).

De acordo com (Osuna-Laveaga *et al*., 2023), nos Estados Unidos e Canadá, a lei da água livre de micropartículas ou microesferas foi promulgada em 2015 e 2017, respectivamente, que proíbe a fabricação de embalagens e distribuição de cosméticos, produtos de higiene pessoal e medicamentos sem receita contendo partículas menores ou iguais a 5 mm.

De acordo com Senado (2021), no Brasil, não existe lei específica em nível nacional que trate de restrições ou banimento para plásticos descartáveis, mas alguns estados e municípios já aprovaram leis ordinárias, no âmbito de sua jurisdição, que implementaram proibições de sacolas plásticas, canudos e outros itens.

3.4 Coleta e análise

Ainda não há padronização a respeito da coleta de amostras de água para análises de microplásticos. Anagha *et al*. (2023), coletaram em amostrador de fundo, Ferreira (2021) coletou e filtrou a amostra *in loco* com rede de plâncton com abertura de 68 µm e Pereira *et al.* (2024), coletaram e filtraram a amostra *in loco* com rede de plâncton com abertura de 68 µm e outra rede com abertura de 20 µm. Em contraponto, Oliveira (2020), optou por filtrar as amostras não em redes, mas em peneiras de aço inoxidável *in loco*.

Já para o a preparação da amostra e análise de microplásticos em amostras de água, o método mais utilizado foi preconizado por Masura *et al.* (2015), nesse processo há a peneiragem, secagem, digestão da matéria orgânica, em que os sólidos são submetidos à oxidação por peróxido úmido (WPO) na presença de um catalisador de Fe (II) e os detritos de plástico permanecem inalterados.

A amostra é submetida à separação por densidade em cloreto de Sódio (NaCl(aq)) para isolar os detritos plásticos através da flutuação. Os sólidos flutuantes são separados dos mais densos utilizando um separador de densidade. Os detritos plásticos flutuantes são coletados no separador de densidade usando um filtro personalizado (Masura *et al.,* 2015).

As formas de identificação dos MPs variam, as mais comuns são identificação visual no microscópio (Pereira *et al.,* 2024; Oliveira, 2020; Ferreira, 2021), microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Kutralam-muniasamy, *et al.,* 2020), espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) (Diaz-Basantes; Conesa; Fullana, 2020) e espectroscopia Raman (Sierra *et al.*, 2020; Anagha *et al.,* 2023).

3.5 Índices de qualidade da água

Os Índices de Qualidade da Água são ferramentas para o monitoramento dos recursos hídricos, pois permitem a sintetização das informações sobre diversos parâmetros, como temperatura, pH, oxigênio dissolvido, e a concentração de nutrientes, facilitando não somente a comunicação com o público leigo, mas também a identificação das tendências da qualidade da água ao longo do tempo, e a tomada de decisões para a gestão e conservação dos corpos d'água.

Em outras palavras, os índices possibilitam de maneira prática a transformação dos parâmetros em uma – única grandeza – capaz de representar, com clareza, o nível de qualidade de um corpo hídrico (Ferreira; Ide, 2001 apud Menezes et al, 2010).

3.5.1 IQA$_{CETESB}$

A CETESB adaptou e desenvolveu o IQA, em 1975, a partir do estudo realizado em 1970 pela "*National Sanitation Foundation*" dos Estados Unidos, que foi baseado em uma pesquisa entre especialistas quanto as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores ou descritor. De 35 variáveis indicadoras de qualidade de água presentes na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005a), apenas nove foram selecionados (subíndices): Temperatura da Amostra; Potencial Hidrogeniônico (pH); Oxigênio Dissolvido (OD); Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$); Coliformes Termotolerantes; Nitrogênio Total; Fósforo Total; Resíduo Total (ou Sólidos Totais); e turbidez (CETESB, 2024).

O valor do IQA_{CETESB} varia de 0 a 100, e é obtido por meio do produtório ponderado das qualidades de água associadas às variáveis que compõem o índice. Assim, caso o valor de uma das variáveis esteja indisponível, o cálculo do IQA torna-se inviável, pois cada variável contribui com um peso específico que influencia o resultado final, e sem uma delas, o índice perde representatividade, podendo gerar resultados imprecisos ou inválidos (CETESB, 2024).

A Fórmula 2 é utilizada para o produtório:

$$IQA = \prod_{i=1}^{n} q_i^{Wi} \tag{2}$$

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida e,

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1 (Fórmula 3), atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^{n} W_i = 1 \tag{3}$$

em que:

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Desse modo, foram determinadas curvas de variação da qualidade das águas com base no estado ou na condição de cada parâmetro. Essas curvas de variação são sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, juntamente com seu peso relativo correspondente, conforme a Figura 1.

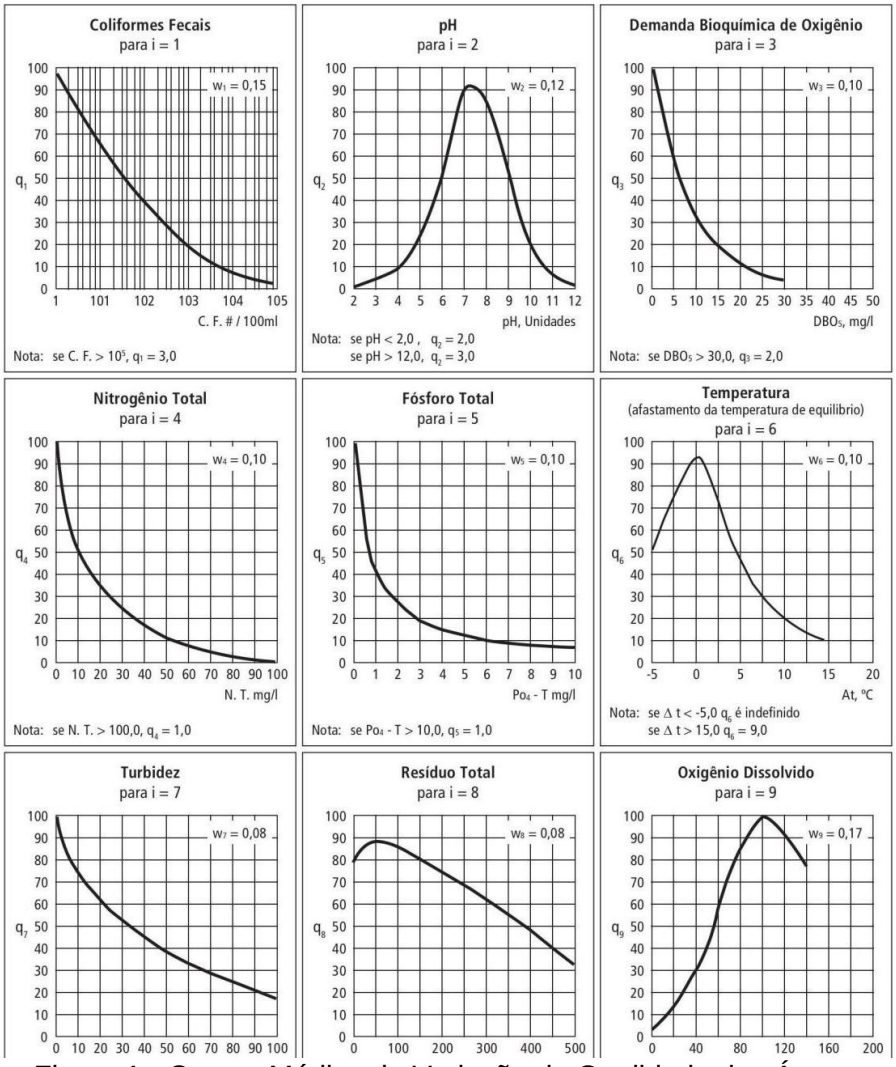

Figura 1 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas.

Fonte: CETESB, 2024.

Nos ensaios de *Escherichia coli*, é possível utilizar a mesma curva de qualidade desenvolvida para Coliformes Termotolerantes. Um estudo realizado por pesquisadores da própria CETESB em 2008, demonstrou a existência de uma correlação entre os resultados das duas análises. Observou-se que, para cada 100 Coliformes Termotolerantes encontrados em uma amostra, aproximadamente 80 correspondiam a *Escherichia coli*. Assim, aplicando-se um fator de correção de 1,25 ao resultado de *E. coli*, é possível utilizar o valor equivalente da curva de Coliformes Termotolerantes (Hachich *et al.*, 2008)

A partir do resultado do IQA, a qualidade das águas brutas pode ser avaliada em uma escala de 0 a 100, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do IQA

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB, 2024.

3.5.2 IQA_{SMITH}

O Índice de Qualidade da Água (IQA) Smith é uma variação do IQA tradicional, que avalia a qualidade da água em corpos hídricos considerando múltiplos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Ele difere por atribuir pesos diferentes a cada parâmetro, enfatizando aqueles mais críticos para a análise específica do corpo d'água em estudo. Isso permite uma adaptação regional e contextual, tornando o índice mais representativo das condições ambientais locais. Assim como o IQA_{CETESB}, ele gera uma escala que classifica a água em categorias de qualidade, auxiliando na tomada de decisões para gestão e preservação ambiental.

Esse índice adota o método do operador mínimo e não os métodos de produtório ou somatório. Como resultado, o valor do IQA é equivalente ao menor valor dos subíndices encontrados na curva média de variação de qualidade do IQA_{CETESB}, uma vez que os parâmetros que determinam o grau de adequação da água para determinado uso requerido são aqueles que apresentam pior qualidade, e não o conjunto deles (Smith, 1987 apud Menezes et al, 2010).

4 METODOLOGIA

4.1 Area de estudo

A área deste estudo abrange a microbacia do Córrego Bandeira, localizada na região sudeste do perímetro urbano de Campo Grande-MS e possui aproximadamente 13,3 km². O Córrego Bandeira recebe as águas do Córrego Cabaça e, posteriormente, deságua no Rio Anhanduí. Sua Foz está situada na reserva ecológica pertencente à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Além disso, o Córrego Bandeira, em parceria com o Córrego Cabaça, contribui de forma significativa para o abastecimento do Lago do Amor (Planurb, 2017).

Foram definidos dois pontos de coleta para o estudo (Figura 2). O primeiro localizado na nascente do Córrego Bandeira, denominado “Nascente”, definida pelas coordenadas geográficas 20º30’299’’ S e 54º36’862’’ W e o segundo próximo à sua confluência com o Lago do Amor, denominado como “Foz”, definido pelas coordenadas geográficas 20º30’300’’ S e 54º36’861’’ W.

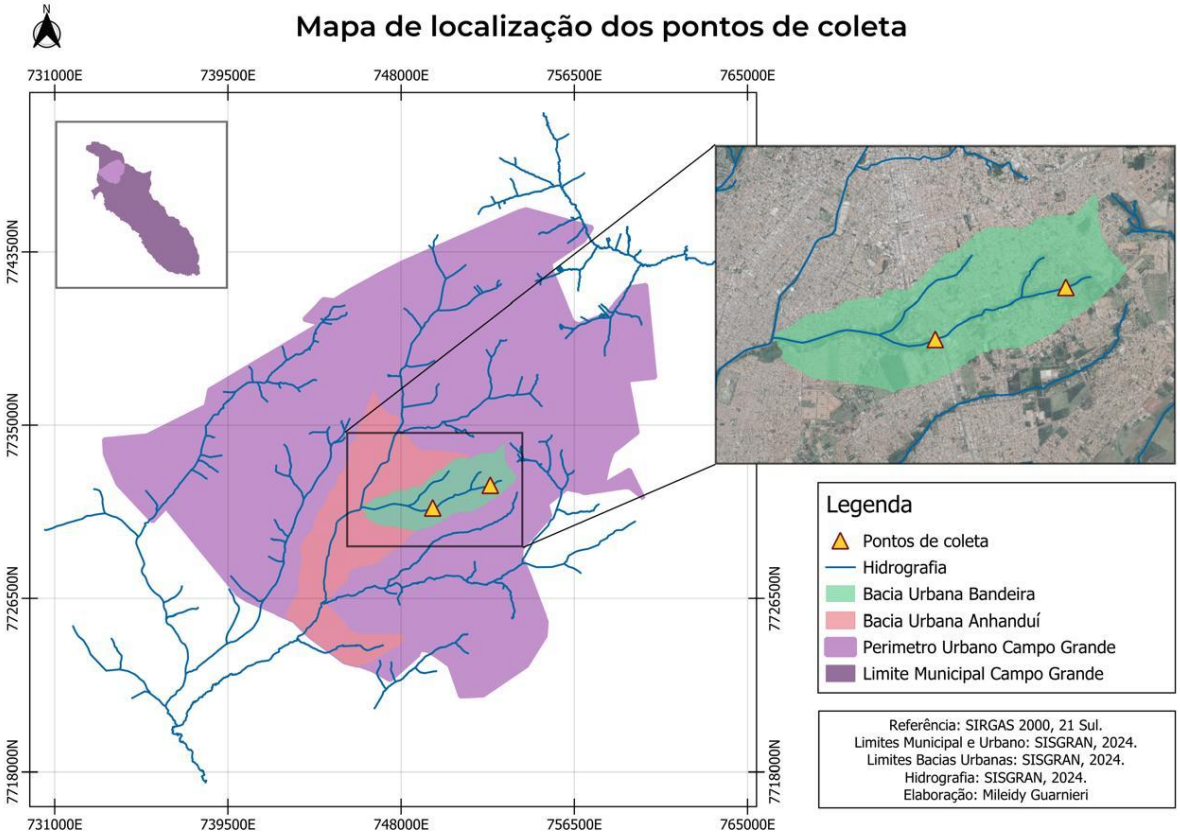

Figura 2 - Mapa de localização

4.2 Coleta das amostras

As amostras foram coletadas em triplicata utilizando uma bomba d'água conectada a uma bateria externa, com vazões medidas no local de 0,55 L s^{-1}. A água foi bombeada passando por uma rede de plâncton com malha de 20 µm (Figura 3). O tempo de bombeamento para cada amostra foi de 15 minutos, garantindo o volume de 500 litros de água filtrada. Após o processo, as redes foram lavadas com água destilada, e as amostras coletadas foram transferidas para frascos de vidros para posteriormente serem analisadas em laboratório (Figura 4).

Figura 3 - Bombeamento e filtragem

Figura 4 - Transferência e armazenamento

4.3 Controle de contaminação

Os estudos sobre microplásticos enfrentam diversos desafios analíticos, sendo um dos principais a dificuldade na coleta de amostras, dada a ubiquidade desses poluentes no ambiente. Como os microplásticos estão presentes no ar e em diversos compartimentos ambientais, a contaminação cruzada durante o processo de amostragem é altamente facilitada (Hale *et al.*, 2020).

Além disso, a diversidade de formas, tamanhos e fontes de microplásticos torna ainda mais complexo o controle de contaminação, visto que partículas podem ser facilmente introduzidas de fontes externas, como utensílios de laboratório, vestuário ou até mesmo o próprio ambiente de amostragem (Geyer *et al*., 2017).

Diante destas dificuldades, foram adotadas medidas rigorosas para evitar a contaminação das amostras. Todos os equipamentos utilizados, incluindo a bomba d'água, a rede de planejamento e os frascos de armazenamento, foram previamente higienizados com água destilada e manuseados de modo a garantir a ausência de resíduos ou materiais que possam comprometer a integridade das amostras.

Uma amostra de controle, composta por água ultrapura, foi submetida a todo realizado em laboratório para avaliar a possível contaminação por plásticos provenientes dos materiais utilizados e do ambiente de trabalho. Além disso, os equipamentos foram limpos periodicamente com água destilada ao longo de todo o procedimento. O número de partículas encontradas na amostra de controle foi descontado do total de partículas microplásticas identificadas em cada amostra.

4.4 Preparação das amostras

As amostras coletadas foram inicialmente submetidas a um processo de filtragem utilizando uma peneira de aço inox com malha de 63 µm, como ilustrado na figura 5. Uma a uma as amostras foram filtradas e em seguida a peneira foi cuidadosamente lavada com água ultrapura, garantindo a transferência completa das partículas retidas para um béquer, assegurando a integridade da amostra para as etapas posteriores.

O líquido filtrado foi submetido a uma nova etapa de filtragem, utilizando uma peneira com malha de 20 µm, visando a retenção de partículas menores, conforme demostra a Figura 6. Após essa etapa, a peneira também foi lavada cuidadosamente com água ultrapura, transferindo as partículas retidas para outro béquer, assegurando a completa recuperação do material para análise.

Esse processo foi repetido com todas as amostras, inclusive com a amostra de controle, totalizando 14 amostras. Durante todo o procedimento, garantiu-se a limpeza adequada das peneiras entre as amostras, evitando possíveis contaminações.

Figura 5- Peneira de 63 µm.

Figura 6 - Peneira de 20 µm.

Após o processo de filtragem e lavagem das peneiras, os béqueres contendo os sólidos foram então colocados em uma estufa de secagem, mantida a 90°C, por um período mínimo de 24 horas. Esse tempo foi necessário para garantir a completa secagem da amostra antes de sua próxima etapa.

4.5 Digestão da matéria orgânica

A análise foi realizada utilizando o método de Oxidação com Peróxido Úmido (WPO) como descrito por Masura *et al*., (2015), com o objetivo principal de remover a matéria orgânica presente nas amostras.

Inicialmente, foram adicionados 20 mL de uma solução aquosa de Fe (II) com concentração de 0,05 M aos béqueres submetidos ao processo de secagem. Em seguida, 20 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 30% foram adicionados cuidadosamente. Após a adição, a mistura foi deixada em repouso à temperatura ambiente por cinco minutos.

A amostra foi então aquecida em uma chapa de aquecimento (Figura 7) até atingir 75°C. Assim que a formação de bolhas foi observada, o béquer foi removido da fonte de calor e transferido para uma cabine de exaustão para controlar possíveis reações. (Figura 8).

Figura 7 - Amostras na chapa de aquecimento.

Figura 8 - Formação de bolhas.

O aquecimento foi mantido a 75°C por mais 30 minutos. Nas amostras que continuaram a apresentar residuais de material orgânico, foi adicionado mais 20 mL de peróxido de hidrogênio a 30%, repetindo o processo até a completa eliminação do material orgânico.

Por fim, após a matéria orgânica eliminada, cerca de 6 g de NaCl foram adicionados para cada 20 mL de amostra total, com o objetivo de aumentar a densidade da solução (~5 M NaCl). A mistura foi novamente aquecida a 75°C até que o sal estivesse completamente dissolvido, finalizando o processo de oxidação.

4.6 Separação por densidade

Após a etapa de oxidação, a solução resultante foi cuidadosamente transferida para um separador de densidade, garantindo que todo o conteúdo fosse transferido. O béquer utilizado na etapa anterior foi enxaguado com água destilada para assegurar que nenhum resíduo de sólido permanecesse e o enxágue foi adicionado ao separador.

O separador foi coberto com folha de alumínio e deixado em repouso por aproximadamente 48 horas, permitindo o assentamento dos sólidos. Os resíduos depositados no fundo foram inspecionados visualmente para avaliar se havia a presença de microplásticos. Descartada a hipótese, os sólidos assentados no separador foram então descartados.

Em seguida, as partículas flutuantes foram coletadas. As amostras que passaram pela peneira de 63 µm foram filtradas novamente utilizando a peneira de 63 µm, o mesmo foi feito com as amostras que passaram anteriormente pela peneira de 20 µm. Para garantir a transferência completa de todos os sólidos, as peneiras foram enxaguadas várias vezes com água ultrapura, direcionando o conteúdo para béqueres previamente identificados.

Por fim os béqueres foram levados a estufa a 90ºC por 24h, permitindo uma evaporação completa da água ultrapura. Após a secagem as amostras permaneceram guardadas em um dessecador a fim de evitar contaminações e contato com umidade.

4.7 Análise microscópica

Para a análise microscópica, as amostras foram avolumadas com 50 mL de água ultrapura, sendo essa diluição realizada imediatamente antes da análise para evitar processos de eutrofização. A identificação das partículas microplásticas foi feita utilizando a metodologia empregada na contagem de organismos zooplanctônicos, utilizando uma Câmara de Sedgewick, que possui o volume de 1mL.

Foram realizadas 5 subamostragens para cada amostra original, resultando no total de 70 subamostras. A análise visual foi realizada no equipamento microscópio óptico Olympus BX41, com ampliação de 40x. Os microplásticos identificados foram contabilizados, e suas características documentadas e registradas.

4.8 Caracterização e quantificação

Para o procedimento de classificação das partículas, foi empregada a metodologia descrita por Huang *et al*. (2024), que categoriza os microplásticos em contas, fibras, fragmentos, microesferas e hastes. Após a análise das subamostras, calculou-se a média aritmética da quantidade de microplásticos identificados.

Foram realizados cálculos específicos para refinar os dados brutos relacionados à quantidade de microplásticos identificados em cada amostra, com o objetivo de ajustar os valores e identificar possíveis contaminações. O cálculo da totalidade de microplásticos baseou-se em uma estimativa da concentração de partículas por metro cúbico (abundância) sugerida por Pereira *et al.,* (2024).

Inicialmente, registrou-se o total de microplásticos coletados na análise de cada subamostra, seguido pelo cálculo da sua média. Também foram documentadas características morfológicas, como forma e cor. Para obter a concentração por metro cúbico, o valor médio foi multiplicado por um fator de conversão, ajustando a contagem dos microplásticos ao volume total de água filtrada.

Para ajustar a contagem de microplásticos em cada amostra, utiliza-se a amostra de controle de contaminação. A quantidade de microplásticos identificados na amostra de controle é subtraída do total e o resultado é multiplicado pelo fator de conversão para metros cúbicos.

4.9 Análise da qualidade da água

Foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA/UFMS), com o objetivo de avaliar a qualidade da água nos dois pontos amostrados. A Tabela 2 apresenta os parâmetros analisados. Vale ressaltar, que todas as técnicas e métodos padrões são preconizados no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 23th ed. (APHA, 2017).

Tabela 2 - Parâmetros analisados

Parâmetro	Técnica Analítica
Oxigênio Dissolvido	**Azida Modificada, Standard Methods**
DBO ($mgO_2\ L^{-1}$)	**Azida Modificada, Standard Methods**
pH	**Potenciométrico, Standard Methods**
Temperatura (°C)	**Termômetro de Mercúrio, *Standard Methods***
***E.Coli* (NMP $100mL^{-1}$)**	**Colilert, Standard Methods**
Nitrogênio Total (mg $N\ L^{-1}$)	**Espectrofotométrico, Standard Methods**
Fósforo Total (mg $P\ L^{-1}$)	**Espectrofotométrico, Standard Methods**
Turbidez (UNT)	**Nefelométrico, Standard Methods**
Sólidos Totais (mg L^{-1})	**Resíduo seco à 105ºC, Standard Methods**

Fonte: adaptado de APHA et al. (2017)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantificação e a classificação dos microplásticos encontrados nas amostras coletadas nos dois pontos (Nascente e Foz), foram realizadas com base nas características de quantidade, formato e cor. Cada amostra foi dividida em cinco subamostras, as quais foram analisadas individualmente por meio de microscopia óptica. Durante a análise, os microplásticos foram classificados em diferentes categorias (Figuras 9-13) de acordo com seu formato (contas, fibras, fragmentos, microesferas e hastes) e cor.

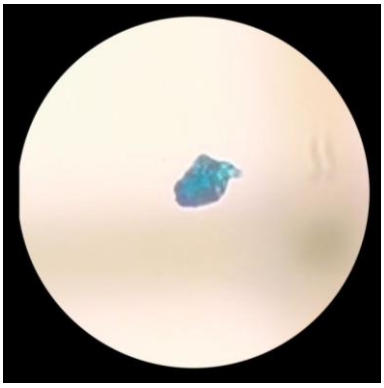

Figura 9 - Conta

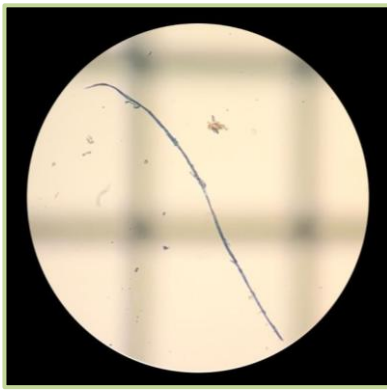

Figura 10 - Fibra

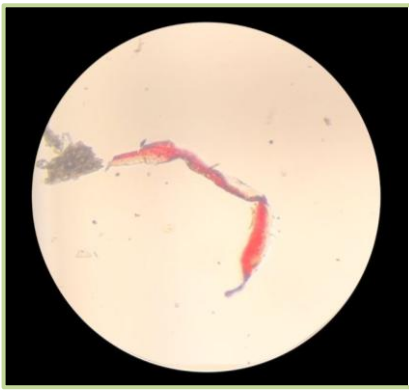

Figura 11 - Fragmento

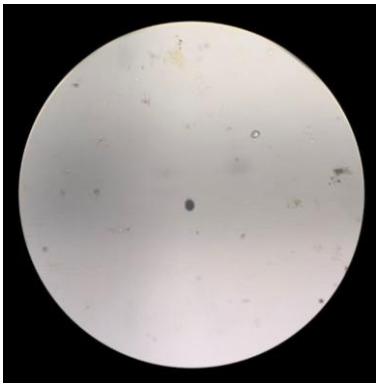

Figura 12 - Microesfera

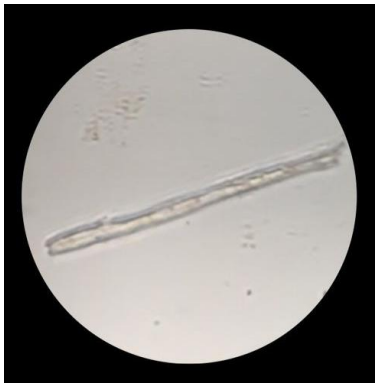

Figura 13 - Haste

5.1 Quantificação de microplásticos

Inicialmente, por meio da análise microscópica, foram avaliadas as quantidades de microplásticos nas amostras de controle, permitindo um panorama quantitativo inicial. Na peneira de 63 µm, observou-se uma concentração de 1680 partículas por metro cúbico (p m^{-3}), enquanto na peneira de 20 µm, a concentração foi de 1360 p m^{-3}.

A quantidade média de microplástico retidos na peneira de 63 µm, no ponto da Nascente foi de 2847 p m^{-3}, enquanto na Foz atingiu 5527 p m^{-3}. Já na peneira de 20 µm, as concentrações médias foram de 3147 p m^{-3} na Nascente e 6127 p m^{-3} na Foz. Sendo assim, na Foz, houve um aumento de 94,1% e 94,7% da concentração de microplásticos em relação ao ponto da Nascente, para a peneira de 63 µm e 20 µm, respectivamente.

Os resultados revelaram que o ponto da Foz apresentou concentrações significativamente maiores de microplásticos em comparação com a Nascente, isso pode estar associado ao acúmulo de resíduos ao longo do fluxo hídrico, decorrente de atividades humanas, como o descarte inadequado de resíduos (Figura 14) e o transporte de materiais plásticos, que intensificam a poluição por microplásticos nesse ponto.

Figura 14 - Resíduos provenientes de descarte inadequado

5.2 Classificação de microplásticos - Formato

Os resultados mostraram que a quantidade e o formato de microplásticos variaram entre os dois pontos de coleta. Na peneira de 20 µm, no ponto da Nascente, as fibras foram predominantes, seguidas por microesferas e hastes, enquanto na Foz, o tipo predominante foi fibras, seguidas por contas e microesferas, como mostra a Figura 15.

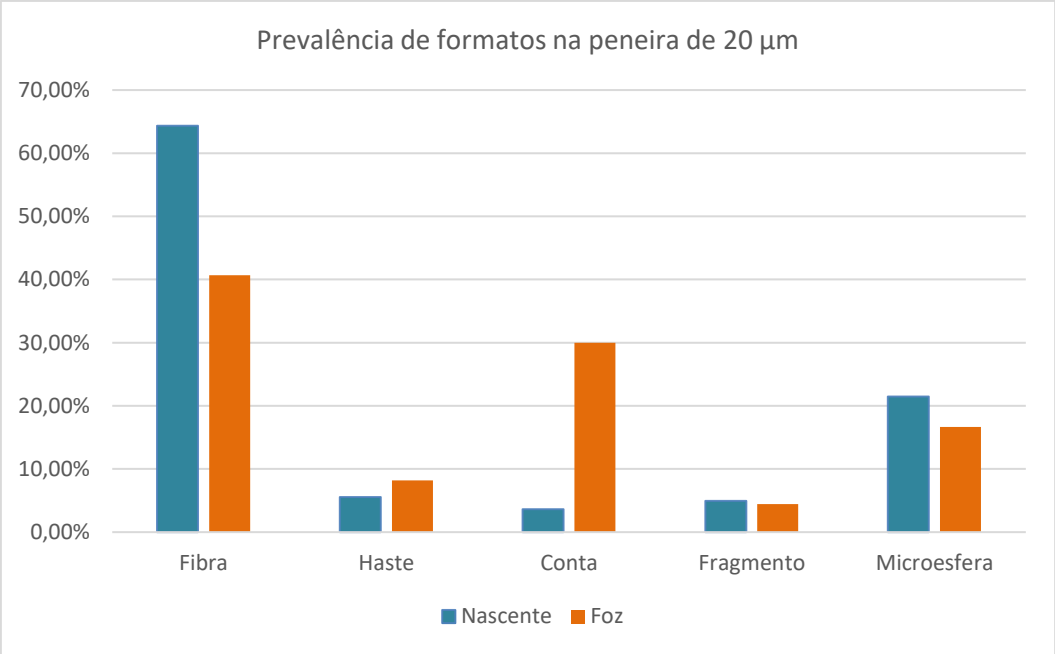

Figura 15 - Prevalência de formatos na peneira de 20 µm

As fibras encontradas na Nascente representaram 64,33% dos microplásticos encontrados do total da peneira de 20 µm, enquanto na Foz essa porcentagem diminui para 40,69%. Contudo, nota-se o aumento de outras variedades, por exemplo o tipo conta, que aumentou expressivamente de 3,65% na Nascente para 30,01% na Foz, esse aumento pode estar relacionado a fontes pontuais ou difusas ao longo do percurso.

Os resultados sugerem que a Nascente é impactada principalmente por fontes locais, enquanto a Foz apresenta uma contribuição mais diversificada, possivelmente devido à entrada de efluentes ou contaminações externas. O aumento das contas pode ser um indicativo claro de poluição por microplásticos originados de produtos específicos, por exemplo em produtos de uso diário, como cosméticos e itens de higiene pessoal (Belo *et al.*, 2021).

Na peneira de 63 µm, os resultados continuaram mostrando que o tipo de microplásticos variaram entre os dois pontos de coleta. Assim como na peneira de 20 µm, no ponto da Nascente, as fibras foram predominantes seguidas por microesferas e hastes, enquanto na Foz o tipo predominante foram fibras seguidas por contas e microesferas (Figura 16).

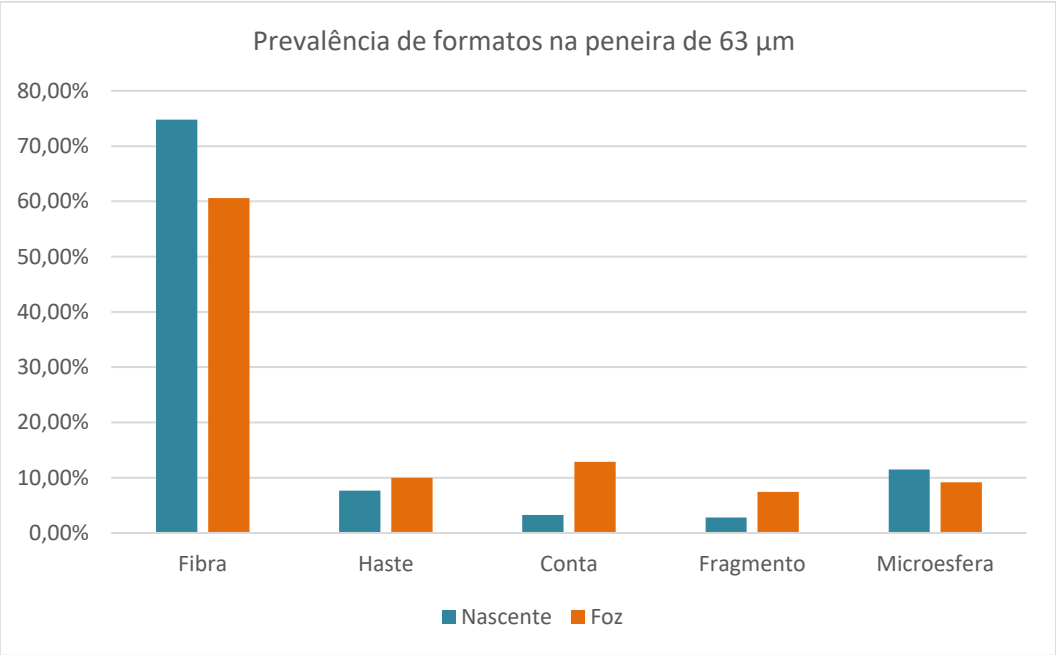

Figura 16- Prevalência de formatos na peneira de 63 µm.

As fibras encontradas na Nascente apresentaram 74,82% do total dos microplásticos encontrados na peneira de 63 µm, enquanto na Foz essa porcentagem diminui para 60,59%. Assim como na peneira de 63µm, o tipo conta teve um aumento expressivo de 3,24% na Nascente para 12,86% na Foz.

5.3 Classificação de microplásticos – Coloração

A análise da coloração dos microplásticos encontrados nos dois pontos de estudo revelou padrões diferentes. Os resultados sugerem variações que podem estar relacionadas às diferentes fontes e processos de transporte dos microplásticos ao longo do Córrego.

Na peneira de 63 µm, a análise dos microplásticos encontrados revelou variações significativas em relação as colorações predominantes (Figura 17). Nota-se que nos dois pontos há uma predominância de microplásticos transparentes e pretos, enquanto, cores mais vibrantes, como azul, vermelho, amarelo apresentam menor concentração.

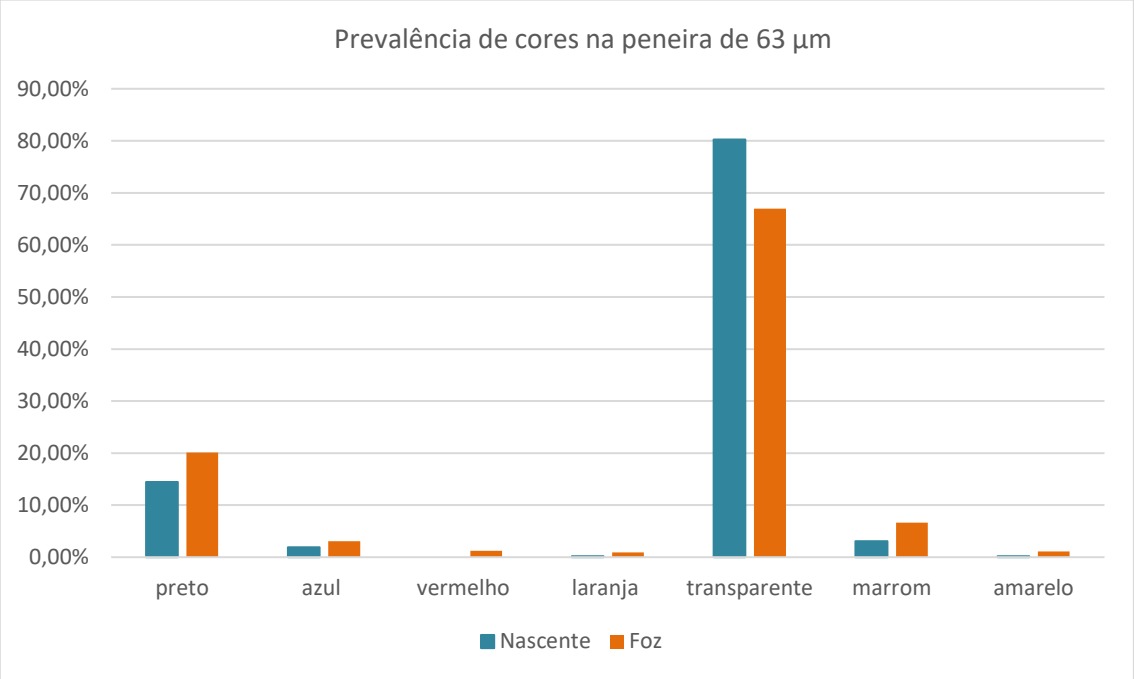

Figura 17 - Prevalência de cores na peneira de 63 µm

Na análise realizada com a peneira de 63 µm, observou-se que, na Nascente, a predominância de microplásticos transparentes foi de 80,27%, seguida por 14,43% de pretos; 3,09% marrons; 1,91% azuis; 0,74% laranjas e 0,15% amarelos. Não foram encontrados microplásticos vermelhos na Nascente para essa peneira.

Já na Foz, os microplásticos transparentes representaram 66,98% do total, seguido por 20,07% de pretos; 6,66% de marrons; 3,05% de azuis; 1,20% de vermelhos; 1,11% de amarelos e 0,93 % de laranjas. Esse padrão revela uma tendência semelhante à observada na primeira rede, com a Foz apresentando uma maior diversidade de microplásticos coloridos.

Estudos como o apresentado por Fitrianti e Ghafari (2023), demonstram que a variação nas cores dos MPs está ligada à dinâmica de transporte ao longo do corpo hídrico, pois microplásticos de cores mais claras e menor densidade tendem a se acumular em margens ou áreas de fluxo reduzido, próximas às nascentes, enquanto partículas mais densas e de coloração escura são frequentemente transportadas para a Foz, devido à maior capacidade de transporte pelas correntes de maior intensidade.

Para a peneira de 20 µm, aplicada nos mesmos pontos de amostragem, foram observadas variações nas cores predominantes, mas seguindo a mesma tendencia que a peneira de 63 µm (Figura 18).

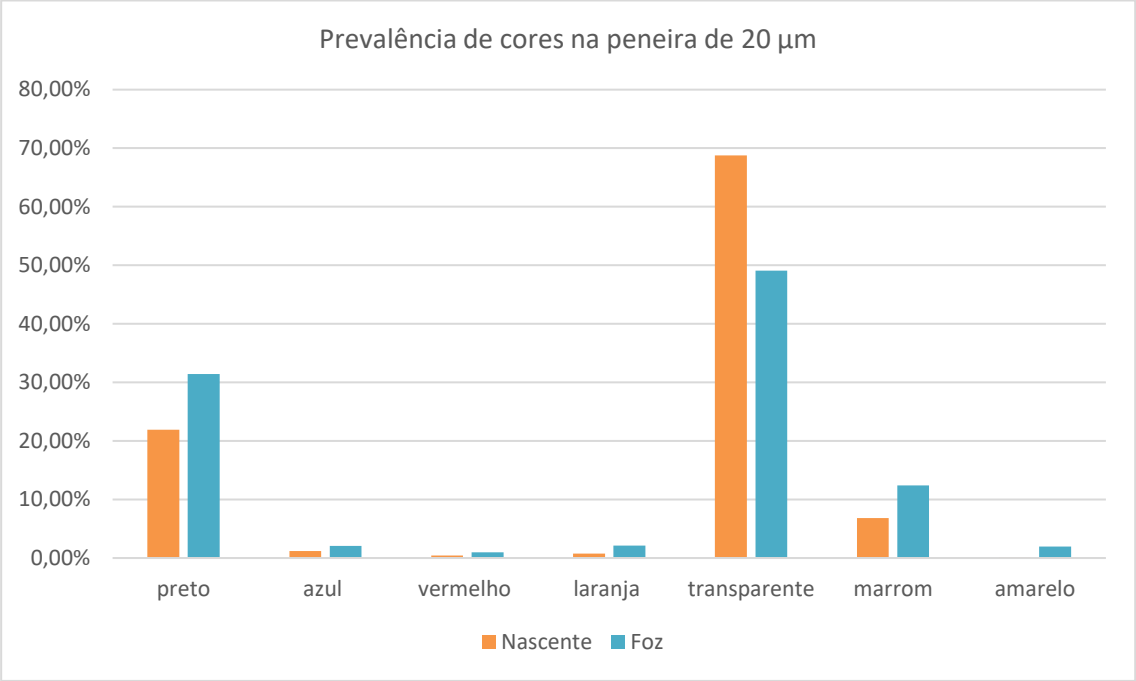

Figura 18 - Prevalência de cores na peneira de 20 µm.

Do total encontrado na Nascente, 68,79% foram transparentes; 21,89% pretos; 6,80% marrons; 1,18% azuis; seguido por 0,74% laranjas; 0,44% vermelhos e 0,14% amarelos. Enquanto na Foz 49,07% transparentes; 31,43% pretos; 12,38% marrons; 2,14% laranjas; 2,05% azuis; 1,96% amarelos e 0,98% de vermelhos. Nota-se o aumento de microplásticos coloridos na Foz, que pode ser atribuído a maior diversidade de fontes, possivelmente relacionadas a resíduos urbanos, incluindo embalagens, fragmentos de tecidos sintéticos e a degradação de macro plásticos, como apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Macro plástico presente na área de coleta.

Essas diferenças podem ser atribuídas às características ambientais e à influência antrópica ao longo do curso do Córrego. Os microplásticos transparentes encontrados na nascente possivelmente estão associados a fontes primárias, como o desgaste de materiais plásticos usados em atividades agrícolas nas proximidades da área de coleta. Além disso, a presença de microplásticos em todas as amostras, independentemente do ponto analisado, reforça a onipresença desse tipo de poluição.

5.4 Aplicação e otimização do método da agulha quente na identificação de microplásticos

Durante a análise das amostras, foi utilizado o método empírico da agulha quente como uma abordagem para identificar microplásticos com base em sua capacidade de derreter ao serem expostos ao calor. Esse método, descrito por De Witte *et al*., (2014), consiste em aproximar uma agulha aquecida do fragmento suspeito, observando se ocorre derretimento como evidência de sua natureza plástica. A aplicação dessa técnica já foi registrada no estudo de Ferreira (2021), que investigou a ocorrência e variabilidade de microplásticos em um rio urbano, destacando sua utilidade prática na confirmação preliminar de microplásticos em amostras ambientais.

Inicialmente, os fragmentos que geraram dúvidas sobre sua natureza durante a análise microscópica foram separados, sendo colocados em uma lâmina individual. Após o processo de secagem, as lâminas contendo os fragmentos foram submetidas ao teste da agulha aquecida. Durante esse procedimento, o método apresentou limitações, o que levantou questionamentos sobre a sua efetividade. O material submetido ao teste não apresentou modificações, e diante da persistência das dúvidas quanto à composição do material, optou-se por testar uma nova metodologia.

Nesse novo método, os fragmentos foram igualmente separados em lâminas e deixados para secar, então aqueceu-se diretamente à lâmina contendo o fragmento. Esse ajuste eliminou as inconsistências observadas no método anterior e permitiu uma confirmação mais precisa da natureza plástica dos fragmentos analisados. Os resultados foram documentados com registros fotográficos (Figura 20-23) evidenciando o estado do fragmento antes e após o aquecimento, o que comprovou sua fusão e, portanto, sua composição plástica.

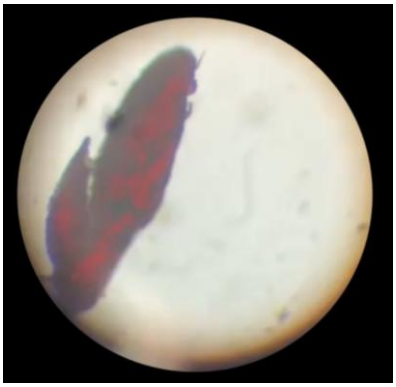

Figura 20 - Fragmento antes do aquecimento.

Figura 21 - Fragmento após o aquecimento.

Figura 22 - Fibra antes do aquecimento.

Figura 23 - Fibra após o aquecimento.

5.5 Resultados IQA

A partir das análises realizadas no laboratório, foi possível calcular o IQA_{CETESB} do ponto Nascente (Tabela 3). No ponto da Nascente o valor encontrado de IQA foi de 67, então a classificação da água nesse ponto é boa.

Tabela 3 - Índices de Qualidade na Nascente

Parâmetro	Coliformes Termotolerantes	pH	DBO	NT	PT	Dif. T	Turbidez	ST	OD
Valor encontrado	31,5	92	78,4	77,6	37,9	94	93,2	85,4	74,8
IQA_{CETESB}	67								
IQA_{SMITH}	31,5								
Parâmetro Crítico	Coliformes Termotolerantes								

Por meio do menor subíndice, foi possível avaliar que o parâmetro responsável pela qualidade no Córrego na nascente é o alto índice de coliformes termotolerantes, com o valor de IQA_{SMITH} de 31,5. Desse modo, este é considerado o parâmetro crítico de atenção para a manutenção e melhoria do Córrego Bandeira.

A partir das análises realizadas no laboratório, foi possível calcular o IQA_{CETESB} na Foz (Tabela 4). Nesse ponto, o valor encontrado foi de 69, logo a classificação da água nesse ponto é boa também.

Tabela 4 - Índices de Qualidade na Foz

Parâmetro	Coliformes Termotolerantes	pH	DBO	NT	PT	Dif. T	Turbidez	ST	OD
Valor encontrado	57,7	83,1	78,4	57,8	28,8	94	82,5	80,7	85,7
IQA_{CETESB}	69								
IQA_{SMITH}	28,8								
Parâmetro Crítico	Fósforo Total								

Por meio do menor subíndice, foi possível avaliar que o parâmetro responsável pela qualidade nesse ponto do Córrego é o alto índice de fósforo total, com o valor de IQA_{SMITH} de 28,8. Desse modo, este é considerado o parâmetro crítico de atenção para a manutenção e melhoria do Córrego Bandeira.

É possível notar que a qualidade geral do Córrego não mudou da Nascente até a Foz com o Lago do Amor, mas o parâmetro crítico apontado pelo IQA_{SMITH} alterou-se. Na Nascente, situada em uma área preservada, a qualidade da água é mais influenciada por fontes naturais ou, eventualmente, por uma contaminação pontual de origem biológica (como animais silvestres). Os coliformes termotolerantes refletem a presença de matéria orgânica e, possivelmente, uma contaminação fecal de baixa intensidade, coerente com áreas menos impactadas.

Já na Foz, onde o Córrego recebe maior influência antrópica devido à proximidade com uma avenida movimentada e vários bairros, o Fósforo Total como parâmetro crítico indica a entrada de nutrientes, possivelmente decorrentes de escoamento superficial carregando detergentes ou efluentes domésticos mal tratados. Este aumento de Fósforo é comum em áreas urbanas e pode promover processos de eutrofização, comprometendo o ecossistema aquático.

Embora a classificação geral do IQA_{CETESB} tenha permanecido a mesma, a alteração no parâmetro crítico sinaliza uma mudança qualitativa na natureza dos impactos ambientais entre a Nascente e a Foz, reforçando a importância de estratégias de manejo diferenciadas para cada trecho do Córrego. É importante destacar que as análises de qualidade da água feitas foram pontuais e retratam as características do Córrego naquele dia.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Portanto, este estudo demonstrou a presença significativa de microplásticos ao longo do Córrego Bandeira com concentração crescente da Nascente para a Foz. Os resultados indicaram um aumento de 94,1% na concentração média de microplásticos entre os dois pontos analisados na peneira de 63 µm. Já na peneira de 20 µm, o aumento foi de 94,7%. Isso reforça que em áreas com maiores densidades populacionais, há um incremento na concentração de MPs.

O tipo de microplástico variou de acordo com a localização, com a Foz apresentando uma maior quantidade de partículas em formatos distintos, como contas e microesferas, em relação à Nascente. Apesar da predominância de fibras em ambos os pontos, a Foz demonstrou uma maior entrada de partículas diversificadas, indicando uma contribuição mais ampla de diferentes tipos de poluição ao longo do curso do Córrego.

O mesmo observou-se para a coloração, em que a análise dos microplásticos revelou uma maior quantidade de partículas coloridas na Foz, evidenciando a entrada diversificada de resíduos ao longo do trajeto hídrico. Embora as cores predominantes em ambos os pontos tenham sido transparentes e pretas, foi notável o aumento de partículas em tons vibrantes, como azul, vermelho, amarelo e laranja na Foz.

Em relação à qualidade da água, observou-se que o IQA_{CETESB} permaneceu o mesmo nos dois pontos, contudo o IQA_{SMITH} apresentou alteração do operador mínimo, com Coliformes Termotolerantes sendo o parâmetro que demanda mais atenção na Nascente e o Fósforo Total destacando-se na Foz.

Por fim, os resultados deste estudo evidenciam a onipresença dos microplásticos, constatada inclusive pela presença de 1360 p m^{-3} e 1680 p m^{-3} na amostra controle das peneiras de 20 µm e 63 µm, respectivamente. Demonstrando o desafio de evitar a contaminação durante os processos analíticos.

Os dados levantados reforçam a necessidade de aprofundar as pesquisas sobre a poluição por microplásticos, especialmente em ambientes aquáticos de água doce, por meio do desenvolvimento e aplicação de metodologias de amostragem mais eficientes, capazes de minimizar contaminações externas.

Além disso, destaca-se a urgência de implementar ações preventivas e corretivas para reduzir a dispersão desses materiais no ambiente aquático. Essas iniciativas são fundamentais para preservar os ecossistemas, mitigar os impactos dessa poluição nas cadeias tróficas e proteger a saúde humana frente às consequências desse tipo de contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Senado (2021). Estudo do Senado aponta necessidade de leis para deter poluição por plásticos . Brasília, Brasil: Senadonoticias . Disponível em: https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/07/28/estudo-do-senado-aponta-necessidade-de-leis-para-deter-poluicao-por-plasticos (Acessado 20 de novembro de 2024).

ANAGHA, Prabhakaran Latha et al. Distribution and abundance of microplastics in the water column of Vembanad Lake–a Ramsar site in Kerala, India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 194, p. 115433, 2023.

ANDRADY, Anthony L.; NEAL, Mike A. Applications and societal benefits of plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1977-1984, 2009.

APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23nd edition. Washington DC: American Public Health Association, Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017.

BELO, Isabela Cristina Bitencourt et al. MICROPLÁSTICOS, SEUS IMPACTOS NO AMBIENTE E MANEIRAS BIODEGRADÁVEIS DE SUBSTITUIÇÃO. **Revista Internacional de Ciências**, v. 11, n. 2, p. 214-228, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2005ª.

CHEN, Qiqing; LI, Yue; LI, Bowen. Is color a matter of concern during microplastic exposure to Scenedesmus obliquus and Daphnia magna?. **Journal of hazardous materials**, v. 383, p. 121224, 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo | Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf. Acesso em novembro 2024.

DE OLIVEIRA, Bruno Leonardo Marques Castro. **Quantificação e distribuição vertical de microplásticos na coluna d'água em represa urbana**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2020.

DE WITTE, B. et al. Quality assessment of the blue mussel (Mytilus edulis): Comparison between commercial and wild types. Marine Pollution Bulletin, v. 85, n. 1, p. 146-155, 2014.

DING, Rui et al. Reducing uncertainty and confronting ignorance about the potential impacts of microplastic on animals: A critical review. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, p. 117484, 2023.

ENYOH, Christian Ebere et al. Evaluation of nanoplastics toxicity to the human placenta in systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 446, p. 130600, 2023.

FERREIRA, Maria Gabriela Alves. **Ocorrência e variabilidade de microplásticos em rio urbano**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2021.

FITRIANTI, Vita; GHAFARI, Muhammad Irsyad Abiyusfi. Tiny and Everywhere: Microplastic Density and Distribution in Sediments along the West Coast of Lombok Island, Indonesia. **Philippine Journal of Science**, v. 152, n. 5, p. 1677-1686, 2023.

GESAMP. Proceedings of the GESAMP International Workshop on plastic particles as a vector in transporting persistent, bio-accumulating and toxic substances in the oceans. IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. n. 82, 38p, 2010.

GEYER, Roland. Production, use, and fate of synthetic polymers. In: **Plastic waste and recycling**. Academic Press, 2020. p. 13-32.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science advances**, v. 3, n. 7, p. e1700782, 2017.

HAAVE, Marte et al. Documentation of microplastics in tissues of wild coastal animals. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 575058, 2021.

HALE, Robert C. et al. A global perspective on microplastics. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 125, n. 1, p. e2018JC014719, 2020.

HASSAN, Sidra et al. Pervasive Pollution Problems Caused by Plastics and its Degradation. **Int. J. Online Biomed. Eng.**, v. 15, n. 10, p. 29-39, 2019.

HUANG, Mengyuan et al. Advancing microplastic surveillance through photoacoustic imaging and deep learning techniques. **Journal of Hazardous Materials**, v. 470, p. 134188, 2024.

JAMBECK, Jenna R.; WALKER-FRANKLIN, Imari. The impacts of plastics' life cycle. **One Earth**, v. 6, n. 6, p. 600-606, 2023.

JEONG, Eunju; LEE, Jin-Yong; REDWAN, Mostafa. Animal exposure to microplastics and health effects: a review. **Emerging Contaminants**, p. 100369, 2024.

KARRER, E. Classification of plastics and definition of certain properties. **Journal of Rheology**, v. 1, n. 3, p. 290-297, 1930.

KIM, Jun-Hwan; YU, Young-Bin; CHOI, Jae-Ho. Toxic effects on bioaccumulation,

hematological parameters, oxidative stress, immune responses and neurotoxicity in fish exposed to microplastics: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 413, p. 125423, 2021.

KOUSHAL, Vipin et al. Plastics: issues challenges and remediation. **International Journal of Waste Resources**, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2014.

KRISTANTI, Risky Ayu et al. Characteristics of microplastic in commercial aquatic organisms. **Tropical Aquatic and Soil Pollution**, v. 2, n. 2, p. 134-158, 2022.
KUNZ, Alexander et al. Microplastics in rivers along an urban-rural gradient in an urban agglomeration: Correlation with land use, potential sources and pathways. **Environmental Pollution**, v. 321, p. 121096, 2023.

KUTRALAM-MUNIASAMY, Gurusamy et al. Branded milks–are they immune from microplastics contamination?. **Science of the Total Environment**, v. 714, p. 136823, 2020.

LA PORTA, Edoardo et al. Microplastics and kidneys: an update on the evidence for deposition of plastic microparticles in human organs, tissues and fluids and renal toxicity concern. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 18, p. 14391, 2023.

LI, Jingyi; LIU, Huihui; CHEN, J. Paul. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. **Water research**, v. 137, p. 362-374, 2018.

MARTÍ, Elisa et al. The colors of the ocean plastics. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 11, p. 6594-6601, 2020.

MENDOZA, Lorena M. Rios; BALCER, Mary. Microplastics in freshwater environments. 2020.

MENEZES, Juliana Magalhães et al. Índices de Qualidade de Água: métodos e aplicabilidade. **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto de Mudanças Ambientais. 1ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, v. 1, p. 325-352, 2010.

MILLS, Nigel; JENKINS, Mike; KUKUREKA, Stephen. **Plastics: microstructure and engineering applications**. Butterworth-Heinemann, 2020.

MONTAGNER, Cassiana C. et al. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química nova**, v. 44, n. 10, p. 1328-1352, 2021.

MOSQUERA, Marcela Romero. Banning plastic straws: the beginning of the war against plastics. **Earth Jurisprudence & Envtl. Just. J.**, v. 9, p. 5, 2019.

MYKHAILOVA, E. Plastic pollution is one of the main environmental problem of humanity. **Komunalne hospodarstvo mist [Municipal economy of cities]**, v. 4, p. 109-121, 2020.

NIZZETTO, Luca; FUTTER, Martyn; LANGAAS, Sindre. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin?. 2016.

NORTH, Emily J.; HALDEN, Rolf U. Plastics and environmental health: the road ahead. **Reviews on environmental health**, v. 28, n. 1, p. 1-8, 2013.

OKAMOTO, Konori et al. Color preferences and gastrointestinal-tract retention times of microplastics by freshwater and marine fishes. **Environmental Pollution**, v. 304, p. 119253, 2022.

OSUNA-LAVEAGA, Daryl Rafael et al. Micro-and nanoplastics current status: legislation, gaps, limitations and socio-economic prospects for future. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, p. 1241939, 2023.

PEREIRA, Maria Eduarda Magosso et al. Distribution and Characterization of Microplastics and Their Relationship With Water Quality in the Cabaça Stream, Campo Grande-MS. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. e09920-e09920, 2024.

Prefeitura Municipal de Campo Grande. Diagnóstico ambiental da bacia do Córrego Bandeira. Campo Grande: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: https://cdn.campogrande.ms.gov.br/portal/prod/uploads/sites/18/2020/08/DIAG-BANDEIRA-FINAL.pdf. Acesso em: 25 nov. 2024.

PRINCE-RUIZ, Rebecca. 5 The Far-Reaching Impact of Disposable Plastic. **Promoting Biodiversity in Food Systems**, p. 65, 2018.

ROCHMAN, Chelsea M. et al. Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: implications for plastic marine debris. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 3, p. 1646-1654, 2013.

ROMASKILA, Ulfanida et al. Karakteristik, Warna, Dan Ukuran Mikroplastik Yang Ditemukan Pada Air Dan Kerang Hijau Di Pulau Pasaran, Lampung. **Journal of Tropical Marine Science**, v. 6, n. 2, p. 147-154, 2023.

SAMANDRA, Subharthe et al. Quantifying environmental emissions of microplastics from urban rivers in Melbourne, Australia. **Marine Pollution Bulletin**, v. 189, p. 114709, 2023.

SHAH, Aamer Ali et al. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. **Biotechnology advances**, v. 26, n. 3, p. 246-265, 2008.

SHARIF, Abida; SADAF, Fouzia; AMAN, Eman. Domestic Plastic Consumption Patterns: A Data-Informed Sociological Analysis of Education and Behaviour Among Homemakers. **The Asian Bulletin of Big Data Management**, v. 3, n. 1, p. 197-211, 2023.

SHERIFF, Ishmail et al. Extraction and analytical methods of microplastics in wastewater treatment plants: isolation patterns, quantification, and size characterization techniques. **Desalination and Water Treatment**, p. 100399, 2024.

SIERRA, Ignacio et al. Identification of microplastics in wastewater samples by means of polarized light optical microscopy. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 7409-7419, 2020.

Stein, R. Journal of New England Association of Chemistry Teachers, 21 (1) (2002), pp. 1-5.

SYMEONIDES, Christos et al. Buy-now-pay-later: Hazards to human and planetary health from plastics production, use and waste. **Journal of Paediatrics and Child Health**, v. 57, n. 11, p. 1795-1804, 2021.

THOMPSON, Richard C. et al. Our plastic age. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1973-1976, 2009.
THOMPSON, Richard C. Microplastics in the marine environment: sources, consequences and solutions. **Marine anthropogenic litter**, p. 185-200, 2015.

TIBBETTS, Joseph et al. Abundance, distribution, and drivers of microplastic contamination in urban river environments. **Water**, v. 10, n. 11, p. 1597, 2018.

VARGAS, Julia Gabriela Matos et al. Microplásticos: Uso na indústria cosmética e impactos no ambiente aquático. **Química Nova**, v. 45, n. 06, p. 705-711, 2022.

XU, Shen et al. Microplastics in aquatic environments: occurrence, accumulation, and biological effects. **Science of the total environment**, v. 703, p. 134699, 2020.

YU, Sing-Pei Yu; COLE, Matthew Cole; CHAN, Benny KK. Effects of microplastic on zooplankton survival and sublethal responses. **Oceanography and marine biology**, 2020.

ZHAO, Xin et al. Pollution status and pollution behavior of microplastic in surface water and sediment of urban rivers. **Huan jing ke xue= Huanjing kexue**, v. 41, n. 8, p. 3612-3620, 2020.

ZHAO, Xin et al. Pollution status and pollution behavior of microplastic in surface water and sediment of urban rivers. **Huan jing ke xue= Huanjing kexue**, v. 41, n. 8, p. 3612-3620, 2020.

ZOLOTOVA, Natalia et al. Harmful effects of the microplastic pollution on animal health: a literature review. **PeerJ**, v. 10, p. e13503, 2022.