

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS FLUVIAIS DEVIDO A
PRESENÇA DE ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP**

Bianca Sacaro

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição

Rio Claro (SP)

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

BIANCA SACARO

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS FLUVIAIS DEVIDO A
PRESENÇA DE ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2025

S119a Sacaro, Bianca

Avaliação da poluição por microplásticos em águas fluviais devido a presença de área urbana do município de Rio Claro - SP / Bianca Sacaro. -- Rio Claro, 2025

34 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

1. Microplásticos. 2. Poluição. 3. Bacias hidrográficas. 4. Água Poluição. 5. Solo Uso. I. Título.

BIANCA SACARO

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS
FLUVIAIS DEVIDO A PRESENÇA DE ÁREA URBANA DO
MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição (orientador)

Prof. Dr. Ademir Abdala Prata Júnior

Prof. Dr. Rodrigo Silva Lemos

Rio Claro, 24 de novembro de 2025.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Maria Angela Casonato Sacaro, por ter sonhado meus sonhos comigo desde o dia em que nasci. Meu desejo é honrar as oportunidades que vivo hoje que minha mãe não teve.

As minhas irmãs, Aline Sacaro e Camila Sacaro, por me apoiarem e torcerem por mim infinitamente mais do que eu poderia pedir.

A minha tia Luiza Casonato, por nunca deixar de acreditar em mim e no meu futuro.

Ao meu amor, Vinicius Rampazzo, pelo cuidado e carinho com que sempre me recebe, principalmente nos momentos em que duvido de mim.

Em homenagem a minha avó, Rosa Dezotti Casonato.

Em memória do meu pai, Sidnei José Sacaro. Deus sabe o quanto meu coração deseja que, de onde estiver, você esteja orgulhoso dos meus passos.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à ajuda e apoio de muitas pessoas e organizações, dentre as quais agradeço:

O meu orientador, Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição, que sempre esteve à disposição para me auxiliar, compreender e por sempre almejar o que é melhor para mim e meu futuro.

Os professores do curso de Engenharia Ambiental, cujo ensinamento permitiu que eu pudesse hoje concluir este trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2024/09058-6. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do autor e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

Suely Teodoro de Souza Martins, Vinicius Borges Moreira e todos os colegas do Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA), que me apoiaram no desenvolvimento deste trabalho.

A minha família, em especial minhas tias Vera Vitti e Maria Buscariol e meus primos Icaro Vitti e Vinicius Vitti, por sempre me apoiarem.

Os meus amigos por sempre me compreenderem.

Acima de tudo agradeço a Deus, por me fortalecer e guiar meus passos até aqui.

Resumo

Microplásticos (MPs), incluindo-se partículas de desgaste de pneus (TWPs), são poluentes emergentes que podem ser encontrados no meio aquático. Apesar de estudos na área terem se concentrado nos ambientes marinhos, os rios são influenciados diretamente pela ação antrópica e são significativos para a caracterização desses poluentes. A área de estudo escolhida foi a bacia do Rio Corumbataí, inserida na UGRHI 5, mais especificamente, o Rio Corumbataí e o Ribeirão Claro, com amostragens a montante e jusante do município de Rio Claro, interior do estado de São Paulo, em diferentes épocas do ano. Para realizar a extração dos MPs, as amostras foram tratadas com peróxido de hidrogênio a 60 °C e, posteriormente, adicionado cloreto de zinco até que a densidade da mistura atinja 1,6 g/cm³. A mistura é então homogeneizada e após 24 h de sedimentação, o sobrenadante é filtrado através de membranas de nitrato de celulose, que são secas em placas de Petri. Após, os MPs foram quantificados, caracterizados e os resultados revelam a grande contribuição do município de Rio Claro em relação aos MPs e TWPs, sobressaindo-se o número de linhas e o tamanho dos poluentes majoritariamente de 0,1 a 0,5 mm. Além disso, observou-se a importante influência da vazão dos rios na presença dos poluentes, que foi mais significativa durante o período de chuvas. Por fim, os resultados obtidos são informações importantes para a gestão dos recursos hídricos e para os Comitês de Bacias Hidrográficas do estado de São Paulo, visando a preservação das águas da bacia do Rio Corumbataí, em especial.

Palavras-chave: Microplástico; Poluição ambiental; Recursos hídricos; Uso e ocupação do solo; Bacia hidrográfica.

Abstract

Microplastics (MPs), including tire wear particles (TWPs), are emerging pollutants that can be found in the aquatic environment. Although studies in this area have focused on marine environments, rivers are directly influenced by anthropogenic action and are significant for the characterization of these pollutants. The study area chosen was the Corumbataí River basin, located in UGRHI 5, more specifically, the Corumbataí River and Ribeirão Claro, with the sampling carried out upstream and downstream of the municipality of Rio Claro, in the country of the state of São Paulo, at different times of the year. To extract the MPs, the samples are treated with hydrogen peroxide at 60°C and then zinc chloride is added until the density of the mixture reaches 1.6 g/cm³. The mixture is then homogenized and, after 24 h of sedimentation, the supernatant is filtered through cellulose nitrate membranes, which are dried in Petri dishes. Afterwards, the MPs were quantified and characterized, and the results reveal the significant contribution of the Rio Claro in relation to MPS and TWPs, with the number of lines and the size of the pollutants mostly between 0.1 and 0.5 mm standing out. In addition, the important influence of river flow on the presence of pollutants was observed, which was more significant during the rainy season. Finally, the results obtained are important information for water resource management and for the Watershed Committees of the state of São Paulo, aiming at the preservation of the waters of the Corumbataí River basin, in particular.

Keywords: Microplastics; Environmental pollution; Water resources; Land use; Watershed.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.	OBJETIVOS.....	11
3.1.	Objetivo geral.....	11
3.2.	Objetivos específicos.....	11
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
4.1.	Área de estudo.....	11
4.2.	Amostragem.....	13
4.3.	Quantificação e caracterização de MPs.....	17
4.4.	Obtenção da vazão.....	17
4.5.	Descarga em cada ponto de amostragem.....	18
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5.1.	Parâmetros caracterizados in situ.....	18
5.2.	Quantificação e caracterização de MPs.....	20
6.	CONCLUSÃO.....	29
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

Microplásticos (MPs) são fragmentos de resíduos plásticos devido à degradação física, biológica ou fotoquímica e possuem tamanho que varia de 0,1 a 5 mm (O'CONNOR et al., 2019). MPs são liberados de uma grande variedade de indústrias ou atividades urbanas, e essa diversidade de fontes também se traduz na heterogeneidade de tamanhos, formas, cores, composições e densidades desses poluentes no meio ambiente (MORUZZI et al., 2020). Além disso, a poluição por MPs representa uma ameaça maior nos ambientes de água doce do que nos marinhos devido à maior proximidade das atividades humanas (LI et al., 2020).

De acordo com a definição geral de MPs proposta por Verschoor (2015), MPs são todos os materiais macromoleculares produzidos pelo homem, incluindo a borracha sintética. Portanto, as partículas de desgaste do pneu (TWPs) também são consideradas MPs, que podem ser geradas pelo atrito entre o pneu e a superfície da estrada e entrar em sistemas aquáticos de várias fontes, como escoamento superficial de poeira da estrada e o desgaste de pavimentos de borracha e sistemas de superfície de playground (KNIGHT et al., 2020).

A poluição por MPS em ambientes de água doce é uma problemática global, uma vez que existem pesquisas relacionadas que reportam esse tipo de poluição, por exemplo, na América do Norte, Europa Ocidental, partes da China, Mongólia e Índia, sendo o Brasil um país onde estes estudos ainda são escassos (LI et al., 2020). A cidade de Rio Claro, interior do estado de São Paulo, está inserida na bacia do Rio Corumbataí, sendo que a maioria da área urbana deste município está localizada no interflúvio entre o Rio Corumbataí e o Ribeirão Claro (CUNHA et al., 2009), o que faz com que a qualidade de ambos os corpos hídricos seja influenciada pelo despejo de efluentes urbanos (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2002).

Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da área urbana do município de Rio Claro na presença de microplásticos nas águas do Rio Corumbataí e Ribeirão Claro. Para isso, foram coletadas amostras em ambos os corpos d'água a montante e jusante da cidade de Rio Claro, e os MPs e TWPs foram quantificados e caracterizados em laboratório. A caracterização foi associada aos dados de vazão para obtenção da descarga diária destes poluentes nos pontos de amostragem.

Os resultados indicaram um importante aumento na concentração e na descarga diária de poluentes após os rios atravessarem o município de Rio Claro, fornecendo informações

importantes para a tomada de decisões que visem a sustentabilidade dos recursos hídricos no município de Rio Claro - SP. Cabe salientar que este projeto de pesquisa apresenta aderência à Área de Tecnologias para Qualidade de Vida (Saneamento Básico e Segurança Hídrica) da Portaria do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC) nº 1.122/2020, com texto alterado pela Portaria MCTIC nº 1.329/2020). Por fim, existem perspectivas de aprimoramentos no estudo, e sua continuidade na bacia hidrográfica do rio Corumbataí.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

MPs são uma preocupação crescente desde 2014, apesar das pesquisas a respeito desse tipo de poluição terem se concentrado principalmente nos ambientes marinhos (LI *et al.*, 2020), sendo estimado que, por ano, 8 milhões de toneladas de MPs adentrem os oceanos (JAMBECK *et al.*, 2015). A poluição por MPs é particularmente aguda em estuários, o que indica que os rios são uma fonte relevante desses poluentes para os ambientes costeiros e marinhos (GALLAGHER *et al.*, 2016; SADRI e THOMPSON, 2014; VENDEL *et al.*, 2017). Baseado nas fontes de resíduos adjacentes, como domésticos ou industriais, e a distância a jusante de uma fonte pontual, os rios podem apresentar um padrão previsível de características dos MPs, como tamanho, forma e abundância relativa (EERKES-MEDRANO *et al.*, 2015).

Em especial, TWPs têm sido encontrados em todos os compartimentos ambientais e podem ser um risco para os ecossistemas e para a saúde humana, tanto quanto outros MPs (WIK e DAVE, 2009), tendo em vista que os TWPs são considerados uma das maiores fontes atuais de MPs (GOHLER *et al.*, 2022; JÄRLSKOG *et al.*, 2020; KLÖCKNER *et al.*, 2020; KOLE *et al.*, 2017; LANGE *et al.*, 2021). O potencial efeito negativo dos MPs é de consenso dada a alta estabilidade dos polímeros, os quais podem persistir no meio ambiente por considerável período (ANBUMANI e KAKKAR, 2018; MA *et al.*, 2019).

A maior parcela ($\frac{3}{4}$) da poluição nos sistemas de água doce ocorre por plásticos dos tipos: polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS) e tereftalato de polietileno (PET), com a maioria dos MPs representadas por fibras (59%) e fragmentos (20%) (LI *et al.*, 2020). A grande quantidade de fibras deve-se, provavelmente, a abundância de águas residuais associada a lavagem de tecidos (KOLE *et al.*, 2017), o que é alarmante, uma vez que tais fibras não são removidas pelo tratamento de águas residuais atual (BROWNE, 2015). Recentemente, Goehler et

al. (2022) mostraram a relevância dos TWP (53%) sobre o total de MPs transportados por escoamento superficial em área urbana de alta impermeabilização e tráfego intenso de veículos, com fluxo anual de $4,1 \times 10^{11}$ unidades/(km²/ano), com emissões de TWPs variando de 43,3 a 205,5 kg/dia.

São Paulo é o estado mais desenvolvido do Brasil, com 645 municípios e aproximadamente 46 milhões de habitantes, sendo responsável por 32% do Produto Interno Bruto nacional (PIB de US\$603 bilhões). Este estado está dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), de acordo com a Lei Estadual 16.337, fortalecendo a sustentabilidade dos recursos hídricos, cuja gestão deve garantir padrões satisfatórios de qualidade e quantidade aos cidadãos. A bacia do Rio Corumbataí está inserida na UGRHI 5 denominada como Piracicaba/Capivari/Jundiaí, drenando inteiramente os municípios de Rio Claro, Ipeúna e Santa Gertrudes (ANTONELLO, 2008). A bacia do Rio Corumbataí é uma das sub-bacias do Rio Piracicaba, tendo em sua formação quatro principais cursos d'água: Rio Corumbataí, Rio Passa Cinco, Rio das Cabeças e Ribeirão Claro. A qualidade das águas fluviais da bacia do Rio Corumbataí é degradada por atividades antrópicas associadas ao lançamento de efluentes domésticos do município de Rio Claro e do uso intensivo das terras para cultivo de cana-de-açúcar, especialmente após o município de Rio Claro (GARCIA *et al.* 2002; CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2002, 2003, 2004; CUNHA *et al.*, 2009).

Desde a década de 1970, a ocupação urbana da cidade de Rio Claro, até então restrita ao interflúvio do Rio Corumbataí e do Ribeirão Claro, avançou até as médias e baixas vertentes dos vales devido a imigração e êxodo rural (CUNHA *et al.*, 2009). Concomitantemente, nas décadas de 1970 e 1980 ocorreu no município de Rio Claro um desenvolvimento considerável nas indústrias de material de transporte e, principalmente, na de plásticos e, atualmente, o setor terciário é o que ganha destaque na estrutura econômica da cidade, cuja população no Censo Brasileiro de 2010 do Instituto Brasileiro Geografia e Estatística (IBGE) era de 186.253 habitantes (IBGE, 2012), com uma população estimada para 2021 de 209.548 habitantes (ROSSETTI, 2007).

Até o ano de 1999 a cidade de Rio Claro não contava com uma estação de tratamento de esgoto. Dessa forma, o esgoto doméstico era o principal poluente do Rio Corumbataí ao passar pelo município (CONCEIÇÃO E BONOTTO, 2002). Além disso, a cidade contribui com efluentes oriundos de fontes como: mineração de calcário, atividades agroindustriais e agrícolas,

que contribuem com o aumento de macronutrientes devido ao uso de fertilizantes e vinhaça em plantações de cana-de-açúcar, além das queimadas relacionadas a essa atividade (CONCEIÇÃO E BONOTTO, 2002). Atualmente, todo o esgoto gerado na área urbana de Rio Claro é coletado e 92% deste é tratado, segundo dados da BRK Ambiental, empresa privada que presta serviços de água e esgoto ao município (BRK, 2023). O contrato de Parceria Público-Privada da BRK na cidade teve início em 2007, quando a cidade tinha apenas 12% de seu esgoto tratado. Rio Claro possui quatro ETEs em área urbana e outras quatro nos distritos municipais, além de que, ainda segundo dados da empresa, o Ribeirão Claro não recebe mais esgoto não tratado (BRK, 2023).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da área urbana do município de Rio Claro, interior do estado de São Paulo, na presença de MPs nas águas do Rio Corumbataí e Ribeirão Claro.

3.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do estudo consistem em:

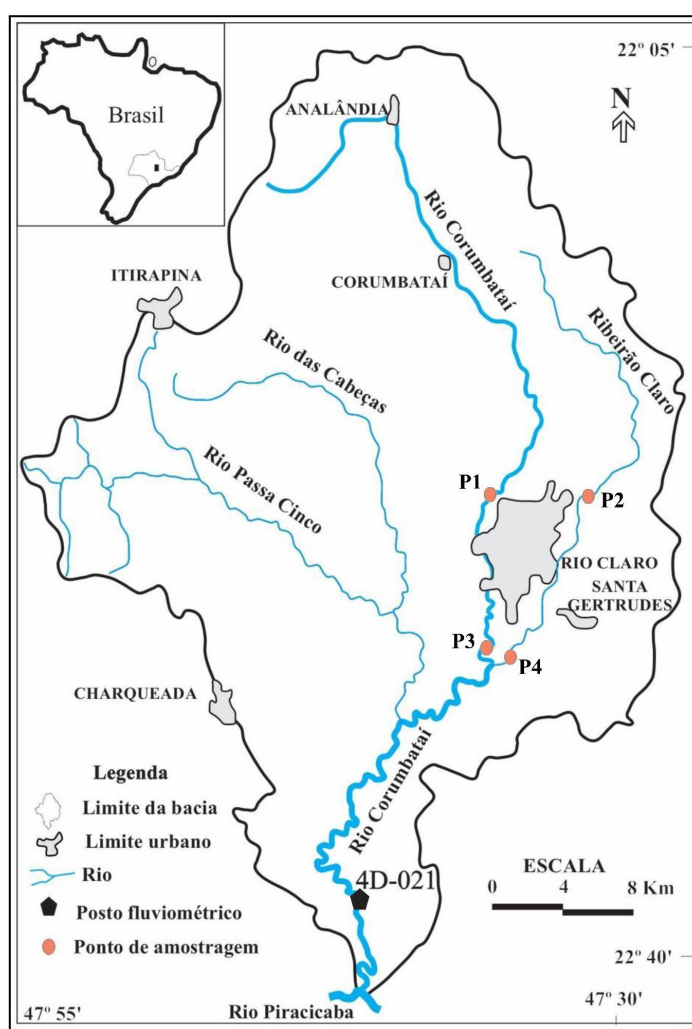
- Realizar amostragens no Rio Corumbataí e Ribeirão Claro ao longo do tempo;
- Verificar a influência da vazão dos rios na presença de MPs e TWPs;
- Avaliar a quantidade destes poluentes presentes nos rios em estudo em cada amostragem;
- Identificar a morfologia e o tamanho predominantes no estudo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A bacia do Rio Corumbataí possui uma área de aproximadamente 1.710 km², situando-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°05' e 22°40' de latitude S e meridianos 47°55' e 47°30' de longitude W (CONCEIÇÃO E BONOTTO, 2002). A área é drenada pelo Rio Corumbataí e seus principais afluentes, os rios Passa Cinco e das Cabeças na margem direita, e o Ribeirão Claro e o Córrego da Assistência na margem esquerda.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia do rio Corumbataí, com destaque para o posto fluviométrico 4D-021 e os pontos de amostragem



Fonte: adaptado de Conceição e Bonotto (2002).

O Rio Corumbataí possui uma extensão de aproximadamente 120 km, tendo suas nascentes na Serra de Santana, a cerca de 800 m de altitude e desaguardo no Rio Piracicaba, na

cidade de Piracicaba, na cota 470 m. A vazão média mensal entre os anos de 1973 até 1998 foi de 26,45 m³/s com a vazão média mensal máxima de 168,36 m³/s registrada no mês fevereiro de 1995 e vazão média mensal mínima de 5,96 m³/s caracterizada no mês de setembro de 1994 (CONCEIÇÃO E BONOTTO, 2002).

O clima da área é do tipo Aw (classificação de KÖPPEN, 1948), ou seja, clima tropical chuvoso, com chuvas no verão e inverno seco (INÁCIO & SANTOS, 1988). A temperatura média anual em quase todos os meses do ano é superior a 18 °C, ultrapassando no mês mais quente os 22 °C, enquanto a precipitação do mês mais chuvoso é dez vezes superior à do mês mais seco (CONCEIÇÃO E BONOTTO, 2002). As alturas médias mensais de chuva são de ~ 1.570 mm de chuva por ano na cidade de Rio Claro (CONCEIÇÃO E BONOTTO, 2002).

Do ponto de vista geológico, a bacia do Rio Corumbataí está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, que possui uma área de 1.700.000 km² (1.000.000 km² em território brasileiro) (FRANÇA E POTTER, 1988). Entre os vários tipos de solos que ocorrem na bacia do Rio Corumbataí, os argissolos vermelho-amarelos e latossolos cobrem aproximadamente 65 % da área desta bacia hidrográfica (KÖFFLER, 1993).

4.2. Amostragem

Para entender a poluição de MPs em águas superficiais devido à presença de área urbana, as amostragens de águas fluviais foram realizadas à montante e jusante da cidade de Rio Claro, no Rio Corumbataí (P1 e P3) e no Ribeirão Claro (P2 e P4). A Figura 1 apresenta a localização dos pontos de amostragem.

Foram coletadas amostras de 1 L de águas fluviais, em triplicatas, em cada ponto de amostragem em três momentos ao longo de 2025. Além da coleta de águas fluviais, foram caracterizados in situ através do uso de sonda multiparamétrica YSI, modelo 556, os seguintes parâmetros: temperatura (T - °C), pH, condutividade elétrica (CE – µS/cm) e oxigênio dissolvido (OD – mg/L). O eletrodo de pH é do tipo combinado e os padrões de alta pureza utilizados para calibração foram de pH 4,00 (4,01 ± 0,01 a 25 ± 0,2 °C) e 7,00 (7,01 ± 0,01 a 25 ± 0,2 °C). O condutivímetro é calibrado utilizando-se uma solução padrão de KCl (1,0 mmol/L) de condutividade conhecida, ou seja, 147 µS/cm a 25 °C.

Figura 2 – Locais de coleta de águas superficiais no Rio Corumbataí e Ribeirão Claro.



Fonte: Google Earth Pro (09/10/2025).

Legenda: P1 – Rio Corumbataí a montante de Rio Claro; P2 – Ribeirão Claro a montante de Rio Claro; P3 – Rio Corumbataí a jusante de Rio Claro e P4 – Ribeirão Claro a jusante de Rio Claro.

Para coletar as amostras de águas superficiais foi utilizado balde e corda e, com o auxílio de funil, a amostra foi distribuída em recipientes de 1000 mL. Na Figura 3, há registros do rio Corumbataí, em a) e b) observa-se o rio a montante de Rio claro e em c) e d) a jusante. É possível notar o aumento da vazão do corpo d'água após passar pela cidade. O mesmo ocorre para o Ribeirão Claro, na Figura 4. Em a) e b), verifica-se o rio a montante e em c) e d) a jusante do município.

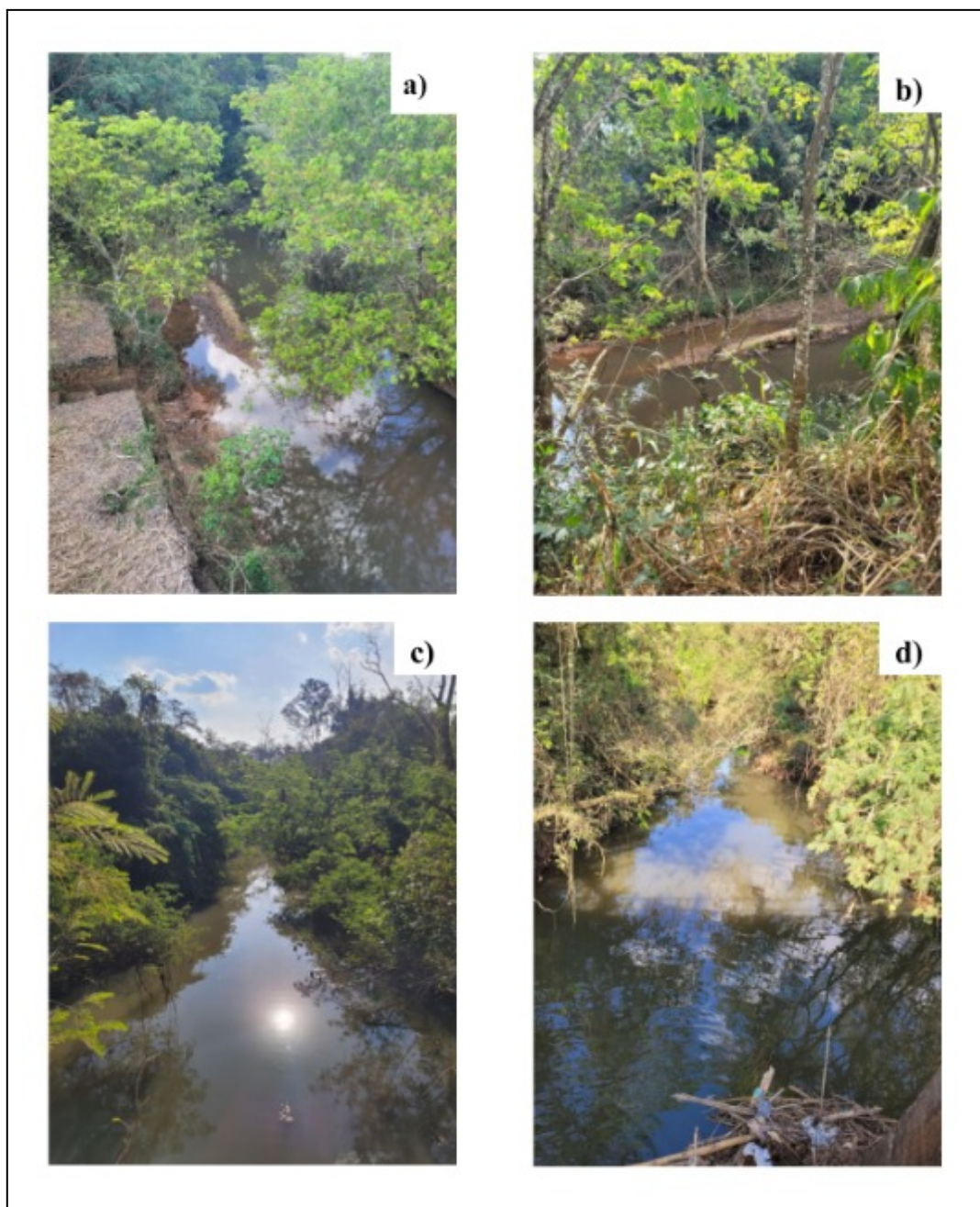
Figura 3 – Imagens do rio Corumbataí a montante e jusante de Rio Claro - SP



Fonte: autoria própria.

Legenda: imagens registradas em campo no dia 27 de fevereiro de 2025. Em a) e b) - rio Corumbataí a montante de Rio Claro – SP. Em c) e d) - rio Corumbataí a jusante de Rio Claro – SP.

Figura 4 – Imagens do Ribeirão Claro a montante e jusante de Rio Claro - SP



Fonte: autoria própria.

Legenda: imagens registradas em campo no dia 27 de fevereiro de 2025. Em a) e b) - Ribeirão Claro a montante de Rio Claro – SP. Em c) e d) - Ribeirão Claro a jusante de Rio Claro – SP.

4.3. Quantificação e caracterização de MPs

A caracterização de MPs foi feita em triplicata, sendo a matéria orgânica presente em cada amostra digerida com a adição de 50 mL de peróxido de hidrogênio (30%), por um período de 24 h a 60 °C. Posteriormente, foi adicionado cloreto de zinco (98%) às amostras até que a densidade da mistura atinja 1,6 g/cm³. A mistura foi homogeneizada e após 24 h de sedimentação, o sobrenadante foi filtrado através de membranas de nitrato de celulose, com 47 mm de diâmetro e poros de 0,45 µm. Uma amostra sem a presença de MPs foi tratada em paralelo para monitorar potencial contaminação durante os procedimentos laboratoriais. As membranas foram secas em placas de Petri, em aproximadamente 25 °C por pelo menos 24 h, e os MPs identificados através do emprego de estereomicroscópio trinocular com iluminação refletida, modelo estéreo Discovery V.12, equipado com câmera digital modelo AxioCam ERc 5s e software para captura de imagem modelo Axiovision LE, ambos da marca Zeiss. As morfologias de MPs (fibras, fragmentos, pellets e TWPs) foram classificados em três classes de tamanho: 0,1 mm – 0,5 mm, 0,5 mm – 1,0 mm e 1,0 mm – 5,0 mm (MORUZZI *et al.*, 2020 e GOEHLER *et al.*, 2022). Partículas menores que 0,1 mm não foram consideradas devido às limitações do microscópio de luz utilizado. MPs nas amostras foram contados como o número de MPs e TWPs por litro de água fluvial (unidades/L).

4.4. Obtenção da vazão

Para os principais afluentes e a montante de Rio Claro não há dados sistemáticos de vazão disponíveis. Entretanto, de acordo com Tucci (2001), há uma outra maneira de se calcular a vazão nos demais pontos de amostragem (Ql), considerando a existência de dados de vazão do exutório (Qp) e a proporção de área entre cada ponto de amostragem (Al) e da bacia do Rio Corumbataí (Ap) (Equação 1).

$$Ql = Qp.(Al/Ap) \quad (1)$$

Os únicos dados fluviométricos de vazão do Rio Corumbataí correspondem às observações no posto 4D-021, instalado na Fazenda Recreio (a jusante da cidade de Rio Claro),

próximo a foz da bacia, local onde o Serviço Municipal de Água e Esgoto (SEMAE) capta a água que é utilizada no município de Piracicaba (Fig. 1). Assim, os dados de vazão nos dias de amostragem nos períodos de seca e chuvoso foram obtidos diretamente no site do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para o posto fluviométrico, obtendo-se os dados de vazão para os pontos de amostragem em estudo a partir da Equação 1.

As áreas calculadas para cada ponto de amostragem foram: 374,31 km² para o rio Corumbataí a montante (P1) e 643 km² a jusante de Rio Claro - SP (P3) e para o Ribeirão Claro 116,1 km² a montante (P2) e 165 km² a jusante (P4), obtidas a partir do que foi proposto por Conceição e Bonotto (2002).

4.5. Descarga em cada ponto de amostragem

A descarga diária de MPs e TWPs (D_{MPS} e D_{TWPS} , respectivamente, em unidade/dia) em cada ponto de amostragem foi obtida pela Equação 2, considerando a [MPs] ou [TWPs] e a vazão do dia de amostragem (Q em m³/s).

$$D_{MPS} \text{ ou } D_{TWPS} = [\text{MPs}] \text{ ou } [\text{TWPs}] \cdot Q \cdot 86400 \quad (2)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a presente pesquisa.

5.1. Parâmetros caracterizados *in situ*

As Tabelas de 1 a 4 apresentam os parâmetros caracterizados *in situ* por sonda multiparamétrica nos quatro pontos de amostragem em estudo nos três dias de amostragem: 27 de janeiro, 02 de fevereiro e 27 de fevereiro de 2025. Apenas no dia 02 de fevereiro houve chuva intensa no período de amostragem, como será mais bem observado adiante. Dados de vazão.

De maneira geral, em relação ao pH, os valores indicam que as águas do Rio Corumbataí e Ribeirão Claro estão mais próximas à neutralidade, estando ligeiramente mais ácidas a

montante do município de Rio Claro. A respeito da condutividade elétrica, tem-se que este parâmetro aumenta após os rios atravessarem a cidade, sendo maiores no Ribeirão Claro a jusante do município. Além disso, no dia 02 de fevereiro observa-se que os níveis de condutividade são menores que nos demais dias em todos os pontos de coleta.

Tabela 1 – Rio Corumbataí a montante de Rio Claro.

Data de amostragem	Temperatura (°C)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)
27/01/2025	22,77	6,58	47	6,28
02/02/2025	23,81	6,07	34	4,76
27/02/2025	25,14	6,5	42	4,71

Fonte: autoria própria.

Tabela 2 – Rio Ribeirão Claro a montante de Rio Claro.

Data de amostragem	Temperatura (°C)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)
27/01/2025	25,33	6,43	51	6,33
02/02/2025	23,27	6,12	37	5,73
27/02/2025	25,68	6,56	50	5,04

Fonte: autoria própria.

Tabela 3 – Rio Corumbataí a jusante de Rio Claro.

Data de amostragem	Temperatura (°C)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)
27/01/2025	27,8	6,76	117	4,13
02/02/2025	24,33	6,47	46	2,92
27/02/2025	28,65	6,99	156	4,35

Fonte: autoria própria.

Tabela 4 – Rio Ribeirão Claro a jusante de Rio Claro.

Data de amostragem	Temperatura (°C)	pH	Condutividade elétrica (μS/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/L)
27/01/2025	26,76	7,05	165	3,91
02/02/2025	24,46	6,65	51	3,9
27/02/2025	28,17	6,99	178	4,01

Fonte: autoria própria.

Um dos fatores que pode estar associado ao aumento da condutividade elétrica, bem como a diminuição do oxigênio dissolvido após os rios passarem pelo município de Rio Claro - SP, é a contribuição de efluentes domésticos provenientes da cidade de Rio Claro (CONCEIÇÃO E BONOTTO, 2002) pois, como destacado por Tomazini *et al.* (2025), ainda há lançamentos de esgoto urbano sem tratamento na rede pluvial da cidade.

5.2. Quantificação e caracterização de MPs e TWPs

A seguir serão apresentados e discutidos os dados referentes a quantificação e caracterização dos MPs (linhas, fragmentos, filmes e pellets) e TWPs. Como os estudos a respeito da poluição por MPs em águas superficiais são escassos, também serão utilizados, a título de comparação, trabalhos que investigaram esse tipo de poluição em sedimentos, reservatórios de águas pluviais e em solo. Ao todo no estudo, 11.619 partículas foram identificadas como MPs, sendo destas 441 TWPs. Nas Tabelas 5 e 6 a seguir observa-se a quantificação de MPs e TWPs em [unidades/L] em cada ponto de amostragem e data de coleta.

Tabela 5 - Concentração total de MPs em [unidades/L] em cada dia de amostragem.

Ponto de amostragem	27/01/2025	02/02/2025	27/02/2025
P1	163 ± 35	324 ± 57	219 ± 63
P2	261 ± 56	426 ± 19	209 ± 27
P3	601 ± 117	254 ± 49	356 ± 51
P4	451 ± 88	299 ± 28	320 ± 46

Fonte: autoria própria.

Tabela 6 - Quantificação de TWPs em [unidades/L] em cada dia de amostragem.

Ponto de amostragem	27/01/2025	02/02/2025	27/02/2025
P1	4 ± 2	9 ± 1	6 ± 2
P2	9 ± 2	12 ± 4	1
P3	9 ± 4	6 ± 3	37 ± 10
P4	16 ± 2	8 ± 2	35 ± 8

Fonte: autoria própria.

Em relação à concentração de microplásticos (fibras, fragmentos, filmes e pellets), no Rio Corumbataí e Ribeirão Claro a montante do município (P1 e P2), aponta-se que a quantificação foi maior na segunda coleta, 02 de fevereiro de 2025, quando houve chuva, o que não se repetiu nos pontos a jusante do município de Rio Claro (P3 e P4), onde a quantificação foi maior no primeiro dia de coleta, no dia 27 de janeiro de 2025. Além disso, observa-se que nos dias sem chuva, a concentração de MPs aumenta após os rios atravessarem a cidade de Rio Claro (comparativo entre P1 – P3 e P2 – P4). O mesmo não ocorre na segunda amostragem, na qual a concentração de poluentes é menor após a cidade, o que indica que, na segunda amostragem, quando houve chuva, houve predomínio do efeito de diluição, sugerindo que os fluxos de MPs foram relativamente constantes, sendo diluídos por um volume maior de água, enquanto nas demais amostragens sugere-se o comportamento de enriquecimento, onde a concentração aumenta com a vazão dos rios, que é maior após a cidade (GODSEY *et al.*, 2009). Quanto às TWPs, tem-se que a concentração apresenta o mesmo comportamento observado quanto aos demais MPs, ou seja, a concentração de poluentes aumenta após a cidade na primeira e terceira coletas nos dois rios, favorecendo o efeito de enriquecimento e diminui após a cidade na segunda coleta, em 2 de fevereiro de 2025, favorecendo o efeito de diluição.

A Figura 3 apresenta imagens das morfologias de microplásticos observadas no estudo: fragmentos, filmes, linhas, pellets e partículas de desgaste de pneus. Na Tabela 7, verifica-se a presença de cada morfologia das amostras coletadas durante a pesquisa. Observa-se a predominância de linhas/fibras em relação às demais morfologias, representando 66,46% do total, seguida por fragmentos e filmes em valores aproximados. As partículas de desgaste de pneus (TWPs) representaram apenas 3,8% do total de MPs identificados durante o estudo e, por fim, os pellets foram mais dificilmente encontrados, totalizando 0,13% do total.

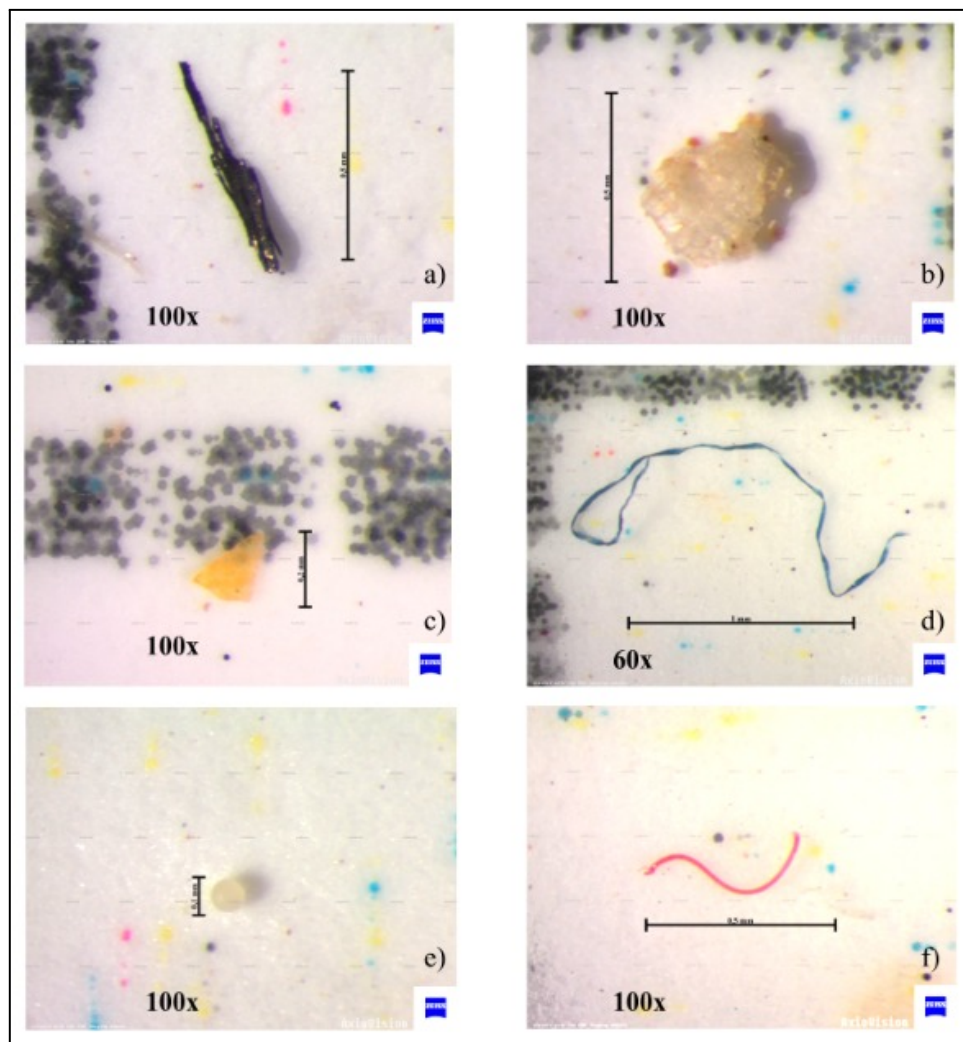
Tabela 7 – Morfologias de microplásticos.

Morfologia	%
Linhas	66,46
Fragmentos	14,83
Filmes	14,79
TWPs	3,8
Pellet	0,13
Total	100

Fonte: autoria própria.

Este cenário condiz com o encontrado por Li *et al.* (2020), que reuniu os resultados de diversos estudos a respeito da poluição por MPs em ambientes de água doce desenvolvidos no período de 2011 a 2019 em países como Estados Unidos, Alemanha, França, Índia, Argentina, entre outros, obtendo proporção similar ao presente estudo, com fibras representando 59% do total e fragmentos 20%, por exemplo. O predomínio de fibras também foi registrado por Peng *et al.* (2017), bem como a baixa presença de pellets, nos sedimentos do Estuário de Changijang, na China, como também ocorreu nas águas superficiais do Lago Winnipeg, no Canada, em que Anderson *et al.* (2017) apontaram uma maior proporção de fibras, seguido por fragmentos, bem como a baixa significância de pellets no estudo.

Figura 5 – Diferentes morfologias de microplásticos.



Fonte: autoria própria.

Legenda: imagens capturadas a partir de estereomicroscópio. a) TWPs, em aumento de 100 vezes, medindo aproximadamente 0,5 mm; b) Fragmento, em aumento de 100 vezes, medindo aproximadamente 0,5 mm; c) Filme/folha em aumento de 100 vezes, medindo aproximadamente 0,2 mm; d) Linha/fibra em aumento de 60 vezes, medindo aproximadamente 1 mm; e) Pellet em aumento de 100 vezes, medindo aproximadamente 0,1 mm; f) Linha/fibra em aumento de 100 vezes, medindo aproximadamente 0,5 mm.

Tomazini *et al.* (2025), em estudo a respeito da poluição por MPs em sedimentos da bacia do Córrego Wenzel também na cidade de Rio Claro, demonstrou o predomínio de fibras em relação às demais morfologias, seguido por TWPs, fragmentos e uma baixa presença de pellets, com uma consistente contribuição de apenas, aproximadamente, 2% para a quantidade total de MPs do estudo. As linhas ou fibras originam-se da degradação de produtos têxteis (TOMAZINI

et al., 2025) que chegam aos rios devido a descarga de águas residuais de máquinas de lavar (LI *et al.*, 2020; KOLE, 2017), das quais o tratamento atual de água não é capaz de retirar os MPs existentes (BROWNE, 2015). Além disso, segundo Gohler (2022), é esperado que haja porcentagens mais altas de linhas em sistemas de esgoto separados que, desde o início do século XX é a realidade brasileira, nos quais águas pluviais e esgoto são coletados por tubulações distintas.

Os fragmentos, por outro lado, advêm da degradação de resíduos sólidos e plásticos de maiores dimensões (ANBUMANI E KAKKAR, 2018; GOHLER *et al.*, 2022; HORTON *et al.*, 2017). Sua presença é esperada em lugares com densa população, onde há grande uso de produtos plásticos (BROWNE *et al.*, 2011; GOHLER *et al.*, 2022; JIANG *et al.*, 2019), assim como os filmes, que consistem em MPs secundários provenientes de resíduos plásticos, consistindo em camadas finas advindas de resíduos plásticos utilizados em embalagens, por exemplo (DI e WANG, 2018; GOHLER *et al.*, 2022). Por fim, os pellets são esferas cujas principais fontes são as indústrias de cosméticos e de produtos de higiene (DI e WANG, 2018; GOHLER *et al.*, 2022; TOMAZINI *et al.*, 2025). Os TWPs advêm do atrito entre pneus e a superfície da rua ou estrada, sendo compostos de borracha natural e sintética (GOHLER *et al.*, 2022; JÄRLSKOG *et al.*, 2020; KNIGHT *et al.*, 2020; TOMAZINI *et al.*, 2025). A liberação de partículas de desgaste de pneus está associada a diversos fatores como tráfego intenso de veículos (DI e WANG, 2018; TOMAZINI *et al.*, 2025; WIK e DAVE, 2009), composição e conservação do pneu e da estrada, alta impermeabilidade da área de captação, condições climáticas e estilo de direção (GOHLER *et al.*, 2022; TOMAZINI *et al.*, 2025; YAN *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2020).

Nos pontos de amostragem a montante de Rio Claro, os rios localizam-se abaixo de pontes construídas para a passagem de estrada por cima dos corpos d'água. As pontes podem representar barreiras físicas que impediram a influência direta do meio impermeabilizado com tráfego moderado. Além disso, no Rio Corumbataí a jusante de Rio Claro, no qual observou-se as maiores concentrações de TWPs, o rio também se encontra embaixo de uma ponte que conecta dois trechos de estradas de terra, enquanto o Ribeirão Claro a jusante da cidade, também se encontra abaixo de uma ponte para que a estrada, asfaltada, passe por cima do rio. Essas duas regiões, apesar de terem a maior presença de TWPs, não apresentam tráfego intenso, o que pode indicar que as concentrações de TWPs encontradas no presente estudo, estão mais associadas ao

transporte por escoamento superficial, que também é uma fonte destes poluentes (KNIGHT *et al.*, 2020).

De acordo com a Tabela 8, evidencia-se que a grande maioria dos poluentes observados, 76,79%, estavam no menor intervalo, de 0,1 a 0,5 mm, sendo destes, 58,64% compostos por linhas. Além disso, 14,61% dos MPs identificados estavam no intervalo de 0,5 a 1,0 mm e, por fim, 8,6% no intervalo de 1,0 a 5,0 mm, dos quais 96,0% eram linhas. Apenas pellets foram encontrados exclusivamente no intervalo de 0,1 a 0,5 mm. Ademais, 93,5% dos TWPs encontrados estavam no intervalo de 0,1 a 0,5 mm.

Tabela 8 - Distribuição de microplásticos por intervalos de tamanho.

Intervalo de tamanho [mm]	%
0,1- 0,5	76,79
0,5 – 1,0	14,61
1,0 – 5,0	8,6
Total	100

Fonte: autoria própria.

A distribuição encontrada entre os intervalos de tamanho propostos condiz com pesquisas anteriores como Goehler *et al.* (2022), Moruzzi *et al.* (2020), Lin *et al.* (2021), que investigaram a presença de MPs em reservatórios de água, Zheng *et al.* (2020), cujo trabalho focalizou em sedimentos da Baía de Jiaozhou, na China e Nematollahi *et al.* (2022), que trata da presença de MPs em solos urbanos e industriais de Ahvaz, no Irã. Além disso, segundo Gohler *et al.* (2022), TWPs entre 0,1 e 0,5 mm são mais facilmente transportados pelo escoamento superficial, o que explica o predomínio de partículas de desgaste de pneus neste intervalo. Além disso, Tomazini *et al.* (2025) obteve uma presença predominante de MPs com tamanho entre 0,1 e 0,5 mm, que representaram, aproximadamente 66% do estudo, seguido por partículas com tamanho entre 0,5 e 1,0 mm, com aproximadamente 20% do total e entre 1,0 e 5,0 mm, com aproximadamente 14%, em estudo realizado em sedimentos do Córrego Wenzel, também localizado na cidade de Rio Claro – SP.

Na Tabela 9 encontram-se os dados de vazão obtidos para os pontos de amostragem. Aponta-se que as maiores vazões foram obtidas na segunda coleta, em 2 de fevereiro de 2025, dia em que houve chuva. Além disso, os rios Corumbataí e Ribeirão Claro apresentaram vazões maiores após a cidade de Rio Claro.

Tabela 9 - Dados de vazão (m³/s) para cada ponto e data de amostragem.

Ponto	27/01/2025	02/02/2025	27/02/2025
P1	2,8	25,1	2,3
P2	0,9	7,8	0,7
P3	5	43	4,1
P4	1,3	11	1,0

Fonte: autoria própria.

A associação da concentração de MPs (linhas, fragmentos, filmes e pellets) e TWP's com os dados de vazão, permitiu o cálculo da descarga de poluentes em cada ponto de amostragem, como consta nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Descarga diária de microplásticos em unidade/dia.

Ponto	27/01/2025	02/02/2025	27/02/2025
P1	38.945.681.280	704.033.400.000	43.209.365.760
P2	19.341.478.080	287.115.700.000	12.790.198.080
P3	259.632.000.000	943.660.800.000	126.109.000.000
P4	50.656.320.000	284.169.600.000	27.648.000.000

Fonte: autoria própria.

Tabela 11 - Descarga diária de partículas de desgaste de pneus em unidade/dia.

Ponto	27/01/2025	02/02/2025	27/02/2025
P1	955.722.240	19.556.484.480	118.381.8240
P2	666.947.520	8.087.765.760	61.197.120
P3	3.888.000.000	22.291.200.000	13.106.880.000
P4	1.797.120.000	7.603.200.000	3.024.000.000

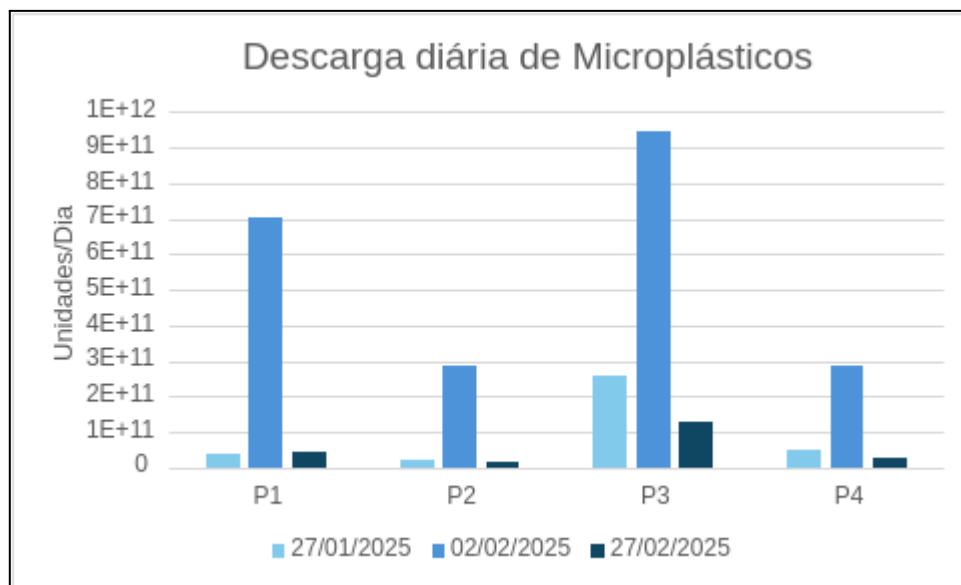
Fonte: autoria própria.

Observa-se que nos dias 27 de janeiro e 27 de fevereiro de 2025, a descarga de MPs aumentou consideravelmente após os rios atravessarem o município de Rio Claro. No primeiro dia de coleta, por exemplo, o Rio Corumbataí apresentou um aumento de 220.686.300.000 unidades/dia de MPs após atravessar o município, enquanto o Ribeirão Claro teve um aumento de 31.314.841.920 unidades/dia de MPs. As maiores descargas diárias de MPs ocorreram no segundo dia de amostragem, quando houve chuva em 2 de fevereiro de 2025, especialmente no Rio Corumbataí após a cidade de Rio Claro (P3) com 943.660.800.000 unidades/dia de MPs, o

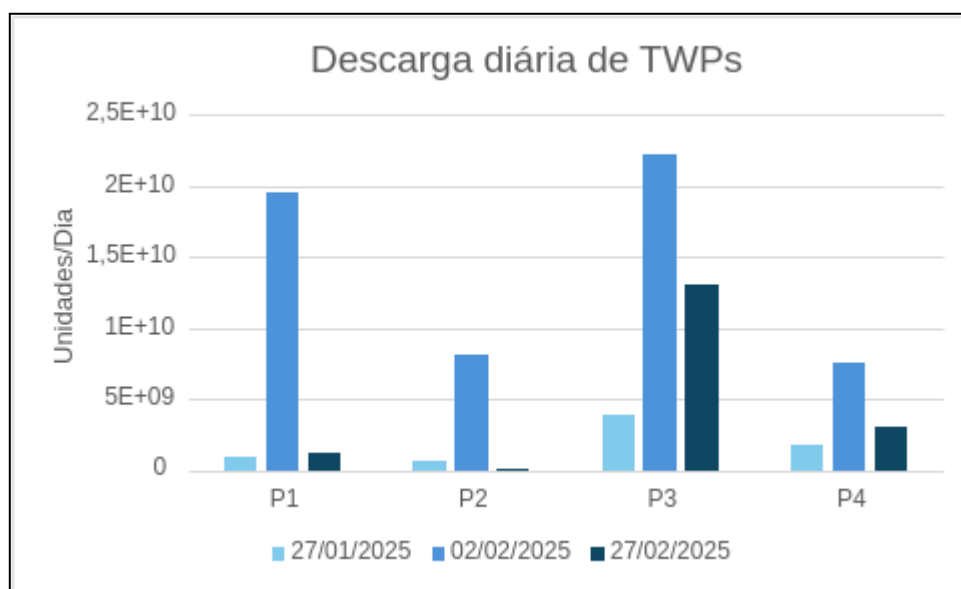
que representou um aumento de 239.627.400.000 unidades/dia em relação ao P1. Entretanto, no Ribeirão Claro houve um decréscimo na descarga: após a cidade, no P4, o rio contava com 2.946.084.000 unidades/dia a menos quando comparado ao P2.

Este comportamento pode ser explicado devido a menor vazão do Ribeirão Claro, que apresentou um aumento de apenas 3,2 m³/s após a cidade, diferente do aumento expressivo do Rio Corumbataí de 17,9 m³/s. Uma possibilidade para isso, portanto, seria a de que o escoamento superficial associado a chuva e consequente transporte de MPs foi mais direcionado ao Rio Corumbataí do que ao Ribeirão Claro, no qual a atuação das estações de tratamento e o efeito de diluição provocado pela chuva podem ter sido suficientes para diminuir a descarga de MPs. Além disso, diferente do Rio Corumbataí que está mais exposto à área urbana de Rio Claro, o Ribeirão Claro atravessa a cidade passando pela Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade presente no município. Ainda, foi possível verificar que o comportamento das TWP's foi o mesmo observado para os MPs (linhas, fragmentos, filmes e pellets), com destaque para a segunda coleta, na qual observa-se as maiores descargas diárias de TWP's, bem como um decréscimo de unidades/dia no Ribeirão Claro, assim como ocorreu com os demais MPs. A maior descarga diária de partículas de desgaste de pneus ocorreu no Rio Corumbataí a jusante da cidade de Rio Claro (P3) no dia 2 de fevereiro de 2025, com 22.291.200.200 unidades/dia de TWP's.

Na Figura 4 destaca-se o aumento na descarga diária de MPs (fibras, fragmentos, filmes e pellets) após os rios atravessarem a cidade de Rio Claro, através do comparativo entre P1 e P3 para o Rio Corumbataí e P2 e P4 para o Ribeirão Claro. Observa-se, ainda, como o Rio Corumbataí apresentou mais unidades/dia atravessando o corpo d'água que o Ribeirão Claro. Entretanto, ressalta-se que os maiores valores de descarga diária acompanharam as maiores vazões, salvo para o Ribeirão Claro durante a segunda coleta. O mesmo comportamento ocorre para as TWP's, como verifica-se na Figura 5. As maiores descargas de TWP's foram observadas no Rio Corumbataí a jusante da cidade de Rio Claro, principalmente durante a segunda coleta. De maneira geral, assim como ocorreu com os demais MPs, o Rio Corumbataí apresentou maiores valores de descarga diária de partículas de desgaste de pneus que o Ribeirão Claro.

Figura 6 – Descarga diária de microplásticos em Unidades/L.

Fonte: autoria própria.

Figura 7 – Descarga diária de partículas de desgaste de pneu em Unidades/L.

Fonte: autoria própria.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que a área urbana do município de Rio Claro representa uma fonte importante de MPs e TWPs para a bacia do Rio Corumbataí, estando diretamente relacionada com o aumento da vazão dos rios e o escoamento superficial. Além disso, a grande presença de linhas/fibras nas amostras coletadas é um indicativo da incapacidade do sistema atual de tratamento de água e esgoto de reter essas partículas, ressaltando, ainda, a possível contribuição de lançamentos de esgoto urbano sem tratamento na rede pluvial da cidade, como indicado pelo aumento da condutividade e diminuição do oxigênio dissolvido após os rios atravessarem a cidade. A quantidade alarmante de MPs encontrada, muitas vezes atingindo bilhões de unidades por dia sendo transportadas pelos corpos hídricos, demonstra a relevância do tema e o potencial de continuidade da pesquisa. A determinação dos riscos para a saúde humana continua um desafio, devido à dificuldade em quantificar a exposição humana de maneira realista (KOLE *et al.*, 2017), sendo a avaliação da presença destes poluentes nos ambientes de água doce um avanço nesse sentido. É possível, por exemplo, complementar o estudo com o cálculo do índice de carga poluente (PLI), que tem sido utilizado para a observação dos níveis integrados de poluição dos MPs em águas e sedimentos (PICÓ *et al.*, 2021; TOMAZINI *et al.*, 2025; XU *et al.*, 2018). Além disso, como apontado por Li *et al.* (2020) e Shan *et al.* (2018), a inspeção visual para contagem e caracterização de MPs é demorada e trabalhosa e pode ser complementada com outras técnicas para a minimização de erros. Assim, uma alternativa para o futuro é utilizar Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier por Reflectância Total Atenuada (ATR FT-IR) para distinguir a composição das partículas observadas entre polietileno, poliéster, polipropileno, entre outros, como foi aplicado por Tomazini *et al.* (2025). Por fim, ressalta-se que trabalhos a respeito da poluição por MPs em águas superficiais de rios brasileiros são escassos, o que torna o presente trabalho extremamente relevante para lançar luz a essa problemática atual, fornecendo informações importantes sobre a presença destes poluentes para os Comitês de Bacias Hidrográficas e demais órgãos interessados contribuindo para uma melhor gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANBUMANI, S., KAKKAR, P. **Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review**. Environmental Science Pollution Research, 25, 14373–14396, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1999-x>.

ANDERSON, P. J. *et al.* **Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada**. Environmental Pollution, 225, 223 – 231, 2017.

ANTONELLO, S. L. **Um sistema de planejamento e gestão para bacias hidrográficas com uso de análise multicritérios**. 2008. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. doi:10.11606/T.91.2008.tde-25112008-104537. Acesso em: 14 nov 2023.

Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí. Desenvolvimento: Centro de Análise e Planejamento Ambiental - CEAPLA/IGCE/UNESP. Apoio: FAPESP. Disponível em: http://www1.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlasv3/rede_drenagem.php. Acesso em 14 nov 2023.

BRK. **Nossa atuação em Rio Claro**. BRK, 2023. Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/nossa-atuacao>. Acesso em 27 mai 2023.

BROWNE, M. A. **Sources and pathways of microplastics to habitats**. Em: BERGMANN, M., GUTOW, L., KLAGES, M. (Eds.), Marine Anthropogenic Litter. Springer International Publishing, Cham, 229–244, 2015.

CARBERY, M., O’CONNOR, W., THAVAMANI, P. **Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health**. Environment International, 115, 400-409, 2018.

CONCEIÇÃO, F. T., BONOTTO, D. M. **Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do rio Corumbataí (SP)**. Geochimica Brasiliensis, 16 (1), 001-021, 2002.

CONCEIÇÃO, F. T., FERNANDES, A. M., MORUZZI, R. B., MORTATTI, J. **Dynamics of dissolved inorganic carbon (DIC) and stable C isotope ratios ($\delta^{13}\text{CDIC}$) in a tropical watershed with diversified land use in São Paulo State, Brazil**. Science of The Total Environment, 933, 173071, 2024.

CONCEIÇÃO, F. T., *et al.* **Multi-tracer analysis to estimate the historical evolution of pollution in riverbed sediment of subtropical watershed, the lower course of the Piracicaba river, São Paulo, Brazil.** *Science of the Total Environment*, 743, 140730, 2020.

CUNHA, C. M. L., MORUZZI, R. B., BRAGA, R. **Diagnóstico dos elementos de drenagem da área urbana de Rio Claro-SP: subsídios para o plano diretor.** *Revista de Estudos Ambientais*, 11, 2, 88-100, 2009.

DI, M., WANG, J. **Microplastics in surface waters and sediments of the three Gorges reservoir, China.** *Science of The Total Environment*, 616, 1620 – 1627, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.150>.

EERKES-MEDRANO, D., THOMPSON, R.C., ALDRIDGE, D.C. **Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs.** *Water Research*, 75, 63–82, 2015.

GALLAGHER, A., *et al.* **Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: an initial assessment.** *Marine Pollution Bulletin*, 102 (2), 243–249, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.002>.

GARCIA, G. J.; GARCIA, L. B.; GAMERO, M. E.; VETTORAZZI, C. A.; KRÖENERT, R.; VOLK, M.; LAUSCH, A.; MEYER, B. **Impacto do uso da terra na erosão do solo e no balanço e qualidade de água na bacia do rio Corumbataí-SP.** *Holos Environment*, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 118–136, 2006. DOI: 10.14295/holos.v6i2.571. Disponível em:
<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/571>. Acesso em: 14 nov 2023.

GODSEY, S.E., KIRCHNER, J.W., CLOW, D.W. **Concentration-discharge relationship reflect chemostatic characteristics of US catchments.** *Hydrological Processes* 23, 1844–1864, 2009.
<https://doi.org/10.1002/hyp.7315>.

GOEHLER, L. *et al.* **Relevance of tyre wear particles to the total content of microplastics transported by runoff in a high-imperviousness and intense vehicle traffic urban area.** *Environmental Pollution*, 314, 120200, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120200>

GUO, Z. *et al.* **Global meta-analysis of microplastic contamination in reservoirs with a novel framework.** *Water Research*, 207, 117828, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JIANG, C. *et al.* **Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau**. Environmental Pollution, 249, 91 – 98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.022>.

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

JÄRLSKOG, I., *et al.* **Occurrence of tire and bitumen wear microplastics on urban streets and in sweepsand and washwater**. Science of The Total Environment, 729, 138950, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138950>

KLÖCKNER, P., *et al.* **Characterization of tire and road wear particles from road runoff indicates highly dynamic particle properties**. Water Research, 185, 116262, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116262>

KNIGHT, L. J., *et al.* **Tyre wear particles: an abundant yet widely unreported microplastic?** Environmental Science Pollution Research, 27, 18345–18354, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08187-4>

KOLE, P.J., *et al.* **Wear and tear of Tyres: a stealthy source of microplastics in the environment**. International Journal Environmental Research and Public Health, 14 (10), 1265, 2017. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>.

LANGE, K., *et al.* **Removal of rubber, bitumen and other microplastic particles from stormwater by a gross pollutant trap - bioretention treatment train**. Water Research, 202, 117457, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117457>.

LI, C., BUSQUETS, R., CAMPOS, L. C. **Assessment of microplastics in freshwater systems: A review**. Science of The Total Environment, 707, 135578, 2020.

LIN, L. *et al.* **Distribution and source of microplastics in China's second largest reservoir-Danjiangkou Reservoir**. Journal of Environmental Sciences, 102, 74-84, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.09.018>.

MA, B. *et al.* **Characteristics of microplastic removal via coagulation and ultrafiltration during drinking water treatment.** Chemical Engineering Journal, 359, 159–167, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.155>.

MORUZZI, R. B. *et al.* **Stormwater detention reservoirs: an opportunity for monitoring and a potential site to prevent the spread of urban microplastics.** Water 12, 1994, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12071994>.

NEMATOLLAHI, M. J., *et al.* **Microplastic occurrence in urban and industrial soils of Ahvaz metropolis: a city with sustained record of air pollution.** Science of The Total Environment, 819, 152051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152051>.

O'CONNOR *et al.* **Microplastics in freshwater biota: a critical review of isolation, characterization, and assessment methods.** Global Challenges, 1800118, 2019.

PENG G. *et al.* **Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China.** Environmental Pollution, 225, 283 – 290, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.064>.

PICÓ, Y., *et al.* **First evidence of microplastics occurrence in mixed surface and treated wastewater from two major Saudi Arabian cities and assessment of their ecological risk.** Journal of Hazardous Materials, 416, 125747, 2021.

ROSSETTI, L.A.F.G. **Geotecnologias aplicadas à caracterização e mapeamento das alterações da cobertura vegetal intraurbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP).** 2007. 115 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/95719>>.

SADRI, S.S., THOMPSON, R.C. **On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England.** Marine Pollution Bulletin, 81 (1), 55–60, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.020>.

TOMAZINI, R. S., da CONCEIÇÃO, F. T., SACARO, B. *et al.* **Understanding Microplastic Pollution in Riverbed Sediments: Special Emphasis on a Medium-Sized City in the State of São Paulo, Brazil.** Water, Air & Soil Pollution, v. 236. 590, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08250-1>.

VENDEL, A.L., *et al.* **Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures.** *Marine Pollution Bulletin*, 117 (1–2), 448–455, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.081>.

VERSCHOOR, A. J. **Towards a Definition of Microplastics: Considerations for the Specification of Physico-Chemical Properties.** National Institute for Public Health and the Environment. Ministry of Infrastructure and the Environment, The Netherlands. 2015. <http://www.rivm.nl/>.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. **Mapeamento de uso e cobertura do solo da bacia do rio Corumbataí, SP.** Circular Técnica IPEF, Piracicaba, n.196, p. 10, 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr196.pdf>>. Acesso em: 14 nov 2023.

WIK, A., DAVE, G. **Occurrence and effects of tire wear particles in the environment - A critical review and an initial risk assessment.** *Environmental Pollution*, 157, 1–11, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.028>.

XU, P., PENG, G., SU, L., GAO, Y., GAO, L., LI, D. **Microplastic risk assessment in surface waters: a case study in the Changjiang Estuary, China.** *Marine Pollution Bulletin*, 133, 647–654, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.020>.

YAN, H. *et al.* **Investigation of the external conditions and material compositions affecting the formation mechanism and size distribution of tire wear particles.** *Atmospheric Environment*, 244, 118018, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118018>.

ZHANG, X. *et al.* **Review of tires wear particles emission research status.** *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 555, 012062. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/555/1/012062>.

ZHENG, Y. *et al.* **Vertical distribution of microplastics in bay sediment reflecting effects of sedimentation dynamics and anthropogenic activities.** *Marine Pollution Bulletin*, 152, 110885, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110885>.

ZHONG, J., LI, S., IBARRA, D.E., DING, H., LIU, C. **Solute production and transport processes in Chinese monsoonal rivers: implications for global climate change.** *Global Biogeochem. Cycles* 34, e2020GB006541, 2020. <https://doi.org/10.1029/2020GB006541>.