

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A
SUSTENTABILIDADE - CCTS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E
USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS - PPGPUR

GUILHERME DE OLIVEIRA MOREIRA

CONTROLE DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ECOSISTEMAS
HÍDRICOS URBANOS SUPOSTADO PELA IMPLANTAÇÃO DE
ECOBARREIRAS

SOROCABA
(2026)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A
SUSTENTABILIDADE - CCTS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E
USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS - PPGPUR

GUILHERME DE OLIVEIRA MOREIRA

CONTROLE DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ECOSISTEMAS
HÍDRICOS URBANOS SUPOSTADO PELA IMPLANTAÇÃO DE
ECOBARREIRAS

Texto apresentado para exame de defesa de Pós-graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de doutor em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientadora: Profa. Dra. Roberta Aversa Valente

Co-orientador: Prof. Dr. Milton Vinícius Morales

SOROCABA
(2026)

Moreira, Guilherme de Oliveira

Controle de resíduos sólidos em ecossistemas hídricos urbanos suportado pela implantação de ecobarreiras / Guilherme de Oliveira Moreira -- 2026.
128f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Roberta Aversa Valente

Banca Examinadora: Roberta Aversa Valente Botezelli Tolini, André Cordeiro Alves dos Santos, Carolina Vieira da Silva, Luziany Queiroz Santos, Milton Vinicius Morales, Valter Monteiro de Azevedo Santos

Bibliografia

1. Ecobarreiras. 2. Resíduos Sólidos . 3. Gestão ambiental . I. Moreira, Guilherme de Oliveira. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Guilherme de Oliveira Moreira realizada em 26/02/2026.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Roberta Avena Valente (UFSCar)

Prof. Dr. André Cordeiro Alves dos Santos (UFSCar)

Profa. Dra. Carolina Vieira da Silva (Uneduvale)

Profa. Dra. Luziany Queiroz Santos (Uneduvale)

Prof. Dr. Milton Vinícius Morales (UFSCar)

Prof. Dr. Valter Monteiro de Azevedo Santos (Uneduvale)

*“Ao meu filho Luca,
Que esta pesquisa, seja também uma
promessa:
a de lutar por um mundo onde você possa
crescer com rios limpos, árvores fortes e
esperança renovada.
Você é o meu maior projeto de vida.
E por você, sigo acreditando que é possível
transformar realidades.”*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente Deus por me dar saúde, força e sabedoria para concluir esse trabalho;

A minha esposa Fernanda e meu filho Luca por me apoiaram e estarem sempre ao meu lado nos piores e melhores momentos da minha vida;

A minha mãe por ter dado todas as condições para que eu pudesse chegar até aqui e me incentiva até hoje;

Ao meu pai (em memória), que dedicou a sua vida ao trabalho e através do seu suor pude estudar e que mesmo nos seus últimos dias de vida, nunca duvidou que eu concluiria o doutorado;

A minha avó Áurea Garcia que desde pequeno profetizou esse doutorado, onde carinhosamente me chamava de “doutorzinho”;

Agradeço imensamente minha orientadora Prof^a Dra. Roberta Avena Valente por toda atenção dada a este trabalho, onde sem ela, jamais conseguiria concluir esta tese;

Agradeço ao meu parceiro Prof^o Dr. Milton Morales, que me ajudou imensamente nesse trabalho e que sua ajuda foi fundamental para a finalização;

Agradeço ao Prof. Dr. André Cordeiro Alves dos Santos por todas as vezes que solicitei atendeu minhas dúvidas.

A minha tia Lucileia Pereira de Almeida, por sempre me acolher em sua casa durante todo o doutorado.

Ao meu amigo e prefeito de Arandu, Flávio Carlomagno Galhego que confiou no meu trabalho e sempre deu autonomia para que pudesse realizar o trabalho com ecobarreiras.

A toda minha equipe da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Arandu, entre eles Luiz Gabriel, Matheus, Otávio, Kleber, Elisandra e Thaís por servirem de suporte no desenvolvimento do projeto e por toda parceria.

A minha amiga Maria Cristina Toppa por toda ajuda e disposição em me ajudar quando precisei.

A Fabiana Soares pela disposição e atenção para comigo no desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade Federal de São Carlos e todos os professores que contribuíram de alguma forma para a minha formação.

Nenhuma conquista é solitária. Este doutorado carrega a marca de quem acreditou em mim quando eu ainda duvidava. Muito obrigado por fazerem parte desta história.

RESUMO

MOREIRA, Guilherme de Oliveira. Controle de resíduos sólidos em ecossistemas hídricos urbanos suportado pela implantação de ecobarreiras – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2026.

Os resíduos sólidos, a falta de saneamento básico e a poluição hídrica contribuem negativamente para a qualidade de vida das cidades e seus habitantes, além da deficiência de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável local, pois a grande maioria das cidades sofre sem infraestrutura adequada. A universalização dos serviços públicos está distante, tendo em vista que, em pleno século XXI, grande parte da população brasileira não possui saneamento básico e 16% não possui água tratada. As ecobarreiras são estruturas que têm como objetivo capturar todo tipo de resíduo flutuante e descartado de maneira inadequada nos cursos d'água. Diante disso, o objetivo geral do estudo foi analisar as ecobarreiras na contenção de resíduos sólidos flutuantes e de proteção dos cursos d'água, considerando indicadores ambientais, utilizando Sistemas de Informações Geográficas. Determinou-se a quantidade de resíduos sólidos flutuantes coletados junto às ecobarreiras instaladas, no período de julho de 2024 a março de 2025. Período em que também se coletaram amostras para avaliação da qualidade da água. Para mensurar o grau de impacto ambiental nos pontos avaliados, com base em seus resultados, aplicou-se o Protocolo de Callisto. Determinou-se uma área circundante de avaliação de um raio de dois quilômetros das ecobarreiras para a qual houve o mapeamento dos usos e coberturas do solo separando por classes de uso como áreas urbanas, florestas, praça e agropecuária. Em relação a quantidade de resíduos totais coletados, Avaré apresentou o maior volume de resíduos coletados, totalizando 106,26 kg, seguido por Itai com 105,472 kg e Arandu com 75,608 kg. Entre a composição gravimétrica foram obtidos 36,80% dos resíduos coletados foram plásticos, seguidos por 33,78% de rejeitos e 29,42% de resíduos orgânicos. No que se refere às alterações identificadas pelo protocolo de Callisto, verificou-se que Arandu e Itai foram classificados como “impactados”, enquanto Avaré foi classificado como “alterado”. Em relação aos mapas de uso e coberturas do solo, nos municípios de Arandu e Itai predominam o uso agrícola do solo e em Avaré uso urbano. Em relação ao Índice de Sustentabilidade de Limpeza Urbana - ISLU, observou-se que Avaré apresentou melhor desempenho do que Arandu, em função de seu IDHM mais elevado. Por outro lado, Itai obteve o pior resultado. Deste modo, destaca-se a necessidade de ampliar o monitoramento em diferentes períodos hidrológicos, integrar as ecobarreiras a programas permanentes de gestão e educação ambiental e aprofundar estudos sobre os efeitos do uso e cobertura do solo na redução de resíduos e na melhoria da qualidade dos cursos d'água urbanos.

Palavras-chave: gestão pública; resíduos sólidos; meio ambiente.

ABSTRACT

Solid waste, lack of basic sanitation, and water pollution negatively affect the quality of life in cities and their inhabitants, in addition to the deficiency of public policies aimed at local sustainable development, as most cities lack adequate infrastructure. The universalization of public services remains distant, considering that, even in the 21st century, a large portion of the Brazilian population does not have access to basic sanitation and 16% lacks treated water. Ecobarriers are structures designed to capture all types of floating waste that are improperly disposed of in watercourses. In this context, the general objective of this study was to analyze the effectiveness of ecobarriers in containing floating solid waste and protecting watercourses, considering environmental indicators and using Geographic Information Systems. The quantity of floating solid waste collected by the installed ecobarriers was determined for the period from July 2024 to March 2025, during which water samples were also collected to assess water quality. To measure the degree of environmental impact at the evaluated sites, based on the results obtained, the Callisto Protocol was applied. A surrounding evaluation area with a two-kilometer radius from the ecobarriers was defined, in which land use and land cover were mapped and classified into categories such as urban areas, forests, squares, and agricultural land. Regarding the total amount of waste collected, Avaré recorded the highest volume, totaling 106.26 kg, followed by Itai with 105.472 kg and Arandu with 75.608 kg. In terms of gravimetric composition, 36.80% of the collected waste was plastic, followed by 33.78% of rejects and 29.42% of organic waste. Concerning the alterations identified through the Callisto Protocol, Arandu and Itai were classified as “impacted,” while Avaré was classified as “altered.” Regarding land use and land cover maps, agricultural use predominates in Arandu and Itai, whereas urban use is predominant in Avaré. In relation to the Urban Cleaning Sustainability Index (ISLU), Avaré showed better performance than Arandu due to its higher HDI, while Itai presented the lowest result. Therefore, it is highlighted the need to expand monitoring across different hydrological periods, integrate ecobarriers into permanent environmental management and education programs, and deepen studies on the effects of land use and land cover on reducing waste input and improving the environmental quality of urban watercourses.

Keywords: public management; solid waste; environment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Processo de urbanização e ocupações do solo	13
2.2 Indicadores de sustentabilidade e gestão urbana.....	15
2.2.1 Gestão de Resíduos Sólidos e indicadores.....	17
2.3 Política Nacional De Resíduos Sólidos	19
2.4 Geração de resíduos sólidos urbanos.....	22
2.5 Monitoramento da qualidade da água e poluição.....	25
2.6 Tecnologias para remoção de resíduos flutuantes.....	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Área de estudo.....	35
3.2 Protocolo e monitoramento ambiental.....	40
3.3 Componentes do Índice De Sustentabilidade Da Limpeza Urbana (ISLU)	43
3.4 Ecobarreiras e coleta de resíduos sólidos flutuantes	45
3.5 Mapa de uso e cobertura	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Resíduos sólidos flutuantes coletados	51
4.2 Composição gravimétrica	63
4.3 Usos e coberturas do solo	67
4.4 Protocolo de Callisto	74
4.5 Monitoramento da qualidade da água.....	82
4.6 CÁLCULO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE NA LIMPEZA URBANA	92
4.6.1 Dimensão E – Engajamento:.....	92
4.6.2 S – Dimensão S - Sustentabilidade Financeira:	93
4.6.3 Dimensão R – Recuperação.....	95
4.6.4 Dimensão I – Impacto Ambiental	99
4.6.5 Componentes do ISLU de Arandu, Avaré e Itai	101
CONCLUSÃO	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

1. INTRODUÇÃO

A urbanização contemporânea caracteriza-se pela rápida expansão do espaço urbano, processo que, embora impulse o desenvolvimento econômico, intensifica as pressões ambientais sobre os recursos naturais, especialmente os hídricos, através da poluição e contaminação do meio urbano. (Mukherjee, 2025).

A crescente degradação dos corpos hídricos, em particular das limitadas reservas de água doce, amplia os riscos à sustentabilidade hídrica e impõe desafios à gestão ambiental urbana (Kiliç, 2021). Essa realidade evidencia a necessidade de respostas institucionais capazes de assegurar a proteção desses recursos.

A Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece como princípio fundamental a garantia da disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para as presentes e futuras gerações. Nesse contexto, a gestão dos recursos hídricos passa a exigir ações integradas e preventivas, especialmente nos ambientes urbanos, onde a pressão sobre os corpos d'água é intensificada pelo crescimento populacional, pela impermeabilização do solo e pelo descarte inadequado de resíduos.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas reconhecem o acesso à água potável como eixo central para a redução das desigualdades e para a promoção do desenvolvimento socioambiental. Nesse marco normativo, intervenções direcionadas à recuperação dos corpos d'água tornam-se estratégicas para a requalificação urbana.

A despoluição de rios assume, portanto, papel relevante na reorganização do espaço urbano ao articular ações de saneamento à melhoria da qualidade de vida, embora demande instrumentos capazes de mensurar os resultados das políticas públicas implementadas (Flausino, 2021).

Nesse contexto, as ecobarreiras configuram-se como estruturas transversais destinadas à retenção de resíduos sólidos flutuantes em corpos d'água, atuando como ferramenta complementar no controle da poluição hídrica (Andrade, 2025).

Sua contribuição, contudo, não se limita à interceptação física dos resíduos, pois também favorecem a destinação adequada dos materiais, incentivam a reciclagem e fortalecem práticas de conscientização socioambiental, contribuindo para a redução do descarte irregular (Campos, 2025).

Sob essa perspectiva, as dinâmicas de uso e ocupação do solo exercem influência direta sobre o aporte de resíduos aos cursos d'água, uma vez que a ocupação das margens fluviais intensifica a supressão vegetal, o lançamento de resíduos sólidos e de esgoto sanitário (Bordalo et al., 2022).

O avanço de ocupações irregulares, frequentemente associado a falhas de governança e à segregação socioespacial, reforça a necessidade de análises territoriais capazes de identificar áreas degradadas e orientar intervenções socioambientais mais eficazes (Fiuza, 2023; Lafayette et al., 2024). Essas ocupações tendem a incidir sobre áreas ambientalmente sensíveis.

Grande parte dos impactos decorre do descumprimento das normas que regem as áreas de preservação permanente, que são faixas protegidas ao longo de cursos d'água, nascentes, encostas e outras áreas sensíveis, cuja função é preservar os recursos hídricos, essenciais à integridade dos corpos hídricos e à manutenção dos serviços ecossistêmicos (Grovermann, 2023).

Assim, a análise histórica da ocupação urbana sem planejamento, configura-se como elemento fundamental para subsidiar políticas públicas mais eficazes e promover o planejamento urbano sustentável (Valczak, 2022).

De acordo com Zhuang & Li (2023), o processo de planejamento das cidades e a expansão de novas áreas adequadas de habitação devem ser implementadas junto ao desenvolvimento de políticas que garantam um crescimento econômico estável e rápido, mas também assegure desenvolvimento ambiental.

Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar, de forma integrada, a eficiência das ecobarreiras na retenção de resíduos sólidos e sua relação com o uso e a ocupação do solo, a qualidade da água e o cálculo do Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU) nos municípios de Arandu, Avaré e Itai (SP).

Os objetivos específicos foram realizar a quantificação e caracterização dos resíduos sólidos flutuantes retidos pelas ecobarreiras, bem como à avaliação da qualidade da água nos trechos dos cursos d'água onde essas estruturas foram implantadas. Aplicação de um protocolo ambiental de avaliação rápida, com o intuito de caracterizar as condições ambientais das áreas estudadas, bem como verificar a relação entre o uso e a ocupação do solo e a geração de resíduos sólidos flutuantes, considerando a influência das atividades antrópicas no aporte de resíduos aos corpos hídricos.

Foi realizado o cálculo e a interpretação do Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU) nos municípios de Arandu, Avaré e Itai (SP), correlacionando-o com os resultados ambientais obtidos.

Neste contexto, a presente tese foi estruturada a partir de uma revisão de literatura que abordou os impactos antrópicos decorrentes do descarte inadequado de resíduos sólidos em cursos d'água, evidenciando suas implicações ambientais, sociais e sanitárias.

Foram discutidas as principais tecnologias utilizadas para a contenção e mitigação desses resíduos, com destaque para soluções aplicadas em ambientes urbanos, como as ecobarreiras, que constituem um instrumento ambiental eficaz para a retenção de resíduos sólidos flutuantes em cursos d'água urbanos, cuja eficiência se reflete em melhorias relativas nos indicadores de qualidade da água nos trechos monitorados, quando analisados por meio de uma abordagem multiparamétrica.

Assume-se que essa eficiência não se limita à capacidade física de interceptação de resíduos, mas expressa, de forma indireta, as pressões antrópicas decorrentes das dinâmicas de uso e ocupação do solo, especialmente em contextos urbanos com diferentes níveis de infraestrutura e gestão ambiental.

A tese também enfatizou a importância do cumprimento da legislação vigente, especialmente no que se refere à Política Nacional de Resíduos Sólidos, bem como ressaltou o papel fundamental do diagnóstico ambiental como instrumento de suporte à formulação de políticas públicas mais eficientes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Processo de urbanização e ocupações do solo

O avanço da urbanização e a expansão das cidades têm contribuído para o agravamento de problemas ambientais, incluindo a ocupação irregular de áreas de preservação permanente e a insuficiência de serviços básicos, especialmente em áreas urbanas em rápida transformação (Sivinski, 2021).

Essa dinâmica está associada a um padrão de urbanização considerado insustentável, uma vez que, conforme destacado por Jacobi (2025), o modelo predominante de expansão e ocupação dos espaços intraurbanos resulta, em grande parte dos contextos, em um cenário crítico, caracterizado pela redução da qualidade de vida de parcelas expressivas da população.

Kunen, Tabalipa e Sabbi (2019) afirmaram que o meio ambiente pode exercer influências positivas e negativas no processo de urbanização, contudo na maioria das situações, os próprios processos alteram as características ambientais, como superfícies impermeáveis, estruturas de construção, cursos d'água alterados e cobertura vegetal reduzida.

Voukkali (2023) apontou que a rápida urbanização está entre os fatores antropogênicos mais significativos que impactam os ecossistemas e a sustentabilidade.

O mesmo autor destacou, ainda, que o crescimento populacional e o avanço da urbanização constituem elementos centrais na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, especialmente no âmbito do ODS 11, que orienta ações voltadas à construção de cidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.

De acordo com Duan et al. (2021), o desenvolvimento urbano tem promovido mudanças significativas no uso e na cobertura do solo, além de afetar a biodiversidade em áreas urbanas caracterizadas pela intensa produção e consumo humanos.

Conforme destacou Yu (2021), o modelo de urbanização acelerada, impulsionado pelo avanço da industrialização, tem resultado em diversos problemas urbanos, tais como o uso ineficiente do solo, a distribuição espacial desequilibrada e a intensificação de danos ambientais.

Aguilar, Flores e Lara (2022) apontaram que a urbanização de cidades médias e grandes tem produzido uma rápida expansão das periferias urbanas, caracterizada por um padrão espacial amplamente disperso, que incorpora extensas áreas aos limites urbanos e intensifica os problemas de ocupação e fragmentação do uso do solo.

Fiuzza (2023), observou que as ocupações irregulares resultam de múltiplos fatores, como deficiências de governança, insuficiente aplicação das leis urbanísticas e processos de segregação espacial. O autor destacou que a análise do uso e da ocupação do solo constitui uma ferramenta essencial para identificar dinâmicas de degradação ambiental, além de subsidiar melhorias urbanas, ambientais e sociais.

De acordo com Marques et al. (2021), as consequências da ocupação sem planejamento, estendem-se também à disposição inadequada de resíduos sólidos, ao lançamento de esgoto doméstico sem tratamento e à falta de esclarecimento da população acerca dos riscos e impactos associados à poluição hídrica.

Nesse sentido, Jacobi (2025) enfatizou que o uso inadequado e a ocupação do solo configuram fatores capazes de comprometer significativamente a integridade estrutural e funcional das bacias hidrográficas.

Azevedo et al. (2023) acrescentaram que a ocupação antrópica, frequentemente associada a moradias precárias e insalubres, tem agravado tanto as condições de vida da população quanto os impactos ambientais, resultando na formação de assentamentos irregulares próximos a cursos d'água e dificultando o acesso a serviços urbanos essenciais, como saneamento básico, energia, educação e saúde.

Porém, as cidades, especialmente aquelas que passam por mudanças estruturais significativas no espaço e nas abordagens de planejamento, se inserem no contexto da resiliência urbana, ou seja, possuem a capacidade de adaptação a problemas recorrentes (Wu, Xie e Lyu, 2023).

Santos (2021) ressaltou a importância do desenvolvimento de uma cultura voltada à educação ambiental e à promoção do uso e manejo consciente do solo, com vistas à sustentabilidade e à redução dos impactos ambientais negativos decorrentes da ocupação urbana por meio da implementação de políticas públicas eficazes.

Nessa perspectiva, Hao, Wang e Chen (2024) afirmaram que o planejamento urbano constitui uma ferramenta estratégica fundamental para que as cidades lidem com incertezas e mitiguem os impactos de cenários adversos, permitindo a projeção de resultados futuros a partir de decisões tomadas no presente.

Segundo Mctarnaghan (2022), torna-se indispensável que as cidades se tornem mais resilientes a desastres e mudanças de longo prazo, adaptando-se a novas situações, sem aumentar a pressão sobre os recursos escassos, visando reduzir os impactos globais das cidades, aumentar a segurança hídrica e a resiliência urbana.

De acordo com Almulhim et al. (2022), as soluções passam pela necessidade de uma gestão mais eficiente da urbanização, com o objetivo de aprimorar os conceitos de sustentabilidade, qualidade de vida e estabilidade urbana, por meio de abordagens inovadoras, como o desenvolvimento de cidades compactas, planejadas e inteligentes.

Os autores defendem que a perspectiva representa uma concepção concreta do planejamento sustentável, orientada pelo uso responsável dos recursos naturais e pela ocupação equilibrada dos ecossistemas, considerando seus limites e priorizando ações de preservação, correção e mitigação de possíveis impactos ambientais indesejáveis.

Por fim, Magagnin et al. (2021) destacaram que a democratização das discussões relacionadas ao planejamento e à gestão urbana constitui um processo relativamente recente, fundamentado nos artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988 e na Lei nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto da Cidade.

Complementarmente, Ribeiro, Monteiro e Amaral (2021) enfatizaram que a avaliação da viabilidade política é um elemento central para o crescimento urbano sustentável, uma vez que a insustentabilidade está associada à incapacidade das políticas urbanas de promover o equilíbrio entre a oferta e a demanda de serviços urbanos.

2.2 Indicadores de sustentabilidade e gestão urbana

“A intensificação do processo de urbanização, associada à expansão das cidades, tem contribuído de forma significativa para o agravamento de problemas ambientais, como a ocupação irregular de áreas de preservação permanente e a insuficiência na oferta de serviços básicos.

Esse cenário evidencia as fragilidades do planejamento urbano e da gestão territorial em contextos de crescimento acelerado, com impactos diretos sobre os sistemas ambientais urbanos (Sivinski, 2021).

Tal processo insere-se em um padrão de urbanização reconhecidamente insustentável, uma vez que, conforme destacado por Jacobi (2025), o modelo predominante de expansão e ocupação dos espaços intraurbanos tem resultado, em grande parte dos contextos, em cenários críticos, marcados tanto pela degradação ambiental quanto pela redução da qualidade de vida de parcelas expressivas da população.

Segundo Dias et al. (2023), as cidades constituem o principal objeto de análise para a compreensão e o debate dos problemas ambientais, uma vez que é nesse espaço

que se concentram os esforços globais voltados à mitigação dos impactos decorrentes da intensa expansão urbana observada ao longo do último século.

De acordo com Michalina, Merdely e Held (2021), muitas cidades ao redor do mundo enfrentam desafios associados ao agravamento dos problemas ambientais e à necessidade de garantir a qualidade de vida de seus habitantes e, diante da busca por metas específicas, as estruturas de indicadores de sustentabilidade urbana configuram-se como ferramentas indispensáveis.

Nesse sentido Mozer, Novaes e César (2023) destacaram que os indicadores ambientais visam avaliar os resultados alcançados a partir das estratégias estabelecidas, possibilitando a elaboração de novos planos ou propostas de melhoria.

Entre as metodologias existentes, destacam-se os sistemas de indicadores que analisam diversas dimensões da sustentabilidade urbana.

O modelo apresentado por Batten (2024) reúne três eixos tradicionais, denominados Pessoas, Planeta e Lucro, que abrangem aspectos sociais, ambientais e econômicos, e incorpora também o pilar Progresso, incluído em 2024, responsável por avaliar a evolução das cidades ao longo dos anos.

Essa estrutura multidimensional oferece uma visão ampla sobre temas como educação, saúde, desigualdade, riscos ambientais, energia, poluição, infraestrutura, economia, conectividade e empregabilidade, contribuindo para compreender a trajetória dos centros urbanos em direção aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Batten, 2024).

De acordo com Marín e López (2022) o papel que as cidades desempenham na transição para um crescimento mais sustentável ganha cada vez mais importância e é fundamental medir o progresso, rumo ao desenvolvimento urbano sustentável, onde é importante quantificar este fenômeno multidimensional com a ajuda de indicadores compostos.

Além disso, Batten (2024) destaca ainda que para avançar, as cidades precisam avaliar suas conquistas e intensificar ações voltadas ao fortalecimento da resiliência, à transição para energias renováveis, ao acesso equitativo a serviços básicos e mobilidade, bem como ao uso eficiente dos recursos naturais.

A relação entre sustentabilidade e a administração das cidades ainda foi pouco explorada na literatura, contudo, dados das Nações Unidas indicaram que mais da metade da população mundial reside em áreas urbanas, tornando essencial a aplicação de indicadores de sustentabilidade nesses espaços (Ávila e Belizário, 2024)

Conforme apontaram Liaño e Ekins (2022), as cidades ainda carecem de métricas adequadas para o monitoramento da sustentabilidade ambiental em diferentes dimensões sociais, ambientais e econômicas.

Ademais, Wolf et al. (2022) destacaram que dados de qualidade e análises baseadas em evidências puderam auxiliar os gestores públicos no aprimoramento de suas agendas políticas, na facilitação da comunicação com as principais partes interessadas e na maximização do retorno dos investimentos ambientais.

Diante desse contexto, Wang e Wu (2022) ressaltaram que os indicadores de sustentabilidade então utilizados buscaram monitorar e avaliar o desenvolvimento socioeconômico e a situação ambiental por meio da análise integrada de múltiplos fatores.

Saeed et al. (2022) destacaram que os indicadores de sustentabilidade urbana considerados para o ranqueamento das cidades estiveram associados ao planejamento espacial e ao crescimento urbano, ao bem-estar individual, à economia urbana, à conectividade e à infraestrutura, bem como à qualidade de vida e o meio urbano.

Sarker et al. (2022) identificaram indicadores-chave organizados em três componentes principais para a abordagem da vulnerabilidade urbana, entre eles a capacidade adaptativa, capacidade de absorção e capacidade de transformação.

Namavar, Moghaddam e Shafiei (2023) também mencionaram que os indicadores são fundamentais para a avaliação do desempenho de qualquer sistema, ao converterem dados brutos em conhecimento prático, passível de disseminação entre diferentes países.

Conforme Mataix et. al. (2021), as cidades são cruciais para direcionar os esforços em prol da sustentabilidade por meio do uso de indicadores pois eles proporcionam uma abordagem integrada para o monitoramento da sustentabilidade nas áreas urbanas.

O item seguinte apresentou os indicadores adotados para a mensuração dos dados e para o diagnóstico da sustentabilidade urbana.

2.2.1 Gestão de Resíduos Sólidos e indicadores

A gestão de resíduos configura-se como um desafio global urgente, demandando soluções inovadoras para a otimização de recursos, uma vez que as práticas tradicionais têm se mostrado insuficientes para lidar com o crescente volume de resíduos e com seus impactos ambientais associados (Olawade et al., 2024).

As práticas insustentáveis de gestão de resíduos sólidos, intensificadas pela rápida urbanização e por limitações financeiras e institucionais, impactam negativamente a saúde pública e a qualidade ambiental (Abubakar et al., 2022).

Ainda segundo os autores, os impactos negativos dessas práticas incluem poluição do ar e da água, degradação do solo, emissões de metano e lixiviados perigosos, além de mudanças climáticas impondo custos ambientais e de saúde pública significativos aos moradores, sendo os grupos sociais marginalizados os mais afetados.

De acordo com Khan et al. (2022), em escala global, observou-se o descarte de volumes crescentes de resíduos, cuja composição tornou-se progressivamente mais complexa, especialmente em razão da ampla disseminação de materiais plásticos.

Suryawan e Lee (2024), evidenciaram a urgência na implementação de uma estrutura de gestão de resíduos sólidos urbanos abrangente e baseada em evidências, capaz de incorporar serviços adaptativos às realidades socioeconômicas e institucionais de cada país.

Conforme mencionaram Salvia et al. (2022), parte dos especialistas apontou as práticas inadequadas ao longo de todo o processo de gestão de resíduos como a principal causa dos problemas, enquanto outros autores as interpretaram como consequência de controle insuficiente e de fragilidade na aplicação da legislação vigente.

O aumento contínuo na quantidade e na complexidade dos resíduos urbanos e industriais foi reconhecido como uma das preocupações atuais e futuras da sociedade, tornando fundamental a adoção de planos e metas ambientais consistentes (Khan et al., 2022).

Silva e Carneiro (2023) destacaram que para subsidiar planos e iniciativas voltados à promoção de uma gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos, mostrou-se necessária a disponibilização de dados por meio de indicadores que respeitassem a periodicidade de coleta e garantissem ampla cobertura de índices.

Pessela et al. (2021) ressaltaram que um dos índices utilizados em seu estudo foi o de avaliação da gestão de resíduos sólidos, composto por quatro dimensões: governança, gravimetria e logística, triagem, valoração e compostagem e destinação final assim como o estudo de Gomes (2023), no qual foram empregados 42 indicadores para avaliar a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos a partir de dados de desempenho técnico e ambiental.

Além disso, segundo Simeonova et al. (2019), dois índices foram amplamente utilizados em estudos sobre resíduos descartados: o Índice de Costa Limpa (ICL) e o

Índice de Estado Ambiental (IEA), ambos aplicados predominantemente em regiões litorâneas.

De acordo com os mesmos autores, o princípio do ICL baseou-se na quantidade de resíduos por metro quadrado do ambiente, contudo, o risco potencial associado aos diferentes tipos de resíduos não foi considerado. Já no IEA, estabeleceu-se um coeficiente de qualidade ambiental, embora a densidade dos resíduos não tenha sido incorporada à avaliação (Simeonova et al., 2019).

No Brasil, o índice mais utilizado é o Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU), cujo principal objetivo é mensurar o grau de aderência dos municípios brasileiros às diretrizes e metas da Lei Federal nº 12.305/10 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (Abrema, 2024).

Segundo Feletto et al. (2024), o ISLU sinaliza internacionalmente o comprometimento do Brasil, a exemplo de outras nações, com a busca por soluções voltadas à gestão adequada da limpeza urbana e ao manejo dos resíduos sólidos.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pelas Nações Unidas, também são utilizados como indicadores, por se articularem com metas relacionadas à gestão de resíduos sólidos e ao bem-estar geral da sociedade (Ram e Bracci, 2024).

Conforme afirmaram Neris et al. (2023), a Política Nacional de Resíduos Sólidos configurou-se como instrumento fundamental para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, ao estabelecer diretrizes para a gestão integrada e adequada dos resíduos sólidos.

2.3 Política Nacional De Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída em 2010, por meio da Lei Federal nº 12.305/2010, e estabelece um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem executadas de forma integrada entre os setores público e privado, visando reduzir a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) (Pereira et al., 2024).

De acordo com Santiago, Santana e Ribeiro (2024), as capacidades institucionais existentes nas relações entre Estados e municípios mostraram-se insuficientes para absorver uma normativa de elevada complexidade e caráter interdisciplinar, considerando

as atribuições já vigentes e a limitada destinação de investimentos voltados à capacitação dos entes federados.

Para o enfrentamento desses desafios, a legislação estabeleceu diretrizes de gestão compartilhada, como a constituição de consórcios intermunicipais para o gerenciamento de resíduos sólidos, além de definir a proteção da saúde humana e a sustentabilidade como princípios orientadores das ações governamentais nesse campo (Brasil, 2010).

Conforme destacaram Pereira et al. (2024), o Brasil permaneceu entre os países com maior geração de resíduos sólidos, sem conseguir, de forma efetiva, converter esse volume em benefícios econômicos por meio de ações articuladas com a sociedade.

Segundo o autor, o número de cooperativas de reciclagem que poderiam contribuir com a ação do Estado ainda é bem baixo se comparado a de outros países e sem conseguir cumprir seus prazos, ainda há muito a ser conquistado com o cumprimento da PNRS.

A implementação efetiva da Política Nacional de Resíduos Sólidos apresenta potencial para promover o desenvolvimento sustentável ao fortalecer a gestão ambiental por meio da responsabilização compartilhada, da redução da geração de rejeitos e da priorização da reutilização e da reciclagem. Ademais, a política reforça a articulação entre os diferentes níveis de governo e a população, visando ao aprimoramento da fiscalização e à melhoria coletiva da gestão dos resíduos (Brasil, 2022).

Apesar de a Política Nacional de Resíduos Sólidos ter sido concebida para aprimorar a gestão dos resíduos no Brasil, sua implementação enfrenta entraves significativos, como a elevada demanda por áreas para aterros, os riscos ambientais decorrentes de manejo inadequado, os altos custos operacionais e a resistência social associada à falta de informação e à baixa adesão à separação dos resíduos. (Brasil, 2010).

Em contrapartida, a legislação estabelece como objetivos centrais a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, a redução e o tratamento adequado dos resíduos, a gestão integrada, o fortalecimento da reciclagem, a articulação entre os entes federativos e a promoção de padrões sustentáveis de produção e consumo, configurando-se como instrumento fundamental para a transição rumo a um modelo de desenvolvimento sustentável (Brasil, 2010)

Ao longo do tempo, a gestão de resíduos sólidos passou por transformações estruturais, destacando-se, no Brasil, a incorporação da nomenclatura “resíduos sólidos” ao invés do termo “lixo”, rompendo com uma representação social negativa associada à

ausência de valor e reforçando uma perspectiva vinculada ao reaproveitamento e ao potencial de geração de emprego e renda (Santiago, Santana e Ribeiro, 2024).

De acordo com Yiming et al. (2023), os métodos globais de disposição de resíduos são dispostos, em que 33% desses resíduos coletados são descartados a céu aberto, 26% são destinados sem triagem, 7,7% são utilizados para a produção de gás, 11% são incinerados, 5,5% são compostados e 13,6% são reciclados.

Nesse contexto, destaca-se como abordagem promissora a Economia Circular Descentralizada Gerenciada Localmente (ECDGL), que visa capacitar comunidades locais, especialmente em regiões com infraestrutura limitada, a assumirem maior controle sobre a cadeia de suprimentos no gerenciamento de resíduos, assegurando a implementação das metas estabelecidas pelas políticas públicas.

Santiago, Santana e Ribeiro (2024) destacaram que Estados Unidos e União Europeia adotaram posturas proativas na gestão de resíduos sólidos por terem estruturado suas políticas ainda nas décadas de 1960 e 1970, enquanto a América Latina, o Caribe e o Brasil avançaram apenas após os anos 2000, assumindo posturas reativas, marcadas pelo enfrentamento tardio e por maiores desafios para efetivar suas políticas públicas.

Liu et al. (2025) destacaram que a quantidade de resíduos produzidos nos Estados Unidos ultrapassou recentemente 265 milhões de toneladas em 2021, dos quais 52,1% são depositados em aterros sanitários, enquanto apenas 25,1% são reciclados.

Os Estados Unidos divulgaram uma estratégia nacional de reciclagem em novembro de 2021, na qual a meta é aumentar a reciclagem para 50% até 2030, visando atender às leis federais sobre resíduos sólidos do país (Drewniok et al., 2023).

De acordo com Paleólogos et al. (2024), em 2022, a União Europeia reduziu a destinação de resíduos a aterros sanitários para 23% do total gerado, enquanto a conversão de resíduos em energia e a compostagem representaram mais do que o dobro da participação observada nos Estados Unidos, e a reciclagem atingiu 30%.

Nesse contexto, a União Europeia consolidou-se como liderança global na implementação de políticas rigorosas e práticas inovadoras voltadas ao aumento das taxas de reciclagem e à promoção da economia circular (Laureti et al., 2025).

O desempenho da União Europeia resultou de um arcabouço legislativo rigoroso, que estabeleceu a redução da destinação de resíduos sólidos urbanos biodegradáveis a aterros sanitários para 10% do volume registrado em 1995 até 2035, bem como a recuperação e reciclagem de 65% dos resíduos de embalagens até 2030 (Paleólogos et al., 2024).

Conforme mencionado por Marín (2024), países como Alemanha, Suíça, Japão e Suécia apresentam elevadas taxas de reciclagem em razão de sistemas de gestão de resíduos sólidos integrados, que articulam múltiplos agentes, forte intervenção estatal, legislações rigorosas, avanços tecnológicos e aspectos culturais.

Em contraste, nos países emergentes da América Latina e do Caribe, apenas 4% dos resíduos são reciclados, diferentemente do que se observa em países desenvolvidos, onde a reciclagem e a compostagem representam parcelas significativamente maiores no tratamento dos resíduos (Asqui et al., 2024).

Segundo Aquino, Durany e Vargas (2023), a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe aponta que a gestão inadequada dos resíduos sólidos, especialmente quando destinados a lixões a céu aberto, acarreta impactos negativos expressivos à saúde da população.

No caso brasileiro, conforme destacam Zani (2022), a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) passou a integrar a gestão dos resíduos pós-consumo à agenda do desenvolvimento sustentável, contribuindo para a transformação do cenário da gestão de resíduos sólidos no país.

2.4 Geração de resíduos sólidos urbanos

A partir da promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante das atividades humanas em sociedade passou a ser denominado resíduo sólido (Ribeiro e Martins, 2023).

Nos termos do art. 3º, inciso XVI, da Lei nº 12.305/2010, os resíduos sólidos foram definidos como materiais, substâncias, objetos ou bens descartados, provenientes das atividades humanas, cuja destinação final se proceda, se proponha proceder ou seja legalmente exigida, nos estados sólido ou semissólido, incluindo gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades inviabilizem o lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam soluções técnica ou economicamente inviáveis diante da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010).

Estima-se que o brasileiro tenha gerado, em 2023, uma média de 1,047 kg de RSU por dia. Aplicando esse valor à população brasileira, segundo dados do IBGE de 2024, estima-se que aproximadamente 81 milhões de toneladas de RSU tenham sido geradas no país em 2023. Isso equivale a mais de 221 mil toneladas de resíduos geradas por dia, ou cerca de 382 kg/habitante/ano. (Abrelpe, 2024)

Ainda segundo a Abrelpe (2024), a geração de RSU apresentou relação com o índice de desemprego no Brasil, sugerindo que o aumento do poder de compra pode resultar em maior geração de resíduos, ao passo que o descarte inadequado, em muitos casos, esteve associado a regiões de maior renda e a deficiências nos sistemas de coleta.

De acordo com a Abrema (2024), apesar dos expressivos índices de destinação final inadequada, a disposição ambientalmente adequada de aproximadamente 59% dos RSU gerados indicou um cenário relativamente mais favorável, evidenciando não apenas avanços na proteção ambiental, mas também sinais de transição de um modelo linear para práticas mais sustentáveis de gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Em 2024, a geração global de resíduos sólidos urbanos (RSU) ultrapassou 2,3 bilhões de toneladas e poderá atingir 3,8 bilhões de toneladas até 2050, conforme o relatório *Global Waste Management Outlook 2024* (GWMO, 2024). Esses dados evidenciam a urgência de promover transformações estruturais na gestão dos resíduos, com ênfase na conversão do lixo em recurso e no aprimoramento de práticas sustentáveis em escala global.

Nos Estados Unidos, a geração per capita de RSU variou entre 2,04 e 2,72 kg/hab./dia, podendo variar de duas a oito vezes a observada em países de baixa renda, a depender da metodologia empregada (National Academies of Sciences, 2022).

Na Rússia, a geração aproximou-se de 400 kg/hab./ano (1,1 kg/hab./dia), totalizando cerca de 60 milhões de toneladas anuais, valor superior à média global de 0,74 kg/hab./dia (World Bank, 2021)

Em contraste, o Japão apresentou tendência contínua de redução desde 2000, passando de aproximadamente 432 kg/hab./ano para 317,1 kg/hab./ano em 2024, com geração estimada de 38,97 milhões de toneladas em 2024, equivalente a 0,851 kg/hab./dia, cerca de 38% abaixo da média mundial, resultado atribuído à eficácia de políticas de redução da fonte e de cobrança volumétrica (OECD, 2024).

A China, país mais populoso do mundo, respondeu por mais de 10% da geração global de RSU, totalizando aproximadamente 262 milhões de toneladas em 2024 (Weiwei et al., 2025).

Segundo Kurniawan et al. (2022), o país estabeleceu a meta de reduzir a geração de resíduos em 30% até 2030, por meio do fortalecimento da padronização da reciclagem, da implementação de um sistema integrado de gestão de RSU sustentado por leis, políticas e normas ambientais, bem como da oferta de suporte técnico voltado à redução na fonte.

Estudos econométricos envolvendo 192 países confirmaram a existência de forte correlação entre o Produto Interno Bruto per capita e a geração de RSU per capita, indicando que níveis mais elevados de renda tendem a resultar em maior geração de resíduos por habitante (Falck, Meyer E Schmidt., 2024).

Em âmbito global, mais de 43% dos resíduos sólidos gerados são mal gerenciados, por meio de incineração inadequada, lixões ilegais, queima a céu aberto e aterros sanitários não monitorados, o que reforça os desafios estruturais ainda presentes na gestão desses resíduos (Andeobu et al., 2022).

Segundo a Abrema (2024), no Brasil, o Sudeste é a região com maior geração de RSU per capita, com cerca de 452 kg por habitante em 2024, e é responsável pela geração de 109 mil toneladas diárias de RSU, o que representa 50% da geração nacional.

Segundo a Abrelpe (2024), a região Sul, a geração anual é de 284 kg de RSU por habitante e a região que menos gera é a Norte, responsável por 16,5 mil toneladas diárias, o que equivale a 7,3% dos RSU do país.

Regionalmente, as projeções mostram que Sul, Sudeste e Centro-Oeste estão acima da média nacional de coleta, com 97,2%, 98,8% e 95,2% dos RSU coletados, respectivamente. Norte e Nordeste coletam aproximadamente 83% dos RSU gerados, o que evidencia diferenças regionais no gerenciamento de resíduos sólidos no país. (Abrelpe, 2024).

De acordo com Ribeiro e Martins (2023), a falta de comprometimento dos administradores públicos tende a agravar os desafios da gestão de resíduos, especialmente quando não há planejamento e implementação de sistemas adequados de saneamento nos centros urbanos.

Nesse contexto, a coleta seletiva configura-se como componente essencial dos serviços públicos de limpeza urbana e pode ser estruturada sob diferentes arranjos operacionais, não havendo um modelo único aplicável a todos os contextos territoriais e institucionais (Lima et al., 2022; Cseh et al., 2022).

No Brasil, sua cobertura ainda é limitada, com cerca de um terço dos municípios dispondo do serviço e baixa inserção de cooperativas de catadores (SNIS, 2023). A eficiência do sistema depende da participação social, frequentemente comprometida por desinformação, descrédito institucional e limitações estruturais (Berticelli et al., 2020)

Diante disso, destaca-se a necessidade de ampliar as estratégias de reciclagem e padronizar as informações para subsidiar políticas públicas mais eficazes, especialmente

em países de baixa e média renda, onde os sistemas de coleta seletiva tendem a ser mais vulneráveis (Viana et al., 2022; Guabiroba et al., 2023).

2.5 Monitoramento da qualidade da água e poluição

Ao longo do tempo, o crescimento exponencial da população mundial exerceu pressão sobre recursos hídricos já limitados, sendo estimado que cerca de 3 bilhões de pessoas dependam de fontes de água cuja qualidade é, em grande parte, desconhecida (Kipsang, Kibet e Adongo, 2024).

Diante desse cenário, o monitoramento da qualidade das águas consolidou-se como instrumento fundamental para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos, pois possibilita avaliar a evolução das condições ambientais e identificar áreas prioritárias para a gestão hídrica (Cetesb, 2022).

A avaliação da qualidade da água baseia-se no monitoramento sistemático de parâmetros físicos, químicos e biológicos, os quais são comparados a padrões ou metas estabelecidos em instrumentos normativos (Haddad, Delpasand e Loáiciga, 2021).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, configura-se como referência legal ao estabelecer diretrizes para o enquadramento dos corpos d'água, bem como as condições e os padrões para o lançamento de efluentes.

Além disso, conforme destacam Bursztjn e Benetti (2023), a análise da qualidade da água deve considerar os limites definidos por outras normas ambientais e sanitárias, como por exemplo, a Portaria nº 888 do Ministério da Saúde e as diretrizes da Organização Mundial da Saúde, assegurando uma abordagem integrada e alinhada às exigências regulatórias vigentes.

Na Tabela 1, apresentam-se alguns valores passíveis de mensuração da qualidade da água, conforme especifica Guimarães et al. (2017).

Tabela 1 - Parâmetros e especificações referentes à qualidade d'água avaliados por meio de sondas multiparâmetros.

Parâmetro	Especificação
Temperatura	Influencia diretamente os processos físicos, químicos e biológicos da água, afetando parâmetros como pH, condutividade elétrica, DBO e oxigênio dissolvido, razão pela qual sua medição deve ser realizada

	concomitantemente ao monitoramento desses indicadores, sendo normalmente expressa em graus Celsius.
Oxigênio Dissolvido	Indicador fundamental da qualidade dos ecossistemas aquáticos, essencial à manutenção da vida. Sua concentração varia conforme a temperatura da água, sendo menor em águas quentes e maior em águas frias, podendo alterações abruptas comprometer o equilíbrio ecológico.
Condutividade Elétrica	Parâmetro físico utilizado na caracterização de meios líquidos, especialmente em águas subterrâneas, que expressa a capacidade da água de conduzir corrente elétrica e indica, de forma relativa, a concentração de sais dissolvidos.
Sólidos Totais Dissolvidos	Expressa a concentração de substâncias dissolvidas na água, como íons de sódio, cálcio, magnésio, bicarbonato e cloreto, resultantes de processos naturais e antrópicos, podendo comprometer a qualidade da água para consumo humano e irrigação em concentrações elevadas.
pH	expressa a acidez ou alcalinidade da água, geralmente variando entre 6 e 8,5 em águas naturais, podendo valores extremos afetar a biota aquática e influenciar a solubilidade de compostos orgânicos, metais e sais, com aumento da toxicidade em condições de pH e temperatura elevados.
ORP	Indica a capacidade da água de promover processos de oxidação e decomposição de contaminantes e matéria orgânica, estando valores elevados associados à maior disponibilidade de oxigênio e a melhores condições de qualidade e equilíbrio do ambiente aquático.

Fonte: Adaptado de Guimarães et al. (2017)

Os índices de qualidade da água são amplamente utilizados para sintetizar, em um único valor, a contribuição integrada de variáveis físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos. Entre eles, destaca-se o Índice de Qualidade das Águas (IQA), um dos mais empregados na avaliação da qualidade hídrica, por permitir uma análise simplificada e comparável entre diferentes ambientes aquáticos (Cadorin et al., 2022).

A degradação da qualidade da água apresenta forte relação com a densidade populacional, sendo intensificada por processos de urbanização, industrialização e

agricultura em larga escala, que reduzem a capacidade natural dos cursos d'água de manter condições adequadas de qualidade hídrica (Bentos et al., 2021).

Nos centros urbanos, os rios recebem poluentes tanto de fontes pontuais, com origem e volume conhecidos, quanto de fontes difusas, provenientes do escoamento superficial das chuvas (Pereira, 2021).

Soma-se a esse cenário a conexão inadequada da rede de esgoto ao sistema de drenagem pluvial, prática considerada crime ambiental, que resulta no lançamento direto de esgotos e águas pluviais nos corpos d'água (Dib et al., 2022).

Nesse contexto, os sedimentos fluviais atuam como importantes reservatórios de metais potencialmente tóxicos, provenientes principalmente do descarte de resíduos urbanos e do esgoto doméstico (Gu et al., 2022).

Comparados à matéria orgânica e aos nutrientes, esses metais pesados não são tão facilmente removidos por processos naturais, pois a maioria deles adere a partículas em suspensão e se acumula nos sedimentos do fundo, resultando em toxicidade aguda ou de longa duração ao curso d'água (Wang et al., 2021).

A presença excessiva desses elementos compromete a qualidade da água e representa riscos significativos à saúde das populações ribeirinhas e urbanas (Zhang e Yuan, 2020).

Em um estudo apresentado por Manjoro e Mohajane (2022), a maioria das concentrações de metais pesados em locais selecionados, estava abaixo da média encontrada, onde o fator de contaminação (FC) indicou que o nível de contaminação foi baixo ($FC < 1$) na maioria dos locais de amostragem, exceto para cromo, cobre, chumbo e zinco, que variaram de moderado ($1 \leq FC < 3$) a considerável ($3 \leq FC < 6$).

Manjoro e Mohajane (2022) observaram, em seus estudos, baixos níveis de contaminação ($FC < 1$) na maioria dos pontos analisados, com exceção de cromo, cobre, chumbo e zinco, que variaram de moderados a consideráveis.

Resultados semelhantes foram identificados por Ali et al. (2021) no rio *Bhairab*, onde a contaminação moderada por arsênio, cromo, cádmio e chumbo indicou um cenário preocupante para a ecologia aquática local.

A avaliação da qualidade da água baseia-se, portanto, em um conjunto de parâmetros físicos e químicos amplamente reconhecidos na literatura, como turbidez, pH, temperatura, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, além de nutrientes, oxigênio dissolvido e metais pesados, fundamentais para o monitoramento e a

compreensão dos impactos antrópicos sobre os recursos hídricos (Adjovu et al., 2023; Misman et al., 2023).

Manjoro e Mohajane (2022) e Ali et al. (2021) convergem ao evidenciar que a contaminação por metais pesados em sedimentos fluviais está fortemente associada a fontes antropogênicas, sobretudo efluentes industriais, águas residuais e atividades agrícolas, o que representa elevado risco aos ecossistemas aquáticos.

Ambos os estudos ressaltam que a avaliação dos níveis de contaminação e do risco ecológico através dos parâmetros identificados, é fundamental para subsidiar a tomada de decisão, orientar programas de monitoramento, embasar medidas corretivas e contribuir para a formulação de políticas públicas voltadas à proteção dos cursos d'água e dos ecossistemas aquáticos.

Assim como destaca Leal et al. (2025), que monitorou os parâmetros: pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica e turbidez a partir de três campanhas de coleta entre os meses de julho e setembro de 2021, período de transição sazonal na região, em quatro pontos específicos do curso do rio situados na cidade de Codó – MA

A análise da qualidade da água, baseada em parâmetros limnológicos como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e turbidez, é fundamental para avaliar a integridade dos ecossistemas aquáticos e compreender como os recursos hídricos podem ser comprometidos por processos naturais ou ações antrópicas (Arcos e Cunha, 2021).

A presença de efluentes, resíduos, metais pesados e substâncias tóxicas compromete tanto a saúde humana quanto os ecossistemas aquáticos. Portanto, medidas proativas de saneamento e gestão ambiental são imperativas para evitar impactos negativos (Moura et al., 2024).

Nesse contexto, os rios urbanos frequentemente concentram diversos contaminantes, incluindo coliformes fecais, resíduos de animais domésticos, pesticidas, fertilizantes, óleos, metais pesados e resíduos oriundos de atividades industriais e de postos de combustíveis (Instituto Água Sustentável, 2023).

Além dos contaminantes tradicionalmente monitorados, a Organização Mundial da Saúde alerta para a crescente preocupação com contaminantes emergentes na água potável, como produtos farmacêuticos, pesticidas, substâncias perfluoroalquil (PFAS) e microplásticos, os quais ampliam os desafios de gestão e tratamento da água (OMS, 2023).

Embora existam políticas públicas voltadas ao controle ambiental, observa-se, nos últimos anos, um processo de flexibilização das normas, com a redução dos critérios utilizados na avaliação da degradação dos corpos hídricos. (Miranda et al., 2021).

Os impactos da degradação da qualidade da água também se refletem na esfera econômica e social, uma vez que a escassez de água de qualidade eleva os gastos com tratamento e saúde pública (Abrelpe, 2024).

Conforme o Instituto Trata Brasil (2025), o Brasil enfrenta um grave *déficit* de quase 35 milhões de pessoas não têm água tratada e as doenças de veiculação hídrica causaram mais de 273 mil internações, gerando um custo de R\$ 174 milhões ao país.

Machado et al. (2022) destacam que conhecer a importância da disponibilidade de água, preservar o ecossistema, fazer uso racional dos recursos hídricos e buscar soluções que evitem a escassez são aspectos fundamentais para enfrentar os desafios da crise hídrica.

O mesmo autor enfatiza que a indisponibilidade de água desencadeia impactos amplos, como o aumento da fome e da pobreza, dificuldades de acesso ao saneamento básico e a redução da qualidade de vida e da saúde, afetando todos os organismos que compõem os ecossistemas.

Nesse sentido, o monitoramento de cursos d'água urbanos, com base em parâmetros de qualidade da água, configura-se como ferramenta essencial para a identificação de impactos ambientais e para o direcionamento de alternativas simples, acessíveis e de baixo custo que contribuam para a melhoria e preservação dos recursos hídricos (Flausino, 2021).

2.6 Tecnologias para remoção de resíduos flutuantes

“O lançamento de resíduos sólidos urbanos nos corpos d'água está entre os principais fatores responsáveis pelas inundações urbanas, gerando impactos ambientais sobre os recursos naturais, além de impactos sociais e econômicos” (Krause et al. 2023).

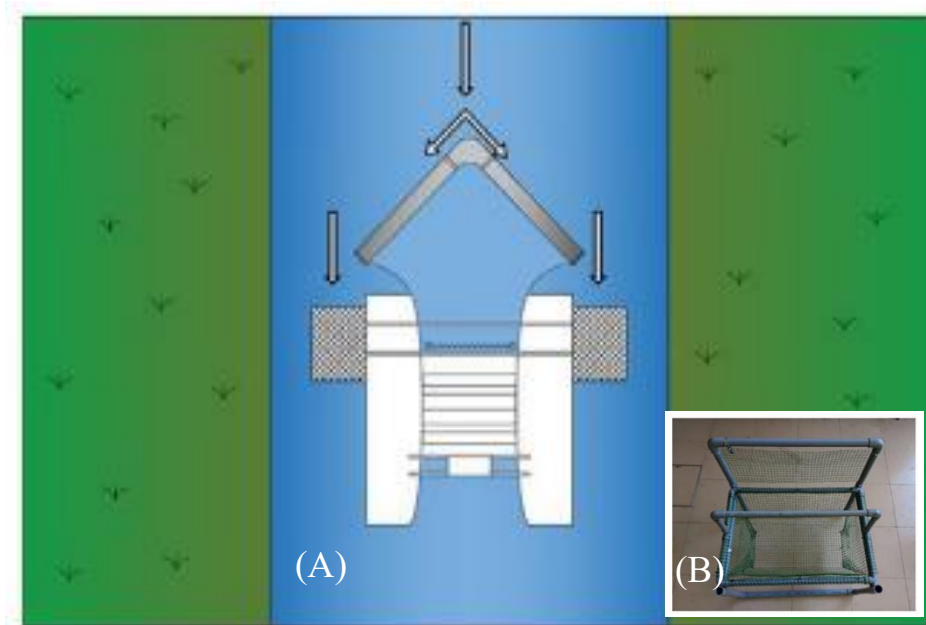
A disposição inadequada de resíduos sólidos é uma realidade recorrente na maioria dos municípios brasileiros, contribuindo significativamente para a poluição do solo e dos corpos hídricos, além de favorecer a proliferação de vetores (Batista e Borges, 2023). Esse cenário evidencia a estreita relação entre a gestão ineficiente dos resíduos urbanos e a degradação ambiental.

Nesse contexto, a destinação indevida de resíduos em áreas urbanas configura-se como um problema socioambiental de elevada gravidade, uma vez que provoca alterações nos ambientes fluviais, impactando negativamente a flora, a fauna, o solo além de comprometer a potabilidade da água dos cursos hídricos (Arcos e Cunha, 2021).

O agravamento desses impactos está diretamente associado ao crescimento populacional, ao aumento do consumo e à intensificação da poluição ambiental, o que reforça a necessidade de buscar alternativas eficientes capazes de contribuir para a redução da carga de contaminantes nos corpos d'água (Bersanette et al., 2024).

Entre as tecnologias disponíveis, destacam-se as armadilhas para poluentes grosseiros, conhecidas como *Gross Pollutant Trap* (GPT) (Figura 1), que consistem em estruturas confeccionadas com materiais e telas plásticas destinadas à retenção de resíduos sólidos descartados nos cursos d'água (Soh; Ali; Abdullah, 2021).

Figura 1. Representação do sistema (A) e modelo (B) de *Gross Pollutant Trap* (GPT) utilizadas como armadilhas para resíduos em minis usinas hidrelétricas



Fonte: Shah et al. (2021)

No sistema descrito por Shah et al. (2021), os resíduos sólidos flutuantes são conduzidos por um desviador instalado na entrada da mini hidrelétrica e, posteriormente, retidos por armadilhas posicionadas lateralmente, à esquerda e à direita da estrutura.

Além do sistema *Gross Pollutant Trap* (GPT), destacam-se as *trash racks* (ou grades de retenção de detritos, amplamente utilizadas nos canais de usinas hidrelétricas

com a finalidade de interceptar resíduos e outros elementos transportados pela correnteza, impedindo sua chegada às turbinas (Walczak; Tymiąski, 2022).

No entanto, segundo os autores, a adoção dessas estruturas pode acarretar perdas hidráulicas decorrentes da redução da seção transversal do escoamento e do acúmulo de detritos nas grades, o que impacta negativamente a eficiência e a viabilidade econômica, especialmente em centrais hidrelétricas de menor porte.

Na Figura 2 observa-se as principais tecnologias para retenção de resíduos implantadas no mundo.

Figura 2. Tecnologias para retenção de resíduos: *Trash Racks* (A) e *Seabin* (B) implantadas em curso d'água



Fonte: Ideas (2023); Turton e Ceglinski (2021)

Diante dessas limitações, outras tecnologias têm sido empregadas para a remoção de resíduos flutuantes em ambientes aquáticos, como é o caso da *Seabin*, uma

lixreira flutuante amplamente utilizada em diferentes países para a coleta de resíduos descartados de forma inadequada, contribuindo para a mitigação da poluição em corpos d'água urbanos e áreas portuárias (Sahoo et al., 2021).

Por meio de um sistema de bombeamento, a *Seabin* é capaz de sugar os resíduos que boiam à sua volta. Em sua abertura, uma rede filtra a água e retém os objetos. Depois, é necessária a recolha da lixeira para retirada dos resíduos (Turton e Ceglinski, 2021).

Jurdi et al. (2022), em sua pesquisa, constataram que a taxa de captura de resíduos por este sistema foi inferior à da limpeza manual realizada com redes. Portanto o *Seabin* apresentou benefício mínimo em termos de remoção de resíduos marinhos e resultou na mortalidade de organismos marinhos pela ingestão desses resíduos.

Apesar do avanço das pesquisas voltadas à remoção de resíduos em ambientes aquáticos, a maioria dos estudos concentra-se na avaliação do desempenho das estruturas já implantadas, com menor ênfase no desenvolvimento dessas estruturas. (Shah et al., 2021).

Diante dessa lacuna e do agravamento dos impactos associados ao descarte inadequado de resíduos nos cursos d'água, tornam-se relevantes alternativas tecnológicas de baixo custo que auxiliem na minimização desse problema, entre as quais se destacam as ecobarreiras (Sagioratto et al., 2022).

As ecobarreiras consistem em estruturas flutuantes projetadas para a retenção de resíduos descartados de forma inadequada em cursos d'água, caracterizando-se pelo baixo custo de implantação e pela eficiência na contenção desses materiais, o que as torna uma solução viável para aplicações em diferentes contextos ambientais (Moreira, 2022).

Na Figura 3, observa-se a primeira ecobarreira implantada no Estado de São Paulo, localizada no município de Itaí.

Figura 3. Ecobarreira do Ribeirão dos Carrapatos em Itai – SP



Fonte: PMI (2018)

A elaboração e instalação de ecobarreiras mostram-se um chamariz com custo-benefício viável para essa interação social, criando um vínculo de participação e comprometimento nas ações propostas pelo grupo e interesse na estruturação de outros projetos que busquem reduzir ou solucionar problemas nesse ambiente (Schafaschek, 2020).

De acordo com Moreira (2022), entre os principais resíduos coletados pelas ecobarreiras, destacam-se os plásticos, isopores e resíduos orgânicos, que, em razão de seu grau de flutuação, são mais facilmente capturados pelas estruturas.

Os resultados demonstram que as ecobarreiras são relevantes tanto para o monitoramento quanto para a conscientização ambiental, evidenciando a necessidade de acompanhamento contínuo e de ações educativas diante da variação sazonal dos resíduos (Campos, 2025).

Embora desempenhem papel fundamental na retenção de macro resíduos, parte significativa dos resíduos ainda se acumula ao longo dos cursos d'água, contudo, experiências consolidadas, como a ecobarreira da Baía de Guanabara, que já impediu o aporte de mais de 34 mil toneladas de resíduos ao estuário, comprovam a eficácia dessas estruturas como estratégia complementar de gestão ambiental (Ramos, 2023; Bastos et al., 2021).

Em Porto Alegre, apesar da retenção de até 80% dos resíduos, a transposição de materiais pelo fundo do canal indica a necessidade de soluções complementares, especialmente associadas à captação nas bocas de lobo (Petroli, 2020).

Nesse contexto, o monitoramento contínuo e a adoção de protocolos sistemáticos de manutenção mostram-se fundamentais para assegurar a eficiência operacional e a durabilidade das ecobarreiras ao longo do tempo (Curti et al., 2025).

Considerando-se que essas estruturas configuram uma medida de fim de tubo, sua implantação não deve se restringir à simples coleta dos resíduos presentes nos cursos d'água. Recomenda-se, portanto, que a ecobarreira seja utilizada também como instrumento de mensuração ambiental, por meio da classificação e quantificação dos resíduos retidos, ampliando seu potencial analítico.

Corroborando essa abordagem, Marques (2022) ressalta que a ecobarreira não deve ser compreendida apenas como um mecanismo de contenção, mas como uma ferramenta estratégica para a geração de dados, uma vez que possibilita a quantificação sistemática dos resíduos coletados e contribui para o aprimoramento da gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Milaneze et al. (2022) apontaram que essa abordagem permite observar, ao longo do tempo, a redução dos resíduos sólidos flutuantes, evidenciando a eficiência da ecobarreira e seu potencial como ferramenta de educação ambiental prática.

Dessa forma, as ecobarreiras funcionam como dispositivos de conscientização, uma vez que os materiais retidos na estrutura trazem a percepção visual da quantidade de resíduos inadequadamente descartados nos cursos d'água (Antonino et al., 2025)

Sendo assim, as ecobarreiras, acabam sendo uma solução simples e extremamente relevante para o contexto de poluição dos cursos d'água e evidencia a importância do estudo em busca de soluções viáveis para contenção paliativa de danos em paralelo aos programas com maiores requisitos de implementação (Ramos, 2023).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

As áreas de estudo compreenderam os municípios de Arandu, Avaré e Itaí, inseridos na UGRHI 14, Alto Paranapanema, no sudoeste do Estado de São Paulo, a maior unidade de gestão hídrica paulista, com cerca de 22.700 km² e abrangendo 34 municípios (CBH Alpa, 2025). A região é fortemente influenciada pela Represa de Jurumirim, que desempenha papel estratégico no abastecimento hídrico, geração de energia, lazer e irrigação, além de estruturar o sistema hidrológico regional.

Historicamente marcada pela predominância de atividades agropecuárias e baixa industrialização (CBH Alpa, 2023), a UGRHI 14 apresenta uso da água voltado principalmente ao abastecimento público e industrial, com baixa exploração de águas subterrâneas devido à abundância de recursos superficiais (CBH Alpa, 2019). A região possui mais de 755 mil habitantes, baixa densidade demográfica e predominância de municípios de pequeno porte, sendo que a maioria possui menos de 25 mil habitantes (CBH Alpa, 2023; CBH Alpa, 2025).

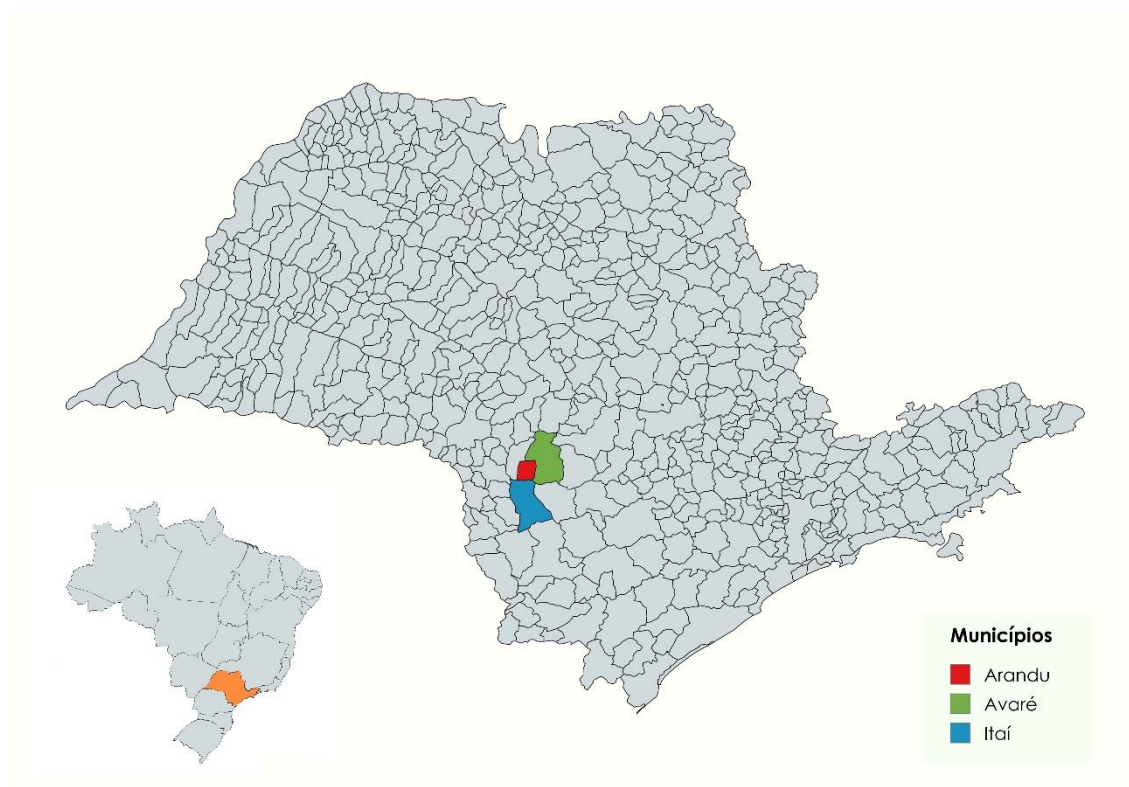
Os municípios de Avaré, Arandu e Itaí (Figura 4) foram selecionados para o estudo por apresentarem características particulares e representativas das dinâmicas socioambientais observadas na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, por serem de tamanhos distintos e por serem municípios limítrofes.

Embora inseridos em um mesmo contexto regional, esses municípios diferenciam-se no porte populacional, grau de urbanização, padrões de uso e ocupação do solo e níveis de pressão antrópica sobre os recursos hídricos, o que possibilita uma análise comparativa e integrada dos impactos da urbanização. (CBH Alpa, 2023).

Concomitantemente, os três municípios possuem cursos d'água urbanos submetidos a processos recorrentes de aporte de resíduos sólidos, tornando-os cenários adequados para a avaliação da eficiência de ecobarreiras.

A escolha também se justifica pela disponibilidade de dados técnicos e institucionais, pelo histórico de cooperação intermunicipal e pela viabilidade de aplicar metodologias para a verificação das condições urbanas e ambientais.

Figura 4. Localização dos municípios de Arandu, Avaré e Itai – SP.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O município de Arandu teve origem no antigo bairro rural Barreiro, em Avaré, cuja denominação está associada à coloração do solo e à presença de um curso d'água local (Prefeitura Municipal de Arandu, 2023). Seu processo de formação territorial iniciou-se a partir da Capela do Barreiro, construída por pioneiros da região, consolidando-se posteriormente como distrito em 1944 e alcançando emancipação político-administrativa em 1963 (Prefeitura Municipal de Arandu, 2023).

A economia local desenvolveu-se inicialmente com base na cafeicultura, expandindo-se para outras culturas agrícolas e pecuária, mantendo até hoje forte vínculo com o setor agropecuário (Prefeitura Municipal de Arandu, 2023). O município possui área de 286,3 km², altitude média de 640 metros e localiza-se nas coordenadas 23° 08' 09" S, 49° 03' 17" O, com população estimada em 6.885 habitantes, caracterizando-se por baixa densidade populacional e predominância de áreas rurais (Prefeitura Municipal de Arandu, 2023).

Nesse contexto, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é classificado como médio, refletindo desafios relacionados à geração de renda e à

diversificação econômica, embora se observem avanços consistentes nos indicadores de educação, meio ambiente e longevidade (IDHM, 2024).

O município de Avaré teve sua formação associada à atuação de posseiros liderados por José Theodoro de Souza e Tito Corrêa de Mello, com destaque para a doação de terras em 1862 para a construção da capela de Nossa Senhora das Dores, elemento central na organização territorial (Prefeitura Municipal de Avaré, 2023). A consolidação do município foi favorecida pela disponibilidade de recursos hídricos e pela qualidade dos solos, impulsionando sua ocupação agrícola inicial (Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Avaré, 2022).

Do ponto de vista físico-territorial, Avaré possui área de 1.213,06 km², altitude média de 780 metros e está localizada nas coordenadas 23°06'02" S e 48°56'29" O (Prefeitura Municipal de Avaré, 2023). Com população de 92.805 habitantes (IBGE, 2022), destaca-se como o principal polo urbano e econômico da região, apresentando economia diversificada baseada nos setores de comércio, serviços, agropecuária e turismo (Prefeitura Municipal de Avaré, 2023).

O IDHM de Avaré é classificado como alto, evidenciando melhores condições relativas de renda, educação e longevidade em comparação com os municípios de menor porte da região (IDHM, 2024).

O município de Itaí teve sua origem em 1869, a partir das dificuldades logísticas enfrentadas por fazendeiros da região, dando origem ao povoado de Santo Antônio da Ponta da Serra (Prefeitura Municipal de Itaí, 2020). Seu desenvolvimento ocorreu em torno de uma capela, passando por sucessivas elevações administrativas até tornar-se município em 1920, quando recebeu o nome Itaí, de origem tupi, que significa “Pedra do Rio” (Prefeitura Municipal de Itaí, 2020).

Do ponto de vista físico-territorial, Itaí possui área de 1.082,78 km², altitude média de 614 metros e localiza-se nas coordenadas 23°24'55" S e 49°05'24" O (IBGE, 2022). Com população de 25.180 habitantes, apresenta predominância de áreas rurais, com economia baseada principalmente no setor agropecuário, complementada por atividades de comércio e serviços (Prefeitura Municipal de Itaí, 2020).

O IDHM de Itaí enquadra-se na faixa média, indicando avanços graduais no desenvolvimento humano, especialmente nos indicadores de educação e longevidade, embora ainda apresente limitações estruturais relacionadas ao componente de renda (IDHM, 2024).

Os cursos d'água selecionados (Figura 5) para a implantação das ecobarreiras apresentam relevância ambiental e urbana, sobretudo por atravessarem áreas densamente ocupadas e permanecerem continuamente expostos às pressões antrópicas decorrentes do uso e da ocupação do solo.

Figura 5. Localização do Córrego Barreiro em Arandu (A), Ribeirão Lajeado em Avaré (B) e Ribeirão dos Carrapatos em Itaí (C),



Fonte: Silva (2020), Honorato (2019) e Moraes (2018)

Nesse contexto, destaca-se inicialmente o Rio Paranapanema, cuja expressiva extensão da Represa de Jurumirim abrange aproximadamente nove municípios da região, configurando-se como um dos principais sistemas hídricos regionais (CBH Alpa, 2023).

No município de Arandu, além do Ribeirão Bonito, o Córrego Barreiro com extensão aproximada de 1,2 km, assume papel central na dinâmica ambiental urbana, uma vez que atravessa integralmente a cidade desde sua nascente, localizada nas proximidades da divisa com o município de Avaré (Prefeitura Municipal de Arandu, 2023).

Trata-se de um dos principais cursos d'água urbanos do município, que apresenta recorrentes problemas associados ao descarte irregular de resíduos sólidos e ao assoreamento em alguns de seus trechos, evidenciando sua vulnerabilidade frente às interferências antrópicas (Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Arandu, 2025).

Em Avaré, o Ribeirão Lajeado, com 3,6 km de extensão, foi selecionado por sua intensa interação com o espaço urbano, pois margeia e atravessa diferentes áreas da cidade, incluindo o centro urbano, onde se localiza a Praça Japonesa, espaço caracterizado por elevada circulação de pessoas, veículos e concentração de atividades comerciais.(IBGE, 2022).

Destaca-se, ainda, que os cursos d'água do município, em sua totalidade, interceptam a malha urbana, o que dificulta a visualização integral de seus trechos e amplia a suscetibilidade à poluição difusa e ao aporte de resíduos. O estuário do Ribeirão Lajeado situa-se nas proximidades da Rodovia João Mellão (SP-255), reforçando sua importância estratégica no contexto territorial (Prefeitura Municipal de Avaré, 2023).

No município de Itaí, o Ribeirão dos Carrapatos, com 90 km de extensão, destaca-se por cortar a área urbana de forma longitudinal, desempenhando funções essenciais tanto para o abastecimento público quanto para a irrigação de lavouras (SABESP, 2023).

Os cursos d'água analisados apresentaram características típicas de rios de pequeno a médio porte inseridos em áreas com influência antrópica, especialmente relacionadas ao uso e ocupação do solo urbano e rural.

Esses mananciais desempenham papel estratégico para os municípios, uma vez que são utilizados como fontes de abastecimento público, o que reforça sua relevância para a segurança hídrica local. Na Tabela 2, observa os perfis gerais dos cursos de água implantadas as ecobarreiras.

Tabela 2. Perfil dos cursos d'água Córrego Barreiro , Ribeirão Lageado e Ribeirão dos Carrapatos, quanto a extensão, uso principal e característica geral.

Curso d'água	Município	Extensão	Característica	Uso principal
Córrego Barreiro	Arandu	1,2 km	Urbano	Abastecimento urbano
Ribeirão Lageado	Avaré	3,6 km	Urbano	Abastecimento urbano
Ribeirão dos Carrapatos	Itaí	90 km	Rural	Abastecimento urbano

Fonte: IBGE (2022) Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Arandu (2025), Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Avaré (2025).

Apesar de suas diferenças em extensão, porte e contexto territorial, os três corpos hídricos compartilham a função essencial de suprir a demanda hídrica da população, o que exige atenção constante quanto à sua preservação, monitoramento da qualidade da água e controle de impactos ambientais decorrentes de atividades humanas em suas bacias hidrográficas.

Assim, a escolha desses cursos d'água fundamenta-se na convergência entre relevância hidrológica, inserção urbana e elevado grau de influências antrópica, fatores que justificam a implantação das ecobarreiras como estratégia para a mitigação do aporte de resíduos sólidos e para a melhoria da qualidade ambiental dos sistemas hídricos urbanos.

3.2 Protocolo e monitoramento ambiental

Para o monitoramento da qualidade da água, utilizou-se uma sonda multiparâmetro Aquaread AP-700, por meio da qual foram analisados os principais parâmetros para mensuração da qualidade d'água entre eles a condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), sólidos totais dissolvidos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e potencial hidrogeniônico (pH).

O equipamento, apresentado na Figura 6, possui sensores integrados de pH/ORP, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura, além de sensor de pressão para compensação barométrica.

Figura 6. Sonda Multiparâmetro Aquaread AP 700



Fonte: Arquivo Pessoal (2024)

As avaliações foram realizadas aproximadamente a um metro a montante das ecobarreiras, em profundidade média de 60 cm da lâmina d'água, sempre na última quinzena de cada mês.

O período de monitoramento compreendeu o intervalo entre 22 de junho de 2024 e 21 de março de 2025, totalizando 10 coletas e abrangendo um ciclo hidrológico completo.

De forma complementar ao monitoramento da qualidade da água, procedeu-se à avaliação das condições físicas e ambientais dos trechos estudados por meio da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Hábitats (PARH), proposto por Callisto et al. (2002)

Esse protocolo permite classificar o nível de impacto ambiental com base em um conjunto de parâmetros categorizados como ausentes, moderados ou acentuados, entre eles a vegetação nas margens do corpo d'água, alterações antrópicas, transparência d'água, oleosidade da água, erosão ou assoreamento próximas às margens, presença de plantas aquáticas, cobertura vegetal no leito, estabilidade das margens, odor da água, tipo do fundo. resultando em uma pontuação final que reflete o grau de preservação do trecho analisado, contemplando a análise de dez parâmetros relacionados às condições locais, incluindo a vegetação das margens, alterações antrópicas, transparência e oleosidade da água, processos de erosão ou assoreamento, presença de plantas aquáticas, cobertura

vegetal do leito, estabilidade das margens, odor da água e tipo de fundo. (Callisto et al., 2002).

De acordo com o protocolo, as pontuações entre 0 e 40 indicam trechos impactados, entre 41 e 60 caracterizam trechos alterados e valores superiores a 60 correspondem a trechos considerados naturais.

O registro das informações foi realizado por meio de fichas de campo, cadernetas de anotação e registros fotográficos, possibilitando a integração entre os dados da água e a avaliação qualitativa dos habitats aquáticos.

A definição das metodologias adotadas fundamenta-se na necessidade de compreender, de forma integrada, os impactos antrópicos sobre os cursos d'água urbanos, considerando tanto as alterações físicas do ambiente quanto as mudanças nas características da água.

A aplicação é especialmente relevante em ambientes urbanos, onde as modificações morfológicas e a ocupação irregular das margens comprometem a dinâmica natural dos sistemas fluviais.

Além disso, trata-se de uma metodologia de baixo custo, de fácil aplicação em campo e com elevada capacidade de discriminar diferentes níveis de degradação ambiental, o que a torna adequada para estudos comparativos e para o acompanhamento de áreas submetidas a intervenções ambientais (Callisto et al., 2002)

O monitoramento da qualidade da água, realizado a partir da análise de parâmetros físicos, foi adotado por possibilitar a avaliação objetiva e quantitativa das condições ambientais dos corpos hídricos.

Parâmetros como pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica são amplamente utilizados para diagnosticar a qualidade da água, uma vez que respondem diretamente às pressões antrópicas, ao uso e à ocupação do solo e às deficiências nos sistemas de saneamento e de gestão ambiental (Callisto et al., 2022).

A utilização conjunta do Protocolo de Callisto e do monitoramento da qualidade da água fortalece a abordagem metodológica da pesquisa ao integrar análises qualitativas e quantitativas. Enquanto o protocolo fornece uma leitura abrangente das condições físicas e ecológicas do ambiente, os parâmetros de qualidade da água permitem mensurar, os impactos dessas condições sobre o meio aquático.

Essa integração possibilita uma compreensão mais completa do estado ambiental dos cursos d'água estudados, contribuindo para a avaliação da eficácia de medidas

mitigadoras e para o subsídio a políticas públicas e estratégias de gestão ambiental em escala municipal e regional.

3.3 Componentes do Índice De Sustentabilidade Da Limpeza Urbana (ISLU)

De acordo com a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente - Abrema (2024), o Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU) é um instrumento destinado a avaliar e diagnosticar a gestão dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos no Brasil, permitindo identificar fragilidades e oportunidades de melhoria sob a ótica da Política Nacional dos Resíduos Sólidos de 2010.

O Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU) é estruturado em quatro dimensões que, de forma integrada, permitem avaliar a gestão dos serviços de limpeza urbana e do manejo de resíduos sólidos com base em dados fornecidos pelos municípios ao sistema nacional (Abrema, 2024).

Cada dimensão representa um componente estratégico da Política Nacional de Resíduos Sólidos e contribui, de forma ponderada, para a composição do índice final.

As dimensões que compõem o Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU) são Engajamento (E), Sustentabilidade Financeira (F), Recuperação de Resíduos (R) e Impacto Ambiental (A), cada uma com pesos específicos na composição do índice final (Abrelpe, 2024).

A dimensão Engajamento (E), que avalia aspectos relacionados à participação social, à educação ambiental e à transparência da gestão, tem peso de 31%. A Sustentabilidade Financeira (F), voltada à capacidade de manutenção econômica dos serviços de limpeza urbana, também corresponde a 24% do índice.

A dimensão Recuperação de Resíduos (R), associada ao desempenho da coleta seletiva, da reciclagem e da valorização dos resíduos, corresponde a 22,2% do ISLU.

Por fim, o Impacto Ambiental (A), que considera os efeitos da destinação final dos resíduos sobre o meio ambiente, corresponde a 22,9% da pontuação total do índice (Abrema, 2024).

O cálculo do ISLU é realizado por meio de uma equação geral, na qual cada dimensão recebe um peso específico, refletindo sua relevância relativa na composição do índice, conforme apresentado a seguir:

$$ISLU = 0,30977 x E + 0,24004 x S + 0,22158 x R + 0,22861 x I$$

Sendo:

E – Engajamento: divisão entre população atendida e população total do município (em habitantes)

S – Sustentabilidade Financeira: diferença entre a cobrança específica – despesa com serviços de manejo de R.S e divisão com a despesa com os serviços de manejo de R.S em reais

R – Recuperação de Resíduos: Divisão entre o material recuperado, exceto orgânico e rejeito (em ton.) dividido pela quantidade total de resíduos coletados (em ton.)

I – Impacto Ambiental: Divisão entre a quantidade total de resíduos recebidos na unidade de processamento com destinação incorreta (em ton.) e a população total atendida declarada (em habitantes)

De acordo com a Abrema (2024), essa estrutura metodológica permite sintetizar múltiplos aspectos da gestão de resíduos sólidos em um único indicador, favorecendo análises comparativas entre municípios e subsidiando a formulação de políticas públicas voltadas à melhoria e ao atendimento às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Os dados utilizados para o cálculo do Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU) foram obtidos junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que constitui a principal base oficial de dados sobre os serviços de saneamento no Brasil (Ministério do Meio Ambiente e Mudança Climática, 2023).

O SNIS reúne informações declaradas pelos municípios e prestadores de serviços, abrangendo aspectos operacionais, financeiros e institucionais da limpeza urbana e do manejo de resíduos sólidos, garantindo a padronização metodológica, a transparência e a comparabilidade dos dados.

A utilização dessa base confere maior robustez e confiabilidade às análises, além de alinhar a pesquisa às diretrizes nacionais de monitoramento e avaliação das políticas públicas de saneamento (Brasil, 2024).

3.4 Ecobarreiras e coleta de resíduos sólidos flutuantes

As ecobarreiras foram implantadas no município de Arandu em 15 de julho de 2024, em Avaré em 13 de julho de 2024, e, no município de Itaí, a estrutura encontra-se instalada desde 21 de setembro de 2021.

A definição dos locais de implantação foi realizada de forma estratégica, considerando a influência do processo de urbanização sobre os corpos hídricos, uma vez que as três estruturas estão posicionadas em trechos mais a jusante das respectivas bacias hidrográficas.

Além disso, foram considerados fatores críticos relacionados ao descarte inadequado de resíduos sólidos, à presença de áreas com circulação pública intensa, como praças de lazer e recreação, ao potencial de retenção de resíduos flutuantes e à influência do comércio local.

Ressalta-se, ainda, que a facilidade de acesso para a coleta, manutenção e monitoramento das ecobarreiras foi um critério determinante para a operacionalização e a continuidade do estudo.

Os dados mensais de precipitação foram obtidos por estações meteorológicas próximas às ecobarreiras nos municípios, operadas pelo SP Águas e disponibilizadas em seu site oficial, sendo coletados os dados do período de julho de 2024 a março de 2025.

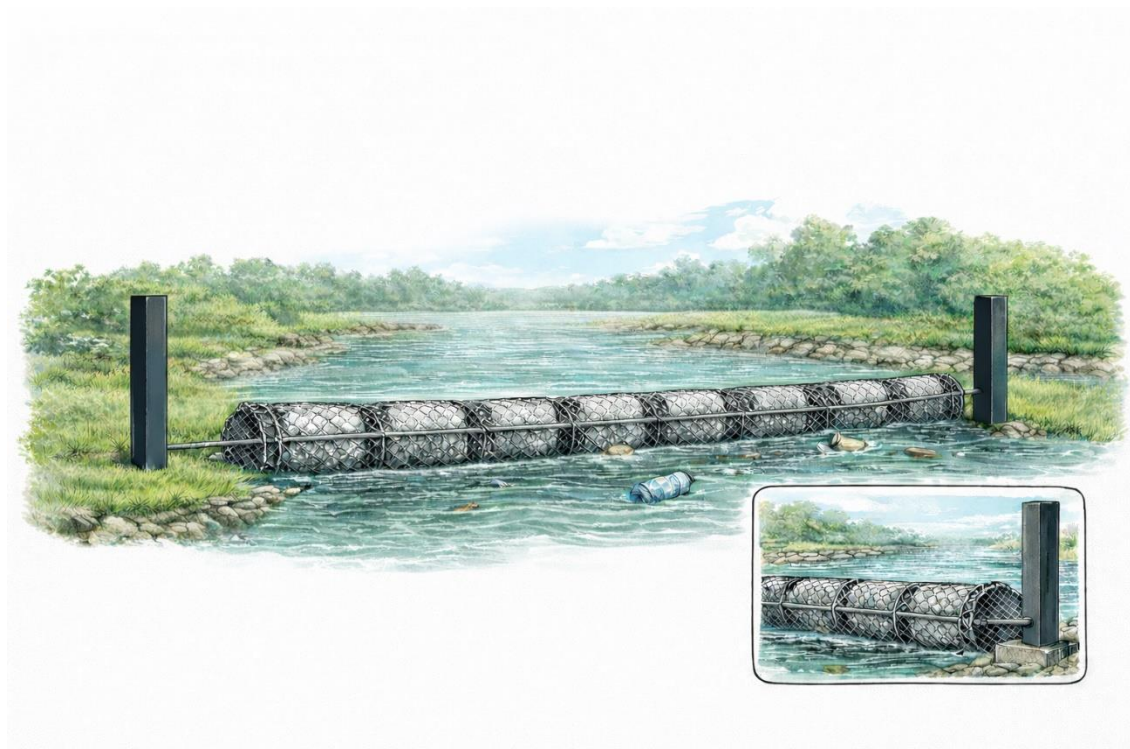
No que se refere ao tamanho das estruturas, a ecobarreira localizada no município de Arandu apresenta uma extensão de 2,60 m. Em Avaré, a ecobarreira possui 6,05 m de comprimento e foi instalada no Ribeirão Lajeado. Já em Itaí, a estrutura tem 7,78 m de extensão e foi instalada no Ribeirão dos Carrapatos.

As ecobarreiras foram construídas a partir da utilização de galões plásticos de 20 litros, revestidos com tela de arame revestido com PVC de alta aderência de 16 mm, fixados por meio de arame galvanizado mole nº 16 e abraçadeiras de *nylon Hellermann Original T-120*.

O processo de construção e implantação das estruturas foi realizado integralmente manualmente, com o auxílio de ferramentas simples, como alicates, chaves de fenda, entre outros instrumentos.

Na Figura 7, apresenta-se uma ilustração do método construtivo adotado para a implantação das ecobarreiras.

Figura 7. Representação de um sistema de ecobarreiras



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A funcionalidade das estruturas consiste na interceptação e retenção de resíduos sólidos flutuantes transportados pelo curso d'água, que permanecem acumulados junto à ecobarreira até o momento da coleta.

Para garantir a estabilidade e a resistência estrutural frente à dinâmica hidráulica do curso d'água, especialmente em períodos de elevados índices pluviométricos, a fixação da ecobarreira no leito do rio foi realizada por meio de duas bases confeccionadas em tubos de *metalon* galvanizado 15 cm por 15 cm por 1,20m, ancoradas a 1,5m de profundidade no solo e interligadas por um cabo de aço galvanizado 5/16 mm.

O cabo de aço foi disposto entre a tela de alambrado e os galões plásticos, conferindo maior sustentação à estrutura e reduzindo o risco de rompimento decorrente do aumento da velocidade da corrente.

As ecobarreiras foram implantadas de forma transversal em relação ao fluxo do curso d'água, estratégia adotada para direcionar os resíduos sólidos flutuantes em direção às margens, facilitando sua remoção manual com o auxílio de um paçaguá, um acessório de pesca com cabo e uma rede na ponta, usado para remover os resíduos retidos nas ecobarreiras, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8. Direcionamento do resíduo flutuante para as margens e coleta com paçaguá na ecobarreira de Arandu – SP.



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

As coletas dos resíduos sólidos flutuantes foram realizadas duas vezes por semana, às segundas-feiras e sextas-feiras, com o objetivo de mensurar os resíduos acumulados ao longo dos dias úteis (coletados às sextas-feiras) e os provenientes do período de final de semana (coletados às segundas-feiras).

A cada 15 dias, procedeu-se à repetição sistemática do ciclo de coleta, totalizando 32 coletas no período de 19 de julho de 2024 a 24 de março de 2025.

Para a pesagem dos resíduos orgânicos coletados, utilizou-se uma balança digital com plataforma, modelo DP300 (110 V), com capacidade máxima de 300 kg, onde os resíduos foram dispostos na plataforma metálica. Os resíduos recicláveis, tais como plásticos e isopor, tiveram seus pesos estimados com base nos valores de referência estabelecidos por relatórios técnicos do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) para embalagens plásticas.

Todos os dados obtidos foram sistematizados em planilha do Excel, contendo as seguintes informações: data da coleta, quantidade de resíduos (kg) e tipificação dos materiais coletados.

Após a etapa de mensuração, os resíduos recicláveis foram encaminhados às associações de reciclagem dos respectivos municípios, enquanto os resíduos considerados inaproveitáveis foram destinados ao aterro sanitário municipal ou à estação de transbordo de resíduos, conforme a infraestrutura disponível em cada localidade.

Para a realização das análises estatísticas dos valores obtidos referentes a resíduos sólidos flutuantes, os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), seguida da aplicação do teste de comparações múltiplas de Tukey, adotando-se nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

A escolha da ANOVA justifica-se por sua adequação à comparação simultânea das médias entre múltiplos grupos amostrais, permitindo verificar diferenças estatisticamente significativas na quantidade de resíduos flutuantes coletados ao longo do período avaliado, identificando padrões temporais e possíveis influências sazonais na dinâmica de acúmulo desses materiais nos cursos d'água monitorados.

Deste modo, procedeu-se à aplicação do teste de Tukey a 5% , com o objetivo de identificar especificamente quais médias mensais diferiram entre si e por seu caráter conservador e robusto em comparações múltiplas, assegurando maior confiabilidade na interpretação das diferenças observadas.

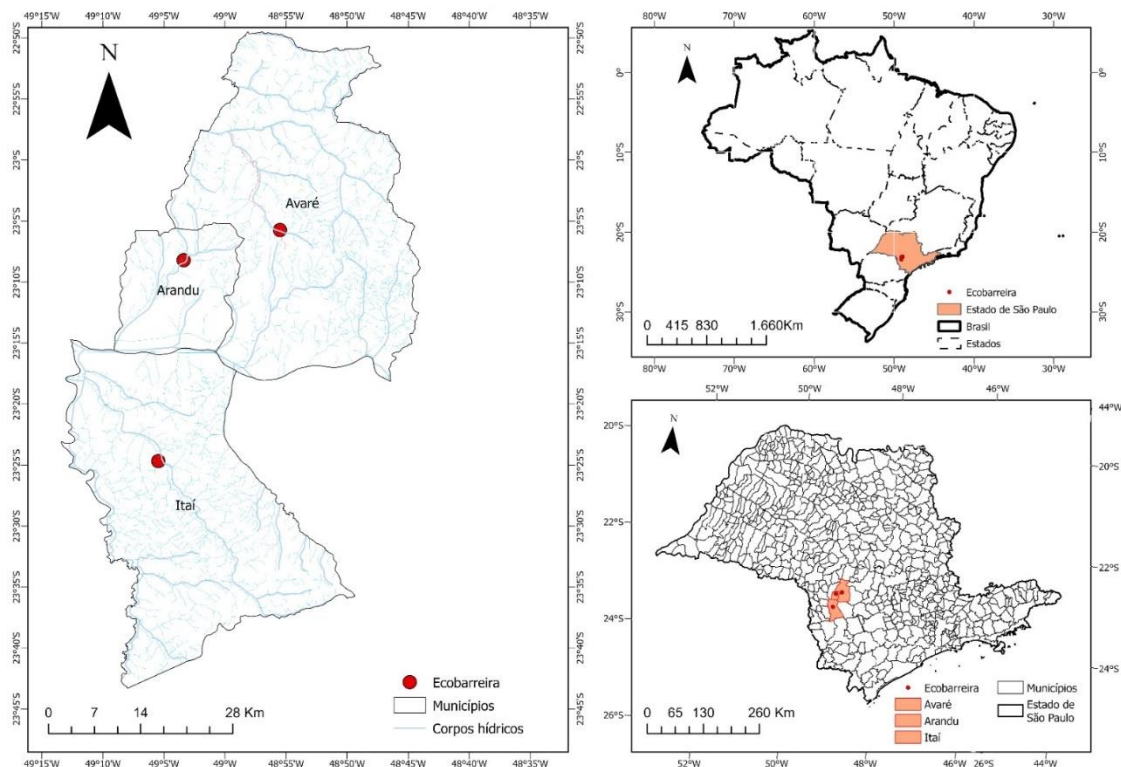
3.5 Mapa de uso e cobertura

Os mapeamentos de uso e cobertura do solo nas áreas de estudo foram realizados por meio da digitalização em tela de imagens orbitais provenientes do sensor PAN (câmera pancromática e multiespectral) do satélite Sentinel-2, com data de passagem em 10 de novembro de 2024.

As imagens foram obtidas do portal *Copernicus Open Access Hub* e submetidas a procedimentos de correção radiométrica e geométrica, assegurando maior precisão espacial e confiabilidade na interpretação dos alvos.

A vetorização das classes de uso e cobertura do solo foi realizada no software QGIS, considerando uma área de influência definida por um raio de 2 km no entorno de cada ecobarreira distribuída na UGRHI – 14 (Figura 9).

Figura 9. Localização das ecobarreiras dispostas nos municípios Arandu, Avaré e Itai, estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Esse recorte espacial permite contemplar tanto as fontes potenciais de aporte de resíduos, oriundas da ocupação urbana e da infraestrutura viária, quanto áreas de amortecimento e proteção ambiental, como fragmentos de vegetação nativa, que podem desempenhar papel relevante na retenção de sedimentos e na mitigação de impactos difusos.

A definição das classes mapeadas em áreas urbanas, rodovias e estradas, florestas nativas, praças, áreas agrícolas e pastagens teve como objetivo representar os principais usos e coberturas do solo com influência direta ou indireta sobre os corpos d'água nos quais foram instaladas as ecobarreiras.

As estradas são áreas de circulação que favorecem o carreamento de resíduos pelo escoamento superficial, enquanto as florestas apresentam cobertura vegetal contínua e desempenham papel fundamental na proteção dos corpos hídricos.

As praças, são espaços públicos urbanos, que podem contribuir para a geração e o descarte inadequado de resíduos sólidos.

A área urbana caracteriza-se pela elevada impermeabilização e intensa atividade antrópica, com alto potencial de geração de resíduos, e as áreas de agropecuária estão associadas a processos de escoamento difuso, com aporte de sedimentos e materiais orgânicos aos cursos d'água.

Dessa forma, o conjunto de classes selecionadas possibilitou uma caracterização integrada do contexto territorial, permitindo analisar de forma consistente a relação entre o uso e a cobertura do solo, a pressão antrópica exercida sobre os corpos hídricos e o desempenho das ecobarreiras enquanto estratégia de mitigação do aporte de resíduos sólidos flutuantes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

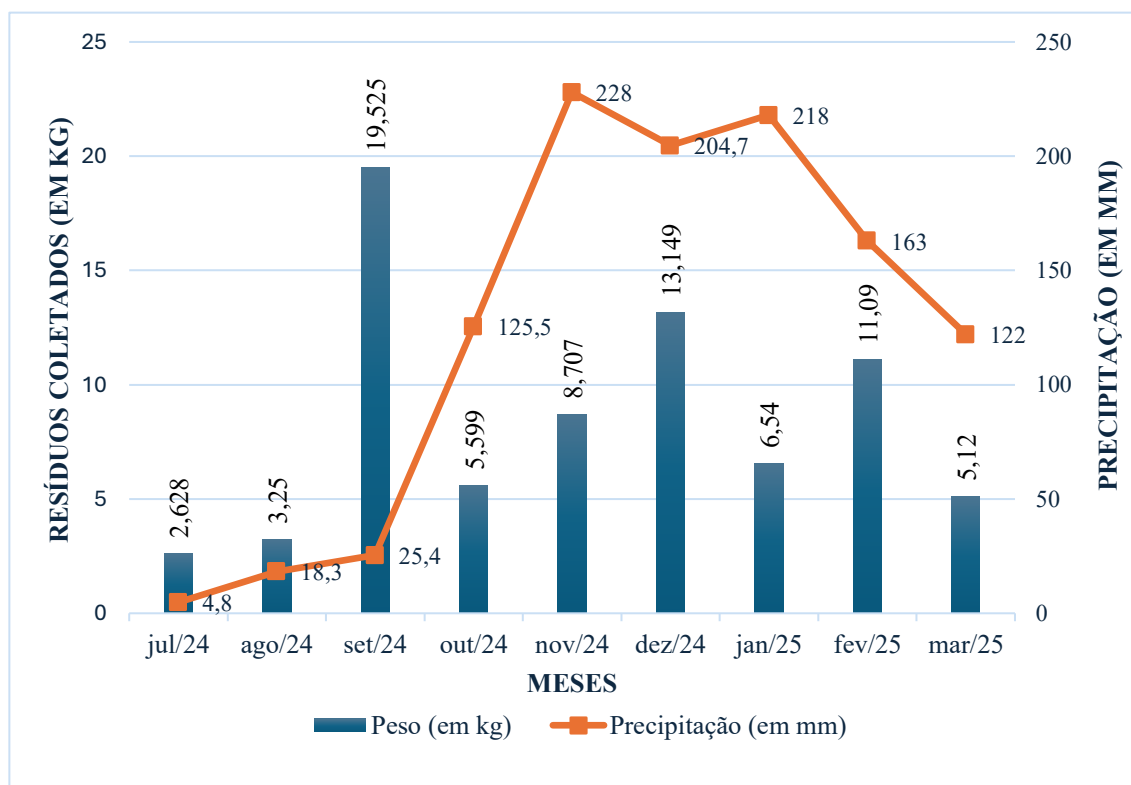
4.1 Resíduos sólidos flutuantes coletados

No município de Arandu (SP), os valores observados ao longo do período analisado evidenciaram a influência do regime pluviométrico sobre o aporte de resíduos flutuantes no curso d'água monitorado, embora essa relação não se apresente linearmente.

Esse conjunto de resultados reforçou que, em Arandu, a precipitação atuou como fator determinante no transporte de resíduos, mas sua influência foi modulada por condições locais e temporais, evidenciando a complexidade da dinâmica entre os processos hidrológicos e a pressão antrópica sobre os ecossistemas aquáticos.

Na Figura 10 apresenta-se os valores obtidos da quantidade mensal de resíduos coletados (kg/mês) e precipitação acumulada (mm) no município de Arandu (SP)

Figura 10. Relação entre a quantidade de resíduos coletados (kg/mês) e precipitação (mm) no município de Arandu - SP



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Nos dois meses iniciais do período analisado, observou-se baixa precipitação, de 4,8 mm e 18,3 mm, respectivamente, associada a menores quantidades de resíduos

coletados, de 2,63 kg e 3,25 kg, respectivamente. Esse comportamento indicou que, em períodos de estiagem ou baixa chuva, o transporte de resíduos para o sistema hídrico é limitado, ocorrendo predominantemente por descarte direto, sem contribuição significativa do escoamento superficial.

Em setembro de 2024, destacou-se um aumento expressivo na quantidade de resíduos coletados, alcançando 19,525 kg, mesmo com precipitação ainda relativamente baixa, de 25,4 mm. Esse resultado sugeriu um efeito de acúmulo prévio de resíduos durante o período seco, seguido de sua mobilização inicial com as primeiras chuvas mais consistentes da transição para o período chuvoso.

Esses resultados estão de acordo com os de Kuntz (2021), que descreveram esse comportamento como característico do fenômeno conhecido como primeira descarga (*first flush*) no qual resíduos acumulados ao longo do tempo foram carreados de forma concentrada para os corpos d'água durante eventos de precipitação mais intensos.

A partir de outubro de 2024, com o aumento significativo da precipitação pluviométrica, que atingiu 125,5 mm em outubro e 228 mm em novembro, observou-se um incremento gradual na massa de resíduos coletados, atingindo 8,707 kg em novembro, indicando maior mobilização de resíduos em função do volume de chuva.

De forma semelhante, os resultados estão de acordo com os de Forgiarini (2018), que registraram elevadas quantidades de resíduos sólidos acumulados, atingindo 51,2 kg na Ecobarreira 1 e 30,1 kg na Ecobarreira 2, associadas a uma precipitação pluviométrica de 110 mm. Segundo o autor, esse volume de chuva foi determinante para o carreamento de materiais previamente disponíveis na superfície da área de contribuição, promovendo o transporte desses resíduos para o curso hídrico.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçaram evidências previamente descritas na literatura acerca da influência da precipitação pluviométrica na mobilização e no aporte de resíduos sólidos aos sistemas fluviais, especialmente em contextos urbanos.

Em dezembro de 2024, mesmo com leve redução da precipitação, que atingiu 204,7 mm, e com a quantidade de resíduos coletados alcançando 13,149 kg, indicou-se que o sistema ainda respondeu ao elevado volume de chuvas acumulado nos meses anteriores.

Esse comportamento reforçou a ideia de que o aporte de resíduos não depende exclusivamente da chuva mensal isolada, mas também do histórico pluviométrico recente e da capacidade do ambiente urbano de armazenar resíduos temporariamente.

No mês de janeiro de 2025, apesar da elevada precipitação registrada, que atingiu 218 mm, observou-se uma redução na quantidade de resíduos coletados, que atingiu 6,54 kg. Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento significativo da vazão e da velocidade do escoamento no curso d'água durante eventos de chuvas mais intensas, o que tende a dificultar a retenção e a eficiência na coleta de resíduos pelas ecobarreiras.

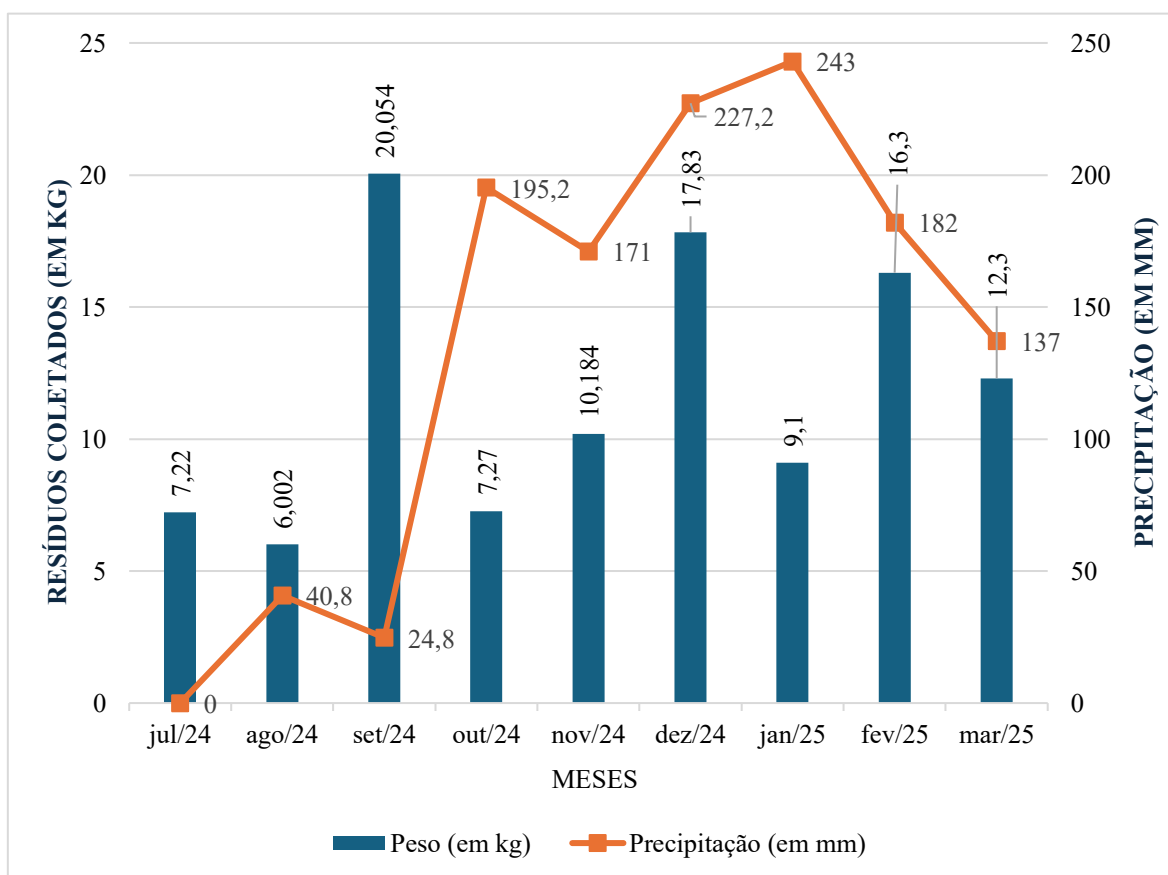
Em condições de maior energia hidráulica, parte dos resíduos foi transportada rapidamente pelo sistema, ultrapassando os dispositivos de contenção ou permanecendo submersa, reduzindo o volume efetivamente coletado.

Esses resultados estão de acordo com os de Elliff et al. (2025), em que barreiras para interceptar resíduos flutuantes foram amplamente empregadas para reter resíduos sólidos em sistemas fluviais, mas a sua eficácia operacional dependeu fortemente das condições hidrológicas locais, pois foi reduzida em cenários de altas vazões ou energia hidráulica, quando os detritos ultrapassaram os limites das estruturas.

Em fevereiro de 2025, verificou-se novo aumento na massa de resíduos alcançando 11,09 kg, mesmo com a redução da precipitação que atingiu 163 mm, seguido por uma queda que ocorreu em março, onde a chuva atingiu 122 mm e a quantidade de resíduos 5,12 kg. Esse comportamento reforçou a presença de um padrão no qual eventos pluviométricos ocorridos em períodos anteriores influenciaram a resposta do sistema nos meses subsequentes, não se observando uma correspondência imediata e proporcional entre a precipitação e a quantidade de resíduos coletados.

Já no município de Avaré, verificou-se uma relação entre a quantidade mensal de resíduos flutuantes coletados e a precipitação acumulada, o que evidenciou uma dinâmica hidrológica e antrópica complexa, marcada por variações sazonais e respostas não lineares do sistema de drenagem urbana.

Figura 11. Relação entre a quantidade de resíduos coletados (kg/mês) e precipitação (mm) no município de Avaré- SP



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No primeiro mês do período analisado, verificou-se ausência de precipitação, enquanto, no segundo mês, o volume pluviométrico registrado foi de 40,8 mm. Embora ambos os meses sejam caracterizados por baixos índices pluviométricos, observou-se, ainda assim, a coleta de 7,22 kg e 6,002 kg de resíduos, respectivamente, indicando a ocorrência de aporte de materiais flutuantes mesmo sob condições de baixa precipitação.

Mesmo sob condições de baixa precipitação, a presença de volumes expressivos de resíduos indicou a ocorrência de descarte direto no curso d'água ou em suas margens, associada à dinâmica urbana e à ausência de contenção eficaz durante o período seco, o que favoreceu o acúmulo progressivo de materiais.

Esses resultados estão de acordo com Milaneze et al. (2022), que, mesmo sob condições de baixa precipitação, a presença de volumes significativos de resíduos indicou a ocorrência de descarte direto no curso d'água ou em suas margens, associada à dinâmica urbana e à ineficiência dos mecanismos de contenção durante o período seco, o que favoreceu o acúmulo progressivo de materiais.

Em setembro de 2024, registrou-se um aumento significativo na massa de resíduos coletados, atingindo 20,054 kg, mesmo diante de precipitação relativamente baixa de 24,8 mm. Esse resultado sugeriu a mobilização de resíduos previamente acumulados durante o período de estiagem, caracterizando um efeito de liberação concentrada, típico dos eventos iniciais de chuva após períodos secos prolongados.

Evidenciou-se que o volume de resíduos transportados não esteve condicionado exclusivamente à magnitude da precipitação mensal, mas também ao histórico de acúmulo no ambiente urbano.

A partir de outubro de 2024, com a intensificação do regime pluviométrico, quando foram registrados 195,2 mm de precipitação no mesmo mês e 171 mm em novembro, observou-se um aumento progressivo na quantidade de resíduos coletados, atingindo 7,27 kg e 10,184 kg, respectivamente. Esse padrão indicou que chuvas mais frequentes e de intensidade moderada favoreceram a mobilização contínua dos resíduos, permitindo maior eficiência de retenção pelas ecobarreiras, sem que houvesse aumento excessivo da velocidade do escoamento.

O maior volume de resíduos foi registrado em dezembro de 2024, quando foram coletados 17,83 kg, associado a uma elevada precipitação de 227,2 mm, o que evidenciou um período de maior aporte de resíduos ao sistema hídrico.

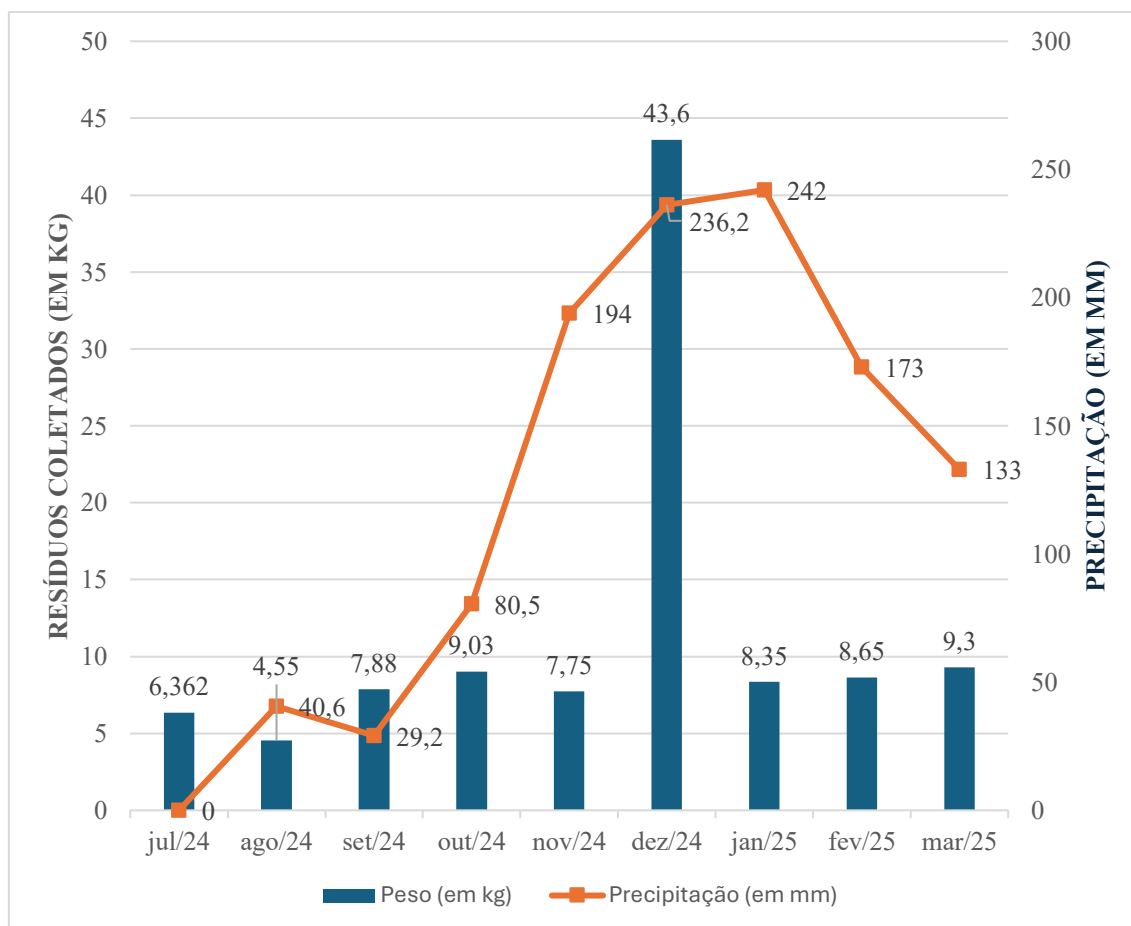
Em janeiro de 2025, apesar de ter sido registrado o maior índice pluviométrico do período, com 243 mm, observou-se uma redução na quantidade de resíduos coletados, que atingiu 9,10 kg. Esse comportamento pôde ser explicado pelo aumento da vazão e da energia hidráulica do curso d'água, fatores que tenderam a reduzir a eficiência de captura dos resíduos devido à maior velocidade do escoamento e ao transporte mais rápido do material ao longo do sistema.

Em fevereiro de 2025, mesmo com a redução da precipitação, que totalizou 182 mm, a quantidade de resíduos coletados voltou a aumentar, alcançando 16,3 kg, reforçando a influência de eventos pluviométricos mais bem distribuídos ao longo do mês. Esses eventos promoveram a mobilização gradual dos resíduos e aumentaram o tempo de permanência dos materiais na lâmina d'água.

Em março de 2025, a diminuição simultânea da precipitação, que atingiu 137 mm, e da massa de resíduos coletados, que atingiu 12,30 kg, indicou uma redução tanto no aporte quanto na capacidade de transporte do sistema.

Já no município de Itaí, a relação entre a quantidade mensal de resíduos flutuantes coletados e a precipitação acumulada evidenciou um padrão altamente sazonal e assimétrico, com forte influência do regime pluviométrico, mas com respostas não lineares do sistema hídrico urbano.

Figura 12. Relação entre a quantidade de resíduos coletados (kg/mês) e precipitação (mm) no município Itaí -SP



Fonte: Adaptado de SP Águas

Em julho, verificou-se a ausência de precipitação. Em agosto de 2024, foi registrado um volume acumulado de 40,6 mm de chuva. Nesse intervalo, a quantidade total de resíduos coletados foi de 6,362 kg em julho e 4,55 kg em agosto, respectivamente.

Esses valores indicaram a presença de aporte contínuo de resíduos mesmo em condições de estiagem, associado ao descarte direto e ao acúmulo progressivo de materiais no leito e nas margens do curso d'água, comportamento típico de áreas urbanas que apresentaram fragilidades na gestão de resíduos sólidos.

Em setembro de 2024, com precipitação ainda baixa (29,2 mm), verificou-se um aumento discreto na massa de resíduos coletados (7,88 kg), sugerindo o início da mobilização de resíduos acumulados durante o período seco. Esse comportamento torna-se mais evidente em outubro de 2024, quando a precipitação aumenta para 80,5 mm e a massa de resíduos coletados atinge 9,03 kg, indicando uma resposta gradual do sistema à intensificação das chuvas.

No mês de novembro de 2024, verificou-se uma mudança significativa na dinâmica do sistema, com a ocorrência de precipitação elevada, de 194 mm, associada à coleta de 7,75 kg de resíduos. Apesar do aumento expressivo da chuva, o volume coletado não apresentou crescimento proporcional, sugerindo a influência do aumento da vazão e da velocidade do escoamento, o que reduziu temporariamente a eficiência de retenção dos resíduos.

O evento mais expressivo ocorreu em dezembro de 2024, quando se registrou a maior quantidade de resíduos coletados de todo o período analisado, 43,6 kg, associada a uma elevada precipitação de 236,2 mm.

Esses resultados estão de acordo com os de Hoerner et al. (2025), em que os resíduos se relacionaram ao seu carreamento proveniente de áreas urbanas e periurbanas, intensificado por chuvas frequentes e volumosas, distribuídas ao longo do mês, o que favoreceu tanto a mobilização quanto a retenção dos materiais pelas ecobarreiras.

Nos meses subsequentes, fevereiro e março de 2025, a redução gradual da precipitação, atingindo 173 mm e 133 mm, respectivamente, foi acompanhada por relativa estabilidade nos valores de resíduos coletados, que atingiram 8,65 kg e 9,30 kg, respectivamente. Esse padrão indicou um regime mais equilibrado de mobilização e retenção de resíduos no sistema.

A avaliação dos dados foi realizada com base nas estatísticas descritivas, na análise de variância (ANOVA), no teste de Tukey a 5% e na análise dos gráficos mensais de resíduos e de precipitação, referentes aos municípios de Arandu, Avaré e Itaí.

Considerando a dinâmica temporal de geração, transporte e retenção de resíduos flutuantes nos cursos d'água monitorados, observaram-se diferenças numéricas entre as médias dos tratamentos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Valores estatísticos (Teste Tukey 5%) das coletas de resíduos nos municípios Arandu, Avaré e Itaí, estado de São Paulo

Município	Média	Variância	Desvio-Padrão	Erro Padrão da Média
Arandu	2,3628a	7,4381	2,7273	0,4821
Avaré	3,3206a	10,6031	3,2562	0,5756
Itaí	3,2960a	16,4778	4,0592	0,7175

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O município de Arandu apresentou a menor média de resíduos coletados (2,36), além dos menores valores de variância (7,44) e desvio padrão (2,73) entre os municípios analisados.

Esse conjunto de indicadores estatísticos indica um comportamento mais estável, com menor dispersão em torno da média, sugerindo que o aporte de resíduos no curso d'água ocorreu de forma relativamente menos irregular ao longo do período monitorado.

A predominância de valores baixos a moderados, intercalados por poucos eventos extremos, está em consonância com o que a literatura descreve em áreas de menor grau de urbanização e menor pressão antrópica, nas quais a geração de resíduos tende a ser mais difusa e menos episódica. Os eventos extremos observados estiveram, em geral, associados à mobilização de resíduos acumulados durante períodos secos ou a episódios pontuais de precipitação, mecanismo amplamente reportado em estudos que relacionam chuvas intensas ao aumento do transporte de resíduos flutuantes.

Já o município de Avaré, apresentou a maior média de resíduos (3,32), acompanhada por valores intermediários de variância (10,60) e desvio padrão (3,26). Esse padrão sugere um sistema com maior carga média de resíduos flutuantes, possivelmente associado a um maior adensamento urbano e à intensificação das atividades antrópicas na área de drenagem, conforme discutido na literatura sobre o uso e a ocupação do solo. A variabilidade moderada observada indica que, embora haja um aporte mais elevado de resíduos, sua ocorrência apresenta certa regularidade temporal, refletindo a influência combinada da urbanização e dos regimes de precipitação sobre a dinâmica de geração e transporte desses resíduos.

Em Itaí, observou-se média de resíduos próxima à registrada em Avaré, com valor de 3,30. Contudo, o município apresentou os maiores valores de variância (16,48) e de desvio padrão (4,06) entre os analisados. Esse conjunto de indicadores estatísticos evidenciou um comportamento marcadamente disperso, caracterizado por elevada

heterogeneidade temporal e maior instabilidade na ocorrência dos resíduos ao longo do período monitorado.

A análise conjunta com a Figura 12 evidenciou a ocorrência de eventos extremos de coleta, sobretudo em meses com elevada precipitação acumulada, indicando que o sistema em Itaí se mostrou mais suscetível a episódios intensos de aporte de resíduos.

Esse padrão sugeriu a influência de fatores como menor capacidade de infraestrutura urbana e de serviços de coleta, associada a um maior potencial de acúmulo e posterior mobilização dos materiais, especialmente durante eventos pluviométricos mais intensos, conforme amplamente descrito na literatura sobre dinâmica hidrológica e transporte de resíduos em áreas urbanizadas de menor porte.

Referente à comparação das médias de resíduos sólidos flutuantes coletados por município, por meio do teste de Tukey a 5% de significância, observou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre Arandu, Avaré e Itaí.

Esse resultado confirmou os resultados da análise de variância e reforçou que, do ponto de vista estatístico, os municípios apresentaram comportamento semelhante quanto à quantidade média de resíduos coletados.

Referente à análise de variância (Tabela 4), observou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos avaliados, correspondentes aos municípios de Arandu, Avaré e Itaí, ao nível de 5% de significância, uma vez que o valor de F foi igual a 0,83 e o p-valor obtido foi de 0,4396.

Tabela 4. Valores obtidos através da ANOVA dos municípios Arandu, Avaré e Itaí, estado de São Paulo

Parâmetro	Valor
GL Tratamentos	2
GL Resíduo	93
SQ Tratamentos	19,0836
SQ Resíduo	1070,0920
QM Tratamentos	9,5418
QM Resíduo	11,5064
F calculado	0,83
p-valor	0,4396
Significância	Não significativo (NS)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O baixo valor do F, em relação ao quadrado médio do resíduo, indicou que a variabilidade interna dos municípios foram substancialmente maior do que a variabilidade atribuída às diferenças entre eles.

A variável analisada apresentou maior heterogeneidade intramunicipal do que intermunicipal, indicando que, de modo geral, os municípios apresentam comportamento semelhante, enquanto as variações ocorrem predominantemente dentro de cada município.

A ausência de significância estatística sugeriu que, sob a ótica estritamente estatística, os três municípios apresentaram magnitudes médias semelhantes de resíduos coletados ao longo do período avaliado.

No entanto, esse resultado foi interpretado com cautela, uma vez que a elevada variabilidade dos dados, característica típica de estudos ambientais, tendeu a reduzir o poder discriminatório da ANOVA, dificultando a detecção de diferenças entre os tratamentos.

Ainda que a análise de variância não tenha indicado diferenças estatisticamente significativas entre os municípios, observou-se que Arandu apresentou menor variabilidade nos valores de resíduos coletados ao longo do período analisado. Em contraste, Avaré apresentou valores mais elevados, enquanto Itai demonstrou maior heterogeneidade, refletida por oscilações mais acentuadas e episódios pontuais de aumento da variável.

Assim, os resultados demonstraram que a poluição por resíduos flutuantes em cursos d'água urbanos apresentou caráter altamente variável e episódico, sendo influenciada por fatores hidrológicos e antrópicos que atuaram de forma pontual.

Esses resultados estão de acordo com os de Emmerik et al. (2024), que demonstraram que o transporte de resíduos flutuantes em rios apresentou grande variação espacial e temporal, respondendo fortemente aos eventos hidrológicos, com aumentos significativos durante descargas de pico, indicando que tanto fatores hidrológicos quanto atividades humanas influenciaram a dinâmica de resíduos flutuantes nos cursos de água.

Entretanto, o elevado coeficiente de variação (CV) de 113,33% evidenciou uma variabilidade extremamente alta dos dados, característica comum em estudos ambientais que envolveram processos difusos e fortemente influenciados por eventos hidrológicos. Essa elevada dispersão indicou que os valores de resíduos coletados apresentaram

grandes oscilações entre as coletas, reduzindo a sensibilidade do teste estatístico para detectar diferenças entre os tratamentos.

O resultado obtido pelo coeficiente de variação (CV) está de acordo com o estudo de Dordrecht (1999), no qual o autor mencionou que foi comum observar valores de CV elevados, frequentemente na faixa de 30% a 100% ou mais, refletindo a grande variabilidade inerente aos dados ambientais coletados em campo, especialmente quando as amostragens foram realizadas em diferentes períodos e sob condições hidrológicas e antrópicas variáveis.

Dessa forma, os achados deste estudo reforçaram evidências previamente descritas na literatura onde a amplitude do coeficiente de variação indicou que os dados apresentaram alta dispersão em relação às médias, sendo uma característica esperada em monitoramentos ambientais, nos quais fatores naturais e antrópicos contribuíram para variações significativas nas medições, como parâmetros físico-químicos, biológicos ou de resíduos.

Do ponto de vista ambiental, a ausência de diferenças estatisticamente significativas não implicou homogeneidade nos processos que governaram a geração e o transporte dos resíduos.

Conforme observado nas análises temporais, cada município apresentou dinâmicas distintas de acúmulo, mobilização e retenção de resíduos, condicionadas por fatores como o uso e a ocupação do solo, a intensidade e a distribuição das chuvas, além das características hidrodinâmicas dos cursos d'água.

Assim, os resultados do Teste de Tukey reforçaram que a média isolada não foi suficiente para explicar a complexidade do fenômeno, sendo indispensável a interpretação conjunta com a estatística descritiva e com os gráficos temporais.

Embora Arandu, Avaré e Itaí não tenham se diferenciado estatisticamente entre si, a elevada variabilidade interna e o caráter episódico do aporte de resíduos exigiram abordagens de gestão ambiental específicas e adaptadas à realidade de cada município.

A correlação entre os dados de resíduos e precipitação evidenciou o papel determinante da chuva no transporte de resíduos flutuantes, cuja magnitude variou em função da intensidade, da duração e da distribuição temporal dos eventos pluviométricos.

Situação semelhante foi observada no estudo de Ferreira et al. (2024), no qual os resíduos capturados pela ecobarreira foram transportados pelas fortes chuvas associadas ao elevado volume das águas do rio Igarapé do Coroadó, em Manaus, Amazonas.

Chuvas mais espaçadas, prolongadas e de menor intensidade favoreceram a mobilização gradual e a retenção dos resíduos pelas ecobarreiras, enquanto eventos de alta intensidade promoveram aumento da vazão e da velocidade do escoamento, reduzindo a eficiência de captura e intensificando o transporte dos materiais ao longo do sistema fluvial.

Esses resultados estão de acordo com os de Funes et al. (2025), que mostraram que eventos de cheia e descargas hidrológicas intensas aumentaram significativamente o transporte de resíduos plásticos em rios, enquanto períodos com menor intensidade de chuva e de escoamento favoreceram a retenção e o acúmulo em estruturas e margens fluviais.

A mitigação da poluição difusa por resíduos sólidos em ambientes urbanos demandou abordagens integradas que consideraram as particularidades de cada município, aliando ações estruturais, o aprimoramento da drenagem urbana e o fortalecimento de políticas de educação ambiental.

Os resultados estão de acordo com os de Pereira (2024), segundo os quais a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos requer a combinação de ações estruturais, políticas públicas eficientes e participação da sociedade, de modo a enfrentar, de forma sustentável, os desafios ambientais e sociais decorrentes da geração e do manejo desses resíduos em contextos urbanos.

Em síntese, os resultados evidenciaram que a dinâmica dos resíduos flutuantes em ambientes urbanos apresentou elevada complexidade e variabilidade, fortemente condicionada por fatores hidrológicos, antrópicos e territoriais.

A análise integrada dos dados estatísticos e temporais demonstrou que a compreensão do fenômeno extrapolou a interpretação de médias isoladas, reforçando a necessidade de estratégias de gestão ambiental adaptadas às especificidades locais e fundamentadas em abordagens integradas, capazes de mitigar de forma mais eficaz a poluição difusa por resíduos sólidos nos sistemas urbanos

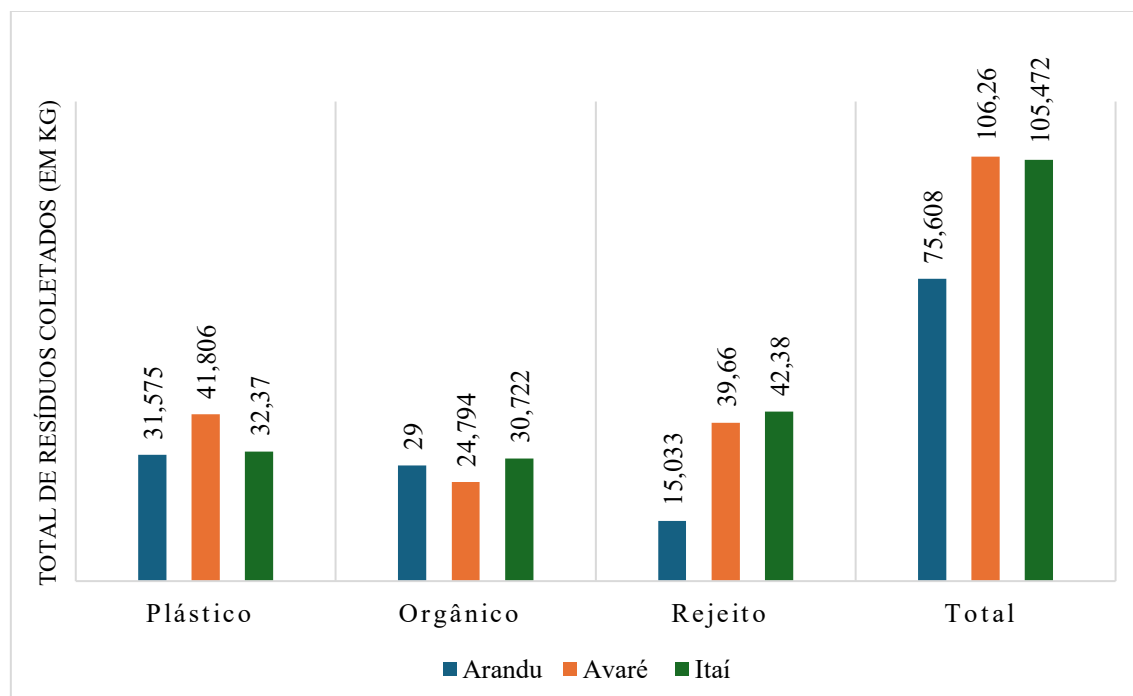
4.2 Composição gravimétrica

A composição gravimétrica dos resíduos coletados nos municípios de Arandu, Avaré e Itaí, apresentados na Figura 13, evidenciou diferenças tanto na quantidade total quanto na distribuição por tipologia.

Observou-se que, nos três municípios, os resíduos plásticos representaram a maior fração em massa em relação aos demais resíduos, indicando a predominância desse tipo de material nos cursos d'água monitorados, especialmente pela sua fluviabilidade.

Avaré e Itaí apresentaram os maiores valores totais de resíduos coletados, enquanto Arandu registrou a menor carga total, o que refletiu dinâmicas distintas de geração, descarte e transporte de resíduos. Essas diferenças sugeriram a influência de fatores locais, como o uso e a ocupação do solo, as características urbanas e hidrológicas, além do comportamento antrópico, sobre a composição e a quantidade de resíduos que atingiram os sistemas fluviais.

Figura 13. Composição gravimétrica dos resíduos coletados de Arandu, Avaré e Itaí, Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A comparação entre os três municípios possibilitou uma leitura integrada do cenário regional, auxiliando na compreensão das particularidades locais na gestão de resíduos sólidos.

O município de Avaré apresentou o maior volume de resíduos plásticos, com 41,806 kg, seguido por Itaí, com 32,37 kg, e Arandu, com 31,575 kg.

A maior participação desse material em Avaré pôde ser associada à maior densidade urbana e à intensidade das atividades comerciais, nas quais o uso de embalagens descartáveis foi mais frequente. O mesmo padrão foi observado no estudo de Kumar et al. (2025), que descreveram que, em zonas mais densas e com maior presença de áreas comerciais e mistas, há maiores concentrações de resíduos sólidos urbanos descartados incorretamente, especialmente de resíduos plásticos.

Os resíduos plásticos corresponderam a 36,80% do total coletado, totalizando 105,751 kg, o que configura a maior fração de material retido. Esses resíduos foram, em geral, descartados nas proximidades dos pontos monitorados ou carreados pelas águas superficiais provenientes das precipitações.

Além do descarte realizado no entorno imediato, os resíduos plásticos foram facilmente transportados pelas galerias de drenagem pluvial, em razão de suas características físicas, como baixa densidade e elevada fluotabilidade, o que favoreceu sua mobilização e aporte aos cursos d'água.

Os resultados estão de acordo com os de Werbowski et al. (2021), em que o escoamento das águas das chuvas em áreas urbanas foi identificado como uma via para o transporte de microplásticos e outros detritos antropogênicos para ambientes aquáticos, por meio do carreamento de partículas plásticas de superfícies impermeáveis, por sistemas de drenagem, até cursos d'água.

Quanto aos resíduos orgânicos, observou-se um padrão distinto, em que Itaí apresentou o maior peso coletado, com 30,722 kg, seguido por Arandu, com 29 kg e Avaré, com 24,794 kg, totalizando 84,516 kg, o que corresponde a 29,42% do total.

Já em relação aos rejeitos coletados, Itaí apresentou o maior valor com 42,38 kg, seguidos de Avaré com 39,66 kg e Arandu com 15,033 kg, representando 33,78% do total. Esse percentual significativo indica que cerca de um terço dos resíduos interceptados não possui viabilidade de reaproveitamento, sendo classificados como rejeitos.

A maior concentração em Avaré e Itaí pode estar associada a fatores como maior geração urbana e menor segregação na origem.

Esse comportamento, baseado nos resultados da coleta de resíduos sólidos flutuantes, sugeriu a influência de fontes difusas associadas a áreas urbanas e periurbanas, como o descarte de restos alimentares, resíduos de feiras, material vegetal e outros

resíduos não recicláveis, além do carreamento por escoamento superficial durante eventos pluviométricos.

Com relação ao total de resíduos coletados, Avaré alcançou 106,26 kg e Itaí, 105,47 kg, valores muito próximos entre si e superiores aos registrados em Arandu, que totalizou 75,61 kg. Esse resultado demonstrou uma diferença expressiva no porte dos municípios, tendo em vista que Itaí é aproximadamente quatro vezes menor que Avaré, com diferença de apenas 0,79 kg.

Arandu, por sua vez, embora tenha apresentado menor peso, manteve proporção significativa de resíduos plásticos, evidenciando que mesmo municípios de menor porte não estão isentos dos impactos do descarte inadequado.

Os resultados indicaram que a fração orgânica, composta por resíduos sólidos domiciliares não recicláveis, foi predominante em todos os municípios, o que evidencia a relevância da poluição difusa associada ao manejo inadequado desses resíduos. Ao mesmo tempo, a expressiva presença de plástico evidenciou a persistência de resíduos de longa duração no ambiente aquático, com potencial de impactos ecotoxicológicos e de comprometimento da qualidade ambiental.

Os resultados obtidos estão de acordo com os resultados de Santos (2022), no qual o plástico foi a fração predominante nos dois modelos de ecobarreira avaliados, correspondendo a 58% do total de resíduos coletados, com retenção majoritária de sacolas, embalagens e rótulos de alimentos. Essa diferença pôde ser atribuída, às características do local de instalação das ecobarreiras naquele estudo, uma vez que o trecho analisado integra a Universidade Federal do Pará, onde há grande circulação de alunos, funcionários e pedestres que consomem no comércio local.

Observa-se na Figura 13 uma coleta em andamento no Córrego Barreiro, em Arandu, e seus respectivos resíduos removidos, onde se evidencia a predominância de resíduos de origem domiciliar, especialmente embalagens plásticas, garrafas, recipientes de produtos alimentícios e outros materiais descartáveis, reforçando a relação entre o descarte inadequado, a drenagem urbana e o carreamento desses resíduos para os corpos hídricos.

Dessa forma, verificou-se a dinâmica de retenção dos resíduos flutuantes e o papel da ecobarreira como ferramenta de mitigação da poluição difusa em ambientes aquáticos urbanos.

Figura 14 Realização de captura dos resíduos flutuantes coletados da ecobarreira de Arandu – SP



Fonte: Arquivo Pessoal (2025)

Grande parte desses resíduos coletados perdeu seu valor de mercado em decorrência do contato prolongado com a água, o que inviabiliza sua reciclagem. As embalagens de salgadinhos, por exemplo, por possuírem composição interna laminada e multicamada, não foram passíveis de reciclagem convencional, sendo, neste estudo, classificadas como resíduos orgânicos, em função da ausência de viabilidade de recuperação do material.

Assim, a análise da composição dos resíduos reforçou a necessidade de estratégias diferenciadas de gestão, que considerem tanto a redução do uso de plásticos descartáveis quanto o aprimoramento do manejo da fração orgânica, por meio de ações de educação ambiental, ampliação da coleta seletiva e medidas preventivas nas áreas de interesse.

Esses resultados reforçaram a importância do monitoramento por meio de ecobarreiras como instrumento eficaz para a compreensão da dinâmica dos resíduos flutuantes e para o subsídio de políticas públicas voltadas à proteção dos recursos hídricos.

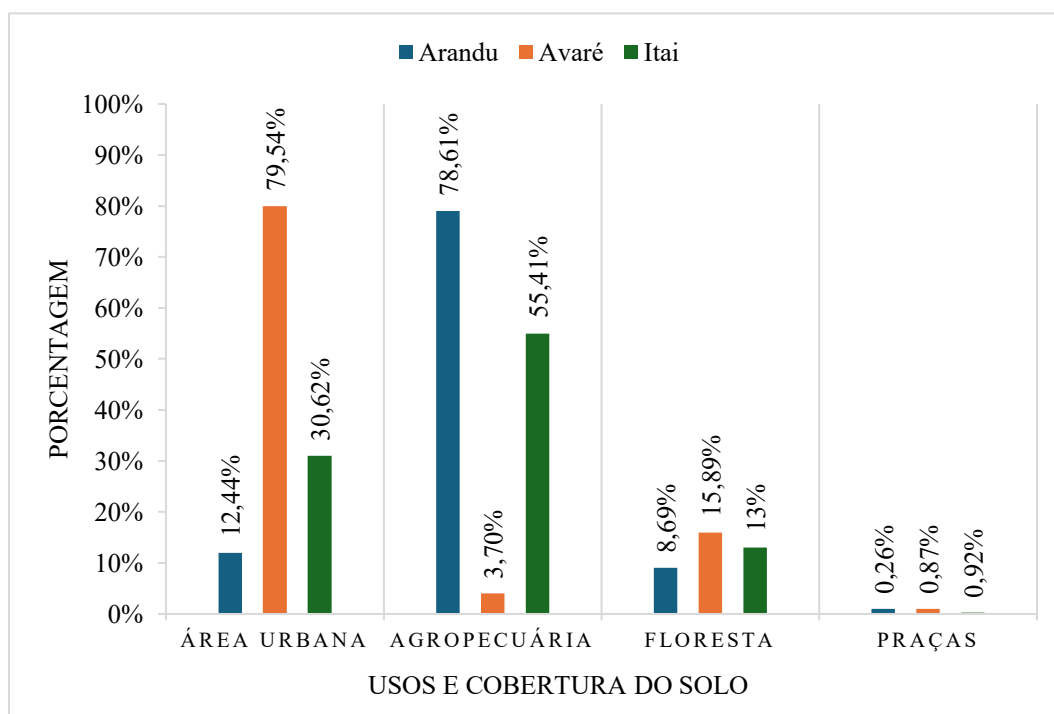
4.3 Usos e coberturas do solo

Os mapas de uso e cobertura do solo dos municípios analisados (Figura 15) indicaram diferenças marcantes entre Arandu, Avaré e Itaí, refletindo perfis territoriais distintos.

O município de Avaré apresentou predominância de áreas urbanas, concentrando a maior porcentagem desse tipo de uso, o que indica maior urbanização em relação aos demais municípios.

Arandu, por sua vez, destacou-se pela expressiva presença de áreas agropecuárias, o que caracteriza um território fortemente associado às atividades rurais. Itaí também apresentou predominância agropecuária, porém, com participação urbana intermediária, situando-se entre os perfis observados para Arandu e Avaré, o que sugere uma configuração territorial heterogênea.

Figura 15. Percentual dos usos e coberturas do solo nos municípios de Arandu, Avaré e Itaí, estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O município de Avaré apresentou a maior predominância de área urbana, correspondente a aproximadamente 80% da área total, o que equivale a 9,99 km², em

função de seu porte populacional e da elevada concentração de atividades comerciais, industriais e de serviços.

Já Itai apresentou 30,62% de área urbana, equivalente a 3,86 km², configurando-se como o segundo município mais populoso do estudo, enquanto Arandu registrou apenas 12,44%, correspondente a 1,57 km², refletindo seu menor porte populacional e o recente processo de urbanização.

Em contrapartida, as atividades agropecuárias predominaram no entorno das ecobarreiras de Arandu (78,61%) e de Itai (55,41%), evidenciando o caráter rural desses municípios, cuja base econômica é fortemente vinculada à agricultura e à pecuária, especialmente às lavouras de soja, milho, trigo, café, laranja, cana-de-açúcar e feijão, e à pecuária leiteira.

Em Avaré, essa classe representou apenas 3,70%, indicando maior concentração de atividades agrícolas em áreas periféricas e em municípios limítrofes.

As áreas florestais, constituídas por fragmentos de vegetação, apresentaram baixa representatividade nos três municípios, não ultrapassando 15,89%, o que refletiu índices de cobertura vegetal reduzidos e a insuficiência de políticas públicas voltadas à arborização urbana e ao manejo florestal.

No que diz respeito à contextualização das ecobarreiras, elas encontram-se implantadas em praças inseridas em áreas de convivência urbana, com grande fluxo de população flutuante, como pode ser observado na Figura 16.

As praças, embora representassem menos de 1% da área total de cada município, configuraram-se como importantes fontes potenciais de resíduos, em razão da intensa circulação populacional e da presença de equipamentos de lazer e de estabelecimentos comerciais.

Figura 16. Praça no bairro Nosso Teto¹ em Arandu, Praça da Vila Beira Rio² em Itai e Praça Japão - Brasil em Avaré³



Fonte: Arquivo Pessoal (2024)

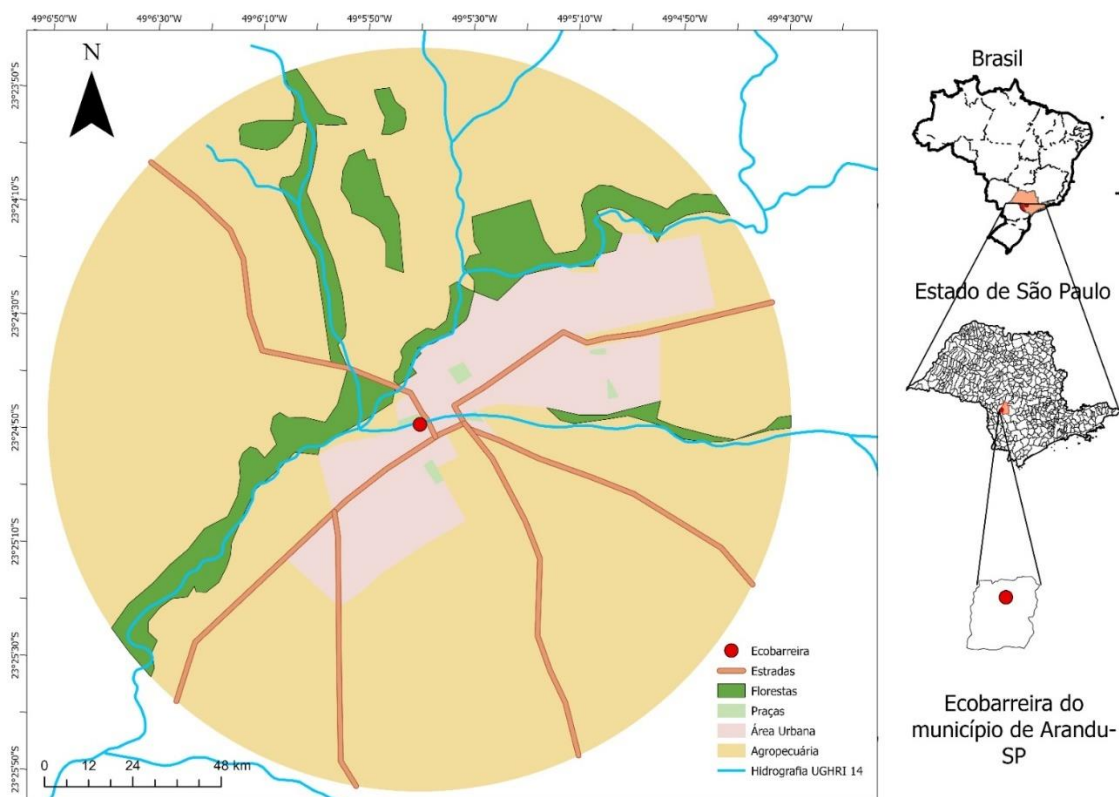
Observou-se que apenas a praça do município de Arandu dispunha de recipientes adequados para o descarte de resíduos sólidos, enquanto a ausência dessa infraestrutura

nas áreas dos municípios de Avaré e Itaí contribuiu para a adoção de práticas inadequadas de descarte, favorecendo o acúmulo de resíduos no entorno das ecobarreiras e intensificando a carga antrópica incidente sobre esses sistemas.

Esse cenário evidencia a necessidade de ampliação e qualificação da infraestrutura urbana destinada à gestão de resíduos sólidos, associada à implementação de ações permanentes de educação ambiental e de sensibilização da população, com vistas à promoção de mudanças comportamentais e à mitigação da pressão antrópica exercida sobre os corpos hídricos urbanos.

Nesse contexto, a análise dos usos e das coberturas do solo tornou-se fundamental para compreender a organização espacial do município e os potenciais vetores de geração e carreamento de resíduos. Assim, na Figura 17, apresentam-se os usos e coberturas do solo do município de Arandu.

Figura 17. Usos e coberturas do solo entorno da ecobarreira de Arandu – SP



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Embora o uso do solo no entorno da ecobarreira tenha sido predominantemente agropecuário com 78,61%, os resíduos coletados apresentaram tipologia essencialmente urbana.

Os usos e as coberturas do solo mostraram-se compatíveis com a presença da praça no local, que estava equipada com áreas de lazer e recipientes destinados ao descarte de resíduos.

Embora as áreas classificadas como praças tenham representado apenas 0,26% da classe de uso e cobertura do solo no município, tais espaços configuram-se como pontos potenciais de geração de resíduos sólidos em razão da concentração de atividades recreativas e de lazer, bem como do fluxo de usuários.

Dessa forma, o aporte de resíduos ao curso d'água não esteve associado à ausência de recipientes para descarte de resíduos sólidos, mas relacionou-se predominantemente a fatores comportamentais, bem como ao carreamento superficial intensificado durante eventos pluviométricos.

Esse comportamento inadequado de descarte de resíduos e o carreamento superficial de resíduos, também foi observado no estudo de Aguilar, Flores e Lara (2022), que identificaram que, mesmo em áreas com infraestrutura urbana adequada, a presença de resíduos sólidos em corpos hídricos esteve fortemente relacionada ao comportamento antrópico e ao escoamento superficial durante chuvas intensas, responsáveis por transportar resíduos descartados inadequadamente para os cursos d'água.

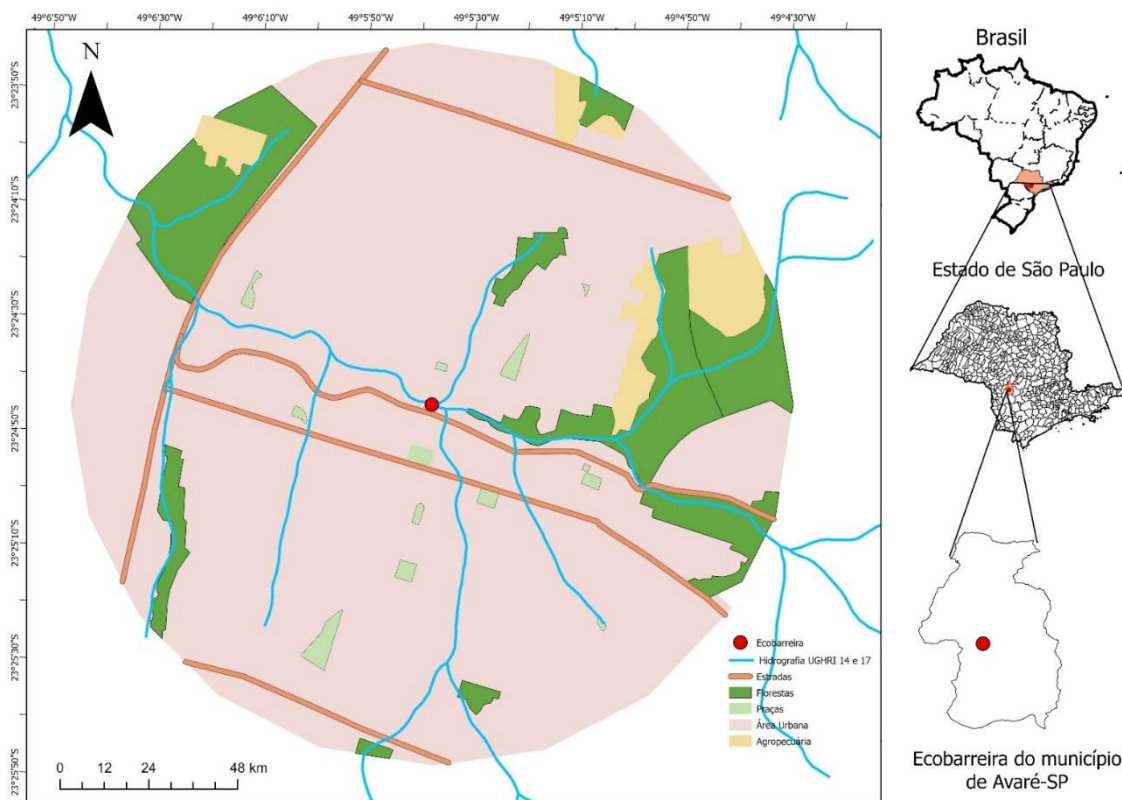
No município de Avaré, a análise dos usos e da cobertura do solo, observada na Figura 18, evidenciou a predominância da área urbana, com 79,54%, refletindo seu maior porte populacional e a elevada concentração de atividades comerciais, industriais e de serviços.

As áreas agropecuárias apresentaram participação reduzida, de apenas 3,70%, indicando que as atividades rurais estiveram concentradas principalmente em áreas periféricas e em municípios vizinhos.

As áreas florestais corresponderam a 15,89% do território municipal, caracterizando-se por fragmentos de vegetação com reduzida expressividade espacial e grau elevado de fragmentação.

Por sua vez, as praças representaram apenas 0,87% da área total do município, mas configuraram-se como espaços urbanos de relevância funcional, em função da elevada circulação de pessoas e do conseqüente potencial de geração e aporte de resíduos sólidos ao ambiente urbano e aos cursos d'água adjacentes.

Figura 18. Usos e coberturas do solo entorno da ecobarreira de Avaré – SP



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A elevada urbanização se refletiu diretamente na tipologia dos resíduos coletados. Dados municipais indicaram que 35,4% dos resíduos foram orgânicos e 36% corresponderam a resíduos recicláveis secos, resultados que estão de acordo com os obtidos na ecobarreira de Avaré, onde os resíduos orgânicos representaram 53,10% do total coletado.

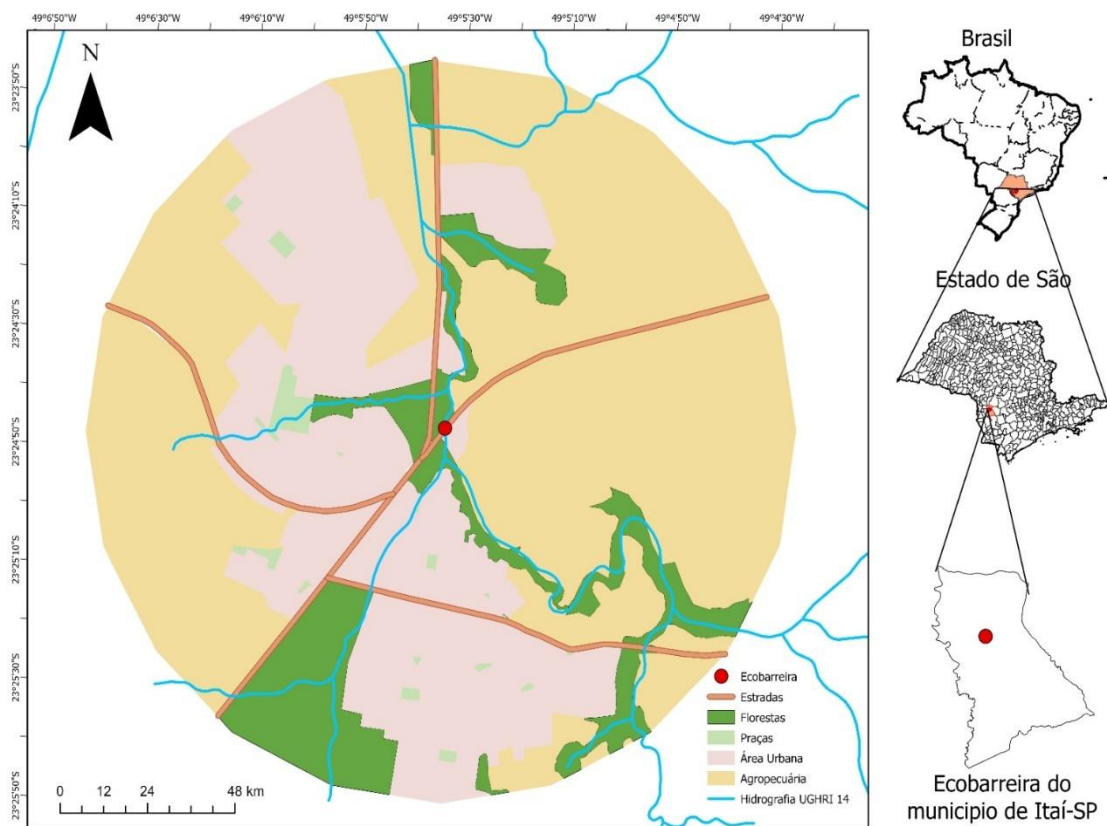
Apesar de as áreas agropecuárias e florestais terem representado menos de 20% do entorno, não houve indícios de que tenham contribuído de forma significativa para os resíduos flutuantes observados.

Resultados semelhantes foram apresentados por Wu, Xiec e Lyu (2022), que demonstraram que, em bacias hidrográficas com elevada urbanização, a composição dos resíduos flutuantes tende a ser dominada por materiais de origem doméstica e urbana, enquanto áreas rurais e florestais apresentam contribuição marginal, sendo o aporte de resíduos intensificado principalmente por processos de escoamento superficial associados a eventos de chuva.

Já no município de Itai (Figura 19), a ecobarreira apresentou características mistas de uso do solo, com destaque para a influência da Vila Beira Rio, localizada às

margens do Ribeirão dos Carrapatos, sob predominância da área urbana, que correspondeu a 30,62% do entorno, da área de floresta, com 13,05%, e da praça, com 0,92%.

Figura 19. Usos e coberturas do solo entorno da ecobarreira de Itai – SP



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A presença de bares, áreas de lazer, a deficiência na infraestrutura de coleta e a existência de pontos irregulares de descarte contribuíram significativamente para a carga de resíduos.

Somou-se a esse cenário a escassez de florestas e o acúmulo de resíduos em árvores marginais, os quais foram posteriormente carregados ao leito durante eventos de aumento de vazão principalmente no mês de dezembro de 2024, onde coletou-se 43,6 kg de resíduos flutuantes e alcançou uma precipitação de 236,2 mm, como foi observado na Figura 12.

A ecobarreira em Itai foi implantada em área adjacente à Rodovia SP-255, condição que pode ter contribuído parcialmente para o elevado volume de resíduos coletados no local, totalizando 105,472 kg.

A proximidade com a rodovia, associada ao intenso fluxo de veículos e à elevada circulação de pessoas, sugeriu a influência do descarte inadequado por usuários que transitavam pela via.

Ressaltou-se que, nos demais municípios analisados, as ecobarreiras não se encontravam em áreas com características semelhantes de proximidade a rodovias de grande circulação, o que reforçou a hipótese de que esse fator espacial tenha exercido influência significativa sobre a quantidade de resíduos capturados.

Os mapas de usos e ocupações dos solos dos municípios indicaram que as áreas urbanas e as áreas de praças influenciaram diretamente na captura de resíduos pelas ecobarreiras, inferência possibilitada pela análise das características dos resíduos coletados onde totalizou 287,34 kg, as quais foram predominantemente compatíveis com ambientes urbanos.

Em contrapartida, os usos do solo associados às atividades agropecuárias e às áreas florestais não tiveram influência direta na geração de resíduos flutuantes, uma vez que a tipologia observada não correspondeu a materiais usualmente associados a esses ambientes.

Esses resultados estão de acordo com os de Hernández, Vanzela e Franco (2010), que destacaram que o uso e a ocupação do solo exerceram influência marcante no escoamento superficial e no aporte de sedimentos e poluentes aos corpos d'água, sendo as áreas urbanas e as áreas de lazer, com maior cobertura impermeabilizada e maior atividade antrópica, particularmente suscetíveis a impactos ambientais e à degradação da qualidade da água.

Esses dados reforçaram a importância da caracterização dos resíduos como instrumento fundamental para a identificação das fontes geradoras e para a compreensão das dinâmicas de aporte de resíduos nos cursos d'água monitorados.

4.4 Protocolo de Callisto

A aplicação do Protocolo de Callisto indicou que os três municípios apresentaram impactos ambientais associados à ação antrópica. Os municípios de Arandu e Itai foram classificados como impactados (Tabela 5), em função da reduzida cobertura vegetal e da presença de alterações antrópicas expressivas ao longo dos trechos avaliados.

Observou-se que esses municípios apresentaram, respectivamente, 8,68% e 13% de áreas florestais, valores que evidenciam a baixa representatividade da cobertura vegetal e favorecem a intensificação de processos erosivos, o aporte de sedimentos e alterações na estrutura do curso d'água.

Além disso, esse cenário apresentou efeitos que extrapolam a escala local, impactando negativamente toda a bacia hidrográfica, especialmente por meio do assoreamento, da perda de habitats aquáticos e da redução da capacidade de autodepuração dos cursos d'água.

A baixa cobertura florestal e a insuficiência de áreas florestais comprometem a resiliência dos sistemas fluviais diante de eventos climáticos extremos, reforçando a necessidade de ações integradas de gestão ambiental e planejamento territorial voltadas à recuperação ecológica e à conservação dos recursos hídricos.

Já o município de Avaré apresentou condição intermediária, sendo classificado como ambiente alterado, devido a melhores parâmetros pontuais, embora ainda sob influência significativa da urbanização, tendo em vista que quase 80% dos usos e coberturas são considerados áreas urbanizadas.

Essa condição indica que, apesar de apresentar alguns parâmetros ambientais mais favoráveis, a elevada urbanização exerce pressão significativa sobre os sistemas fluviais. A predominância de áreas urbanizadas intensifica o escoamento superficial e o aporte de poluentes, reforçando a necessidade de planejamento urbano e ampliação de áreas verdes para evitar a intensificação da degradação ambiental.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das análises visuais obtidas a partir da aplicação do Protocolo de Callisto, utilizado para identificar alterações ambientais e classificar os trechos de estudo onde foram implantadas as ecobarreiras.

Tabela 5. Resultado da aplicação do Protocolo de Callisto nos municípios de Arandu, Avaré e Itaí, estado de São Paulo

Parâmetros	Arandu	Avaré	Itaí
Vegetação nas margens do corpo d'água	Escasso (0)	Escasso (0)	Moderado (5)
Alterações antrópicas	Acentuado (0)	Acentuado (0)	Acentuado (0)
Transparência d'água	Turva (5)	Turva (5)	Turva (5)
Oleosidade da água	Acentuado (0)	Moderada (5)	Moderado (5)

Erosão ou assoreamento próximas às margens	Moderado (5)	Moderada (5)	Moderado (5)
Presença de plantas aquáticas	Ausente (5)	Ausente (5)	Ausente (5)
Cobertura vegetal no leito	Parcial (10)	Parcial (10)	Ausente (0)
Estabilidade das margens	Total (10)	Total (10)	Moderado (5)
Odor da água	Óleo (0)	Nenhum (10)	Esgoto (0)
Tipo do fundo	Lama/Areia (5)	Lama/Areia (5)	Lama/Areia (5)
Pontuação final	40	55	35
Classificação	Impactado	Alterado	Impactado

Fonte: Autoria própria, 2024.

Em termos de classificação final, o município de Itaí apresentou o pior desempenho, com 35 pontos, e foi enquadrado como trecho “impactado”, assim como Arandu, que obteve 40 pontos. Essa classificação decorreu principalmente dos parâmetros relacionados à estabilidade das margens, classificada como moderada em Itaí e total em Arandu, bem como da cobertura vegetal no leito do curso d’água, considerada ausente no trecho de Itaí.

O trecho de Avaré apresentou os melhores resultados, com 55 pontos, sendo classificado como trecho alterado, tendo em vista que não apresentou oleosidade na água nem odor específico.

A degradação ambiental dos cursos d’água mostrou-se fortemente associada à intensidade e ao tipo de ocupação do entorno, especialmente em áreas urbanizadas, onde a supressão da vegetação, a instabilidade das margens e o aporte contínuo de resíduos e poluentes comprometeram a qualidade ambiental.

A distinção entre os trechos classificados como alterados e impactados demonstrou que, mesmo sob pressão antrópica semelhante, a manutenção de condições mínimas de proteção, como maior estabilidade das margens e ausência de contaminação visível, pôde atenuar os efeitos da degradação.

Nesse contexto, a situação crítica do Ribeirão dos Carrapatos reforçou a necessidade de intervenções integradas e contínuas, voltadas à recuperação da vegetação local, ao controle do lançamento de resíduos e efluentes e ao planejamento urbano, de modo a reduzir os impactos sobre os sistemas fluviais e a melhorar a qualidade ambiental desses cursos d’água.

A mesma situação ocorreu no Córrego Barreiro em Arandu, com grande quantidade de resíduos flutuantes, odor desagradável e oleosidade, conforme pode ser observado na Figura 20.

Figura 20. Trecho impactado do Córrego Barreiro em Arandu



Fonte: Arquivo Pessoal (2024)

O acúmulo de resíduos orgânicos e galhadas no leito do curso d'água evidenciou a deficiência na manutenção e no manejo das áreas adjacentes, potencializando os impactos já observados nos parâmetros físicos e ambientais.

Esse material acumulado favoreceu a retenção de sedimentos, intensificou a obstrução do escoamento e criou condições propícias à degradação da qualidade da água, especialmente em períodos de maior vazão.

Tal cenário reforçou a vulnerabilidade do trecho avaliado, indicando a necessidade de ações periódicas de limpeza, associadas à recuperação da vegetação e à adoção de práticas de gestão ambiental que minimizem o carreamento de resíduos para o leito do curso d'água.

Na Figura 21, observa-se o trecho do Córrego Barreiro significativamente obstruído devido ao descarte inadequado desses materiais, o que potencializou o risco de

alagamentos, favoreceu a retenção de outros resíduos sólidos e comprometeu a qualidade ambiental e a dinâmica ecológica do curso d'água.

Figura 21. Registro fotográfico de um outro ângulo do trecho de Arandu



Fonte: Arquivo Pessoal (2024)

A elevada concentração de folhas, barro e resíduos diversos comprometeu substancialmente o escoamento natural da água, chegando a bloquear quase totalmente o fluxo hídrico em determinados pontos, o que favoreceu o acúmulo de sedimentos, a retenção de resíduos flutuantes e a degradação das condições físicas do curso d'água.

Em contrapartida, no município de Avaré – SP, observou-se uma condição ambiental distinta daquela registrada em Arandu, conforme apresentado na Figura 22, caracterizada por menor obstrução do leito, maior continuidade do escoamento e menor acúmulo de material orgânico, indicando influência positiva de condições hidráulicas mais favoráveis e de ações pontuais de manejo e limpeza urbana no entorno do corpo hídrico.

Figura 22. Trecho do Ribeirão Lajeado em Avaré – SP



Fonte: Arquivo Pessoal (2024)

No trecho de Avaré, verificou-se que a cor da água permaneceu turva, porém sem odor específico e com oleosidade d'água moderada.

No que se refere à estabilidade das margens, constatou-se que, nos trechos de Arandu e Avaré, as margens foram classificadas como totalmente estáveis, em razão da presença de estruturas de contenção, como enrocamentos com pedras e telas de gabião, que contribuem para a redução de processos erosivos.

A presença dessas estruturas de contenção nos trechos de Arandu e Avaré indica a adoção de medidas voltadas ao controle da erosão e à proteção das margens frente à pressão antrópica existente nesses ambientes.

Embora essas intervenções sejam eficientes para garantir a estabilidade física do curso d'água, observa-se que seu efeito é predominantemente estrutural, não contemplando, de forma isolada, os aspectos ecológicos associados à dinâmica ambiental.

Dessa forma, a estabilidade observada deve ser compreendida como resultado de ações pontuais de engenharia, reforçando a importância de estratégias complementares, como a recuperação da vegetação, para promover uma condição ambiental mais equilibrada e sustentável nos trechos avaliados.

Em contraste, no trecho avaliado no município de Itaí, as margens eram predominantemente naturais, compostas por encostas sem obras de estabilização, o que aumentou sua suscetibilidade à erosão.

Além disso, destacou-se a ocorrência de lançamentos diretos de esgoto doméstico, provenientes de residências situadas às margens do Ribeirão dos Carrapatos, os quais escoaram diretamente para o corpo hídrico. Essa condição explicou a presença de odor característico de esgoto observada na área de implantação da ecobarreira.

A área urbana do município de Itaí, representou apenas 30,62%, e mesmo assim os resultados da aplicação do Protocolo de Callisto permitiram identificar que o trecho do foi o mais impactado entre os avaliados, apresentando processos erosivos evidentes, degradação antrópica visível e a presença de estruturas urbanas às margens do ribeirão, como uma lavandeira pública, além de uma grande quantidade de resíduos sólidos dispostos inadequadamente na via pública adjacente, conforme observado na Figura 23.

De modo geral, o aumento do grau de urbanização está diretamente associado à maior concentração de material particulado e poluentes nos cursos d'água, intensificando os processos de degradação ambiental.

Figura 23. Estrutura de lavanderia pública instalada em Itaí – SP



Fonte: Arquivo Pessoal (2025)

Observou-se escassez de fragmentos de vegetação, especialmente na margem esquerda, que dá acesso ao bairro local. Apesar dos elevados valores de resíduos coletados

pela ecobarreira de Itaí, que atingiram 105,472 kg, destacou-se a participação de parte da população local no processo de monitoramento e manutenção da estrutura, indicando um envolvimento comunitário pontual.

Contudo, foram identificados lançamentos aparentes de esgoto sem tratamento, descarte de resíduos domésticos a céu aberto e a presença de resíduos da construção civil depositados na rua mais próxima às margens do trecho avaliado.

Constatou-se a ausência de medidas mitigadoras eficazes voltadas à contenção de processos erosivos, bem como a carência de políticas públicas municipais voltadas ao reflorestamento das margens dos cursos d'água.

Somou-se a isso a necessidade de um trabalho contínuo de educação ambiental, visando à conscientização da população quanto à importância do descarte adequado de resíduos e à relevância dos corpos hídricos para a preservação da fauna e da flora locais, além da reestruturação e do fortalecimento da coleta seletiva no município de Itaí.

Além disso, esses resultados estão de acordo com os resultados de Vargas e Júnior (2012), em que os protocolos ofereceram uma visão geral da qualidade ambiental, sendo utilizados de forma rápida e econômica pelos gestores na tomada de decisões sobre o manejo das áreas e a aplicação de investimentos voltados para a conservação dos recursos hídricos.

Embora as ecobarreiras sejam alternativas viáveis para a retenção de resíduos flutuantes, os resultados reforçaram a necessidade de ações integradas de saneamento, de manejo adequado de resíduos, de recuperação da vegetação e de fortalecimento das políticas públicas ambientais nos municípios avaliados.

4.5 Monitoramento da qualidade da água

A avaliação da qualidade da água nos municípios de Arandu, Avaré e Itai evidenciou a influência direta das pressões antrópicas sobre os corpos hídricos monitorados.

A temperatura da água nos municípios avaliados apresentou variações moderadas, associadas principalmente às condições locais de uso e ocupação do solo.

Em todos os trechos avaliados, os valores de temperatura tendiam a ser mais elevados devido à maior incidência de radiação solar. Nos pontos com maior sombreamento natural, a temperatura manteve-se mais estável, o que indica a importância da vegetação na regulação térmica dos cursos d'água.

Esses resultados estão de acordo com os de Marmontel e Rodrigues (2015), em que nascentes com mata ciliar preservada apresentaram valores de temperatura da água inferiores em comparação com áreas degradadas .

Os valores obtidos de temperatura (°C) estão expressos na Tabela 6, compreendendo o período de junho de 2024 a março de 2025.

Tabela 6. Valores de temperatura (°C) d'água nas ecobarreiras dos municípios de Arandu, Avaré e Itai nas coletas de junho de 2024 a março de 2025

Município	Meses									
	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Arandu	20,22	21,53	23,17	21,22	25,24	25,63	26,44	27,22	25,4	21,5
Avaré	21,12	22,15	23,89	20,53	24,13	23,98	26,21	27	24,4	22,3
Itai	22,12	20,33	24,5	22,22	23,12	22	25,4	26,33	26,85	20,1

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Os maiores valores foram registrados em janeiro, com uma variação de 26,33°C à 27,22°C refletindo as condições típicas do período de verão, caracterizado por temperaturas elevadas do ar e maior incidência de radiação solar. Esses fatores atuaram diretamente no balanço térmico dos corpos hídricos, promovendo o aquecimento da lâmina d'água, especialmente em trechos com menor sombreamento do ripário.

Os resultados estão de acordo com os de Palhiarini e Pagotto (2015), onde a perda de vegetação resultou na elevação da temperatura da água, com impactos

ambientais associados, o que reforça a importância do sombreamento natural no equilíbrio térmico dos sistemas aquáticos.

Em contrapartida, os menores valores médios ocorreram em junho, com temperatura média de 21,15 °C, comportamento compatível com o período de inverno.

Segundo a CETESB (2022), a faixa considerada adequada de temperatura para cursos d'água varia entre 21 °C e 27 °C, em que a temperatura da água apresenta relação direta com o oxigênio dissolvido e com os efeitos da contaminação, uma vez que o aumento térmico intensifica a taxa metabólica dos organismos, elevando o consumo de oxigênio e ampliando a sensibilidade dos sistemas aquáticos à presença de poluentes.

Dessa forma, variações térmicas fora dos limites recomendados podem comprometer a estabilidade ecológica e a qualidade ambiental dos corpos hídricos.

Em Itaí, observou-se uma leve atenuação dos valores de temperatura em relação aos demais pontos de monitoramento, que pode ser interpretada como um efeito direto da presença, ainda que reduzida, de uma faixa de vegetação arbórea ao longo do curso d'água. A cobertura ripária atua como elemento regulador do microclima fluvial, principalmente por meio do sombreamento, reduzindo a incidência direta da radiação solar sobre a lâmina d'água e, conseqüentemente, limitando a elevação da temperatura.

Esse padrão é amplamente descrito na literatura, que destaca o papel da vegetação ripária na manutenção do equilíbrio térmico dos ecossistemas aquáticos e na preservação das condições físicas essenciais à biota associada.

Os resultados estão de acordo com os de Sonoda (2010), onde o efeito positivo da presença de vegetação exerceu influência na interceptação e absorção da radiação solar por meio das árvores e conseqüentemente na estabilização e redução térmica dos cursos d'água.

Além disso, a redução térmica observada esteve associada à diminuição da radiação solar incidente e à atuação de massas de ar frio na região, fenômeno recorrente nos municípios analisados em função de sua proximidade geográfica com o estado do Paraná, onde predominaram condições climáticas mais amenas durante essa estação. Esse fator sazonal confirmou a forte dependência da temperatura da água em relação às condições atmosféricas.

Esses resultados estão de acordo com Martins et al. (2023), segundo os quais a temperatura em ambientes aquáticos resulta da interação entre a radiação solar incidente, as características das superfícies adjacentes e os mecanismos de transferência de calor.

Assim, os achados deste estudo reforçaram evidências previamente descritas na literatura, em que a elevação da temperatura exerceu influência direta sobre a cinética das reações químicas e sobre os processos metabólicos dos organismos aquáticos, afetando a dinâmica ecológica e a capacidade de assimilação de impactos antrópicos nos cursos d'água.

Verificou-se que todas as medições realizadas ao longo do período de monitoramento permaneceram dentro dos limites estabelecidos pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo.

O potencial hidrogeniônico nos municípios de Arandu, Avaré e Itaí (Tabela 7) apresentou variações sazonais ao longo do período monitorado, mantendo-se, de modo geral, próximo à neutralidade.

Não houve alterações abruptas nos municípios avaliados, o que sugere relativa estabilidade química da água, embora com variações pontuais que podem estar relacionadas ao escoamento superficial, às descargas urbanas, às condições climáticas, ao regime de chuvas e ao aporte de matéria orgânica nos cursos d'água.

Tabela 7. Valores de potencial hidrogeniônico (pH) d'água nas ecobarreiras dos municípios analisados nas coletas de junho de 2024 a março de 2025

Município	Meses									
	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Arandu	6,12	5,76	5,63	6,43	6,8	6,67	6,3	6,3	6,45	6,35
Avaré	6,33	5,68	5,43	6,9	6,85	6,79	6,22	6,21	6,55	6,76
Itaí	6,42	5,23	5,69	6,44	6,94	6,54	6,47	6,95	5,9	6

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De modo geral, os valores oscilaram entre 5,23 e 6,95, caracterizando águas levemente ácidas a próximas da neutralidade, comportamento comum em ambientes fluviais sujeitos a influências naturais e antrópicas de baixa a média intensidade.

As análises mensais verificaram que o menor valor de pH foi observado no mês de julho, enquanto o maior ocorreu em outubro, resultando em uma variação média de 1,30 unidades. Esse padrão sugeriu influência sazonal associada às condições climáticas, especialmente à redução da precipitação e da vazão durante o período seco, o que pôde concentrar substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas, favorecendo a acidificação relativa da água.

Em contrapartida, o aumento do pH nos meses subsequentes pôde estar relacionado à retomada gradual das chuvas, à maior diluição dos compostos dissolvidos e ao incremento de processos biogeoquímicos no ambiente aquático.

Entre os municípios analisados, Itaí apresentou o menor valor pontual de pH em julho, bem como o maior valor registrado em janeiro, resultando em uma amplitude de variação de 1,72 unidades. Essa oscilação pôde estar associada ao aporte de matéria orgânica e às condições hidrológicas sazonais.

Ainda assim, observou-se que, mesmo com essas flutuações, os valores permaneceram próximos da neutralidade durante a maior parte do período monitorado.

Nos trechos de Arandu e Avaré, os valores de pH apresentaram comportamento semelhante, com variações menos acentuadas ao longo dos meses.

Em Avaré, os valores oscilaram entre 5,43 e 6,90, enquanto, em Arandu, variaram entre 5,63 e 6,80, indicando maior estabilidade química nesses ambientes.

Do ponto de vista ambiental, a variação do pH observada refletiu a influência de processos naturais, como a decomposição de matéria orgânica, a interação da água com o solo e a rocha, bem como a contribuição da precipitação atmosférica.

Nesse contexto, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabeleceu que as águas enquadradas nas Classes Especial, I e II, destinadas, entre outros usos, à preservação da vida aquática, deveriam apresentar valores de pH entre 6,0 e 9,0, parâmetro que serviu de referência normativa para a interpretação das variações observadas ao longo do período de monitoramento.

Sendo assim, das 30 coletas realizadas, sete apresentaram valores de pH fora do intervalo estabelecido, o que corresponde a aproximadamente 23,33% do total de amostras analisadas.

Esses resultados estão de acordo com os de Santos et al. (2021), em que valores de pH próximos à neutralidade indicaram condições favoráveis à manutenção da vida aquática, uma vez que valores extremos de acidez ou alcalinidade podem comprometer os processos fisiológicos dos organismos e intensificar os efeitos de contaminantes presentes no meio.

Os resultados demonstram que, apesar das variações sazonais identificadas, quase todos os valores permaneceram dentro de faixas compatíveis com os padrões ambientais recomendados para corpos d'água superficiais no estado de São Paulo.

Com relação ao parâmetro de sólidos totais dissolvidos, observou-se uma variação nos três municípios avaliados, conforme a Tabela 8, indicando forte influência das condições hidrológicas e das atividades antrópicas no entorno dos cursos d'água.

De modo geral, os maiores aportes ocorreram nos meses chuvosos, período em que o escoamento superficial favoreceu o carreamento de partículas dissolvidas, sais, matéria orgânica e outros compostos provenientes das áreas urbanas e rurais, bem como das margens dos corpos hídricos.

Tabela 8. Valores de sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) d'água nas ecobarreiras dos municípios de Arandu, Avaré e Itaí nas coletas de junho de 2024 a março de 2025.

Município	Meses									
	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Arandu	66,89	71,67	114,67	107	77,34	98,67	212,33	201,4	221,86	94,5
Avaré	132,44	171,34	181,3	92	180	188,67	287,31	233	123,45	100
Itaí	77,4	169,32	199,3	102,3	145,5	188,9	256,4	288,43	187,99	154,3

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Os valores registrados oscilaram entre $66,89 \text{ mg L}^{-1}$ e $288,43 \text{ mg L}^{-1}$, indicando diferenças associadas tanto à sazonalidade quanto às características locais dos trechos analisados.

As análises mensais demonstraram que o maior valor médio de STD foi registrado no mês de dezembro com $252,01 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto o menor ocorreu no mês de junho com $92,24 \text{ mg L}^{-1}$.

Esse comportamento sugeriu influência direta das condições hidrológicas e climáticas sobre a concentração de sólidos dissolvidos nos cursos d'água. O aumento observado nos meses finais do ano pôde estar relacionado ao início do período chuvoso, quando o escoamento superficial promoveu o carreamento de partículas finas, sais minerais e matéria orgânica dissolvida provenientes do solo, das áreas urbanizadas e das margens dos corpos hídricos.

Os resultados estão de acordo com os de Xiaoying et al. (2018), em que a mobilização e transporte de sólidos e íons dissolvidos para cursos d'água é maior durante e após eventos pluviométricos, aumentando os sólidos totais dissolvidos em cursos d'água em épocas chuvosas.

Observou-se que em todos os trechos havia assoreamento no ponto onde se encontravam as ecobarreiras, além disso, os locais apresentaram bastante sedimentação de partículas, resíduos verdes, resíduos orgânicos e recicláveis.

Em Itaí, foram observados altos valores em decorrência da grande quantidade de esgoto doméstico despejado diretamente ao curso d'água sem nenhum tipo de tratamento, provenientes da Vila Beira Rio, além de resíduos de produtos de limpeza que são descartados às margens do ribeirão através de uma lavandeira pública construída em 1993 para que a população usufrísse do espaço para lavar suas roupas pessoais, porém sem nenhum tipo de caixa coletora de esgoto ou tratamento adequado.

Diante disso, verificou-se que, com a urbanização, a concentração de material particulado nos cursos d'água aumentou. Observou-se também que, por meio da aplicação do Protocolo de Callisto, todos os trechos foram impactados, incluindo a ocorrência de processos erosivos e de degradação antrópica visíveis, o que explicou o aumento dos sólidos totais dissolvidos.

Esses resultados estão de acordo com os de Pião (1995), nos quais se demonstrou que, após a área urbana, houve aumento da concentração de STD em função da maior quantidade de matéria particulada proveniente do escoamento superficial.

De forma semelhante, esses resultados concordam com os de Riley et al. (2022), em que os maiores valores de sólidos totais dissolvidos estavam associados a trechos com maior proximidade de ocupações irregulares, caracterizados pela presença de residências e condomínios em seu entorno.

Nessas áreas, o acúmulo de resíduos domésticos e entulhos favoreceu o aporte antrópico de sólidos aos corpos hídricos, contribuindo para a elevação das concentrações observadas. Ademais, a atuação das ecobarreiras, ao promover a captura sistemática desses resíduos, potencializou a retenção de materiais que, ao se fragmentarem e se dissolverem, influenciaram os valores de sólidos totais dissolvidos registrados nas coletas.

O trecho do município de Arandu, encontrou-se os menores valores de sólidos totais dissolvidos sendo um dos fatores associados, o tamanho do córrego e por sua margem ter sido totalmente estabilizada com sistema estilo gabião, o que reduziu a incidência de processos erosivos e conseqüentemente materiais particulados.

Observou-se que todos os valores analisados atenderam ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/08, não ultrapassando o limite de 500 mg/L⁻¹.

Vale ressaltar que, mesmo que os valores não tenham sido ultrapassados, é evidente que os descartes inadequados de resíduos dos mais variados tipos, a sazonalidade populacional, as chuvas e as condições dos cursos d'água interferiram negativamente na qualidade dos recursos hídricos.

Referente ao parâmetro de condutividade elétrica (Tabela 9), observou-se variação temporal ao longo do período monitorado nos três municípios, refletindo mudanças na concentração de íons dissolvidos nos cursos d'água. De modo geral, os valores indicaram maior influência antrópica nos trechos associados a áreas mais urbanizadas.

O aumento observado em determinados períodos esteve associado à maior concentração de sais e compostos dissolvidos durante eventos de menor vazão ou de maior carreamento superficial, enquanto as reduções foram relacionadas à diluição promovida pelas chuvas.

Tabela 9. Valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) d'água nas ecobarreiras dos municípios de Arandu, Avaré e Itaí nas coletas de junho de 2024 a março de 2025

Município	Meses									
	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Arandu	109,32	111	177	165	119,67	152,34	188,4	180,3	189	104,3
Avaré	213	264	279,34	142,67	278	279	269,3	178,4	176,3	100,4
Itaí	123	178	172,42	190	134,22	173	201,2	209,45	198,5	144,3

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

As análises mensais demonstrou que os maiores valores de condutividade elétrica ocorreram em dezembro, com $219,6 \mu\text{S cm}^{-1}$, e em agosto, com $209,6 \mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto o menor valor médio foi registrado em março, com $116,33 \mu\text{S cm}^{-1}$. Esse comportamento sugeriu influência sazonal relacionada tanto ao período seco quanto ao início do período chuvoso.

Durante os meses de menor precipitação, a redução da vazão concentrou íons dissolvidos na água, elevando os valores de condutividade. Em contrapartida, nos períodos de maior pluviosidade, o aumento da vazão promoveu a diluição dessas substâncias, resultando em valores mais baixos.

A precipitação possivelmente pôde ter influenciado os dados nos períodos de maior volume de chuvas, resultando em redução dos valores de condutividade elétrica

devido ao fator de diluição da água da chuva nos cursos d'água, o que aumentou o volume do corpo d'água e reduziu a concentração do material particulado.

Os resultados estão de acordo com o estudo de Pião (1995), no Ribeirão dos Carrapatos, em Itaí, no qual os valores de condutividade diminuíram em épocas de chuva e os maiores valores foram observados após a cidade, em decorrência do processo de urbanização, que acelera a degradação dos cursos d'água.

Os resultados convergem com os resultados de Girardi et al. (2016), no qual a condutividade elétrica apresentou-se no período chuvoso com valores inferiores se comparados ao período seco devido à diluição dos íons e de moléculas polares no corpo hídrico.

Além disso, os pontos estavam em uma área mais a jusante da bacia, o que contribuiu para um impacto mais significativo, tendo em vista que os pontos sofreram com o processo de urbanização evidente nas três áreas de estudo.

Esses resultados estão de acordo com os resultados de Aquino et al. (2023), quanto maiores os valores da condutividade (CE), maiores os valores dos sólidos totais dissolvidos (STD) estimados, ou seja, são diretamente proporcionais.

Os resultados também mostraram que os trechos avaliados não atenderam a resolução CONAMA nº 357/05 que determina que a margem de variação dos valores medidos em relação a águas naturais pode variar de 10 a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Cursos d'água com presença agravada de poluentes apresentam valores de condutividade elétrica superiores a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A avaliação do parâmetro de oxigênio dissolvido nos municípios de Arandu, Avaré e Itaí indicou variações sazonais ao longo do período monitorado, refletindo a influência das condições climáticas, da temperatura da água e do aporte de matéria orgânica.

De modo geral, os valores (Tabela 10) mantiveram-se em faixas compatíveis com ambientes aquáticos sob pressão antrópica moderada, com oscilações associadas ao regime de chuvas e à dinâmica hidrológica local.

Tabela 10. Valores de oxigênio dissolvido (mg. L^{-1}) d'água nas ecobarreiras dos municípios analisados nas coletas de junho de 2024 a março de 2025

Município	Meses									
	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Arandu	6,44	6,98	7,53	7,54	6,77	7,22	6,19	6	6,55	6,42
Avaré	5,87	5,65	5,32	5,66	6,17	5,34	5,88	6,21	6,14	6
Itaí	6,32	7,22	6,45	6,77	6,33	6,1	5,95	5,45	5,98	5,45

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

As concentrações observadas oscilaram entre $5,32 \text{ mg L}^{-1}$ e $7,54 \text{ mg L}^{-1}$, refletindo a influência combinada de fatores físicos, químicos e biológicos sobre a dinâmica do oxigênio na água para os municípios de Arandu, Avaré e Itaí.

A análise mensais indicaram valores mais elevados de OD durante os meses de inverno e início da primavera, com destaque para agosto e setembro, quando as médias atingiram $6,43 \text{ mg L}^{-1}$ e $6,66 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

Esse comportamento pôde ser atribuído às temperaturas mais amenas, que favoreceram a maior solubilidade do oxigênio na água, além de condições hidrológicas mais estáveis. Em contrapartida, os menores valores médios foram registrados nos meses de verão, especialmente em janeiro, com $5,89 \text{ mg L}^{-1}$, e em março, com $5,96 \text{ mg L}^{-1}$, período caracterizado por temperaturas mais elevadas, que reduziram a solubilidade do oxigênio e intensificaram o metabolismo dos organismos aquáticos.

Observou-se elevada presença de matéria orgânica nos cursos d'água, decorrente da deposição de resíduos sólidos flutuantes retidos pelas ecobarreiras, o que promove o consumo de oxigênio dissolvido por meio de processos de oxidação química e, principalmente, bioquímica, associados à respiração de microrganismos.

Esses processos contribuíram para a depuração da matéria orgânica e influenciaram a disponibilidade de oxigênio na água.

Esses resultados estão de acordo com Leite et al. (2025), segundo os quais o baixo valor do oxigênio dissolvido no corpo d'água pode indicar lançamentos de efluentes ricos em matéria orgânica, como esgotos domésticos, que, ao serem depurados ao longo do rio, consomem o oxigênio da água.

Verificou-se que todos os municípios atenderam ao valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) para a preservação da vida aquática, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, de $5,0 \text{ mg/L}$, mas há variações na tolerância de espécie para espécie.

Ressalta-se que, durante todas as coletas, não foi avistado nenhum tipo de peixe ou outro ser vivo próximo às ecobarreiras.

Os parâmetros avaliados evidenciaram variações predominantemente sazonais, associadas às condições climáticas e às características locais de uso e ocupação do solo.

Embora tenham sido observadas oscilações pontuais, sobretudo nos períodos de maior influência antrópica e hidrológica, os resultados indicaram, de modo geral, condições compatíveis com a manutenção da qualidade ambiental dos cursos d'água monitorados.

Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo e da análise integrada dos parâmetros para a compreensão dos processos ambientais e o suporte à gestão dos recursos hídricos.

Em escala regional, a UGRHI 14 – Alto Paranapanema apresentou, em seu último Relatório de Situação (2025), predominância da classificação “Boa” para o Índice de Qualidade da Água (IQA), indicando condições ambientais globalmente favoráveis e avanços nas ações de saneamento básico e na gestão dos recursos hídricos.

No entanto, essa classificação, por seu caráter integrador e regional, pode mascarar impactos ambientais de escala local, especialmente aqueles relacionados à degradação da vegetação ripária, à alteração da morfologia dos cursos d'água e ao aporte de resíduos sólidos. Nesse sentido, embora os municípios de Arandu, Avaré e Itai se insiram nesse panorama regional positivo, os resultados obtidos neste estudo evidenciam a persistência de pressões antrópicas pontuais, reforçando a necessidade de análises complementares em escala local para uma avaliação mais precisa da condição ambiental dos corpos d'água.

Ainda que ocorram variações espaciais e temporais nos parâmetros analisados, o predomínio da classe “Boa” evidencia uma tendência de melhoria da qualidade hídrica na bacia hidrográfica, reforçando a importância da continuidade das políticas públicas e do planejamento integrado para a manutenção e o aprimoramento desses resultados.

4.6 CÁLCULO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE NA LIMPEZA URBANA

4.6.1 Dimensão E – Engajamento:

Os municípios de Arandu e Avaré apresentaram elevado nível de engajamento, pois apresentaram maior integração entre o serviço de atendimento do sistema de coleta e o descarte adequado da população, evidenciada pela ampla cobertura do serviço.

Em Itaí, embora o engajamento também tenha sido significativo, observou-se um percentual inferior de atendimento, o que sugere a necessidade de fortalecer as ações de conscientização, ampliar a cobertura da coleta e estimular a participação da população, a fim de reduzir práticas inadequadas de descarte e seus reflexos sobre os cursos d'água.

Em relação aos valores obtidos, o município de Avaré apresentou o melhor desempenho, com índice de 98%, enquanto Itaí registrou o menor, com 89%. O desempenho inferior de Itaí está associado ao fato de 2.811 habitantes não serem atendidos pelo serviço de coleta regular, o que impactou negativamente o índice de engajamento. Em contraste, os municípios de Arandu e Avaré apresentaram cobertura superior a 97% da população, evidenciando maior efetividade e abrangência dos serviços de limpeza urbana.

Os resultados obtidos encontram-se alinhados com os dados oficiais do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2024) no que se refere à coleta convencional de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). De acordo com o órgão, estima-se que aproximadamente 94% dos resíduos gerados no Brasil em 2024 tenham sido coletados, o que corresponde a mais de 197 mil toneladas de RSU recolhidas diariamente em todo o território nacional. No entanto, o município de Itaí apresentou um percentual expressivo de resíduos não coletados, estimado em 11%, indicando fragilidades na cobertura e na universalização do serviço de coleta, especialmente quando comparado aos índices nacionais e aos demais municípios analisados

Tal cenário favoreceu o descarte inadequado de resíduos pela população, intensificando os riscos de poluição ambiental, sobretudo em áreas urbanas e em corpos hídricos adjacentes, além de evidenciar a necessidade de aprimorar as políticas e práticas de gestão municipal de resíduos sólidos.

Dessa forma, a análise comparativa entre os municípios evidenciou que o nível de engajamento da população estava diretamente associado à eficiência, à abrangência e à regularidade dos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos.

Municípios que apresentaram maior cobertura do serviço, como Arandu e Avaré, tendem a consolidar práticas mais adequadas de descarte, reduzindo os impactos ambientais e compartilhando a responsabilidade entre o poder público e a população.

Em contrapartida, em Itaí, demonstrou-se que a ausência ou limitação do serviço de coleta compromete o engajamento e potencializa os riscos ambientais, especialmente nos cursos d'água.

Assim, os resultados reforçaram a importância de políticas públicas integradas, que aliem a ampliação da infraestrutura de coleta, ações contínuas de educação ambiental e mecanismos de participação social, como estratégias fundamentais para a melhoria da gestão municipal de resíduos sólidos.

4.6.2 S – Dimensão S - Sustentabilidade Financeira:

A análise dos orçamentos municipais evidencia diferenças significativas na capacidade financeira entre os municípios estudados. Arandu apresenta um orçamento anual de aproximadamente R\$ 58,2 milhões, enquanto Itaí dispõe de cerca de R\$ 256,8 milhões e Avaré se destaca com um orçamento mais robusto, na ordem de R\$ 522,7 milhões.

Essa disparidade orçamentária reflete diretamente na capacidade de investimento, planejamento e execução de políticas públicas, incluindo aquelas voltadas à gestão de resíduos sólidos, sendo que municípios com maior arrecadação tendem a possuir maior margem para absorver custos operacionais e realizar melhorias estruturais.

Nesse contexto, observa-se que, embora nos municípios de Arandu e Avaré exista a cobrança específica pelos serviços de manejo de resíduos sólidos, os valores arrecadados não são suficientes para cobrir integralmente os custos envolvidos.

Assim, mesmo diante de diferentes escalas orçamentárias, persiste a necessidade de complementação financeira por meio do orçamento geral municipal, evidenciando que a sustentabilidade econômica desses serviços ainda representa um desafio, especialmente para municípios de menor porte, como Arandu, que possuem limitações mais expressivas em sua capacidade fiscal.

Em Itaí, observou-se a ausência de cobrança específica, o que indicou maior fragilidade na sustentabilidade financeira do sistema e maior dependência de fontes externas de financiamento.

Os resultados indicaram despesas orçamentárias expressivas nos municípios analisados. Arandu apresentou uma despesa de 93,79%, seguido por Avaré, com 81,34%, enquanto Itai registrou uma despesa de 100%, uma vez que não realiza cobrança específica pelos serviços de manejo de resíduos.

O município de Arandu apresentou despesa anual de R\$ 1.473.289,08 (um milhão, quatrocentos e setenta e três, duzentos e oitenta e nove reais e oito centavos), Avaré de R\$ 20.148.306,16 (vinte milhões, cento e quarenta e oito mil, trezentos e seis reais e dezesseis centavos), e Itai uma despesa anual de R\$ 2.169.564,50 (dois milhões, cento e sessenta e nove mil, quinhentos e sessenta e quatro reais e cinquenta centavos), o que mostrou uma ineficiência econômica em manter os valores de arrecadação maiores que as despesas e como consequência, aumentou-se o risco de destinação inadequada, degradação ambiental, surgimento de pontos de descarte irregular e redução da eficiência na gestão pública, além da possibilidade da aplicação de recursos em outras áreas.

Esses percentuais evidenciam fragilidades na estrutura de financiamento do sistema, indicando que a maior parte dos custos operacionais da gestão de resíduos sólidos não é compensada por receitas próprias, o que compromete a sustentabilidade econômica do serviço e reforça a necessidade de revisão dos mecanismos de custeio e da implementação de instrumentos financeiros que garantam a continuidade, a eficiência e a qualidade dos serviços prestados.

Esse cenário reforçou a importância do fortalecimento de instrumentos econômicos e de políticas tarifárias adequadas como estratégia para assegurar a sustentabilidade dos serviços de gestão de resíduos sólidos nos municípios avaliados.

A ausência de cobrança específica pelo manejo dos resíduos sólidos urbanos evidencia fragilidades na sustentabilidade financeira do sistema, uma vez que, sem uma fonte própria de custeio, os gastos com coleta, transporte, destinação final e reciclagem dependem do orçamento geral municipal, o que compromete a estabilidade, a eficiência e a continuidade dos serviços ao longo do tempo, em desacordo com os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os municípios analisados não apresentaram sustentabilidade financeira, e os dados evidenciaram que a arrecadação obtida por meio de taxas ou tarifas específicas é insuficiente para cobrir os custos reais de manejo dos resíduos, gerando desequilíbrio financeiro e dependência contínua de outras fontes orçamentárias.

Essa situação foi reflexo da ausência de um planejamento adequado para a implementação, revisão e atualização dos instrumentos de cobrança, o que comprometeu

a eficiência econômica do sistema e dificultou os investimentos necessários à melhoria da gestão dos resíduos sólidos.

Esses resultados estão de acordo com Dutra e Siman (2024), que evidenciaram que uma parcela expressiva dos municípios brasileiros não realiza a cobrança pelos serviços de manejo de resíduos sólidos, o que corresponde a aproximadamente 47% do total. Dentre os municípios que efetuaram algum tipo de cobrança, mais de 86% adotam o modelo de arrecadação vinculado ao Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), configuração também observada nos municípios de Arandu e Avaré.

O mesmo autor destacou que essa estrutura de financiamento acarretou impactos diretos na sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de manejo de resíduos, uma vez que a arrecadação, em geral, não refletiu os custos reais da operação.

Como consequência, observou-se a restrição da capacidade de manutenção dos sistemas existentes e a limitação dos investimentos voltados à melhoria da qualidade e da eficiência dos serviços prestados.

Tal cenário é reforçado pelo fato de que apenas 6,3% dos municípios brasileiros conseguem cobrir integralmente as despesas do serviço exclusivamente com os recursos arrecadados segundo dados do SINISA (2025), situação igualmente constatada nos três municípios analisados, o que evidencia a fragilidade estrutural do modelo de financiamento adotado.

4.6.3 Dimensão R – Recuperação

O município de Arandu apresentou a maior eficiência na recuperação de materiais, indicando um sistema mais estruturado de coleta e reaproveitamento, com 86% dos resíduos recuperados.

Avaré apresentou desempenho intermediário de 64%, sugerindo a presença de iniciativas de recuperação, porém ainda com limitações operacionais e de alcance.

Em Itai, a recuperação de resíduos mostrou-se incipiente, com apenas 2,5%, o que reflete baixa taxa de reaproveitamento e evidencia a necessidade de ampliar a coleta seletiva, fortalecer a infraestrutura e intensificar ações de educação ambiental voltadas à valorização dos materiais recicláveis.

Arandu apresentou os melhores valores por meio da sistematização da coleta, na qual a Prefeitura Municipal, por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente,

intensificou as ações de fiscalização e educação ambiental, criando um cronograma que possibilitou uma gestão mais eficiente.

Além disso, Arandu contou com um triturador de resíduos de construção civil, que recupera 100% desses resíduos gerados, e com um triturador de galhos e resíduos de poda, que passa sistematicamente toda semana fazendo a coleta e a trituração desses materiais.

Na Figura 24, observa-se a equipe da Secretaria Municipal de Meio Ambiente coletando e triturando os resíduos “verdes”.

Figura 24. Equipe de coleta e trituração de resíduos verdes em Arandu – SP



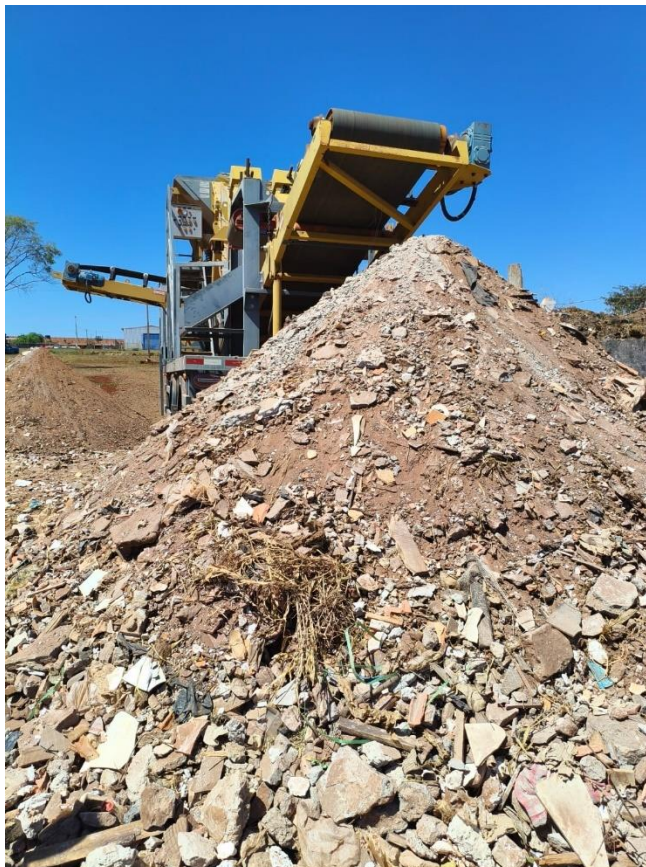
Fonte: SMA (2025)

Ao triturar galhos, folhas e restos de poda, o equipamento reduziu significativamente o volume do material, promovendo a diminuição da granulometria e a homogeneização dos resíduos, o que facilitou o manejo operacional e reduziu a necessidade de transporte e de áreas destinadas ao descarte.

O material triturado foi reaproveitado como cobertura orgânica em áreas verdes, praças, jardins e no viveiro municipal, além de ser doado aos munícipes interessados, contribuindo para a conservação da umidade do solo, o controle de plantas daninhas e a melhoria da qualidade paisagística.

O processo também evita a queima e reduz o envio desses resíduos a pontos de descarte inadequados, promovendo economia, sustentabilidade e práticas de gestão ambiental mais adequadas. Além do triturador de galhos, o município de Arandu conta com um triturador de resíduos de construção civil (RCC), conforme observa-se na Figura 25.

Figura 25. Triturador de RCC utilizado em Arandu – SP



Fonte: SMA (2025)

Arandu obteve notoriedade na Dimensão R, graças ao conjunto de ações que fortaleceu a recuperação e o reaproveitamento de materiais recicláveis no município.

A implantação do triturador de entulhos, o uso de resíduos de construção civil recuperados na manutenção das estradas rurais, a ampliação das iniciativas de triagem e a constante orientação à população contribuíram diretamente para aumentar o volume de resíduos desviados e transformados em soluções eficientes.

Esses esforços consolidaram Arandu como referência nacional na valorização de resíduos e demonstram um compromisso contínuo com práticas sustentáveis e de gestão responsável.

Dos três municípios, apenas Arandu possui uma área para recuperação de resíduos e esses resultados estão de acordo com Ibanhes et al. (2022), que mencionou que

os programas de coleta seletiva e de recuperação dos resíduos implantados pelos serviços públicos municipais não apresentaram as condições adequadas de trabalho, tampouco bons resultados operacionais, onde é comum a existência de Instalações de Recuperação de Resíduos – IRRs desorganizadas, sucateadas, abandonadas, inexistentes ou destruídas.

Na Figura 26, observou-se o local onde Itaí despeja seus resíduos coletados (exceto o orgânico ou rejeito), sem nenhum tipo de seleção ou critério de separação, sendo disposto aleatoriamente.

Figura 26. Local de descarte de resíduos volumosos, de construção, verdes e outros em Itaí



Fonte: Arquivo Pessoal (2025)

Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município de Itaí (2022), os resíduos da construção civil, os resíduos verdes e os resíduos volumosos não passaram por processos de acondicionamento ou segregação na fonte, sendo destinados de forma inadequada. Esses materiais foram descartados diretamente em uma área desprovida de licenciamento ambiental, correspondente ao local onde anteriormente operava o antigo aterro sanitário do município.

Essa prática também favoreceu a proliferação de vetores, como insetos e roedores, capazes de transmitir doenças. Portanto, a separação correta é uma ação essencial para reduzir impactos negativos, promover uma gestão mais eficiente dos resíduos e garantir maior qualidade de vida para toda a comunidade.

Em Avaré, a prática de coleta e descarte de resíduos de construção, resíduos verdes e resíduos volumosos também apresenta dificuldades na operação e na recuperação desses resíduos. Ressalta-se que o município não possui coleta seletiva nem área licenciada para a recuperação dos resíduos.

A ausência de segregação adequada dos resíduos intensificou os impactos ambientais e sanitários, ao ampliar os riscos de contaminação do solo, da água e do ar, além de favorecer a proliferação de vetores patogênicos.

A mistura dos resíduos compromete os processos de triagem, aumenta o volume destinado ao descarte final e reduz a eficiência do sistema de gestão.

Nesse contexto, a separação na fonte configura-se como medida fundamental para mitigar impactos, aprimorar a gestão de resíduos sólidos e promover a qualidade ambiental e o bem-estar da população.

4.6.4 Dimensão I – Impacto Ambiental

A análise da Dimensão I do ISLU evidenciou diferenças significativas no desempenho ambiental entre os municípios avaliados, especialmente quanto ao impacto gerado pela destinação inadequada de resíduos sólidos urbanos sobre a população atendida.

O município de Arandu apresentou o melhor desempenho, com apenas 0,58% de impacto ambiental, resultado associado à menor incidência de destinações inadequadas e à adoção de práticas mais alinhadas às exigências ambientais vigentes. Esse desempenho sugere maior efetividade nas ações de manejo dos resíduos, ainda que persistam desafios para a eliminação total das destinações irregulares.

Em contraste, o município de Avaré apresentou o resultado mais desfavorável, com 9,57% de impacto ambiental, o que indica uma pressão significativamente maior sobre o meio ambiente. Esse cenário pode estar relacionado a fragilidades na infraestrutura de disposição final, bem como à efetividade limitada das ações de controle, fiscalização e monitoramento ambiental. A elevada quantidade absoluta de resíduos

destinados de forma inadequada reforça a necessidade de investimentos estruturais e institucionais mais robustos no município.

O município de Itaí apresentou desempenho intermediário, com 1,6% de impacto ambiental, o que indica avanços pontuais na gestão dos resíduos sólidos urbanos. Contudo, esses avanços ainda se mostram insuficientes para assegurar uma destinação final ambientalmente adequada, evidenciando a necessidade de aprimoramento contínuo das políticas públicas e da infraestrutura disponível.

Quando analisados os dados absolutos, observa-se que Arandu registrou 39,78 toneladas de resíduos destinados inadequadamente para uma população atendida estimada em 6.885 habitantes, enquanto Avaré apresentou 8.973 toneladas frente a 93.742 habitantes, e Itaí 403,67 toneladas para uma população de 25.180 habitantes.

Entretanto, segundo a metodologia do ISLU, qualquer valor maior ou igual a zero é classificado como 1, enquanto valores menores que zero são classificados como -1. Dessa forma, apesar das diferenças expressivas observadas entre os municípios, Arandu, Avaré e Itaí apresentaram valores superiores a zero, resultando na mesma classificação final para a Dimensão I.

Esses resultados sugerem que, embora Arandu e Itaí apresentem impacto ambiental proporcionalmente menor, não foi possível evidenciar a eliminação completa das destinações inadequadas em nenhum dos municípios avaliados, aspecto que permanece como um desafio para o avanço da gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos.

Esses resultados reforçam a interdependência entre a Dimensão I (Impacto Ambiental) e as dimensões de Sustentabilidade Financeira e Governança, uma vez que limitações financeiras e institucionais tendem a comprometer investimentos em infraestrutura, monitoramento ambiental e a implementação de soluções tecnicamente adequadas para o manejo dos resíduos sólidos, conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Ainda existe uma limitação da metodologia no que se refere à capacidade de discriminar nuances de desempenho ambiental entre municípios com realidades distintas, indicando a importância de análises complementares e qualitativas para uma interpretação mais precisa dos resultados.

4.6.5 Componentes do ISLU de Arandu, Avaré e Itaí

Os resultados indicaram diferenças no nível geral de sustentabilidade da limpeza urbana, refletindo a eficiência dos serviços prestados, o grau de engajamento da população, a capacidade de recuperação de resíduos e as condições de destinação final.

De forma geral, os valores do ISLU evidenciaram desafios comuns aos municípios analisados, especialmente no fortalecimento das políticas de recuperação de resíduos e na melhoria dos mecanismos de sustentabilidade financeira e operacional, reforçando a importância do ISLU como instrumento de diagnóstico e apoio ao planejamento de ações voltadas à gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos urbanos.

Esse resultado sugeriu conformidade na etapa de disposição final, pois os dados devem ser interpretados com cautela, uma vez que a precisão dessa dimensão depende da qualidade das informações declaradas ao sistema nacional.

Avaré e Arandu obtiveram resultados próximos e superiores, com 69,9% e 69,3%, respectivamente, o que demonstra sistemas relativamente mais robustos, apesar das falhas na sustentabilidade financeira.

Itaí, com 51,3%, apresentou o menor índice geral, reflexo de suas fragilidades, especialmente em duas dimensões críticas: recuperação (R) e sustentabilidade financeira (S).

Os resultados evidenciaram que, embora o impacto ambiental esteja controlado nos três municípios, os maiores desafios regionais concentraram-se na ausência de cobrança específica e na baixa reciclagem, elementos fundamentais para garantir eficiência econômica e ambiental a médio e longo prazo.

Diversos estudos e diagnósticos nacionais apontam a baixa taxa de reciclagem no Brasil como um dos principais entraves à gestão sustentável dos resíduos sólidos, associando esse cenário à fragilidade da coleta seletiva, à limitada infraestrutura de triagem e ao baixo engajamento da população.

Os resultados estão de acordo com a ABRELPE (2024), que mencionou que apenas uma pequena parcela dos resíduos sólidos urbanos gerados no país é efetivamente reciclada, enquanto a maior parte ainda é destinada a aterros ou locais inadequados.

Paralelamente, a ausência ou insuficiência de cobrança específica pelos serviços de manejo de resíduos sólidos foi identificada como fator crítico para a precarização do

sistema, uma vez que compromete a sustentabilidade financeira dos municípios e limita investimentos em coleta seletiva, educação ambiental e recuperação de materiais.

Nesse sentido, o Tribunal de Contas da União (2020), destacou que a falta de instrumentos econômicos, como tarifas ou taxas específicas, contribui para a dependência de recursos do orçamento geral e dificulta a implementação efetiva da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

As recomendações técnicas direcionadas aos municípios avaliados (Tabela 12), são fundamentais para a melhoria da eficiência na gestão dos resíduos sólidos urbanos, uma vez que orientam o aperfeiçoamento dos sistemas de coleta, tratamento, recuperação e destinação final, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para o fortalecimento da sustentabilidade dos serviços de limpeza urbana.

Tabela 12. Recomendações técnicas para melhoria na eficiência na gestão de resíduos nos municípios individualizados

Município	Recomendações Técnicas
Arandu	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar a cobrança específica pelo manejo de resíduos sólidos, conforme Lei 14.026/2020; • Expandir a coleta seletiva rural e urbana, reforçando rotas, cooperativas e ações de educação ambiental; • Monitorar continuamente a destinação final, garantindo conformidade e evitando irregularidades; • Investir em infraestrutura complementar (galpões, prensas, balanças, veículos exclusivos); • Otimizar o descarte e reaproveitamento dos resíduos volumosos.
Avaré	<ul style="list-style-type: none"> • Estruturar um plano de sustentabilidade financeira com revisão da metodologia de cobrança e cronograma de ajustes; • Reforçar políticas de reciclagem e triagem, construindo galpões e formalizando parcerias com cooperativas; • Qualificar os indicadores do SINISA, aprimorando a coleta e o registro de dados municipais; • Fortalecer comunicação e engajamento popular para reduzir descarte irregular e ampliar adesão à coleta seletiva; • Adotar programas de logística reversa para eletrônicos, pneus e óleo de cozinha. • Buscar parcerias para desenvolvimento de programas voltados à gestão de resíduos sólidos.
	<ul style="list-style-type: none"> • Criar urgentemente cobrança específica para manejo de resíduos (taxa ou tarifa com base no custo real);

Itaí	<ul style="list-style-type: none">• Estruturar ou reativar totalmente o programa de coleta seletiva, com rotas, equipe, PEVs e galpão de triagem;• Implantar sistema de monitoramento contínuo da geração, coleta e destinação, com indicadores mensais;• Reduzir pontos de descarte irregular com fiscalização, educação ambiental e instalação de câmeras.• Investir em equipamentos adequados de triagem (prensa, balança, bags, cobertura) e avaliar aquisição compartilhada de triturador de galhos e RCC.
-------------	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Em síntese, os resultados obtidos com a aplicação do ISLU demonstram que, apesar de avanços pontuais, a gestão dos resíduos sólidos urbanos nos municípios avaliados ainda apresenta limitações estruturais que comprometem sua sustentabilidade no médio e no longo prazo.

A predominância de fragilidades nas dimensões de sustentabilidade financeira e recuperação de resíduos evidencia a necessidade de adoção de instrumentos econômicos, fortalecimento institucional e investimentos contínuos em infraestrutura e capacitação técnica.

Nesse contexto, o ISLU se consolida como uma ferramenta estratégica de diagnóstico e apoio à tomada de decisão, ao permitir a identificação de prioridades, o monitoramento do desempenho municipal e o direcionamento de políticas públicas voltadas à gestão integrada, eficiente e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos.

O aprimoramento da gestão dos resíduos sólidos urbanos demanda uma abordagem sistêmica, que articule planejamento técnico, capacidade financeira e governança institucional, considerando as especificidades territoriais e socioeconômicas de cada município.

A utilização contínua de indicadores como o ISLU pode contribuir para a consolidação de políticas públicas mais consistentes, baseadas em evidências, capazes de orientar investimentos, promover a cooperação intermunicipal e fortalecer a implementação dos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos, especialmente no que se refere à redução da destinação inadequada, à ampliação da recuperação de resíduos e à sustentabilidade dos serviços prestados à população.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo permitem concluir que a implantação de ecobarreiras constitui um instrumento relevante e eficiente para a avaliação integrada da qualidade ambiental de cursos d'água urbanos, ao possibilitar não apenas a retenção de resíduos sólidos flutuantes, mas também a identificação das principais pressões antrópicas associadas às dinâmicas urbanas.

A análise conjunta da quantidade e da tipologia dos resíduos retidos evidenciou uma forte relação com os padrões de uso e cobertura do solo no entorno dos corpos hídricos, demonstrando que áreas caracterizadas por maior grau de urbanização, adensamento populacional e ocupação irregular das margens contribuem de forma mais expressiva para o aporte de resíduos aos ambientes aquáticos.

A predominância de resíduos de origem urbana, especialmente plásticos, embalagens e materiais de uso cotidiano, reforça que a problemática dos resíduos sólidos flutuantes está majoritariamente vinculada à dinâmica urbana e às fragilidades na gestão municipal de resíduos sólidos, e não às atividades agropecuárias.

Os resultados da análise de uso e cobertura do solo corroboraram essa constatação ao indicar que áreas urbanizadas exercem influência direta na geração e no transporte de resíduos flutuantes, enquanto áreas com maior cobertura vegetal desempenham papel mitigador, reduzindo processos erosivos, o carreamento de materiais e os impactos sobre a estrutura e o funcionamento dos cursos d'água.

A aplicação do Protocolo de Callisto permitiu diferenciar os níveis de alteração ambiental entre os trechos avaliados, evidenciando maior degradação nos locais submetidos a maior influência urbana e ocupação irregular das margens.

A convergência entre os resultados do protocolo, a caracterização dos resíduos sólidos flutuantes e a análise de uso e cobertura do solo reforça a robustez metodológica do estudo, ao integrar indicadores qualitativos e quantitativos capazes de captar tanto os efeitos diretos da urbanização quanto suas implicações sobre a qualidade ambiental dos sistemas fluviais urbanos.

No âmbito da gestão pública, os resultados do Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU) evidenciaram limitações estruturais na sustentabilidade econômica e operacional dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, refletidas no aporte de resíduos aos corpos hídricos.

Municípios com desempenho inferior no índice apresentaram maior volume de resíduos flutuantes, indicando que a eficiência da gestão municipal junto ao cumprimento das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), exerce influência direta sobre a qualidade ambiental observada, ainda que indicadores regionais de qualidade da água sugiram condições globalmente favoráveis.

Diante desse conjunto de evidências, conclui-se que o enfrentamento da problemática dos resíduos sólidos flutuantes demanda ações integradas que articulem o planejamento urbano, o ordenamento do uso e cobertura do solo, o fortalecimento da gestão municipal de resíduos sólidos e a conservação das áreas ripárias.

As ecobarreiras demonstraram potencial não apenas como instrumento de contenção e monitoramento, mas também como ferramentas estratégicas de apoio à tomada de decisão e à formulação de políticas públicas ambientais.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a ampliação do monitoramento em diferentes períodos hidrológicos, a integração das ecobarreiras a programas permanentes de gestão e educação ambiental e o aprofundamento de estudos que avaliem os efeitos de intervenções no uso e cobertura do solo sobre a redução do aporte de resíduos e a melhoria da qualidade ambiental dos cursos d'água urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU) 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/islu/#:~:text=%C3%8Dndice%20de%20Sustentabilidade%20da%20Limpeza,o%20Brasil%2C%20a%20exemplo%20de> Acesso em: 20 dez. 2024.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2024. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2024.

ABUBAKAR, I. R.; et al. Municipal solid waste management in developing countries: environmental and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 19, p. 12717, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/19/12717>. Acesso em: 22 dez. 2025.

ADJOVU, G. E.; ILORI, M. O.; ADEGOKE, K. A.; SALAMI, K. A.; AKINTOYE, O. S.; et al. Application of remote sensing and GIS for assessment of water quality in urban rivers. *Remote Sensing*, v. 15, n. 7, art. 1938, 2023. DOI: 10.3390/rs15071938. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/7/1938>. Acesso em: 10 dez. 2025.

AGUILAR, M.; FLORES, J.; LARA, P. Urban sustainability challenges and waste management governance. *Frontiers in Sustainable Cities*, v. 4, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2022.790474/full>. Acesso em: 22 dez. 2025.

ALI, S.; HUSSAIN, M.; RAZZAQ, M.; IQBAL, M.; KHAN, S. Sustainable wastewater treatment technologies and practices: a review. *Journal of Environmental Management*, v. 299, 113561, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113561. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001627921000524>. Acesso em: 10 dez. 2025.

ALMULHIM, A. I.; et al. Sustainable solid waste management strategies and environmental performance. *Sustainability*, v. 14, n. 20, p. 13195, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/20/13195>. Acesso em: 22 dez. 2025.

ANDEOBU, L.; ANDEOBU, E.; OKAFOR, C.; EZE, J. Environmental impacts of solid waste disposal practices and management options. *Science of the Total*

Environment, v. 838, 156411, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156411. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722024822>. Acesso em: 10 dez. 2025.

ANDRADE, A.F.C. Cidades sustentáveis e os objetivos do desenvolvimento Sustentável da ONU: a experiência de São Cristóvão/SE, 2025. Universidade Federal de Sergipe, 2022. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/15951/2/antonio_fernando_carvalho_andrade.pdf. Acesso em: 06 ago. 2024.

ANDRADE, L. R. Biorremediação e fitorremediação: seus potenciais na despoluição de ambientes aquáticos. 2025. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/36563>. Acesso em: 10 dez. 2025

ANJINHO, P.S, et al. Análise da qualidade das águas e do estado trófico de cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo, Itirapina, São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física 13.1 (2020): 364-376.

ANTONINO, R. et al. Modelagem hidrológica integrada para avaliação de impactos de resíduos sólidos no ambiente fluvial. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRHidro, Anais do XXX Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos, 2025. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=16169>. Acesso em: 10 dez. 2025.

BASTOS, M.F. et al. O uso de ecobarreiras para captura do lixo flutuante: estudo de caso da Baía de Guanabara. 2021. Disponível em: <https://www.btd.uerj.br:8443/handle/1/22175>. Acesso em: 22 ago. 2024

AQUINO, A.; VARGAS, J.; DURANY, X. The Role of Informal Waste Management in Urban Metabolism: A Review of Eight Latin American Countries . Sustainability, v. 15, n. 3, p. 1826, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/1826>. Acesso em: 22 dez. 2025.

ARCOS, A.N; CUNHA, H. B. Avaliação dos impactos da poluição nas águas superficiais de um afluente do rio Solimões na Amazônia Central Brasileira. Caminhos da Geografia, v. 22, n. 80, p. 01-14, 2021.

ASQUI, G.; PÉREZ, A.; RODRÍGUEZ, L.; et al. Análisis de variables climáticas y su relación con procesos ambientales urbanos. Revista de Climatología, v. 24, art. RCLIMCS24_0103, 2024. Disponível em: <https://rclimatol.eu/wp->

content/uploads/2024/02/Articulo-RCLIMCS24_0103-Gustavo-Asqui.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025.

ÁVILA, L.V; BELIZÁRIO, A.P; Mensurando a sustentabilidade: uma revisão sistemática da literatura recente dos indicadores ESG na gestão de empresas, cidades e universidades. Revista de Gestão e Secretariado – GeSec, v. 15, n. 8, p. 1-20, 2024. DOI: 10.7769/gesec.v15i8.4036. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4036>. Acesso em: 11 nov. 2025.

AVILA, L. V.; CESAR, S. F. Sustentabilidade e gestão de resíduos sólidos urbanos: desafios e indicadores. Revista de Gestão e Secretariado (GeSec), 2023. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4036/2606>. Acesso em: 22 dez. 2025.

BATISTA, M.S; BORGES, H.B.C. Disposição irregular de resíduos sólidos na app do Rio Itapecuru, em Colinas – MA, 2023. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/IV-045.pdf> .Acesso em 28 de fev. 2024.

AZEVEDO, R. A.; et al. Avaliação espaço-temporal do processo de degradação ambiental em bacias hidrográficas urbanas, 2023. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/122019296/43872-libre.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2025.

BATISTA, L.F. et al. Avaliação da qualidade da água superficial em uma microbacia periurbana do município de Santarém, PA. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 13, n. 2, p. 117-133, 2022.

BATTEN, J. Sustainable Cities Index 2024. Arcadis Global, p. 10, 2024. Disponível em: <https://www.arcadis.com/pt-br/insights/perspectives/global/sustainable-cities-index>. Acesso em: 29 ago. 2024

BENTOS, A.B et al. Avaliação rápida de impactos ambientais em rios: aplicação na microbacia do Ribeirão das Araras, 2021. In: Educação ambiental e cidadania: pesquisa e práticas contemporâneas-volume 1. Editora Científica Digital, 2021. p. 142-157.

BERSANETTE, R. et al. Urban waste and flooding risks: integrated analysis in water bodies under pressure - Revista Interdisciplinar de Ciência Ambiental (RICA), 2024. Disponível em: <https://www.sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/7156>. Acesso em: 10 dez. 2025.

BRASIL, Lei 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 18 mar. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define critérios para classificar águas destinadas à recreação de contato primário.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Estabelece as condições e padrões para o lançamento de efluentes em corpos de água.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho 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. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acesso em: 03.jul.2024

BRASIL. *Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): Principles, objectives and instruments*. Amigos da Natureza – Central de Conhecimento, 2022. Disponível em: <https://ssc4c.org.br/en/central-de-conhecimento/good-washing-practices/national-solid-waste-policy-pnrs>. Acesso em: 11 nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 9433/1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 13 ago. 2024.

BERTICELLI, R.; DECESARO, A; PANDOLFO, A.; PASQUALI, P.B. Contribuição da coleta seletiva para o desenvolvimento sustentável municipal. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 13, n. 2, p. 781–796, 2020. Disponível em: [10.17765/2176-9168.2020v13n2p781-796](https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n2p781-796). Acesso em: 11 jul. 2024.

BORDALO, A. A.; BORDALO, A. L.; PEDROSO, C. Urban land use and water pollution dynamics. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, e34294, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34294>. Acesso em: 10 dez. 2025.

BURSZTEJN, S., & BENETTI, A. D. Monitoramento de agrotóxicos em sistemas de abastecimento de água: uma análise comparada entre a Portaria n.º 888/2021 e as Diretivas Internacionais. *Águas Subterrâneas*, 37(3), e-30220, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v37i3.30220>. Acesso em: 11 de jun. 2024.

CADORIN, D. A.; SILVEIRA, A. L. L.; KOBAYAMA, M. Análise de resíduos sólidos flutuantes em cursos d'água urbanos e sua relação com eventos hidrológicos. *Revista de Gestão de Água da América Latina (REGA)*, v. 19, e797, 2022. DOI: 10.21168/rega.v19e797. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/797>. Acesso em: 10 dez. 2025.

CALLISTO, M. et al. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*. v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002.

CAMPOS, L.P; CARVALHO, J.O; SILVA, M.V. Educação ambiental e práticas sustentáveis: um estudo de caso em comunidades escolares, 2025. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, v. 19, n. 3, p. 45–60, 2025. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/20259/13914>. Acesso em: 10 dez. 2025.

CBH ALPA; Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. Piraju: CBH-ALPA, 2019. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-ALPA/18833/relatorio-de-situacao-dos-recursos-hidricos-das-bacias-hidrograficas-do-estado-de-sao-paulo.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2024.

CBH ALPA – Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (UGRHI 14) – Relatório I: Informações Básicas (Revisão Dezembro) CBH ALPA, 2025. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-ALPA/12024/relatorioalparevisaodezembrov5.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2026.

CBH ALPA – Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (UGRHI 14) – Relatório I: Informações Básicas (Revisão Dezembro).: CBH ALPA, 2023. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-ALPA/12024/relatorioalparevisaodezembrov5.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2026.

CETESB, Relatório de balneabilidade das praias paulistas, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/33/2018/01/>. Acesso em : 23 ago. 2024.

CSEH, A et al. A coleta seletiva no município de São Paulo. Prefeitura Municipal de São Paulo, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sylmara-GoncalvesDias/publication/365690361_A_Coleta_Seletiva_no_Municipio_de_Sao

Paulo/links/63e1a5982f0d126cd18ef38a/A-Coleta-Seletiva-no-Municipio-de-SaoPaulo.pdf. Acesso em: 06 ago. 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. *Relatório de Sustentabilidade 2023*. São Paulo: SABESP, 2023. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/relatorios_sustentabilidade/relatorio_sustentabilidade_2023.pdf. Acesso em: 10 jan. 2026.

CURTI, G. J. et al. De vala a córrego: transformando a percepção ambiental através da aprendizagem baseada em projeto no ensino de Química. *Química Nova na Escola*, São Paulo, Vol. XX, n. YY, p. 1–13, 2025. DOI: 10.21577/0104-8899.20160453. Disponível em: <https://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/AF-158-24.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2025.

DIAS, F.T et al. Between Urban Growth and Sustainable Development: Urbanization, Environmental Issues, and the New Urban Agenda. Universidade Federal de Santa Catarina, 2023. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-8077.2023.e96285>. Acesso em: 06 set. 2024.

DIB, A. R.; SOUZA, L. F.; OLIVEIRA, M. C.; SILVA, R. A. Saneamento básico: impactos ambientais causados pela ausência de infraestrutura adequada. v. 11, n. 2, p. 45–63, 2022. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/104837534/35693-Article-395467-1-10-2022-1014-libre.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2025.

DING, Z.; LIU, S.; ZHANG, X.; YUAN, C. Life cycle assessment of municipal solid waste management systems: environmental and sustainability implications. *Journal of Cleaner Production*, v. 280, 124261, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124261. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621003644>. Acesso em: 10 dez. 2025.

DORDRECHT, S. Environmental Geology. *Encyclopedia of Earth Science*. Dordrecht: Springer, 1999. p. 229–230. DOI: 10.1007/1-4020-4494-1_127. Disponível em: https://link.springer.com/rwe/10.1007/1-4020-4494-1_127. Acesso em: 10 dez. 2025.

DREWNIOK, M. P.; et al. Título do artigo. *Environmental Science & Technology*, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.3c00263>. Acesso em: 22 dez. 2025.

DUAN, H.; ZHANG, Y.; LYU, H. Urban solid waste management strategies: a review on sustainable practices and challenges. *Journal of Cleaner Production*, v. 327,

p. 129374, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129374. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21011894>. Acesso em: 10 dez. 2025

DUTRA, R.M.S.; SIMAN, R.R. Charges to generators for solid waste management services: an analysis of the financial sustainability of Brazilian municipalities. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 18, n. 3, e5876, p. 1–35, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n3-172. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/382037907_Charges_to_Generators_For_Solid_Waste_Management_Services_An_Analysis_of_The_Financial_Sustainability_of_Brazilian_Municipalities. Acesso em: 10 dez. 2025.

ELLIFF, Carla I.; GIMENEZ, Bianca G.; ALENCAR, Melanie V.; SCRICH, Vitória M.; CONTI, Luis A.; TURRA, Alexander. *Assessment of marine litter barrier initiatives and their potential as a prevention strategy in Brazil*. *Ocean and Coastal Research*, v. 73, p. e25002, 2025. DOI: 10.1590/2675-2824073.23167. Acesso em 02 jan. 2026

EMMERIK, T.H.V et al. Mismanaged plastic waste as a predictor for river plastic pollution. *Science of the Total Environment*, v. 951, p. 175463, 2024.

FALCK, R.; MEYER, L.; SCHMIDT, T.; et al. Urban solid waste generation and GDP per capita: a global analysis through the lens of the Environmental Kuznets Curve. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/378717957_Urban_solid_waste_generation_and_GDP_per_capita_a_global_analysis_through_the_lens_of_the_environmental_Kuznets_curve. Acesso em: 10 dez. 2025.

FELETTO, et al. Socio-environmental responsibility: ecobarrier mitigating attitudes and negligent habits, 2024. *Revista Humanidades, Montes Claros*. Disponível em: <http://revistas.funorte.edu.br/revistas/index.php/humanidades/article/view/1168/661>. Acesso em: 22 dez. 2025.

FERREIRA, J.S. et al. A importância da ecobarreira na remoção de resíduos sólidos flutuantes nos igarapés de Manaus – Estudo de caso: Igarapé do Coroadó. *Revista Foco*, v. 17, n. 10, p. 01–19, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n10-110. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/6575>. Acesso em: 10 dez. 2025.

FERREIRA, N.K.F et al. Resíduos sólidos e coleta seletiva: percepção ambiental dos estudantes do curso técnico em Agroecologia no município de Óbidos – PA / Solid waste and selective collection: environmental perception of students of the technical

course in Agroecology in the municipality of Óbidos – PA. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 6, p. 48501–48520, 30 jun. 2022

FORGIARINI, G. M. Classificação dos resíduos sólidos urbanos coletados com o uso de ecobarreira em cursos de água no município de Caçapava do Sul, RS. 2018. Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/server/api/core/bitstreams/584fc1e5-a2a2-48e8-9033-a4cb5fc71132/content>. Acesso em: 10 dez. 2025.

FIUZA, Á.L.G A degradação ambiental por ocupações irregulares em áreas de preservação ambiental: riscos, susceptibilidades e vulnerabilidades, 2023. *Revista da Universidade Estadual de Feira de Santana*. Disponível em: <https://periodicos.uefs.br/index.php/sitientibus/article/view/10358?>. Acesso em: 21 ago. 2024.

FLAUSINO, F.R; . Oferta de serviços ecossistêmicos culturais na despoluição de rios urbanos em São Paulo. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/9KDxQN5NHn5tfcvGTK6JRhx/>. Acesso em: 21 ago. 2024.

FUNES, M. F.; REYNA, T. M.; GARCÍA, C. M.; LÁBAQUE, M.; LÓPEZ, S.; STRUSBERG, I.; VANONI, S. Estimating macroplastic mass transport from urban runoff in a data-scarce watershed: a case study from Cordoba, Argentina. *Sustainability*, v. 17, n. 13, p. 6177, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/13/6177>. Acesso em: 02 jan. 2026.

GUABIROBA, R. C. S.; SILVA, A. L.; COSTA, M. E.; SANTOS, J. R. Urban solid waste management and environmental impacts: challenges for sustainable cities. *Cleaner Environmental Systems*, v. 9, 100283, 2023. DOI: 10.1016/j.cesys.2023.100283. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772912523000283>. Acesso em: 10 dez. 2025.

GALAVOTE, T. et al. Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos Assessment of the effect of strengthening selective collection in the municipal solid waste management costs Licenciado sob uma Licença Creative Commons, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/zssQX57CXWG7C7fKRzvk7pN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 jul. 2024

GOMES, D. O desafio da sustentabilidade urbana. *Revista Brasileira de Direito*, 2023. Disponível em: <https://seer.atitus.edu.br/index.php/revistadedireito/article/view/256/984>. Acesso em: 06 abr. 2024.

GROVERMANN, C. E. Uso e ocupação das áreas de preservação permanentes dos cursos d'água na zona urbana do município de Parobé – RS. 2023. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sustentabilidade) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), São Francisco de Paula, 2023. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/3718>. Acesso em: 10 dez. 2025.

GUIMARÃES, A. P., R, et al. Avaliação do pH, turbidez e análise microbiológica da água do córrego Guará Velho em Guaraí, Estado do Tocantins - *Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins*, 4(4), 3-14. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2017v4n4p3>. Acesso em 22 ago. 2024

GU, J.; LIU, X.; WANG, Y.; ZHANG, H.; LI, F. Occurrence, fate and ecological risk assessment of antibiotics in typical water environment during COVID-19 epidemic. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, p. 106629, 2021. DOI: 10.1016/j.jece.2021.106629. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666765721001149>. Acesso em: 10 dez. 2025.

GWMO – GLOBAL WASTE MANAGEMENT OUTLOOK. O mundo precisa superar a era do desperdício e transformar o lixo em recurso. Brasília: ONU Brasil, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/261852-pnuma-o-mundo-precisa-superar-era-do-desperdicio-e-transformar-o-lixo-em-recurso#:~:text=Sobre%20o%20Global%20Waste%20Management,os%20res%C3%ADduos%20como%20recursos%20valiosos>. Acesso em: 10 dez. 2025.

HADDAD, K.; DELPASAND, M.; LOÁICIGA, H. A. Urban stormwater management and water quality. In: LOÁICIGA, H. A. (Ed.). *Water resources systems planning and management*. Amsterdam: Elsevier, 2022. p. 215–246. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/abs/pii/B9780323905671000085>. Acesso em: 10 dez. 2025.

HAO, Y.; WANG, J.; CHEN, Z. Spatiotemporal analysis of urban environmental sustainability indicators. *Journal of Urban Management*, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809924003813>. Acesso em: 22 dez. 2025.

HERNÁNDEZ, V. J.; VANZELA, A. A.; FRANCO, D. C. Parâmetros físico-químicos da água e sua relação com a qualidade em diferentes trechos de um sistema aquífero no interior do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 10, p. 1037–1044, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wYWM8Ws6jCnzYQrVvJx3fzJ/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2025.

HOERNER, R. et al. Interferência da barreira flutuante no aporte de resíduos à praia na Baía de Guanabara: caracterização dos resíduos sólidos. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, *Anais do 33º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (CBESA)*, 2025. Rio de Janeiro: ABES, 2025. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaisletronicos/33cbesa/1324_tema_iii.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025.

HUMBAL, C. Urban environmental sustainability challenges. In: *Urban sustainability transitions*. Singapore: Springer, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-7618-6_9. Acesso em: 10 dez. 2025.

IBANHES, Eliakyn Dayan de. Avaliação de Impacto dos Planos Municipais de Resíduos Sólidos na Coleta Seletiva Brasileira. 2025. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2022: dados municipais. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Acesso em: 10 jan. 2026.

IDEAS, T.C. Trash racks — Purpose, types & design, 2023. Disponível em: <https://theconstructor.org/water-resources/trash-racks/559412/>. Acesso em: 10 dez. 2025.

INSTITUTO ÁGUA SUSTENTÁVEL (IAS). Os 5 rios mais poluídos do Brasil. São Paulo: Instituto Água Sustentável, 15 jun. 2023. Disponível em: <https://www.aguasustentavel.org.br/conteudo/blog/221-os-5-rios-mais-poluidos-do-brasil>. Acesso em: 08 jan. 2026.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Estudo de perdas de água 2025 (SINISA, 2023): desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil. São Paulo: Instituto Trata Brasil; GO Associados, 24 nov. 2025. 62 p. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2025/11/Estudo20da20GO20Associados20->

20Perdas20de20ACC83_gua20de20202520-20VersACC83C2A3o20Final.pdf.
Acesso em: 10 dez. 2025.

JACOBI, P. R. Governança ambiental urbana: desafios contemporâneos e perspectivas. *Ciência e Cultura*, v. 77, n. 3, 0001, 2025. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252025000300001&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 10 dez. 2025.

JURDI, A. F.; ALMEIDA, S. R.; SOUZA, L. M.; OLIVEIRA, T. P. Evaluation of pollutant transport and water quality response in urban rivers: a modelling approach. *Marine Pollution Bulletin*, v. 185, p. 114317, 2022. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.114317. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X22008815>. Acesso em: 10 dez. 2025.

KHAN, S.; et al. Occurrence, sources, and risks of microplastics in freshwater environments. *Chemosphere*, v. 287, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521028757>. Acesso em: 22 dez. 2025.

KILIÇ, Z. Water Pollution: Causes, Negative Effects and Prevention Methods, 2021. *Istanbul Sabahattin Zaim University Journal of the Institute of Science and Technology*, v. 3, n. 1, p. 129-132, 2021. DOI:10.47769/izufbed.862679. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/izufbed/article/1514334>. Acesso em: 11 nov. 2025

KIPSANG, Nathan K.; KIBET, Joshua K.; ADONGO, John O. A review of the current status of the water quality in the Nile water basin. *Bulletin of the National Research Centre*, v. 48, p. 30, 2024. DOI: 10.1186/s42269-024-01186-2. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s42269-024-01186-2>. Acesso em: 11 nov. 2025.

KRAUSE, Max J. et al. Um levantamento por satélite de alta resolução das emissões de metano de 60 aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos da América do Norte. *Environmental Science & Technology*, v. 59, n. 29, p. 15080-15091, 2025.

KUNTZ, J. M. Caracterização do first flush proveniente de cobertura de fibrocimento localizada em Florianópolis. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/227355>. Acesso em: 10 dez. 2025.

KUMAR, P.; CHOUDHARY, M. P.; MATHUR, A. K. *Analyzing the relationship between municipal solid waste generation and urban land use using integrated geospatial and spatial statistical techniques*. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2025. DOI: 10.1093/inteam/vjaf128.

KUNEN, A.; TABALIPA, N.L.; SABBI, V. Análise da vegetação a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Pato Branco-PR. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/8928>. Acesso em: 29 ago. 2024.

KURNIAWAN, T. A.; LO, W. H.; SINGH, D.; OTHERS. Sustainable municipal solid waste management strategies for environmental protection and circular economy. *Sustainability*, v. 14, n. 4, art. 2374, 2022. DOI: 10.3390/su14042374. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/4/2374>. Acesso em: 10 dez. 2025.

LAFAYETTE, K. et al. Riscos ambientais decorrentes da ocupação irregular: estudo de caso no bairro do Passarinho, Recife-PE. *Territorium*, v. 31, n. II, p. 21–36, 2024. DOI: 10.14195/1647-7723_31-2_2. Disponível em: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/>. Acesso em: 10 dez. 2025.

LAURETI, T.; et al. Waste Management and Innovation: Insights from Europe Resources, v. 9, n. 5, p. 82, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/9/5/82>. Acesso em: 22 dez. 2025.

LEAL, A. C. et al. Avaliação da qualidade ambiental urbana: uso de indicadores integrados em áreas periurbanas. *Revista InterEspaço*, v. 25, n. 3, p. 67–85, 2025. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/20015>. Acesso em: 10 dez. 2025.

LEITE, A. et al. Monitoramento da qualidade das águas que escoam dentro do ifc-camboriú através do índice de qualidade da água (IQA). *Anais da Feira de Iniciação Científica e Extensão (FICE) Campus Camboriú*, 2025.

LENZ, R. S. et al. Dynamics of urban solid waste accumulation in river corridors: analysis of ecobarrier efficiency. *Revista Foco*, v. 20, n. 12, p. 01–16, 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/4633/3481>. Acesso em: 10 dez. 2025.

LIAÑO, J.; EKINS, P. Circular economy approaches to waste management: policy and practice implications. *Journal of Environmental Management*, v. 304, 2022.

Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21009468>. Acesso em:
22 dez. 2025.

LIMA, F.P.A et al. Elementos operacionais de modelos de coleta seletiva, 2022. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/openaccess/9786555502411/03.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2024.

LIU, X.; et al. Identification of drivers of global trade in plastic waste based on GCA and ISM-MICMAC model: taking China, USA and South Africa as cases. *Journal of Cleaner Production*, 2025. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479725002117>. Acesso em: 22 dez. 2025.

MACHADO, CR de A.; A busca por soluções para a poluição hídrica: um estudo de caso sobre tratamento de efluentes. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 2, p. 14115-14122, 2022.

MAGAGNIN, R. C. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e sustentabilidade ambiental. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental (GEAS)*, 2021. Disponível em: <https://uninove.emnuvens.com.br/geas/article/view/19346>. Acesso em: 22 dez. 2025.

MANJORO, P.; MOHAJANE, S. Assessment of microplastic contamination in urban river sediments. *Heliyon*, v. 8, n. 12, e11234, 2022. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e11234. Disponível em:
[https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)03787-2](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)03787-2). Acesso em: 10 dez. 2025.

MARÍN, Edilberto Najar. Solid waste management in urban areas of Latin America. *Visión de Futuro*, v. 28, n. 2, p. 78-97, out.-dez. 2024. DOI: 10.36995/j.visiondefuturo.2024.28.02.003. Disponível em:
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668870820240002000098&script=sci_abstract. Acesso em: 11 nov. 2025.

MARÍN, J.; GÓMEZ, R.; LÓPEZ, P. Gestión de residuos sólidos urbanos y su impacto ambiental en ciudades intermedias. *Vivienda y Hábitat*, v. 28, n. 2, p. 78-92, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.org.ar/pdf/vf/v28n2/1668-8708-VF-28-02-00078.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2025.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 4, p. XXX-XXX, 2015. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/FLjzsqWFfts4TQ46hshcSCJ/?lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2026.

MARQUES, E.O. Proposta de implantação de ecobarreira no arroio Koetz, no município de Igrejinha, RS, Brasil. 2022 - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), São Francisco de Paula, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2662>. Acesso em: 10 dez. 2025.

MARQUES, W. R.; et al. Água e sustentabilidade dos ecossistemas naturais: consequências de ocupações irregulares no rio Paciência., 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Walter-Rodrigues-Marques/publication/355280875_Agua_e_sustentabilidade_dos_ecossistemas_naturais_consequencias_de_ocupacoes_irregulares_no_Rio_Paciencia/links/61717d45766c4a211c07c26a/Agua-e-sustentabilidade-dos-ecossistemas-naturais-consequencias-de-ocupacoes-irregulares-no-Rio-Paciencia.pdf. Acesso em: 22 dez. 2025.

MATAIX A.C et.al. Assessment of the Results and Methodology of the Sustainable Development Index for Spanish Cities. Sustainability, Basel, v. 13, n. 11, p. 6487, 7 jun. 2021. DOI: 10.3390/su13116487. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/6487>. Acesso em: 11 nov. 2025.

MCTARNAGHAN, S. *Urban Resilience: From Global Vision to Local Practice*. Urban Institute, 2022. Disponível em: https://www.urban.org/sites/default/files/2022-09/Urban%20Resilience%20%20From%20Global%20Vision%20to%20Local%20Practice_0.pdf. Acesso em: 11 nov. 2025.

MICHALINA, A.; MERDELY, L.; HELD, A. Sustainability indicators and governance for integrated urban development. Sustainability, v. 13, n. 16, p. 9348, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/9348>. Acesso em: 22 dez. 2025.

MIRANDA, E.; Educação Ambiental a partir da Agenda 2030: experiências da conscientização e do uso racional da água na educação municipal de Varginha (MG). Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), v. 16, n. 2, p. 174-190, 2021.

MILANESE, L.A. A ecobarreira mitigando atitudes e hábitos negligentes: uma proposta de implementação e análise de impactos em cursos d'água. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 21706–21711, mar. 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n3-21706. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/45766>. Acesso em: 10 dez. 2025

MONTEIRO, R. C.; AMARAL, L. P.; RIBEIRO, J. L. D. Indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de resíduos sólidos urbanos. *Revista Temáticas*, 2021. Disponível em: <https://econtents.sbu.unicamp.br/inpec/index.php/tematicas/article/view/15931/10740>. Acesso em: 22 dez. 2025.

MONTOVANI, C. P. Condutividade elétrica e cloretos como indicadores da qualidade da água. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia de Tecnologia) — Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Tecnologia, Limeira, 99 p., 2021. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/handle/123456789/227355>. Acesso em: 10 dez. 2025.

MOREIRA, G.O. Impacto das ecobarreiras na qualidade de água e redução da poluição flutuante em rio urbano (Ribeirão dos Carrapatos, Itaipava, SP). 2021. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/15675>. Acesso em: 08 jan. 2024.

MOURA, G.S et al. Impactos da poluição no rio Sena durante as Olimpíadas de 2024. *Observatório de la economía latinoamericana*, v. 23, n. 1, p. e8833-e8833, 2025.

MOZER, T. S.; NOVAES, A. L.; CESAR, S. F. Indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. *Revista Multidisciplinar de Sustentabilidade*, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Thiago-Mozer/publication/370631855_INDICADORES_DE_SUSTENTABILIDADE_PARA_a_gestao_de_residuos_solidos_urbanos_indicadores_de_sostenibilidad_para_la_gestion_de_residuos_solidos_urbanos_sustainability_indicators_for_urban_solid_waste_mana/links/645ab97239c408339b37b4e7/indicadores-de-sustentabilidade-para-a-gestao-de-residuos-solidos-urbanos-indicadores-de-sostenibilidad-para-la-gestion-de-residuos-solidos-urbanos-sustainability-indicators-for-urban-solid-waste-mana.pdf. Acesso em: 22 dez. 2025.

MUKHERJEE, S. Environmental issues arising from urbanization: a study on the ecological consequences, 2025. Disponível em: <https://www.neliti.com/publications/618268>. Acesso em: 03 dez. 2025.

NAMAVAR, M.; MOGHADDAM, M.R.A.; SHAFIEI, M. Developing an indicator-based assessment framework for assessing the sustainability of urban water management. *Sustainable Production and Consumption*, v. 40, p. 1–12, 2023. DOI: 10.1016/j.spc.2023.06.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550923001380>. Acesso em: 11 nov. 2025.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. *Reckoning with the U.S. Role in Global Ocean Plastic Waste*. Washington, DC: The National Academies Press, 2022. Disponível em: <https://www.nationalacademies.org/read/26132/chapter/2>. Acesso em: 11 nov. 2025.

NERIS, L. G. D.; LIMA, D. F.; SILVA JÚNIOR, F. N.; SOUSA JUNIOR, A. M. Política Nacional de Resíduos Sólidos na perspectiva dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. In: 6º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Foz do Iguaçu-PR, 23-25 maio 2023. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/VIII-006.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2025.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Environment at a Glance: Country Notes – Japan*. Paris: OECD Publishing, 2024. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/environment-at-a-glance-country-notes_59ce6fe6-en/japan_cd8c2c40-en.html. Acesso em: 10 dez. 2025.

OMS (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE). Os rios mais poluídos do mundo, 2023. Disponível em: <https://www.aguasustentavel.org.br/conteudo/blog/221-os-5-rios-mais-poluidos-do-brasil>. Acesso em 01 jun. 2024

OLAWADE, D. B.; et al. Artificial intelligence applications in solid waste management: a systematic review. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 17, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949750724000385>. Acesso em: 22 dez. 2025.

OLIVEIRA, T. K. S. de, & JÚNIOR, I. M. P., 2022. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. *Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS*, 4(3), 77. Disponível em: <https://periodicosgrupotiradentes.emnuvens.com.br/cdgexatas/article/view/5567>. Acesso em : 11 ago. 2024

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). O mundo precisa superar a era do desperdício e transformar o lixo em recurso. Brasília: ONU Brasil, 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/261852-pnuma-o-mundo-precisa-superar-era-do-desperd%C3%ADcio-e-transformar-o-lixo-em-recurso#:~:text=Sobre%20o%20Global%20Waste%20Management,os%20res%C3%ADduos%20como%20recursos%20valiosos>. Acesso em: 10 dez. 2025.

PALEÓLOGOS, E. K.; et al. Decarbonization of the Waste Industry in the U.S.A. and the European Union. *Sustainability*, v. 17, n. 2, p. 563, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/2/563>. Acesso em: 22 dez. 2025

PALHIARINI, W. S.; PAGOTTO, J. P. A. A importância da vegetação ripária para ambientes aquáticos continentais. *SaBios – Revista de Saúde e Biologia*, Campo Mourão, v. 10, n. 2, p. 66–74, 2015. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/1826>. Acesso em: 10 jan. 2026.

PEREIRA, J.H.O. et al. The brazilian national solid waste policy: achievements and challenges. Universidade Estadual do Vale do Acaraú, 2024. Disponível em: <https://rhet.uvanet.br/index.php/rhet/article/view/498/354>. Acesso em: 06 ago. 2024. POZZETTI, V.C; CALDAS, J.N. The disposal of solid waste in the sustainability's core. *Revista Brasileira de Direito Econômico e Socioambiental*, 2019. Disponível em: doi: 10.7213/rev.dir.econ.soc.v10i1.24021. Acesso em: 06 ago. 2024.

PEREIRA, M. C. S.; et al. Water quality and pollution sources in an urban water body: assessing point and diffuse pollution. *Pesquisa & Desenvolvimento em Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 1, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/CHMtZtbxjrPmLhrDGpxjtnh/?lang=en>. Acesso em: 11 nov. 2025

PETROLI, P.A. Armadilha para resíduos em bocas de lobo. 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/219969>. Acesso em: 05 dez. 2024.

PESELA, K.; et al. Governance challenges in solid waste management systems. *Environmental Justice*, v. 14, n. 5, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19376812.2021.1974902>. Acesso em: 22 dez. 2025.

PINEL, S.; et al. Environmental indicators applied to urban and peri-urban areas. *Environmental Earth Sciences*, v. 80, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-021-09621-7>. Acesso em: 22 dez. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARANDU. Plano Municipal de Resíduos Sólidos, 2023, disponível em: <https://www.arandu.sp.gov.br/legislacao/categoria/17/plano-municipal-de-residuos-solidos/> Acesso em: 05 mar. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE AVARÉ. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, 2021. Disponível em: www.avare.sp.gov.br. Acesso 13 nov. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAÍ. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, 2020, disponível em: www.itali.sp.gov.br/agricultura/plano/residuos Acesso em: 04 mar. 2024.

PIÃO, A.C.S. Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos (município de Itaí, SP), sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço do Taquari (Represa Jurumirim). Orientador: Raoul Henry. 1995. 194 p. Tese (Doutorado em engenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

RAM, A.; BRACH, R. Waste Management, Waste Indicators and the Relationship with Sustainable Development Goals (SDGs): A Systematic Literature Review. *Sustainability*, v. 16, n. 19, p. 8486, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/19/8486>. Acesso em: 22 dez. 2025.

RAMOS, D.R.M. Sistema integrado de limpeza e incentivo à conscientização socioambiental para o Arroio Dilúvio. 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/258717>. Acesso em 11 ago. 2024.

RIBEIRO, M.F. R; MARTINS, J. D. D.; O consumismo como fator preponderante para o aumento da geração de resíduos sólidos e os impactos ambientais e na saúde pública. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, v. 12, n. 1, p. 123–152, 2023. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8147540>. Acesso em 22 ago. 2024

SAEED, M.; et al. Sustainable municipal solid waste management practices: challenges and opportunities. *Sustainability*, v. 14, n. 14, p. 8755, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/14/8755>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SAGIORATTO, G.H et. al. Análise gravimétrica de resíduos oriundos de uma ecobarreira no Lajeado Lambedor, Erval Seco, 2022. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/IV-032.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024

SAHOO, S. K.; BAGUL, V. P.; PATEL, S. Design and fabrication of Seabin project for efficient collection of water waste using solar energy. *CVR Journal of Science and Technology*, v. 21, n. 1, p. XX–YY, 2021. Disponível em: <https://cvr.ac.in/ojs/index.php/cvracin/article/view/751>. Acesso em: 10 dez. 2025.

SALVIA, M.; et al. Circular economy strategies for municipal solid waste management: global trends and policy implications. *Journal of Cleaner Production*, v. 342, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621033862>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SANTIAGO, C.; SANTANA, L.; RIBEIRO, R. Políticas de resíduos sólidos orgânicos e resiliência socioambiental: estudo das capacidades de gestão de municípios brasileiros. *SciELO Preprints*, 2024. DOI: 10.1590/SciELOPreprints.9899. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/9899>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SANTOS, A. R. Indicadores ambientais aplicados à gestão de recursos hídricos. *Agri-Environmental Sciences*, v. 7, n. 1, 2021. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/5208/2600>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SANTOS, R. C. L. et al. Avaliação da qualidade d'água de corpos hídricos monitorados pela Agência Nacional de Água em São Luís-MA. *Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia*, v. 10, n. 3, 2022. Disponível em: <https://interfaces.unileao.edu.br/index.php/revista-interfaces/article/view/1383/1009>. Acesso em: 10 dez. 2025

SARKER, M. N. I.; et al. Challenges and opportunities for sustainable municipal solid waste management in developing countries. *Sustainability*, v. 14, n. 5, p. 2481, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/2481>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SCHAFASCHEK, A.M. Desenvolvimento de uma ecobarreira na busca de uma gestão de resíduos sólidos eficiente: uma iniciativa para recuperação do rio da lança, Mafra – SC, 2020. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=7113>. Acesso em: 13 ago. 2024.

SCHMALTZ, R. A. et al. Compostagem de baixa qualidade e riscos à saúde. Consumo, lixo e meio ambiente. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2020. p. 47

SILVA, R. S.; CARNEIRO, A. P. Gestão de resíduos sólidos urbanos e os desafios da implementação da PNRS. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2023. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2023/III-046.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SHAH, Z.; AHMAD, A.; KHAN, M. N.; ALI, S. Assessment of physicochemical and microbial quality of wastewater and its impact on surface water resources: a case study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 6, p. 106294, 2021.

DOI: 10.1016/j.jece.2021.106294. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321040359>. Acesso em: 10 dez. 2025.

SHAFIEI, M.; et al. Decision-support tools for sustainable solid waste management systems. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 13, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550923001380>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SMDR (Secretaria Municipal de Desenvolvimento Rural de Arandu); Dados climatológicos municipal, 2024. Disponível em: www.arandu.sp.gov.br. Acesso em: 06 jan. 2025.

SIMEONOVA, V.; et al. Environmental indicators for sustainable waste management. *Waste Management*, v. 85, p. 24–35, 2019. Disponível em: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000403511000024>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SIVINSKI, M.A.; SIVINSKI, E. A urbanização e o meio ambiente de Viamão/RS. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.51189/rema/3237>. Acesso em: 21 ago. 2024.

SOH, S. T.; ALI, M. I.; ABDULLAH, N. Evaluation of wastewater treatment using hybrid media in constructed wetlands for removal of pollutants. *Pertanika Journal of Science & Technology*, v. 31, n. 2, p. 918–931, 2023. Disponível em: <https://penerbit.uthm.edu.my/periodicals/index.php/peat/article/view/918/1463>. Acesso em: 10 dez. 2025.

SONODA, K. C. Efeito da vegetação ripária na qualidade do recurso hídrico no Distrito Federal. Brasília: Embrapa, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/875078/1/art028.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2026.

SOUZA, J. L. de; SILVA, M. A. da. A importância da água para os rios: aspectos ecológicos e socioeconômicos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, n. 3, p. 123-135, 2023.

SP ÁGUAS. Dados de rede hidrológica básica no Estado de São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.spaguas.sp.gov.br/site/hidrologia/>. Acesso em: 05.01.2025

SUPERTI, A.; et al. Environmental assessment of municipal solid waste management systems: a life cycle approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 327, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621022885>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SURYAWAN, I. W. K.; LEE, C. T. Advances in sustainable waste-to-energy technologies: challenges and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, v. 358, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X24006484>. Acesso em: 22 dez. 2025.

TURTON, A.; CEGLINSKI, P. Taking out the trash, 2021. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/48747037>. Acesso em: 10 dez. 2025.

VALCZAK, F.A.F. A problemática das ocupações com fins de moradia de população vulnerável em áreas de preservação permanente: O caso da comunidade do Jardim Del Rey – São José dos Pinhais/PR. Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2022. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/84287/R%20-%20E%20-%20FRANCISCA%20ANDREA%20FERREIRA%20VALCZAK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 dez. 2025.

VARGAS, J. R. A. JÚNIOR, P. D. F. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida na caracterização da qualidade ambiental de duas microbacias do rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 161–168, 2012.

VIANA, I.C. et al. Implantação de sistema de coleta seletiva como instrumento de transformação socioambiental. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, v. 17, n. 1, p. 418-432, 2022.

VOUKKALI, I. et al. Environmental pressures in urban areas: an integrated assessment of anthropogenic impacts (ou título equivalente conforme o artigo original). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, p. 27670–???, 2023. DOI: 10.1007/s11356-023-27670-2. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-27670-2>. Acesso em: 10 dez. 2025.

XIAO, S. et al. Uma visão geral da reciclagem de resíduos recicláveis na China e recomendações para soluções integradas. *Recursos, conservação e reciclagem*, v. 134, p. 112-120, 2018.

ZANIL, G.B et al. Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 16, n. 41, p. 125, 2022. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rts/article/view/11815> Acesso em: 22 ago. 2024

ZHANG, X.; YUAN, C. Life cycle assessment of municipal solid waste management systems: environmental and sustainability implications. *Journal of Cleaner Production*, v. 280, 124261, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124261. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621003644>. Acesso em: 10 dez. 2025.

ZHUANG, X.; LI, X. Eco-City Problems: Industry–City–Ecology, Urbanization Development Assessment in Resource-Exhausted Cities. *Sustainability*, v. 15, n. 1, p. 166, 2023. DOI: 10.3390/su15010166. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/166>. Acesso em: 10 dez. 2025

YAO, L.; TATA, J.; WOERDEN, F. van. Solid waste management and urban development. In: KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: World Bank, 2018. cap. 2. Disponível em: https://courses.edx.org/assets/courseware/v1/9c36032ee3462a1d05c706d0ca0e275d/assetv1%3AWBGx%2BSWM2001x%2B1T2020%2Btype%40asset%2Bblock/World_Bank_What_a_Waste_2.0_chapter_2.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025.

YIMING, S.; ZHAN, Y.; QI, Y.; XU, D.; DENG, X. Does political participation influence the waste classification behavior of rural residents? Empirical evidence from rural China. *Agriculture*, v. 12, n. 5, p. 625, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/5/625>. Acesso em: 22 dez. 2025.

YU, Y. Urban energy consumption and sustainability: current trends and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 133, p. 110293, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110293. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120305281>. Acesso em: 10 dez. 2025.

WANG, Y.; WU, J. Impacts of solid waste mismanagement on environmental quality and human health. *Science of the Total Environment*, v. 851, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722035884>. Acesso em: 22 dez. 2025.

WANG, X.; ZHANG, D.; LI, Y.; LEE, C.; CHEN, Y. Air quality changes and associated mortality during COVID-19 lockdown in China. *Science of the Total Environment*, v. 789, 147771, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147771. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721014510>. Acesso em: 10 dez. 2025.

WALCZAK, N.; WALCZAK, Z.; TYMIŃSKI, T. Laboratory research on hydraulic losses on SHP inlet channel trash racks. *Energies*, v. 15, n. 20, art. 7602, 2022. DOI: 10.3390/en15207602. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/20/7602>. Acesso em: 10 dez. 2025

WEIWEI, Gong. China turns trash into green growth, expands waste incineration industry. *Shanxi Daily (English)*, 24 jun. 2025. Disponível em: https://www.sxdaily.com.cn/2025-06/24/content_11224649.html. Acesso em: 10 dez. 2025

WERBOWSKI, L. M. et al. *Urban stormwater runoff: a major pathway for anthropogenic particles, black rubbery fragments and other types of microplastics to urban receiving waters*. ACS ES&T Water, 2021.

WOLF, J.; et al. Sustainable solid waste management indicators: a developing country perspective, 2022. Disponível em: <https://bvearmb.do/handle/123456789/2830>. Acesso em: 22 dez. 2025.

WORLD BANK. *Waste in Russia: Garbage or Valuable Resource?* Washington, DC: The World Bank, 2021. Disponível em: <https://documents.worldbank.org/curated/en/702251549554831489/pdf/Waste-in-Russia-Garbage-or-Valuable-Resource.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2025.

WU, J.; XIE, Y.; LYU, H. Urban environmental quality and sustainable land-use planning. *Sustainable Cities and Society*, v. 89, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670722005716>. Acesso em: 22 dez. 2025.