

VITOR KAIBER DOS SANTOS

**INTERFERÊNCIAS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO SOROCABA
ATRAVÉS DA CONTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS
OBSERVADO EM PERÍMETRO URBANO**

Sorocaba
2025

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*



unesp
Sorocaba

VITOR KAIBER DOS SANTOS

**INTERFERÊNCIAS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO SOROCABA
ATRAVÉS DA CONTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS
OBSERVADO EM PERÍMETRO URBANO**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cardoso de Moraes

Coorientadora: Profa. Dra. Vanessa Cezar Simonetti

Sorocaba

2025

S237i

Santos, Vitor Kaiber dos

Interferências na qualidade das águas do rio Sorocaba através da contribuição de sólidos observado em perímetro urbano / Vitor Kaiber dos Santos. -- Sorocaba, 2025

62 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

Orientador: Leandro Cardoso de Moraes

Coorientadora: Vanessa Cezar Simonetti

1. Monitoramento ambiental. 2. Água - Qualidade. 3. Sedimentologia. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Interferências na qualidade das águas do Rio Sorocaba através da contribuição de sólidos observado em perímetro urbano

AUTOR: VITOR KAIBER DOS SANTOS

ORIENTADOR: LEANDRO CARDOSO DE MORAIS

COORIENTADORA: VANESSA CEZAR SIMONETTI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LEANDRO CARDOSO DE MORAIS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp Instituto de Ciencia e Tecnologia Campus de Sorocaba

Profª. Drª. VIVIANE MOSCHINI CARLOS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp Instituto de Ciencia e Tecnologia de Sorocaba

Profª Drª SHEILA CARDOSO DA SILVA (Participação Virtual)
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) - ICT

Sorocaba, 24 de setembro de 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, pela luz nos momentos de incerteza e pela oportunidade de chegar até aqui. Sem Ele, nada disso seria possível.

Aos meus pais, Genésio e Sandra, minha base e meu maior exemplo de dedicação, agradeço pelo apoio, pelo suporte constante e pelo incentivo diário que me sustentaram em todos os momentos desta caminhada.

Aos meus irmãos, Abner e Gabriela, que sempre estiveram presentes com carinho, compreensão e motivação, celebrando comigo cada conquista.

Ao meu orientador Leandro Cardoso pelo apoio. À minha co-orientadora Vanessa Simonetti, por ser muito mais que uma orientação, mas uma grande amizade, agradeço por todo o suporte, paciência e dedicação, que foram fundamentais para que este trabalho se concretizasse.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, com destaque especial ao Wilson Momoshima e ao Felipe Coelho, cujo momentos de conversa e o apoio durante as campanhas de coleta em campo foram essenciais para a realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PGCA), agradeço a oportunidade de integrar este espaço de aprendizado e crescimento, que contribuiu de forma significativa para minha formação profissional e pessoal.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma maneira, fizeram parte desta trajetória, deixando suas marcas em minha vida e ajudando-me a alcançar esta conquista.

“Confia ao Senhor as tuas obras, e os teus pensamentos serão estabelecidos.” Provérbios 16:3

RESUMO

O avanço urbano vem gerando mais impactos no comportamento hidráulico urbano. O estudo realizado no rio Sorocaba, considera as pressões urbanas e industriais no perímetro urbano e as variações sazonais. Foram realizadas coletas em quatro pontos no rio Sorocaba, abrangendo o período seco e chuvoso, analisando parâmetros físico-químicos da água e do sedimento, como pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, série de sólidos e concentração de elementos químicos. Os dados foram integrados a informações de uso do solo e avaliados por análises estatísticas multivariadas. Os resultados indicam que a urbanização desordenada e a impermeabilização do solo aumentam significativamente a carga de sólidos no rio principal em perímetro urbano, especialmente no período chuvoso, quando o escoamento superficial intensifica o transporte de partículas e metais traço. A análise mostrou correlações relevantes entre elementos dissolvidos e particulados, revelando o papel do sedimento como reservatório e fonte de contaminantes em diferentes regimes de vazão. Conclui-se que a conservação da qualidade hídrica exige políticas públicas integradas, incluindo saneamento, recuperação de matas ciliares e monitoramento contínuo. O caso do rio Sorocaba reflete desafios comuns aos rios urbanos brasileiros, sendo essencial a articulação entre ciência, gestão ambiental e sociedade civil para garantir a sustentabilidade hídrica regional.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental. Qualidade da água. Urbanização. Gestão de recursos hídricos. Rio Sorocaba.

ABSTRACT

Urban development is increasingly generating more impacts on urban hydraulic behavior. The study conducted on the Sorocaba River considers urban and industrial pressures within the urban perimeter as well as seasonal variations. Water and sediment samples were collected at four points along the river during dry and rainy periods, analyzing physical and chemical parameters such as pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, solids series, and macro and microelement concentrations. The data were integrated with land-use information and evaluated using multivariate statistical analyses. Results indicate that unplanned urbanization and soil impermeabilization significantly increase the solid load in the river, especially during the rainy season, when surface runoff intensifies the transport of particles and trace metals. The analysis revealed relevant correlations between dissolved and particulate elements, highlighting the role of sediments as both reservoirs and sources of contaminants under different flow regimes. It is concluded that preserving water quality requires integrated public policies, including improved sanitation, restoration of riparian vegetation, and continuous monitoring. The case of the Sorocaba River reflects common challenges faced by urban rivers in Brazil, emphasizing the importance of coordination between science, environmental management, and civil society to ensure regional water sustainability.

Keywords: Environmental monitoring. Water quality. Urbanization. Water resources management. Sorocaba River.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	A água como recurso hídrico.....	9
2.2	Os processos erosivos do solo	12
2.3	Poluição e eutrofização.....	13
2.4	Monitoramento e tratamento de dados ambientais	15
2.5	O uso de sensoriamento remoto como tecnologia ambiental	16
3.	OBJETIVOS.....	17
3.1	Objetivos específicos.....	17
4.	ÁREA DE ESTUDO	18
4.1	Caracterização município	18
4.2	Caracterização geomorfológica e vegetativa	19
4.3	Caracterização hidrográfica.....	20
4.4	Caracterização climática.....	22
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
5.1	Escolha dos pontos amostrais	23
5.2	Materiais de análise	30
5.3	Procedimentos de amostragem	31
5.4	Procedimento para obtenção de informações sobre o uso e ocupação da terra.....	32
5.5	Análises estatísticas empregadas no estudo.....	33
6.	RESULTADOS	34
6.1	Uso e ocupação da terra.....	34
6.2	Avaliação estatística das amostras.....	37
7.	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE A- Tabelas de resultados laboratoriais brutos.....	60

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do desenvolvimento das civilizações e com o aumento da demanda por recursos naturais, notou-se o surgimento de novos e grandes problemas relacionados à escassez gerada pelo esgotamento abrupto de matéria prima, bem como a expansão de crises ambientais geradas pelo desequilíbrio antropológico nos ecossistemas. Dessa forma, o conhecimento das reservas de recursos consumíveis expandiu-se gradualmente, aprofundando a disputa pelo domínio das principais fontes disponíveis. Historicamente as grandes civilizações se desenvolveram ao passo que dominavam pontos estratégicos de obtenção de recursos (MOLDEN, 2020)

Historicamente, o controle de recursos naturais tem sido uma fonte de poder e influência para governos e grupos dominantes. Isso muitas vezes resulta em desigualdades econômicas e sociais entre as nações e dentro delas, exacerbando tensões e conflitos (ØSTBY et. al, 2009; MOREIRA, 2022)

O esgotamento dos recursos naturais não apenas afeta as gerações presentes, mas também compromete a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas necessidades. Isso levanta questões éticas sobre a distribuição equitativa dos recursos e a responsabilidade de preservar o meio ambiente para as futuras gerações (MATA et. al, 2020; VENTURI, 2006).

Outro ponto relevante é o papel da inovação tecnológica na gestão e conservação dos recursos naturais. De acordo com Yang (2023), avanços em técnicas de reciclagem, energias renováveis e práticas agrícolas sustentáveis podem ajudar a mitigar os impactos da escassez de recursos e reduzir a pressão sobre os ecossistemas. No entanto, essas soluções muitas vezes exigem investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento, bem como mudanças nos padrões de consumo e na política governamental (ZORPAS, 2020).

Portanto, além da competição pelo controle de recursos, é crucial promover uma abordagem holística que leve em consideração os aspectos sociais, econômicos e ambientais da gestão de recursos naturais, buscando soluções sustentáveis e equitativas para os desafios globais que enfrentamos (FOLKE et. al, 2010; ZANOTTI et. al, 2020).

Como uma das principais matérias primas usadas pelo ser humano, a água desenvolve extrema importância na existência e manutenção da vida, saúde e bem-estar, além de proporcionar o desenvolvimento econômico e cultural de seu entorno (DA COSTA et. al, 2022; RUIZ et. al, 2021). Dessa forma, a perda de qualidade das águas juntamente com os grandes processos erosivos dos solos gera grande preocupação para estudiosos de diversas áreas.

A presença de sólidos em corpos hídricos é uma das principais questões que impactam negativamente a qualidade da água e é resultado direto das atividades antropogênicas dentro de áreas

urbanas. O descarte inadequado de resíduos sólidos, a liberação de efluentes biológicos e químicos sem tratamento adequado, e a erosão do solo são fatores significativos que contribuem para a presença de materiais sólidos dispersos nos corpos hídricos (PEREIRA et. al, 2020).

Nos perímetros urbanos, se torna muito comum, principalmente em regiões periféricas ou em estágio de desenvolvimento, o uso incorreto de matérias primas para construção civil, como a areia, brita e elementos cimentícios, que são armazenadas habitualmente nas calçadas. Essa forma de deposição resulta no arraste hídrico e eólico de partículas pelas ruas e como consequência acabam sendo encaminhadas para galerias de chuva, chegando até a calha dos rios. Ademais as matérias primas da construção, esse processo carrega outros resíduos urbanos para a calha dos rios, como nos processos de limpeza de calçadas onde ocorre a destinação incorreta para as bocas-de-lobo de elemento como fezes de animais e folhas de árvores, resultando em uma contaminação do corpo receptor (LERMEN et. al, 2020).

Esses sólidos, que podem variar em tamanho e composição, incluem desde detritos plásticos e restos de materiais de construção até sedimentos carregados de nutrientes e substâncias tóxicas. Segundo Corrêa (2020), a contaminação dos corpos hídricos não apenas compromete a potabilidade da água, mas também afeta negativamente os ecossistemas aquáticos, prejudicando a biodiversidade, principalmente a aquática.

A presença de sólidos em suspensão também reduz a transparência da água, impactando a penetração da luz solar e, conseqüentemente, afetando organismos aquáticos (ASSIS, 2021). Assim, a mitigação desse problema requer não apenas medidas de controle e tratamento de resíduos, mas também a adoção de práticas de gestão sustentável do solo e dos recursos hídricos, bem como a implantação de políticas públicas a fim de minimizar esses problemas, conscientizando e engajando a comunidade para esse contexto (SILVA, 2020).

Nesse contexto, o município de Sorocaba desempenha papel de fundamental importância nas características do rio Sorocaba, onde este atravessa o município e representa grande peso histórico e sociocultural municipal. Durante a década de 1950, o rio passou por um processo de retificação visando melhor desenvolvimento urbano, tendo em vista a proximidade com a área urbana, possibilidades de inundações, e por questões de saúde pública, a fim de remoção de focos de mosquitos (MANFREDINI, 2015). Já em 2022, iniciou-se um novo trabalho de desassoreamento do rio Sorocaba e de seus tributários principais no perímetro urbano, resultando em revolvimento de particulados sólidos e conseqüente arraste para outras localidades (SILVA, 2024).

Em relação ao rio Sorocaba, assim como outros rios que vem a passar em perímetros urbanos, tem sido observada uma crescente contribuição de sólidos dissolvidos em sua corrente, impactando adversamente suas características físico-químicas e a saúde de seu ecossistema aquático

(FERNANDES et al., 2017; NOLASCO, 2011). Essa interferência tem implicações significativas na saúde pública, na integridade do ambiente aquático e na economia regional, enfatizando a urgência na formulação de estratégias e na implementação de medidas para mitigar e controlar as fontes de poluição identificadas (TUNDISI, 2016).

Descargas de efluentes industriais e urbanos sem tratamento adequado podem aumentar os níveis de poluição na água (SANTOS et. al, 2021). Além disso, as práticas agrícolas e a urbanização na bacia hidrográfica também desempenham um papel importante na hidrogeoquímica do rio Sorocaba. A erosão do solo resultante dessas atividades pode aumentar a carga de sedimentos e nutrientes na água, também contribuindo negativamente para sua qualidade (COSTA; OLIVEIRA, 2022). Esse processo tem sido amplamente estudado em diversas bacias hidrográficas, evidenciando a relação entre a degradação do solo e a deterioração da qualidade da água (ALMEIDA; MACHADO, 2021).

A hidrogeoquímica do Rio Sorocaba é determinada por uma variedade de fatores, incluindo as características geológicas locais, as atividades industriais e urbanas, e os padrões de uso da terra na bacia hidrográfica. De acordo com Pereira (2021), as propriedades químicas das águas de rios refletem principalmente a composição dos solos e rochas da região, sendo influenciadas pela presença de minerais como argilas e óxidos de ferro. Essa condição geralmente resulta em uma concentração de elementos como ferro, alumínio e traços de elementos químicos na água do rio.

Neste contexto, é essencial promover a implementação de iniciativas de gestão ambiental voltadas para a conservação do rio Sorocaba e a melhoria da qualidade de suas águas, bem como fomentar o desenvolvimento de pesquisas e monitoramento constante de seu ambiente de forma a se estabelecer histórico do ambiente mais conciso e fidedigno à realidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A água como recurso hídrico

A água é um recurso vital e insubstituível para a sobrevivência e prosperidade da humanidade, desempenhando um papel crucial em diversos aspectos, que vão desde as necessidades básicas de sobrevivência até o desenvolvimento socioeconômico e a sustentabilidade ambiental (ALMEIDA, 2021).

A água é fundamental para a vida humana, sendo um componente essencial para a manutenção da saúde e o funcionamento adequado do organismo. Ela é necessária para a hidratação, digestão, regulação térmica e transporte de nutrientes no corpo humano. Além disso, a água desempenha um

papel essencial na produção de alimentos, higiene pessoal e doméstica, tornando-se indispensável para a qualidade de vida (SILVA, 2021).

Segundo Alves (2021), no contexto agrícola, a água é um recurso essencial, desempenhando um papel crucial na produção de alimentos. A irrigação é fundamental para o crescimento de culturas, aumentando a produtividade agrícola e garantindo a segurança alimentar. No entanto, a gestão inadequada dos recursos hídricos na agricultura pode levar à escassez de água e à degradação do solo (FERREIRA, 2021).

Além disso, a água desempenha um papel importante na geração de energia, especialmente através de usinas hidrelétricas, que são uma fonte significativa de eletricidade em muitas regiões do mundo. No entanto, o desenvolvimento dessas infraestruturas pode ter impactos ambientais significativos, como a alteração dos ecossistemas aquáticos e a emissão de gases de efeito estufa associados à formação de reservatórios (MARTINS, 2021).

Para Oliveira (2022), apesar da importância da água, a humanidade enfrenta vários desafios relacionados à sua disponibilidade. A crescente demanda populacional, a urbanização desordenada, as mudanças climáticas e a poluição hídrica são fatores que contribuem para a escassez de água em muitas regiões do mundo. A gestão inadequada e o uso excessivo de recursos hídricos também exacerbam esses problemas.

Diante dos desafios enfrentados, a gestão sustentável da água torna-se imperativa. Isso envolve a implementação de práticas eficientes de uso da água, a conservação de ecossistemas aquáticos, o tratamento adequado de resíduos e a promoção de tecnologias inovadoras para a otimização do uso desse recurso (KOOP, 2020). A cooperação internacional e a conscientização da sociedade sobre a importância da água também são componentes essenciais dessa abordagem.

É bem sabido que a água é um bem essencial aos seres vivos desde os primórdios da humanidade. Esse recurso possibilitou a escrita da história ao longo das eras com sua abundância em algumas áreas e até mesmo a ausência em outras criando condições mais favoráveis de existência de vida e consequentemente melhor desenvolvimentos das civilizações (FABER, 2011).

Como bem natural fundamental aos seres vivos, a água desempenha extrema relevância por possuir propriedades exclusivas distintas em comportamento de qualquer outro meio físico levando em consideração suas funções de inter-relação entre os meios e principalmente de suporte e manutenção à vida fazendo com que seja considerada não apenas como bem natural, mas sim como recurso fundamental (GALLI, 2020).

Além de suas propriedades físicas, a água desempenha um papel essencial em todos os aspectos da vida, desde processos metabólicos básicos até a manutenção dos ecossistemas. Serve como meio para reações químicas dentro das células, é o principal componente dos fluidos corporais

e desempenha um papel crucial no transporte de nutrientes e resíduos. Além disso, a água é essencial para a regulação do clima global, atuando como um moderador térmico e participando em ciclos vitais, como o ciclo da água (GIERSCH, 2021).

Para Szikszay (1993), é sabido que em relação às propriedades químicas da água, quando analisadas isoladamente, exibem interações distintas em comparação com seu comportamento quando estudada em agrupamento. Hoje, compreende-se melhor seus diferentes comportamentos físico-químicos nos processos de retenção de massas e energias quando analisado sua porção unitária e comparado a seu macro comportamento nas grandes massas de água, como rios, lagos e oceanos (BIBIAN, 2007).

No contexto social a água também apresenta grande importância pois além das principais civilizações se originarem às margens de corpos hídricos as culturas também são marcadas por ela, como por exemplo religiões que realizam ritos batismais nas águas, como representação de renascimento, purificação e até mesmo cultos à água como divindade (DIEGUES, 2007).

A água limpa e segura é essencial para a saúde pública. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (2021) acesso à água potável e saneamento adequado é um requisito básico para prevenir doenças transmitidas pela água, como cólera, diarreia e febre tifoide. Populações sem acesso a fontes seguras de água estão em maior risco de sofrer com problemas de saúde e mortalidade infantil.

O acesso à água é uma questão de justiça social e direitos humanos. Em muitas partes do mundo, comunidades enfrentam desafios no acesso à água potável, seja devido à escassez, à falta de infraestrutura adequada ou à discriminação. A falta de acesso equitativo à água pode agravar as desigualdades sociais e econômicas, afetando principalmente os mais vulneráveis (UNRIC, 2017; Oxfam Brasil, 2018).

A água é essencial para a produção de alimentos. A agricultura depende de sistemas de irrigação para garantir o crescimento de culturas e a segurança alimentar das populações. O acesso à água para irrigação pode influenciar diretamente a capacidade das comunidades de produzir alimentos suficientes para atender às suas necessidades nutricionais (RITCHIE, 2020).

A água é amplamente utilizada na indústria para uma variedade de fins, incluindo resfriamento, limpeza, transporte e fabricação de produtos. A disponibilidade de água influencia diretamente a viabilidade e o desenvolvimento de indústrias locais, bem como o acesso ao emprego e oportunidades econômicas nas comunidades.

De acordo com Scholz (2020), em diversas culturas a água desempenha um papel central na coesão comunitária e nas práticas culturais, e em algumas sociedades, o compartilhamento de fontes de água e a colaboração na gestão de recursos hídricos promovem o senso de comunidade e solidariedade entre os membros. Apesar da importância da água, muitas comunidades enfrentam

desafios sociais relacionados à sua gestão e acesso. A escassez de água, a poluição hídrica, a degradação ambiental e a privatização dos recursos hídricos são questões que podem levar a conflitos, migrações forçadas e desigualdades sociais.

A água é um recurso vital que desempenha um papel fundamental no tecido social das comunidades em todo o mundo. Garantir o acesso equitativo à água potável e promover uma gestão sustentável dos recursos hídricos são desafios essenciais para promover a saúde, o desenvolvimento humano e a justiça social. O reconhecimento da água como um bem comum e a implementação de políticas que priorizem o acesso universal e a conservação dos recursos hídricos são passos cruciais para alcançar uma sociedade mais justa e sustentável (IPEA, 2025; ANA, 2025).

2.2 Os processos erosivos do solo

A palavra erosão é proveniente do latim (*erodere*), que significa corroer, representa os processos naturais ou antrópicos ocorridos no solo. São ocasionados pela desaglutinação de massas e camadas, e que são transportadas por diferentes meios. Esses processos possuem elevada importância histórica na formação geológica superficial da Terra, visto que o intemperismo modela a superfície de acordo com o grau de severidade e temporalidade dos eventos expostos (ROBB, 2020).

Dentre outros, a erosão hídrica é um dos tipos mais comuns de movimento de massas. É gerada pela ação da água em suas diversas formas, como chuva, rios, córregos e ondas do mar. Esse fenômeno ocorre quando a água transporta partículas de solo e sedimentos, desgastando gradualmente a superfície da terra. Sua manifestação é particularmente evidente em áreas com declives pronunciados, onde a água pode acumular-se e fluir rapidamente, intensificando o poder erosivo e causando o deslocamento do solo e, segundo Montanarella (2021), os processos de erosão hídrica ocorrem nas grandezas químicas e físicas podendo ou não estar associadas simultaneamente.

O intemperismo químico envolve a alteração química das rochas e minerais pela água e substâncias dissolvidas nela. A água pode reagir com os minerais presentes na rocha, causando sua dissolução ou a formação de novos minerais. Essas reações químicas enfraquecem a estrutura da rocha ao longo do tempo, levando à sua desintegração gradual (WHITE; BRANTLEY, 1995; NESBITT; YOUNG, 1982).

Por outro lado, o intemperismo físico ocorre quando a água atua mecanicamente sobre as rochas, causando sua fragmentação física. Isso pode acontecer de diversas maneiras, incluindo o congelamento e descongelamento da água em fendas e poros das rochas, a expansão e contração térmica da água em ambientes de variação de temperatura, e a abrasão causada pela água

transportando partículas de sedimentos que erodem a superfície das rochas (PININSKA, 2007; DIAS et al., 2020).

Esses processos de intemperismo têm consequências significativas na formação da paisagem terrestre ao longo do tempo geológico. Eles são responsáveis pela criação de vales, ravinas, desfiladeiros e outras características geomorfológicas. Além disso, o intemperismo hídrico desempenha um papel crucial na ciclagem de nutrientes e na formação de solos, influenciando diretamente o desenvolvimento e a sustentação dos ecossistemas terrestres (CAVALCANTE, 2020).

De acordo com Pereira (2023), a intensidade e a velocidade do intemperismo hídrico variam de acordo com uma série de fatores, incluindo clima, tipo de rocha, tempo de exposição, características hidrológicas da região e interferência antrópica. Em áreas com maior precipitação e temperatura, o intemperismo hídrico tende a ser mais rápido e intenso, enquanto em áreas mais secas e frias, pode ocorrer a um ritmo mais lento.

Os tipos de erosão podem ter impactos significativos no meio ambiente e na sociedade. Podem resultar na perda de nutrientes do solo, diminuição da fertilidade, degradação do habitat natural, assoreamento de rios e cursos d'água, aumento do risco de enchentes e deslizamentos de terra, e comprometimento da qualidade da água potável (BARROS, 2022).

De acordo com Borelli (2021), fenômenos tectônicos e climáticos bem como ação antrópica contribuem com a perda das camadas primárias de proteção do solo, como a vegetação, ocasionando processos de erosão mecânica tornando-os mais vulneráveis ao arraste de minerais desprendidos onde são carregados pela ação do vento e das águas e depositado nas bacias de sedimentação. Comumente, pela física e cinética dos processos erosivos esses sedimentos minerais acabam por serem carregados para corpos hídricos (FRASCARELI, 2022).

2.3 Poluição e eutrofização

Poluição e contaminação são termos inter-relacionados que frequentemente se sobrepõem no contexto ambiental e de saúde pública, mas possuem diferenças específicas que os distinguem.

A contaminação refere-se a presença indesejada de substâncias nocivas em um ambiente específico, objeto ou organismo, que podem causar danos à saúde humana, animal, vegetal ou ao meio ambiente. A contaminação pode resultar de processos naturais ou atividades humanas e implica a introdução de agentes contaminantes em níveis que excedem os limites aceitáveis ou seguros (CARDOSO-SILVA, 2014).

Efeitos de poluição das águas aparecem quando contaminantes são introduzidos em corpos hídricos, afetando sua qualidade e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Exemplos de poluentes da

água incluem adição de metais pesados, pesticidas, nutrientes excessivos (nitrogênio e fósforo) e organismos patogênicos (MATTHIENSEN, 2017).

Segundo MOSCHINI-CARLOS (2009), a poluição interfere significativamente nos processos de eutrofização, um fenômeno que ocorre quando corpos d'água são enriquecidos com nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, levando a um crescimento excessivo de algas e outras plantas aquáticas. Esse processo pode ser natural, mas frequentemente é acelerado por atividades humanas, resultando na eutrofização cultural.

Com o crescente desenvolvimento das civilizações e o aumento da demanda ao consumo de água, os processos de poluição de corpos de água vêm se intensificando em larga escala. À medida que a falta de tratamento de esgoto ocasionado diretamente por problemas socioculturais gera casos como descarte de efluentes domésticos nos corpos hídricos, os processos erosivos decorrentes do uso inadequado do solo geram desprendimento de minerais. O carreamento de nutrientes para as bacias se intensifica, resultando assim em problemas de elevada complexidade à remediação (DE MATOS, 2020).

De acordo com Pompêo (2004), a entrada de nutrientes em corpos d'água se dá principalmente através de escoamento superficial, esgoto doméstico, efluentes industriais, fertilizantes agrícolas e deposição atmosférica. O aumento na disponibilidade de nutrientes promove o crescimento rápido de algas fitoplanctônicas e plantas aquáticas. Quando essas algas e plantas morrem, elas se depositam no fundo do corpo d'água e são decompostas por bactérias, processo que consome oxigênio dissolvido na água. Essa decomposição rápida pode levar a condições de hipóxia (baixos níveis de oxigênio) ou anoxia (ausência de oxigênio), resultando na morte de peixes e outros organismos aquáticos, reduzindo a biodiversidade e alterando a estrutura do ecossistema (PEREIRA, 1994).

A poluição, especialmente por nutrientes, desempenha um papel crucial na aceleração dos processos de eutrofização. O uso excessivo de fertilizantes na agricultura resulta em escoamento superficial e drenagem subterrânea que transportam esses nutrientes para rios, lagos e oceanos. Efluentes domésticos e industriais frequentemente contêm altos níveis de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, que são liberados diretamente nos corpos d'água sem tratamento adequado. Emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) e amônia (NH₃) de veículos, indústrias e agricultura podem se depositar em corpos d'água através da chuva ácida, contribuindo para o aumento de nutrientes. Mudanças no uso do solo, como desmatamento e urbanização, também aumentam o escoamento superficial e a entrada de nutrientes nos corpos d'água (FREITAS, 2021; OLIVEIRA, 2021).

As consequências da eutrofização acelerada incluem floração de algas nocivas, que podem produzir toxinas prejudiciais à saúde humana e animal, perda de biodiversidade devido à redução de oxigênio e alteração dos habitats aquáticos, degradação da qualidade da água, afetando o

abastecimento de água potável e as atividades recreativas, e impactos econômicos significativos em atividades como pesca e turismo (ESTEVEZ et al., 2018).

2.4 Monitoramento e tratamento de dados ambientais

O monitoramento ambiental desempenha um papel essencial na conservação e gestão sustentável dos recursos naturais, incluindo água, solo e vegetação. Ele permite a identificação precoce de impactos ambientais, facilitando a implementação de medidas mitigadoras e corretivas. Além disso, possibilita a criação de políticas mais eficazes para o uso racional desses recursos, assegurando sua disponibilidade para as gerações futuras.

De acordo com Simonetti (2018), a consolidação de sistemas de monitoramento e medição ambiental possibilita a construção de modelos preditivos que analisam mudanças em curto, médio e longo prazo. Esses modelos são fundamentais para compreender padrões de consumo e sua relação com a disponibilidade dos recursos naturais, permitindo a adoção de estratégias adaptativas que garantam um equilíbrio sustentável entre exploração e conservação.

Além disso, através do monitoramento é possível identificar a exposição do meio aos poluentes dispersos no ambiente, e assim garantir a melhor abordagem na elaboração de medidas preventivas que minimizem os riscos à saúde a eles associados, tanto para o ser humano, quanto para as demais formas de vida envolvidas (RESENDE, 2002).

No âmbito econômico, os monitoramentos das questões ambientais reforçam a necessidade do uso das tecnologias para o melhor apoio de decisões nos diversos setores, incluindo indústrias, agricultura e suas subseções, transporte e energia onde, através da disponibilidade dos dados, se torna palpável a possibilidade de produção de práticas e políticas que minimizem os impactos negativos das produções (PICAZO, 1985).

O crescimento das civilizações e a consequente necessidade de aumento da demanda dos recursos, correlacionam com os grandes problemas ambientais, como as mudanças climáticas e declínio de qualidade hídrica, e se encontram com a criação de novos modelos, justificando a permissibilidade da tomada de novas medidas mitigatórias, ou adaptação às mudanças (NETO, 1995).

Além disso, o conhecimento desses dados embasa as propostas legislativas para assegurar o cumprimento de normas e regulamentos ambientais, que assegurem o cumprimento da legislação, possibilitando maior proteção aos recursos naturais e responsabilizando os que violam o estabelecido.

2.5 O uso de sensoriamento remoto como tecnologia ambiental

O sensoriamento remoto é uma tecnologia ambiental avançada que se baseia na detecção e medição de radiação refletida ou emitida pela superfície terrestre para monitorar e analisar diversos aspectos do meio ambiente. Essa tecnologia envolve a aquisição de dados por meio de satélites, aeronaves, drones e outros dispositivos equipados com sensores, os quais capturam imagens e informações detalhadas sobre a Terra (NOVO, 2010).

Essa tecnologia é amplamente empregada no monitoramento do desmatamento e da degradação florestal. Imagens de satélite de alta resolução permitem a identificação de áreas desmatadas e a quantificação da perda de cobertura florestal ao longo do tempo. No Brasil, programas como o PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite) utilizam essa tecnologia para acompanhar a extensão do desmatamento na Amazônia (INPE, 2020).

Na gestão de recursos hídricos, o sensoriamento remoto é essencial para o monitoramento de corpos d'água, a detecção de poluição e a análise de mudanças na qualidade da água. Sensores específicos são capazes de identificar algas, contaminantes e variações na temperatura da água, auxiliando na proteção e na gestão eficiente dos recursos hídricos (JENSEN, 2007).

Para Martinelli (2019), no setor agrícola, o sensoriamento remoto facilita a prática da agricultura de precisão, fornecendo informações detalhadas sobre a saúde das plantas, a umidade do solo e a presença de pragas. Imagens multiespectrais e hiperespectrais capturam dados que ajudam os agricultores a tomar decisões informadas sobre irrigação, fertilização e controle de pragas, aumentando a produtividade e reduzindo o uso excessivo de insumos agrícolas.

O sensoriamento remoto também desempenha um papel crucial no monitoramento das mudanças climáticas globais. Satélites como Terra e Aqua da NASA fornecem dados sobre a temperatura da superfície terrestre, a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e a extensão do gelo polar. Essas informações são essenciais para a modelagem climática e a previsão dos impactos das mudanças climáticas (KALU et al., 2020).

Em situações de desastres naturais, o sensoriamento remoto fornece dados em tempo real e pós-evento para avaliar a extensão dos danos e coordenar esforços de resposta e recuperação. Imagens de satélite são usadas para mapear áreas afetadas por inundações, terremotos, incêndios florestais e furacões, auxiliando na mobilização de recursos e no planejamento de ações emergenciais (UN-SPIDER, 2014).

Segundo Santos (2015) conservação da biodiversidade, a tecnologia de sensoriamento remoto é utilizada para monitorar habitats naturais e espécies ameaçadas. Imagens de satélite permitem a identificação de áreas críticas para a conservação, o mapeamento de corredores ecológicos e o

acompanhamento de mudanças nos ecossistemas causadas por atividades humanas ou fenômenos naturais.

Para o controle da poluição do ar e do solo, sensores a bordo de satélites podem detectar poluentes atmosféricos, como dióxido de nitrogênio, ozônio e partículas finas, proporcionando um monitoramento contínuo da qualidade do ar. Além disso, o sensoriamento remoto permite a detecção de contaminação do solo por substâncias químicas, auxiliando na identificação e remediação de áreas poluídas (BASTOS; MELO, 2018).

No planejamento urbano e no gerenciamento do uso do solo, o sensoriamento remoto é indispensável. Imagens de satélite ajudam a mapear o crescimento urbano, identificar áreas de expansão e monitorar a ocupação do solo, facilitando o planejamento sustentável das cidades e a preservação de áreas verdes (PEREIRA; SANTANA, 2021).

O sensoriamento remoto é uma tecnologia ambiental robusta que fornece dados essenciais para o monitoramento, gestão e conservação do meio ambiente. Sua aplicação em diversas áreas ambientais contribui significativamente para a sustentabilidade e a proteção dos recursos naturais, promovendo a qualidade de vida e a conservação do planeta.

3. OBJETIVOS

Analisar a contribuição dos principais afluentes acerca do aporte de sedimentos no rio Sorocaba em perímetro urbano.

3.1 Objetivos específicos

- Analisar sazonalmente os parâmetros físico-químicos da água nos pontos selecionados para o estudo.
- Analisar quimicamente os sedimentos da calha do rio Sorocaba nos pontos de maior contribuição urbana.
 - Identificar o perímetro urbano de influência direta na calha do rio Sorocaba.
 - Correlacionar os parâmetros físico-químicos da água e dos sedimentos
 - Gerar um banco de dados com informações referentes às condições atuais da água e dos sedimentos do rio Sorocaba.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 Caracterização município

Situado a aproximadamente 100 km da capital estadual, o município de Sorocaba está estrategicamente localizado com as coordenadas geográficas de 47°34'12,000"W-23°21'3,600"S e 47°18'10,800"W-23°35'20,058"S. Sorocaba é atravessada pelas rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Castelo Branco (SP-280), duas das principais rodovias intermunicipais do estado, facilitando o transporte de produtos e pessoas do interior para a capital. Esse cenário favorece o êxodo urbano da capital, densamente populada, para cidades emergentes como Sorocaba, resultando em crescimento populacional e adensamento de seu centro urbano (SÃO PAULO, 2022a).

Sorocaba, com uma população estimada de 700 mil habitantes e uma área de aproximadamente 449,872 km² (IBGE, 2022), possui uma infraestrutura bem desenvolvida que sustenta seu crescimento econômico. A cidade conta com uma malha viária consolidada, linhas férreas para transporte de cargas e o Aeroporto Estadual de Sorocaba, crucial para a aviação executiva e manutenção de aeronaves (SÃO PAULO, 2022b). Além disso, Sorocaba abriga um dos maiores distritos industriais do interior paulista, sendo sede de empresas nacionais e multinacionais de diversos segmentos, incluindo metalurgia, automobilística, eletroeletrônica e farmacêutica (SOROCABA, 2022a).

A atividade industrial é um componente importante em Sorocaba. O município abriga diversos parques industriais e zonas empresariais, atraindo empresas nacionais e multinacionais. Setores como o automotivo, metalúrgico, químico e de tecnologia têm uma presença significativa na economia local. A existência de áreas industriais bem planejadas e localizadas contribui para o desenvolvimento econômico da cidade, mas também impõe maiores controles relacionados à gestão ambiental e ao controle da poluição (SILVA, 2021).

Sorocaba também possui áreas de preservação ambiental que são essenciais para a conservação da biodiversidade e para a manutenção dos recursos hídricos. Parques naturais, reservas ecológicas e matas ciliares desempenham um papel crucial na proteção dos ecossistemas locais. Exemplos dessas áreas de preservação incluem o Parque Natural Municipal da Água Vermelha, o Parque Natural Municipal Chico Mendes e outras unidades de conservação que abrigam uma rica diversidade de flora e fauna (MELLO et al., 2014).

O município investe em inovação e desenvolvimento tecnológico, destacando-se o Parque Tecnológico de Sorocaba, que abriga empresas de tecnologia, centros de pesquisa e desenvolvimento e oferece apoio a startups (SOROCABA, 2022b). A cidade também se destaca no setor educacional, contando com instituições de ensino superior, como a Universidade de Sorocaba (UNISO), Faculdade

de Tecnologia de Sorocaba (FATEC), Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS), Universidade de São Paulo e unidades do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), que contribuem para a formação de profissionais qualificados e o avanço da pesquisa científica na região (SÃO PAULO, 2023).

Indicadores econômicos reforçam a importância do município na economia estadual. Sorocaba apresenta um Produto Interno Bruto (PIB) robusto, sendo um dos maiores do interior paulista. A taxa de desemprego geralmente se mantém abaixo da média nacional, e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) elevado reflete as boas condições de vida da população (FUNDAÇÃO SEADE, 2022).

Apesar do crescimento econômico, Sorocaba enfrenta desafios urbanos, como a mobilidade urbana, que exige investimentos constantes em transporte público e infraestrutura viária (EMTU, 2023). A cidade tem ampliado sua frota de ônibus, investido na modernização de semáforos inteligentes e incentivado a expansão de ciclovias para reduzir o impacto ambiental do transporte individual motorizado (SOROCABA, 2023a).

A sustentabilidade é outro ponto de atenção, com o município adotando práticas voltadas para a preservação ambiental e eficiência energética. A cidade busca ampliar a coleta seletiva, aumentar áreas verdes urbanas e promover iniciativas de economia circular para reduzir resíduos industriais e domésticos (CETESB, 2023). O Parque Natural Chico Mendes e o Jardim Botânico de Sorocaba são exemplos de espaços ambientais que auxiliam na conservação da biodiversidade e na educação ambiental da população (SOROCABA, 2023b).

4.2 Caracterização geomorfológica e vegetativa

O município de Sorocaba possui uma geomorfologia variada que reflete a complexa interação entre processos geológicos e climáticos ao longo do tempo. A cidade está situada no Planalto Atlântico, uma das grandes unidades geomorfológicas do estado de São Paulo, e seu relevo é predominantemente suave, com ondulações leves e colinas, características típicas do planalto, com uma altitude média de aproximadamente 600 metros acima do nível do mar (Muller, 2007; Santos et al., 2015).

A região de Sorocaba é composta por diferentes tipos de formações geológicas, sendo as rochas sedimentares predominantes, formadas principalmente durante o período Cretáceo. Estas rochas fazem parte do Grupo Bauru, que inclui arenitos, siltitos e argilitos. Além disso, basaltos resultantes de derrames vulcânicos antigos associados à Formação Serra Geral também são encontrados na região. Coberturas coluviais e aluviais estão presentes nas áreas de baixada e ao longo

dos cursos d'água, formadas por depósitos recentes de sedimentos transportados pela ação da água (Ferro et al., 2003; Almeida, 2011).

O relevo de Sorocaba pode ser dividido em várias unidades, cada uma com características específicas. Os planaltos e serras são as formas mais elevadas do relevo, com altitudes variando entre 700 e 900 metros, marcadas por colinas e morros arredondados formados principalmente por rochas sedimentares. As depressões periféricas são áreas mais baixas e planas, localizadas entre os planaltos e as serras, formadas por processos erosivos que removeram material das partes mais altas, depositando sedimentos nas áreas mais baixas. Os vales fluviais são formados pelos rios e córregos que cortam o município, incluindo o rio Sorocaba, apresentando relevo mais plano e áreas de deposição aluvial onde sedimentos finos são depositados pela ação da água corrente (Curi et al., 2007; Pazzini, 2010).

Os solos de Sorocaba são bastante variados, refletindo a diversidade geológica e geomorfológica. Latossolos, que são profundos e bem drenados, são encontrados nas áreas mais elevadas. Argissolos, também profundos, mas com maior capacidade de retenção de água, são comuns em áreas de relevo ondulado. Gleissolos e Neossolos são encontrados nas áreas de várzea e próximos aos cursos d'água, sendo solos mais rasos e com alto teor de matéria orgânica (Schmidt et al., 2012; Ferreira & Rodrigues, 2016).

Atualmente, os processos geomorfológicos que mais influenciam a paisagem de Sorocaba incluem a erosão, provocada pela ação das chuvas e pela intervenção humana, responsável pela formação de ravinas e voçorocas em áreas de solo exposto, e a sedimentação, que ocorre principalmente nas áreas de várzea e ao longo dos cursos d'água, onde sedimentos transportados pela água são depositados (Silva et al., 2009; Tavares, 2014).

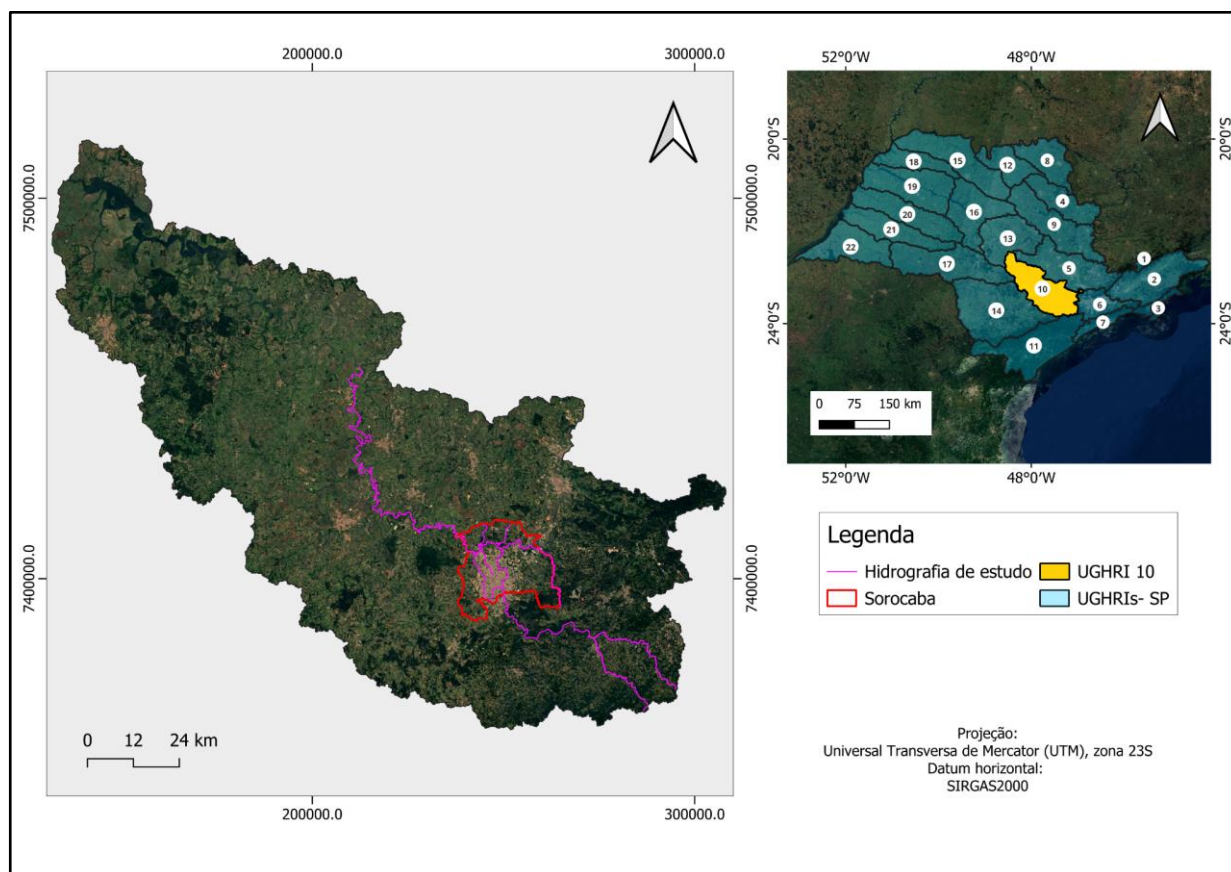
4.3 Caracterização hidrográfica

A rede hidrográfica de Sorocaba é um elemento importante na geografia do município. O rio Sorocaba é o principal eixo de escoamento hídrico, que percorre a cidade e é responsável pela drenagem da região. Além dele, diversos córregos e riachos contribuem para a formação de vales fluviais e áreas de deposição aluvial.

De acordo com a Lei nº 7663/91 (Política Estadual de recursos Hídricos), a Unidade Federativa do Estado de São Paulo é dividida em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) onde são integradas as regiões hidrográficas da Bacia do Paraíba do Sul, Vertente Litorânea, Rio Grande, Rio São José dos Dourados, Rio Tietê, rios Aguapeí e Peixe e Rio Paranapanema (SigRH, 2023).

Localizado na UGRHI 10 (Figura 1), o rio Sorocaba é um importante contribuinte na bacia hidrográfica do Médio Tietê. Sua nascente está localizada na serra do Mar, região litorânea do estado de São Paulo, o mesmo é formado pela união dos rios Sorocabuçu e Sorocamirim, percorrendo pouco menos de 230 Km até desaguar no rio Tietê, sendo considerado um de seus principais afluentes à margem esquerda (SILVA; OLIVEIRA, 2019).

Figura 1- Localização do rio Sorocaba em relação ao perímetro municipal de Sorocaba e UGRHI 10.



Fonte: Elaboração própria

O Rio Sorocaba atravessa vários municípios, incluindo Votorantim, Sorocaba, Itu, Salto de Pirapora, Porto Feliz e Laranjal Paulista. Ele é uma fonte crucial de água para consumo humano e atividades industriais na região de Sorocaba e outros municípios ao longo de seu curso. Além disso, suas águas são utilizadas para irrigação de áreas agrícolas e servem indústrias locais em seus processos produtivos.

Ao longo de seu percurso, o rio Sorocaba oferece uso as mais diversas finalidades, como transporte de cargas, irrigação agrícola, dessedentação animal e abastecimento para uso público. Nesse contexto destaca-se o reservatório de Itupararanga, localizado no município de Votorantim responsável por cerca de 80% do abastecimento de água do município de Sorocaba (SAAE, 2022).

No entanto, o Rio Sorocaba enfrenta problemas de poluição devido ao lançamento de esgotos domésticos e industriais, resíduos sólidos e agrotóxicos. Esforços de despoluição e recuperação têm sido realizados ao longo dos anos, com variações no sucesso (SILVA; LIMA, 2019). O rio e suas margens abrigam uma variedade de fauna e flora, algumas das quais são específicas da região. Programas de recuperação ambiental buscam preservar e recuperar esses ecossistemas (MARTINS; SANTOS, 2021).

De acordo com Smith (2003), a bacia do rio Sorocaba apresenta uma declividade aproximada de 0,3%, resultando em baixa velocidade de escoamento. Junto a este fato, o aumento do isolamento das áreas de drenagem por construções urbanizadas, resultam em um significativo aumento dos casos de cheia do rio, principalmente nos primeiros meses do ano, quando se intensifica os períodos chuvosos. Pelo seu baixo escoamento junto ao constante avanço urbano em suas margens e lixiviação de novos sedimentos, o rio Sorocaba passa a sofrer com o acúmulo de matérias na calha hídrica, resultando na maximização dos processos de enchente e piora na qualidade das águas.

Com intuito de minimizar os efeitos do excesso de sedimentos, em março de 2022 a prefeitura de Sorocaba, por meio de iniciativa privada, iniciou um processo de remoção de parte dos sedimentos presentes na calha do rio. A empreitada removeu cerca de 175 mil metros cúbicos de material do trecho urbano municipal, contabilizando um trecho aproximado de 2 km pelo rio Sorocaba no perímetro central urbano e mais 1,6 km do córrego Itanguá (CRUZEIRO DO SUL; SECOM, 2024).

Iniciativas de despoluição do rio Sorocaba, como o Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES), têm sido implementadas para melhorar a qualidade da água. Campanhas de educação ambiental e ações de conscientização comunitária são realizadas para envolver a população na preservação do rio. Existem também projetos de parques lineares ao longo do rio, como o Parque das Águas, que promovem lazer, preservação ambiental e melhor qualidade de vida para a população local (Cunha et al., 2010).

4.4 Caracterização climática

Segundo a classificação de Köppen, o clima do município de Sorocaba é do tipo subtropical (Cfa), caracterizado como tropical de altitude. Este tipo de clima é marcado por verões quentes e úmidos e invernos suaves e relativamente secos (DA SILVA, 2022)

De acordo com o CLIMATE-DATA (2024), a temperatura média anual em Sorocaba mantém-se entre 20°C e 20,5°C. Durante o verão, que vai de dezembro a fevereiro, as temperaturas são mais elevadas, frequentemente ultrapassando os 30°C. O mês mais quente é fevereiro, com médias entre 23°C e 24°C. No inverno, que ocorre de junho a agosto, as temperaturas são mais

amenas, com médias entre 16°C e 17°C. O mês mais frio é julho, podendo registrar mínimas próximas a 10°C, especialmente durante a madrugada e início da manhã.

Sorocaba recebe uma precipitação anual média de cerca de 1.300 milímetros. A distribuição das chuvas ao longo do ano é desigual, com uma estação chuvosa bem definida no verão e uma estação seca no inverno. Os meses de dezembro a início de março são os mais chuvosos, concentrando grande parte das precipitações anuais. Durante esse período, são comuns as chuvas intensas e tempestades de verão. Em contraste, os meses de junho a agosto são os mais secos, apresentando ocorrência de poucas chuvas e baixa umidade relativa do ar, em especial no mês de agosto, onde se registram os menores índices históricos de precipitação (DA SILVA, 2021).

A umidade relativa do ar em Sorocaba varia ao longo do ano, acompanhando o padrão das precipitações. Durante a estação chuvosa, a umidade é mais elevada, frequentemente acima de 70%. No período seco, especialmente nos meses de inverno, a umidade pode cair significativamente, atingindo valores na casa de 50% a 60%, vindo possivelmente a causar desconfortos e problemas respiratórios (MONTEIRO, 2015).

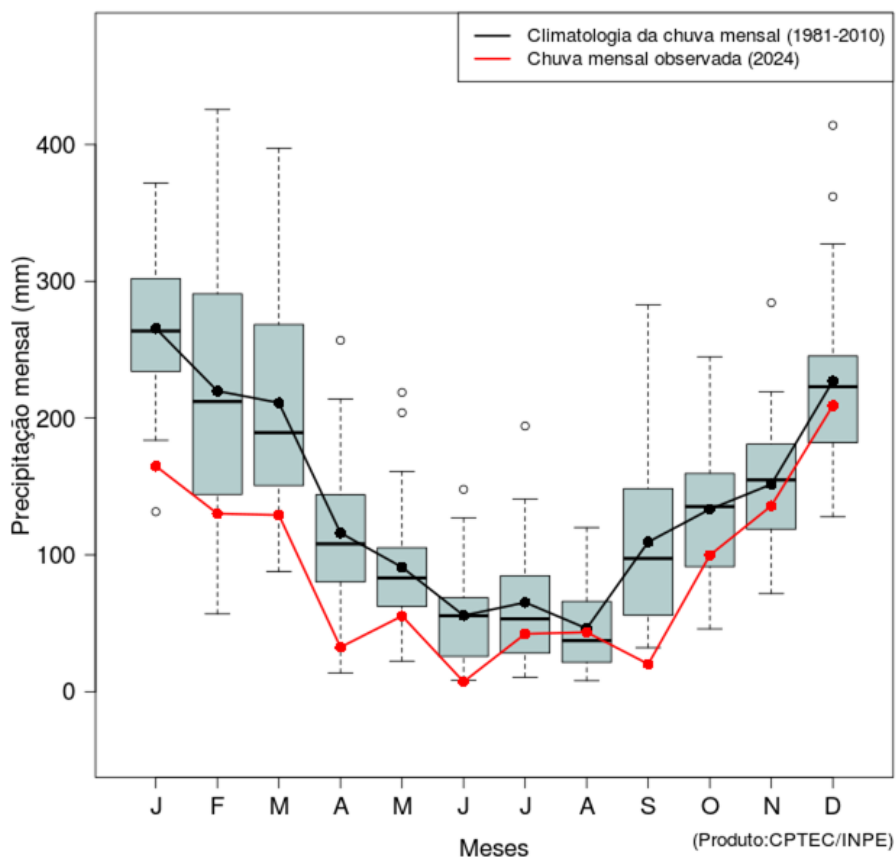
Os ventos em Sorocaba são geralmente moderados, influenciados pelas condições locais e sistemas meteorológicos regionais. Durante o verão, os ventos predominantes vêm do Sudeste e do Sul, trazendo umidade do Oceano Atlântico. No inverno, os ventos podem ser mais secos e frios, provenientes do Sul e do Sudoeste, associados a massas de ar frio que chegam à região. O clima de Sorocaba é influenciado por diversos fatores regionais, incluindo a altitude, a proximidade de sistemas frontais e a circulação atmosférica geral do sudeste do Brasil (MENDONÇA; DANTAS, 2018).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Escolha dos pontos amostrais

A escolha feita referente aos meses de março e agosto de 2024 para a realização das coletas de água no rio considerou a sazonalidade climática do estado de São Paulo, marcada por duas estações bem definidas: o período seco, que ocorre majoritariamente entre os meses de maio a setembro, e o período chuvoso, concentrado entre outubro e março, de acordo com a Figura 2.

Figura 2- Boxplot da média de precipitação anual da região 114 (região de Sorocaba), definida pelo CPTEC/INPE.



Fonte: (CPTEC/INPE, 2025).

Assim, março foi selecionado por representar o final da estação chuvosa, quando há maior aporte de água e maior escoamento superficial. Já agosto foi escolhido por ser um dos meses mais secos, quando o fluxo hídrico tende a ser mais estável.

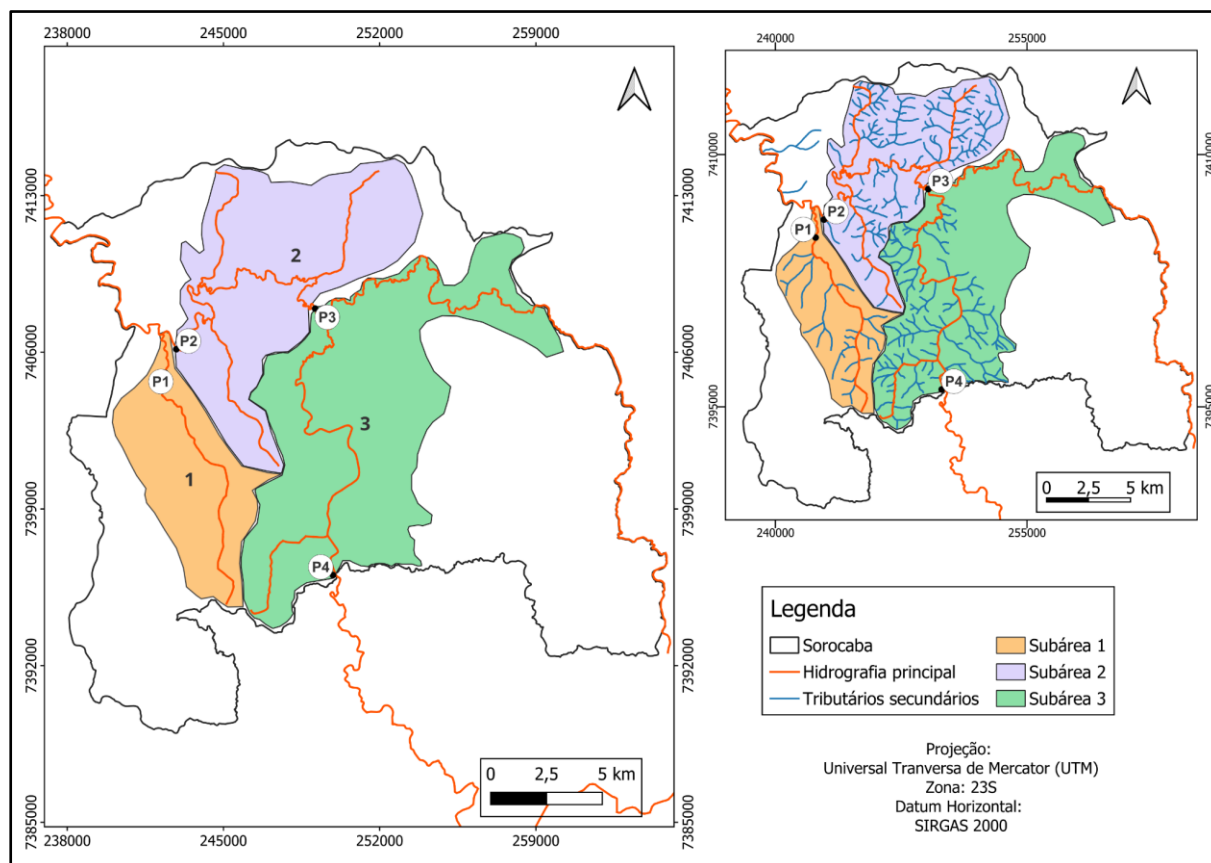
A escolha dos pontos amostrais foi realizada levando em consideração as áreas de influência dos principais tributários, em extensão, do rio Sorocaba, abrangendo desde a entrada até a saída do rio dentro do município. Para isso, primeiramente foi determinada a coleta de jusante para montante, de forma a não coletar amostras que tenham sido coletadas anteriormente por arraste de escoamento da calha (COSTA, 2017).

Através do software QGIS 3.34.11, juntamente com a extensão de camada da coleção 8 do MapBiomas, foram realizadas a extração dos dados de uso e ocupação da terra no município de Sorocaba juntamente com as delimitações das sub-bacias e de seus respectivos caminhos hidráulicos.

De forma a se ter a melhor representatividade de dados correspondente à área de influência na contribuição urbana direta do rio, foram criadas três subáreas, constando a sub-bacia dos maiores tributários urbanos de Sorocaba dentro de cada subárea, como mostra a Figura 3.

Dessa forma, os pontos foram divididos e posicionados na entrada da calha principal e saída das subáreas, obtendo a melhor representação do perfil ocupacional do perímetro urbano do município, relacionando o perímetro dos tributários das proximidades.

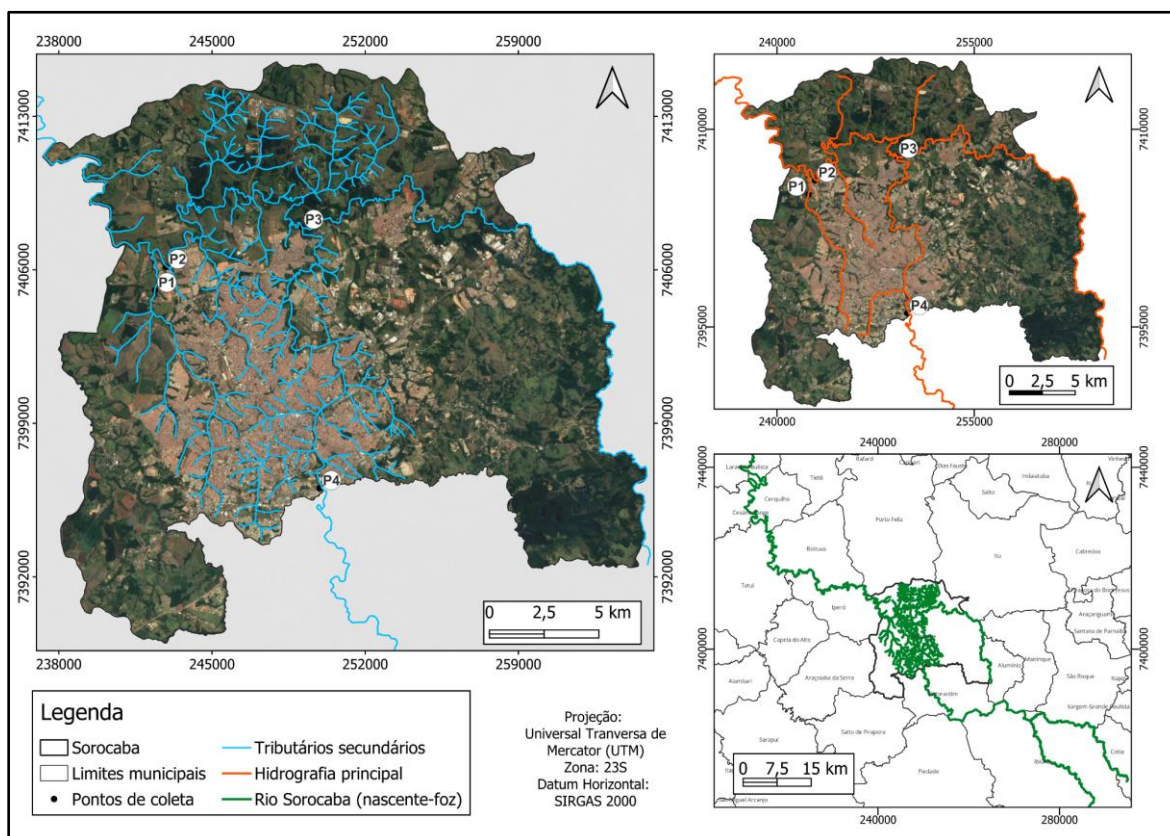
Figura 3- Delimitação das subáreas pertencentes aos maiores tributários do perímetro urbano de Sorocaba.



Fonte: Elaboração própria.

A partir de então, foi caracterizado e geolocalizado cada ponto a ser realizado a coleta de acordo com a posição dos pontos amostrais (P1; P2; P3; e P4). As coletas foram realizadas priorizando o acesso por pontes, de forma a facilitar a aquisição e replicabilidade dos dados. A localização dos pontos em relação ao posicionamento espacial urbano e a disposição dos tributários do rio pode ser observada na Figura 4.

Figura 4- Localização dos pontos amostrais baseados na zona urbana e nos tributários próximos.



Fonte: Acervo próprio.

O ponto 1 (Figura 5) está localizado nas coordenadas $23^{\circ}26'38,5''S$ $47^{\circ}31'17,0''O$, na porção noroeste do município, subárea 1. Embora o ponto esteja na saída da área de estudo, ela aborda um dos principais tributários do rio Sorocaba dentro do perímetro urbano de Sorocaba, o Córrego Itanguá. Sua relevância se dá pelo fato de a maioria de suas nascentes estarem dentro da região mais densamente urbanizada do município, além de percorrer essa mesma área até desaguar no rio Sorocaba.

Figura 5- Ponto de coleta 1.



Fonte: Acervo próprio.

No reconhecimento inicial, foi registrado que o entorno da região de coleta do ponto, se trata de uma área pouco urbanizada, sendo caracterizada por segmento de formações de sub-bosques no entorno, em contraste com algumas residências próximas. Entretanto, o mesmo é marcado por diversos focos de descarte ilegais de resíduos urbanos, como resíduos de construção civil, móveis velhos e produtos que poderiam ser destinados para coleta seletiva.

A via em que o ponto se encontra é um dos acessos de ligação do município de Iperó ao município de Sorocaba, realizando ligação direta ao centro municipal através da avenida Ipanema. Embora pouco urbanizada, em comparação com as áreas da entrada do rio Sorocaba, esse perímetro é marcado por intenso tráfego de veículos no período diurno e consequente queda no noturno. Essa característica resulta nos problemas de descarte ilegais encontrados, visto que a ausência de pessoas transitando na área no período noturno, gera segurança na realização dos descartes pela baixa possibilidade de detecção do indivíduo responsável por outros no entorno.

Nas características de borda do rio, a área é marcada por elevada presença de pedras e blocos de concreto, resultado da intervenção antrópica para a construção da ponte e técnicas de contenção de talude para conter deslizamentos de terra na base da ponte para dentro da calha do rio. Além disso, foi notado a presença de uma sapata de concreto na parte submersa do pé da ponte, item esse comum nesse tipo de infraestrutura, mas que corrobora para a deposição de sedimento, visto que o mesmo tem um ressalto de aproximadamente 30 centímetros acima do nível do fundo e a coluna d'água no local tem aproximadamente um metro, resultando assim na sedimentação de materiais na base.

No ponto 2 é possível verificar algumas diferenças em relação ao ponto 1. Com as coordenadas 23°26'04,0"S 47°30'59,1"O, o mesmo se encontra em uma zona de transição (Figura 6). O adensamento populacional nas zonas já urbanizadas corrobora para a ocupação de regiões menos urbanizadas adjacentes a elas, como é o caso da ocorrência no ponto 2.

Figura 6- Ponto de coleta 2.



Fonte: Acervo próprio.

Localizado também na região norte, seu acesso se dá pela avenida Ipanema, uma das principais avenidas do município, onde se tem alto fluxo populacional, resultado da intersecção com a rodovia Castelo Branco, resultando em um acesso otimizado de moradores de cidades vizinhas ao centro de Sorocaba. A margem esquerda do ponto é demarcada com o fim da zona mais densamente urbanizada do município, findando-se no bairro Parque São Bento e mais a montante, o conjunto habitacional Ana Paula Eleutério (bairro Habiteto).

Em contraste com a margem esquerda, a margem direita do rio Sorocaba, no ponto 2, é marcada pela baixa densidade urbanística, sendo predominante regiões de pasto e algumas variedades de plantios. Entretanto, próximo ao final norte da subárea 2, registra-se uma quantidade significativa de nascentes que culminam em um deságue no rio Sorocaba. No entorno da rodovia Castelo Branco, encontram-se diversas empresas que vem a gerar impactos nessas nascentes, e devido a isso também se cria o interesse na observação das variações nesse ponto.

Dessa forma, a escolha desse ponto adiciona informações da contribuição, tanto da porção central do município, realizada pelo deságue do córrego do Matadouro na margem esquerda, quanto da continuidade do rio Sorocaba, que recebe impactos dos bairros e indústrias nas proximidades.

Para o ponto 3 a estratégia de coleta em pontes não foi possível ser abordada, como realizada nos pontos 1, 2 e 4. Tendo em vista que a ponte mais próxima do sentido de coleta do rio situa-se a mais de um quilômetro do ponto definido, não se tornou efetiva a possibilidade de realizar a correção de pontos, pois a escolha de manter a estratégia resultaria em imprecisões de dados.

Além da distância propriamente dita, o trecho P2-P3 não se encontra nas seções de retificação que o rio Sorocaba passou, preservando assim suas curvas naturais. Dessa forma, os sedimentos carregados pelo rio Pirajibu, principal tributário da subárea 3, para a calha do rio Sorocaba, sofrem interferências na cinética de movimento no percurso até o próximo ponto de coleta, resultando em depósitos de sedimentos nas curvas e consequentemente diminuição de cargas até a chegada ao ponto de coleta. Sendo assim, foi necessário o reposicionamento do ponto.

Assim, o ponto 3 (Figura 7) foi definido nas coordenadas 23°24'47,7"S 47°27'42,2"O, que se encontram dentro da estação tratamento de água e efluente da unidade S2, do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Sorocaba, no bairro Vitória Régia. Por estar dentro dos limites da estação que realiza a coleta de água para abastecimento do município, foi selecionado a localidade exata de coleta de forma a não coincidir com o ponto de sucção de água do rio pelas adutoras, a fim de evitar coletas de sólidos e sedimentos conduzidos mecanicamente pelas bombas de água. Além disso, a coleta foi realizada a montante do ponto de descarte do tratamento de efluente para que o mesmo também não crie desvios de resultados.

Figura 7- Ponto de coleta 3.

Fonte: Acervo próprio.

Devido a quantidade de tributários ligados ao canal principal, a subárea 3 possui maior área, abordando metade do perímetro urbano municipal. Seus principais contribuintes no perímetro urbano são o ribeirão do Lajeado, na porção sul, e o rio Pirajibu, na porção oeste. Ambos possuem características distintas quanto ao tipo de interferências, sendo para o ribeirão do Lajeado uma contribuição mais urbana, resultado de suas nascentes em proximidade com o adensamento urbano local. Já para o rio Pirajibu, sua contribuição no perímetro é mais voltada para o descarte de indústrias localizadas nas proximidades da foz.

O ponto 4 (Figura 8) localiza-se na entrada do município, divisa com o município de Votorantim, com as coordenadas de 23°31'36,2"S 47°26'58,1"O. Seu entorno é levemente urbanizado, por estar em zona de transição entre municípios, além de apresentar boa proteção por cobertura vegetal na margem direita.

Figura 8- Ponto de coleta 4.

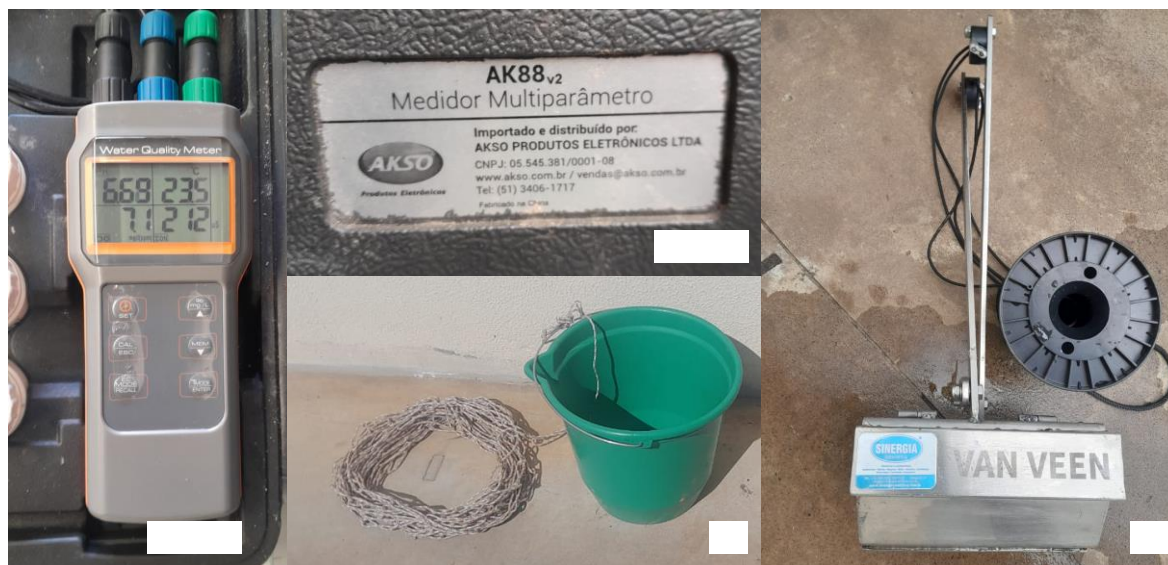
Fonte: Acervo próprio.

A divisão municipal é feita pela rodovia Raposo Tavares, local onde foi realizada a coleta. Por se tratar do ponto de controle do estudo, o reconhecimento do entorno e de suas peculiaridades se torna extremamente relevante. Durante o reconhecimento da área, foi observado uma canaleta de condução de água de chuvas com deságue na proximidade, sendo necessário o cuidado na coleta, de forma a não se aproximar do ponto final da calha para que não se tenha interferências dela.

5.2 Materiais de análise

Para a coleta *in loco*, foi utilizado sonda multiparâmetro AKSO-AK88v2 para aferição prévia de pH, temperatura, condutividade e oxigênio dissolvido. A água foi amostrada com um balde de polipropileno e corda de 30 metros. Para sedimentos, utilizou-se draga do tipo Van Veen. As amostras de sedimentos foram armazenadas em potes com quantidades suficientemente necessárias para a realização de ensaios. As amostras de água foram depositadas em garrafas de um litro, para parâmetros físico-químicos, e 2 litros para ensaios de série de sólidos (Figura 9).

Figura 9- 1.a Sonda multiparâmetro; 1.b Marca e modelo do equipamento; Balde de coleta com corda para içamento; Draga Van Veen.



Fonte: Acervo próprio.

Para os ensaios laboratoriais, utilizou-se mufla para calcinação a 550 °C e estufa de secagem a 105°C para queima da matéria orgânica e remoção da umidade, respectivamente, com as amostras sendo resfriadas em um dessecador para evitar reabsorção de umidade. A pesagem foi feita em balança analítica, garantindo precisão nos resultados.

Para a filtração, utilizou-se uma bomba de vácuo e filtros de fibra de vidro (tipo Millipore AP 40, Gelman A/E), retendo os sólidos suspensos. Os cadinhos de porcelana de 50 mL foram empregados no acondicionamento das amostras durante os processos térmicos. A determinação de

sólidos sedimentáveis foi realizada no cone de Imhoff, e os volumes foram medidos com uma proveta de 30 mL (Figura 10).

Figura 10- 1 Cones Imhoff preparados para análise; 2 vidrarias e amostras utilizadas nas análises.



Fonte: Acervo próprio.

5.3 Procedimentos de amostragem

As campanhas foram divididas em duas datas, de forma a abranger os períodos de maior e menor precipitação, Tabela 1.

Tabela 1- Períodos de coleta.

Campanha	Data	Período
Campanha 1	09/03/2024	Chuvoso
Campanha 2	22/08/2024	Seco

Fonte: Elaboração própria.

Para as coletas de água, foi utilizado balde plástico ambientado com água do próprio corpo hídrico na técnica de tríplex lavagem, de forma a não gerar variações nos resultados através de contaminação com elementos residuais (BRANDÃO et al., 2011a).

Para acondicionamento das amostras em campo, foram utilizados recipientes de polietileno de alta resistência, sendo refrigerados para transporte dos materiais até o laboratório e, após coletados, reservados em recipiente isolante com gelo para preservação das amostras. A coleta no corpo hídrico ocorreu por meio da suspensão de baldes no meio da calha do rio, seguindo o proposto no modelo NBR 9897/87. Para a coleta de sedimentos, utilizou-se draga tipo Van Veen, conforme diretrizes estabelecidas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (BRANDÃO et al., 2011b).

Após a segregação dos pontos amostrais, foram realizadas as aferições dos parâmetros a serem analisados, sendo proposto que cada ponto forneceria três segmentos de amostras, de forma a abordar

os parâmetros necessários para avaliação dos sólidos e suas interferências, seguindo metodologia de coleta disposta na NBR 9898/87.

O primeiro grupo de amostragem engloba as análises *in loco*, com finalidade de análise descritiva da variação observada em campo. Sendo assim, foram registrados no momento da coleta os valores de pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica através de sonda multiparâmetro AKSO AK88v2.

O segundo grupo de amostragem teve a finalidade de analisar os parâmetros químicos da água e dos sedimentos. Para tanto, mantendo os mesmos pontos de coleta das outras amostras, foram coletadas porções de sedimento do fundo da calha do corpo hídrico com auxílio da draga, juntamente com amostras e água, semelhante à encaminhada para verificação da série de sólidos. As amostras foram encaminhadas para análise junto ao Departamento de Água e Solos da Unesp *campus* de Botucatu, e analisadas pelo Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas. As análises químicas da coluna d'água contemplaram os parâmetros Nitrogênio Amoniacal Total; Fósforo Total, Potássio, Cálcio, Magnésio, Cobre; Ferro, Manganês e Zinco, expressos em mg/L, de acordo com metodologia proposta por Raij (2005).

O terceiro grupo de amostras, aborda a quantificação de sólidos presentes na coluna de água. Para a realização da amostragem foram coletadas amostras de água e analisadas no laboratório de análises de solos da UNESP *campus* Sorocaba, seguindo metodologia proposta na normativa NBR 10664/89 e por Eaton et. al (2005).

Para tanto, as campanhas foram realizadas de acordo com os segmentos adotados nas análises, buscando evidenciar as possíveis interferências da sazonalidade no aporte de sedimentos no rio Sorocaba, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Síntese das segmentações das análises de água e período das campanhas.

Segmentação das análises	Características	Repetição
Grupo de amostras 1	Análises <i>in loco</i>	Sazonal (seco e chuvoso)
Grupo de amostras 2	Análise dos elementos químicos da água e dos sedimentos	
Grupo de amostras 3	Sólidos presentes na coluna d'água	

Fonte: Elaboração própria.

5.4 Procedimento para obtenção de informações sobre o uso e ocupação da terra

Para a classificação do Uso e Cobertura da Terra (UCT) foram utilizados o software de sistema de informação geográfica QGIS 3.34.11, juntamente com as bases de dados da plataforma

MapBiomass, que produzem mapeamento anual da cobertura e uso da terra a partir de 1985, por meio de mosaicos do Landsat com resolução espacial de 30 metros.

Através deste, foi adquirido o banco de dados referente ao zoneamento urbano municipal, onde junto as subáreas definidas, foi possível a verificação das proporções urbanas para cada área analisada.

5.5 Análises estatísticas empregadas no estudo

Os resultados obtidos nas análises de água e sedimentos das sub-bacias contribuintes foram inicialmente submetidos à análise estatística descritiva, abrangendo os valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão (DP), amplitude e coeficiente de variação (CV%). Essa abordagem possibilitou uma caracterização preliminar dos parâmetros ambientais examinados em cada matriz (água, e sedimento), bem como em cada fase hidrológica (seca e chuvosa).

Posteriormente, todas as variáveis utilizadas nas análises bivariadas e multivariadas foram normalizadas por meio do escore z , com o intuito de uniformizar as escalas de medição e conferir peso equivalente a cada variável nas análises estatísticas, conforme sugerido por Simonetti et al. (2019). A padronização baseou-se na média e no desvio padrão de cada variável, conforme expressa a Equação 1:

$$z = (xi - X)/\sigma \quad (1)$$

Sendo: z é a variável padronizada; xi é a variável a ser padronizada; X é o valor médio, e σ é o desvio padrão.

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi aplicada com o objetivo de sintetizar os padrões multivariados das variáveis físico-químicas da água e do sedimento. Essa técnica multivariada possibilita a redução da dimensionalidade dos dados, transformando o conjunto original de variáveis em um número menor de componentes ortogonais que preservam a maior parte da variância do sistema, o que auxilia na interpretação ecológica e na identificação de associações entre parâmetros ambientais (Hongyu; Sandanielo; Oliveira Júnior, 2015; Hair et al., 2005).

Para a construção das matrizes, foram consideradas separadamente as variáveis obtidas nas amostras de água e nas de sedimento, organizadas de modo a representar cada ponto de coleta e período sazonal (seco e chuvoso). Como as variáveis apresentavam diferentes escalas e unidades, procedeu-se à padronização dos dados utilizando o método do z -score, que transforma os valores de cada variável em uma medida adimensional com média zero e desvio-padrão unitário. Esse procedimento é essencial para evitar que variáveis de maior magnitude numérica exerçam influência

desproporcional sobre os resultados, garantindo comparabilidade entre todos os parâmetros analisados (Menezes et al., 2016; Ferreira, 1996).

A ACP foi calculada a partir da matriz de correlação de Pearson, visto que a padronização permite a análise das associações lineares entre variáveis de diferentes unidades. A decomposição espectral da matriz resultou nos autovalores e autovetores, que foram utilizados para determinar a proporção de variância explicada por cada componente principal e para gerar os scores e *loadings*. Os escores representam a posição de cada amostra em relação aos componentes, enquanto os *loadings* indicaram a contribuição de cada variável para a formação dos eixos de ordenação.

Na sequência, foi aplicado o teste de correlação linear de Pearson (r), com o propósito de avaliar o grau de associação entre os parâmetros avaliados. O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a 1, sendo que valores próximos de ± 1 indicam forte correlação positiva ou negativa, enquanto valores próximos de zero sugerem ausência de correlação (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009). Neste estudo, foram consideradas apenas correlações com significância estatística igual ou inferior a 5% ($p \leq 0,05$), calculadas por meio do teste t bicaudal (Equação 2):

$$t = r\sqrt{(n - 2)/(1 - r^2)} \quad (2)$$

Sendo: $n - 2$ é o grau de liberdade; r é coeficiente de correlação Pearson; e r^2 é coeficiente de determinação.

As análises foram realizadas no programa PAST versão 4.09 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001), considerando como referência os valores médios obtidos na campanha do período chuvoso e seco. Para esta investigação, foram consideradas fortes as correlações com $(r) \geq 0,8$, visto que, de acordo com Bhutiani et al. (2020), tais associações podem indicar fontes comuns de contaminação.

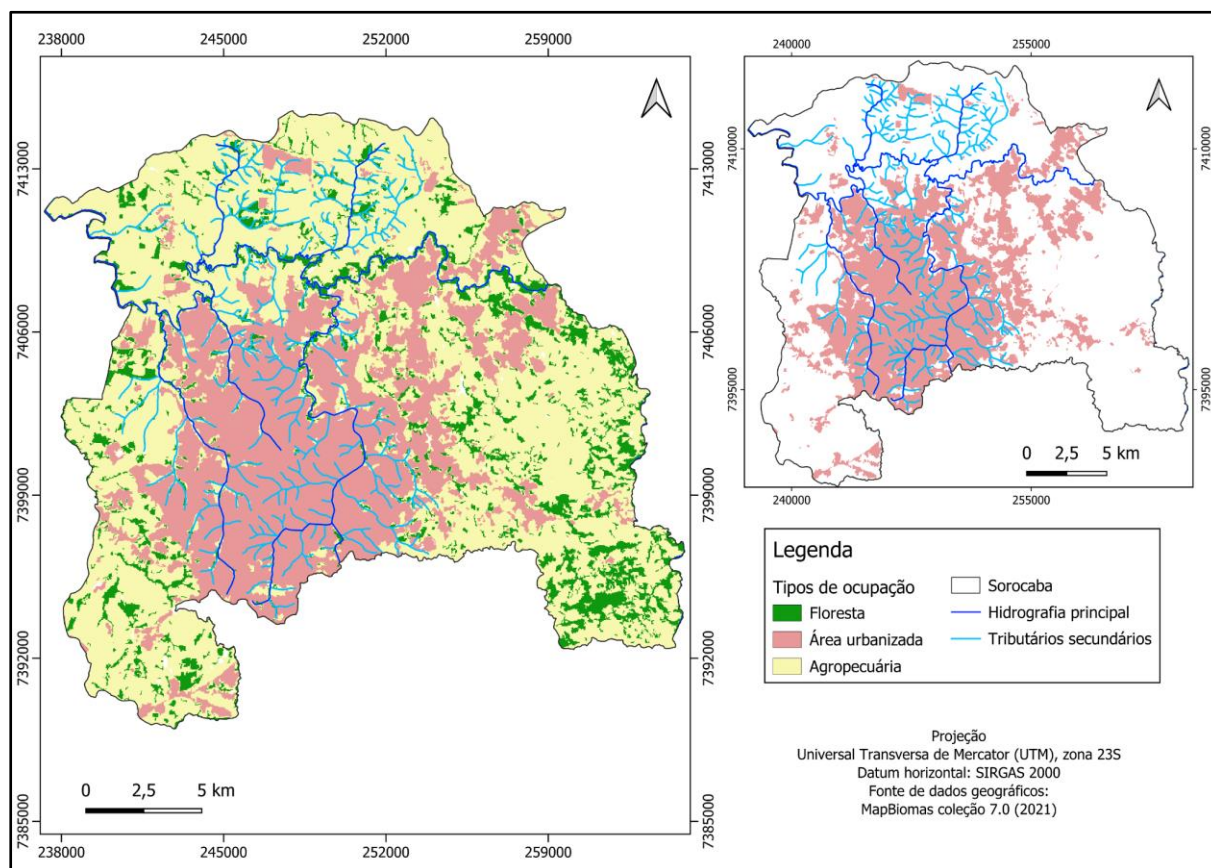
6. RESULTADOS

6.1 Uso e ocupação da terra

O uso e ocupação da terra influenciam tanto no desenvolvimento urbano quanto nas atividades agrícolas e industriais. O município tem experimentado um crescimento significativo nas últimas décadas, o que tem impactado a distribuição e a utilização de suas terras.

Na Figura 11 é possível observar a diversidade do uso e ocupação da terra no município em relação ao curso do rio Sorocaba.

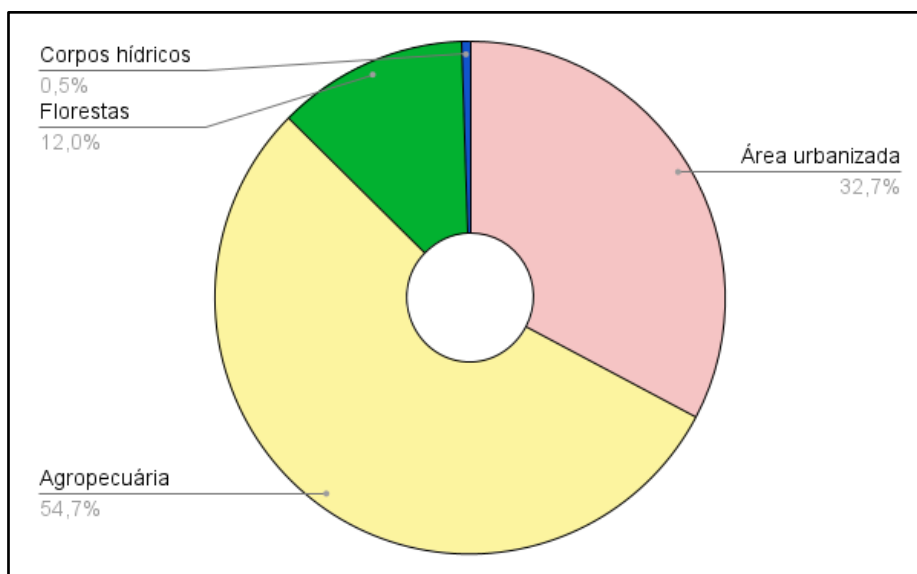
Figura 11- Diversidade do uso e ocupação da terra com enfoque no perímetro urbano municipal.



Fonte: Elaboração própria.

Dos 449.872 km² de território municipal, o perímetro urbano representa cerca de 32,7% de toda a área ocupada (Figura 12). Além de possuir mais de trinta por cento de todo o território, as áreas urbanas se encontram majoritariamente na porção centro-sul do município, concentrando-se no entorno do rio Sorocaba e de seus principais contribuintes.

Figura 12 - Distribuição dos tipos de ocupações da terra no município.

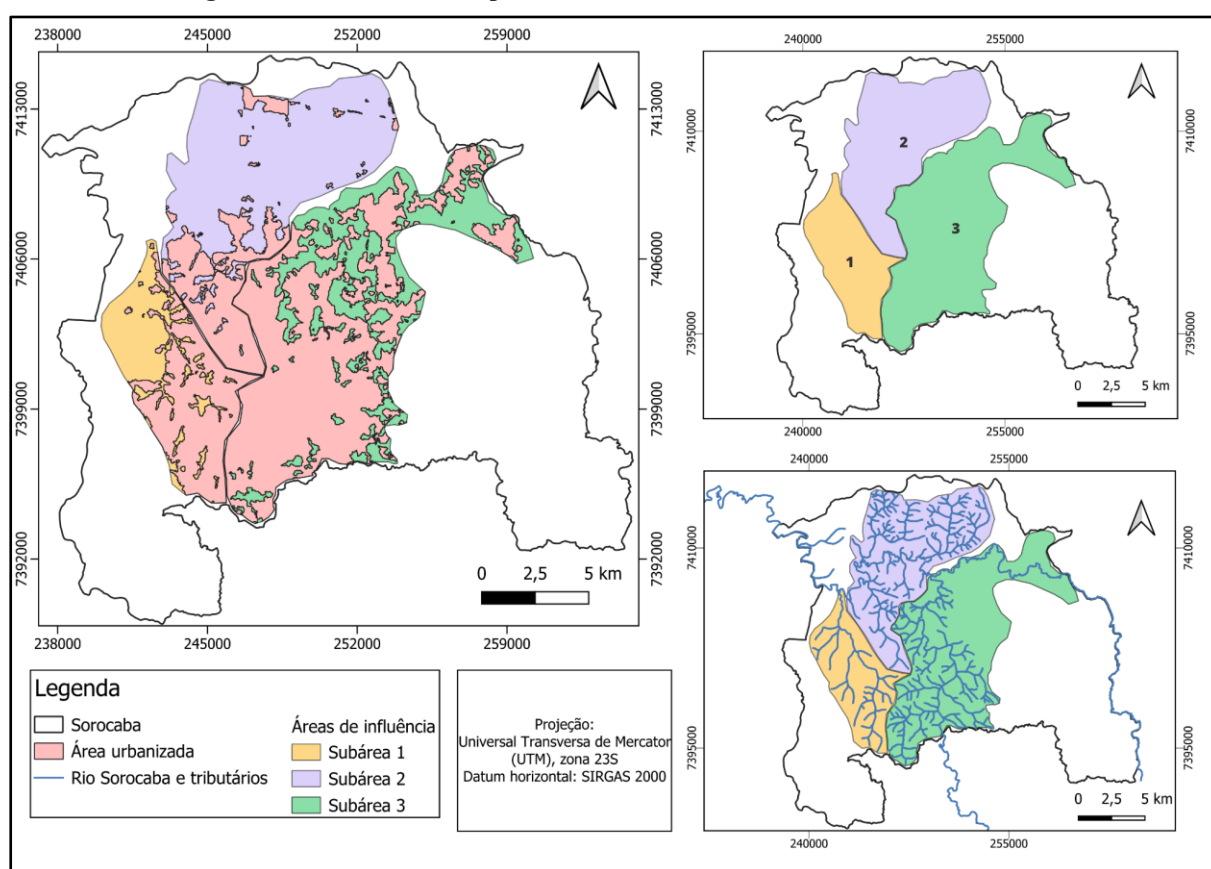


Fonte: MapBiomas (2022) - Modificado.

A agropecuária também desempenha um papel relevante no uso e ocupação da terra em Sorocaba (54,7% da área ocupada), embora com impacto menos expressivo para o rio Sorocaba em comparação com a área urbana e industrial, devido a se concentrar nas porções marginais do município e do curso do rio.

A partir da sobreposição dos polígonos delimitados das subáreas e as classes de uso e ocupação da terra, foi extraído o perímetro urbano correspondente a cada seção, possibilitando a aferição da porcentagem das regiões urbanizadas e seu peso em porcentagem para cada área de influência, como mostra Figura 13.

Figura 13- Distribuição do perímetro urbanizado nas subáreas de influência.



Fonte: Elaboração própria.

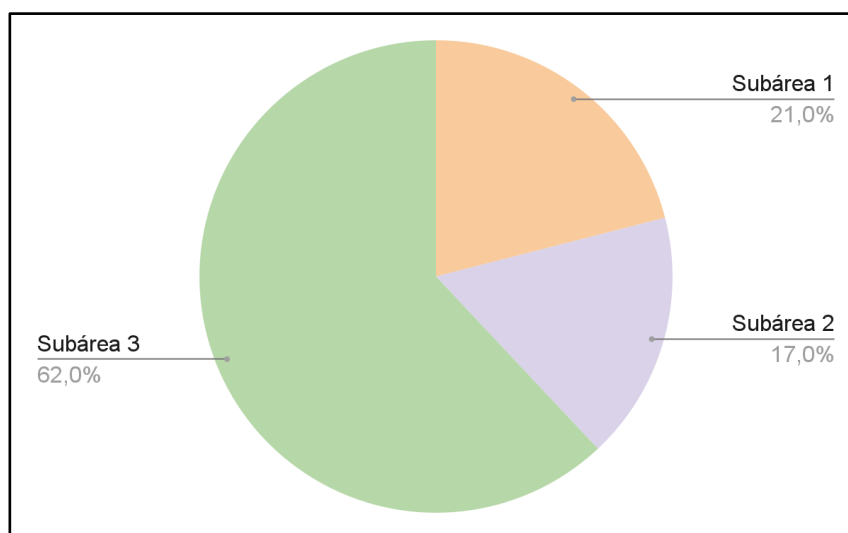
A compartimentação do território de Sorocaba em subáreas de influência evidencia algumas diferenças na ocupação urbana e na densidade de drenagem natural. A área 1 apresenta grande parte de seu território com porção urbanizada, embora tenha o menor valor em metros quadrados. Localiza-se na porção sudoeste do município, o que sugere uma maior pressão antrópica sobre os recursos naturais dessa região, especialmente no que se refere à impermeabilização do solo e ao potencial de lançamento de sedimentos no rio (MARTINS, 2023). Por outro lado, a subárea 2, situada ao norte e

com menor grau de urbanização, apresenta a maior densidade de drenagem, com mais tributários do Rio Sorocaba.

Já a subárea 3, localizada a leste e sudeste, apresenta uma densidade média de cursos d'água, porém com a presença do rio Pirajibu Mirim, que apresenta grande contribuição para o rio Sorocaba. A presença de pequenos rios e afluentes atravessando principalmente as subáreas 2 e 3 no perímetro urbano reforça a importância dessas regiões na manutenção da integridade hídrica interna do município (BOCHICHI, 2018).

Foi verificado que o perímetro de contribuição direta para o rio Sorocaba, sendo a junção das subáreas, é de aproximadamente 118 km², correspondendo a aproximadamente 26% de todo o território municipal. Na Figura 14, é demonstrado a distribuição das áreas urbanas constantes em cada segmento de subárea.

Figura 14 - Distribuição das áreas urbanas de influência dentro das subáreas de influência.



Fonte: Elaboração própria.

6.2 Avaliação estatística das amostras

A análise do grupo de amostras 1, referente às análises descritivas dos dados coletados *in loco* nos pontos de amostragem (P1, P2, P3 e P4) durante as duas campanhas, revelam variações nos parâmetros de qualidade da água, como pH, temperatura (T), oxigênio dissolvido (O.D.) e condutividade elétrica (C.E.), de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3- Parâmetros coletados *in loco*.

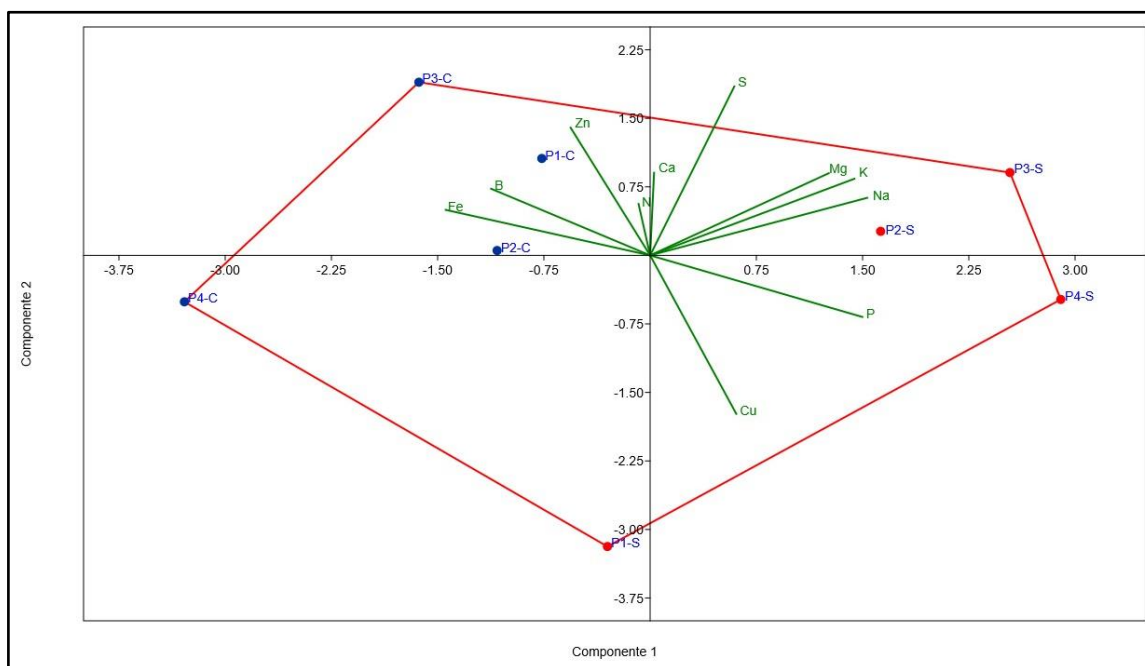
Série	Pontos	pH	T	O.D.	C.E.
			°C	mg/L	(µS/cm)
Chuvoso	P1	7,32	25,9	5,50	241
	P2	6,78	22,8	4,90	226
	P3	7,30	25,9	7,50	236
	P4	7,64	24,8	10,60	68,5
Seco	P1	6,45	20,9	3,30	385
	P2	6,52	22,2	3,50	297
	P3	6,67	19,2	4,10	352
	P4	6,67	20,0	9,90	151

Fonte: Elaboração própria.

Esses parâmetros possibilitam a observação das condições ambientais isoladas em cada ponto e hora coletada, servindo de objeto comparativo com os padrões já pré-estabelecidos em normativas, porém sem apresentar relação com os demais pontos ou indicar com precisão possíveis influências antrópicas sobre a qualidade das águas, reforçando a necessidade de métodos estatísticos mais precisos (BHUTIANI et al., 2020).

Para o grupo de amostras 2, correspondente às análises químicas de água realizadas em laboratório (ver Tabela 1 com o resultado bruto das análises laboratoriais de água no Apêndice A), foi elaborado o biplot da Análise de Componentes Principais (ACP) para dois períodos, como apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Análise de Componentes Principais de elementos amostrais da água.



Fonte: Elaboração própria.

Os dois primeiros componentes principais explicaram conjuntamente a maior parte da variância dos dados, onde o Componente 1 (C1) e Componente 2 (C2) representaram, respectivamente, 42,63% e 21,11% da variância do conjunto.

Observa-se que as amostras do período seco, como P2-S, P3-S e P4-S, estão mais fortemente associadas aos elementos K, Mg, Na, S e Ca, que apresentaram alta correlação positiva entre si. Este comportamento pode estar relacionado à concentração por evaporação característica do período seco, bem como à maior estabilidade da coluna d'água, favorecendo a deposição e acúmulo de macronutrientes nos sedimentos (GOMES et al., 2020).

Por outro lado, as amostras do período chuvoso, especialmente P4-C e P3-C, agruparam-se em associação com os elementos Fe, Zn e B, os quais indicam possível mobilização de metais traço a partir de solos ou fontes difusas durante os eventos de precipitação intensa. Isso pode ser atribuído à ação do escoamento superficial e à ressuspensão de sedimentos finos, fenômenos amplamente registrados durante o período chuvoso em ambientes urbanos e periurbanos (MOREIRA; FERNANDES, 2021). A campanha do período chuvoso ocorreu simultaneamente aos processos de desassoreamento do rio, sendo P3 possivelmente o primeiro ponto a apresentar interferências de ressuspensão.

O elemento Cu destacou-se com um vetor apontando para o quadrante inferior direito, com menor correlação com os demais elementos, sendo relacionado exclusivamente à amostra P1-S, o que

pode sugerir uma fonte pontual de contaminação nesse ponto ou comportamento geoquímico específico em condições de maior disponibilidade de oxigênio dissolvido ou pH variável.

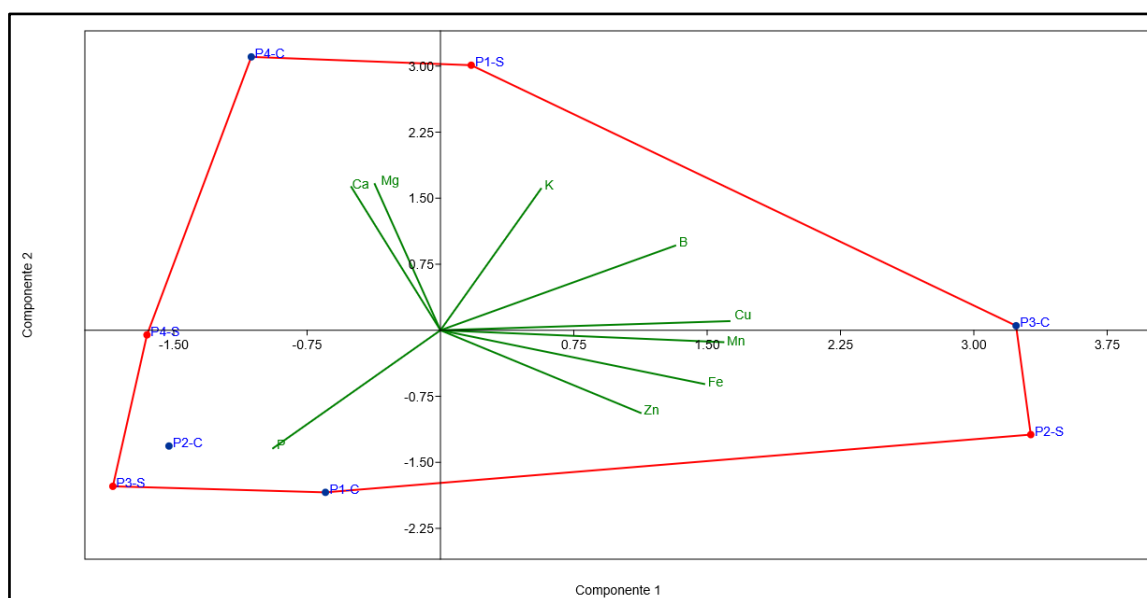
Interessante notar que a amostra P2-S, embora do período seco, encontra-se mais próxima ao centro do gráfico, o que indica valores intermediários para a maioria dos elementos analisados, sugerindo menor influência de fontes pontuais ou condições geoquímicas estáveis nesse ponto.

Os elementos P e N, apesar de tradicionalmente associados à eutrofização, apresentaram menor contribuição relativa das componentes principais, o que pode estar ligado à rápida ciclagem desses nutrientes no ambiente sedimentar ou à sua solubilização e mobilidade no período chuvoso (CETESB, 2022).

De forma geral, os resultados da ACP evidenciam a influência marcante da sazonalidade na composição química dos sedimentos, sendo o período seco caracterizado pelo acúmulo de macronutrientes e o período chuvoso pela mobilização de metais. Estes achados estão em consonância com estudos anteriores que destacam o papel das condições hidrológicas na qualidade dos sedimentos e na dinâmica dos elementos traço (BRASIL, 2012; SANTOS et al., 2019).

A ACP foi aplicada também aos dados de concentração de elementos nos sedimentos coletados nos períodos seco e chuvoso (Figura 16) (ver Tabela 2 com o resultado bruto das análises laboratoriais de sedimento no Apêndice A).

Figura 16 - Análise de Componentes Principais de elementos amostrais de sedimento.



Fonte: Elaboração própria.

Os dois primeiros componentes principais englobam a maior parte da variância dos dados, tendo C1 e C2, respectivamente, 50,06% e 45,03% dos dados. No Componente 1 ocorre

predominância dos elementos traço Cu, Mn, Fe e Zn, enquanto o Componente 2 evidenciou maior contribuição dos macronutrientes Ca, Mg e K.

Observa-se que os elementos Cu, Mn, Fe e Zn apresentaram forte correlação positiva entre si, o que pode estar relacionado a uma origem comum, possivelmente de natureza antrópica, como o escoamento superficial urbano, efluentes industriais ou mobilização de sedimentos contaminados durante o período chuvoso (MOREIRA; FERNANDES, 2021; CETESB, 2022). Essas variáveis estão associadas às amostras P3-C e P2-S, indicando maiores concentrações desses metais nestes pontos e sazonalidades.

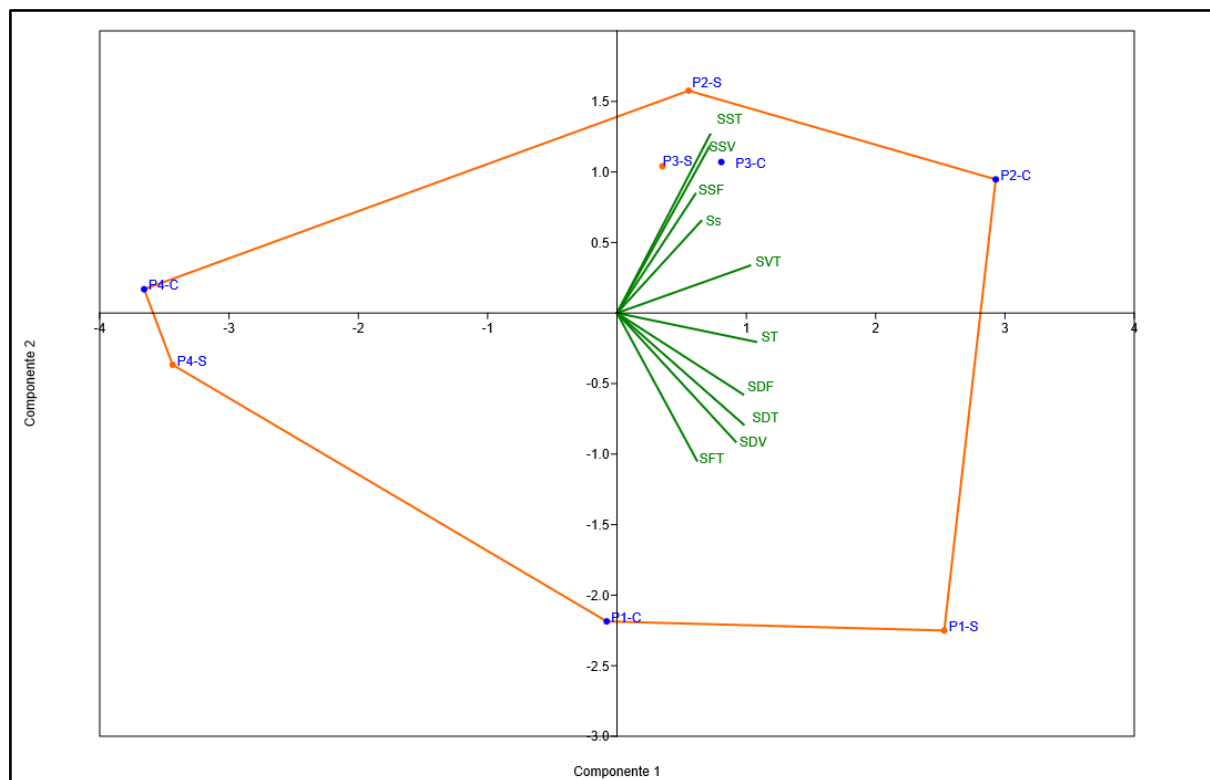
Em contrapartida, os elementos Ca, Mg e K também apresentaram correlação positiva entre si e se destacaram nas amostras P4-C e P1-S, sugerindo influência de processos naturais, como a lixiviação de minerais presentes no solo ou contribuição de material litológico da bacia hidrográfica (LOPES et al., 2018). Já o fósforo (P), isolado no quadrante inferior esquerdo, apresentou correlação negativa com os metais, o que pode indicar comportamento geoquímico distinto ou fontes diferentes de contaminação.

Os agrupamentos dos pontos indicaram que não houve separação exclusivamente por sazonalidade, mas sim pela interação entre ponto de coleta e período sazonal. No entanto, pontos amostrados no período chuvoso, como P3-C, apresentaram maiores teores de metais, possivelmente devido à intensificação do carreamento superficial de poluentes ou movimentação de sedimentos, processo comum em ambientes urbanos e periurbanos (NOVOTNY, 2003).

A amostra P2-C apareceu de forma isolada no gráfico, o que pode indicar um comportamento geoquímico atípico ou influência de fontes pontuais não representadas nos demais pontos. A presença de elementos-traço, como Cu e Zn, em concentrações elevadas em alguns pontos sugere a necessidade de monitoramento contínuo, dada sua toxicidade potencial para organismos aquáticos (CONAMA, 2012).

As análises referentes ao grupo de amostragem 3, referente a série de sólidos realizadas em duplicatas, foram tabuladas e seus resultados submetidos aos métodos estatísticos empregados no estudo (ver Tabela 3 com o resultado bruto das análises laboratoriais de série de sólidos no Apêndice A). Na Figura 17 é apresentada a ACP da Série de Sólidos.

Figura 17 - Análise de Componentes Principais do particionamento da série de sólidos.



ST: Sólidos totais; SVT: Sólidos voláteis totais; SFT: Sólidos fixos totais; SDT: Sólidos dissolvidos totais; SDF: Sólidos dissolvidos fixos; SDV: Sólidos dissolvidos voláteis; SST: Sólidos suspensos totais; SSF: Sólidos suspensos fixos; SSV: Sólidos suspensos voláteis; Ss: Sólidos sedimentáveis.

Fonte: Elaboração própria.

Os dois primeiros componentes principais - Componente 1 (C1) e Componente 2 (C2) explicaram 81,23% da variância dos dados, sendo, respectivamente, 58,92% e 22,31%. É possível observar que o Ponto 4, em ambos os períodos analisados, não possui influência da série de sólidos, corroborando com a hipótese de que os sólidos são aportados no período urbano, devido a influência das atividades antrópicas neste meio.

A posição das variáveis na ACP reforça a separação teórica discutida, uma vez que os sólidos suspensos (SST, SSF, SSV) concentram-se em uma extremidade do eixo C1, enquanto os sólidos dissolvidos (SDT, SDF, SDV) se distribuem na direção oposta, confirmando o gradiente particulado-dissolvido. Além disso, a orientação das frações voláteis em relação às fixas no eixo C2 indica que a contribuição da matéria orgânica é diferenciada da carga mineral, evidenciando a coexistência de múltiplos processos de transporte e transformação (SIMEONOV et al., 2003).

Esse tipo de arranjo no espaço multivariado tem sido reportado em estudos de rios tropicais e temperados, nos quais a ACP mostrou ser capaz de separar claramente a influência de fontes antrópicas sobre sólidos suspensos e dissolvidos (Wetzel, 2001). Assim, a distribuição espacial das

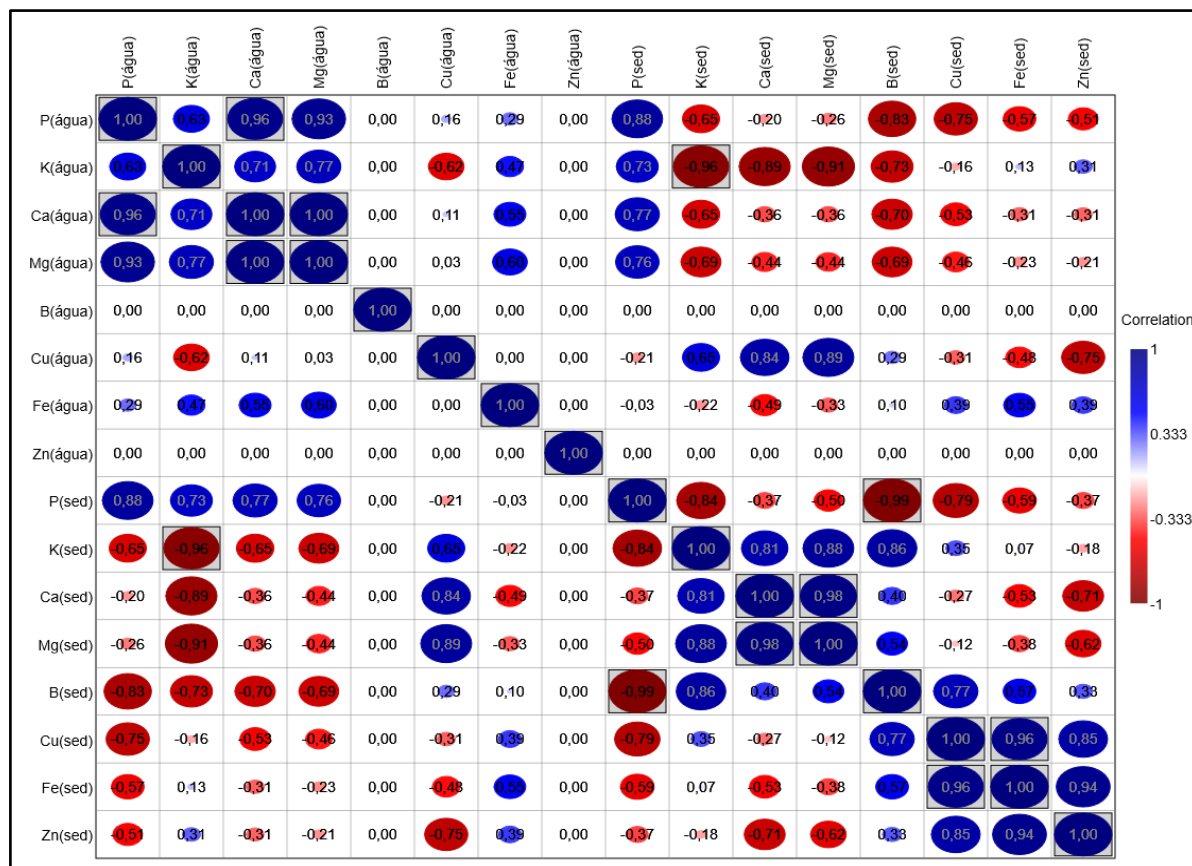
variáveis sugere que a dinâmica dos sólidos no rio Sorocaba resulta da interação entre pressões urbanas difusas, que intensificam a carga de material suspenso, e processos geoquímicos, que modulam a partição entre frações orgânicas e minerais.

O posicionamento das amostras no biplot revelou que o ponto de controle (P4), localizado na entrada do perímetro urbano, apresentou-se consistentemente distante dos agrupamentos relacionados aos demais pontos, tanto no período seco quanto no chuvoso. Essa configuração indica menor influência de sólidos na entrada do rio em relação ao trecho interno da cidade, o que reforça a hipótese de que a carga de sólidos é intensificada por fontes urbanas ao longo do curso hídrico, como observado por Fernandes et al. (2017) em análises do rio Tietê. Internacionalmente, Zhang et al. (2017) identificaram comportamento semelhante em rios chineses, nos quais áreas menos urbanizadas apresentaram menores cargas de sólidos dissolvidos e suspensos, em contraste com os trechos a jusante das zonas metropolitanas.

Observou-se correlações lineares de Pearson significativas ($p < 0,05$; $r > 0,90$) entre os macronutrientes da água, como P, K, Ca e Mg (Fig 18), o que sugere origem comum, possivelmente relacionada ao intemperismo de minerais presentes na bacia de drenagem, que liberam esses macronutrientes para a coluna d'água durante os processos de escoamento superficial (SIANOS et al., 2014).

A correlação de Pearson entre as variáveis da coluna d'água e sedimentos é apresentada na Figura 18.

Figura 18 - Correlação de Pearson do período seco entre as variáveis da coluna d'água e dos sedimentos dos pontos analisados.



Legenda: Os valores variam de -1 a +1, indicando a força e a direção da correlação. Correlações positivas fortes (azul) indicam associação direta entre variáveis, enquanto correlações negativas fortes (vermelho) sugerem relações inversas. Círculos maiores representam maior significância estatística ($p < 0,05$).

Fonte: Elaboração própria.

Destacou-se a correlação positiva entre os macronutrientes da água, como P, K, Ca e Mg ($r > 0,90$), podendo haver indícios de origem comum, relacionada ao intemperismo de minerais e ao aporte difuso urbano e agrícola, uma vez que esses elementos são frequentemente utilizados em fertilizantes (PEREIRA et al., 2021).

No sedimento, identificaram-se correlações entre K, Ca, Mg e B ($r > 0,85$); entretanto, esses valores não apresentaram significância estatística, o que impede a confirmação de uma relação robusta entre as variáveis. Ainda assim, a tendência observada sugere que processos de adsorção e retenção podem estar associados à composição mineralógica e ao teor de matéria orgânica, fatores descritos como determinantes no acúmulo de nutrientes em ambientes fluviais (ESTEVES, 2011; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2016). Dessa forma, mesmo que os resultados não sejam conclusivos, apontam para mecanismos já amplamente documentados na literatura.

A associação positiva entre Fe e Zn no sedimento ($r = 0,85$) também não atingiu significância estatística, o que limita a interpretação direta. Contudo, esse padrão é coerente com estudos que

relacionam tais elementos a fontes antrópicas, especialmente descargas industriais e urbanas, sendo frequentemente utilizados como marcadores de poluição em rios urbanos (ROCHA et al., 2019; ALMEIDA; MACHADO, 2021). A ausência de significância nos dados, portanto, não exclui a possibilidade de aportes comuns, mas reforça a necessidade de cautela na interpretação dos resultados.

De forma semelhante, a correlação entre Zn e Cu no sedimento ($r = 0,94$) foi elevada, mas não estatisticamente significativa, o que impede a confirmação de um vínculo direto entre esses metais. Ainda assim, a literatura aponta que a co-ocorrência desses elementos em sedimentos fluviais é indicativa de fontes comuns e do papel do sedimento como compartimento acumulador de contaminantes de origem antrópica (FÖRSTNER; WITTMANN, 2012). Nesse sentido, a tendência identificada neste estudo converge com achados prévios, mas deve ser confirmada em análises futuras com maior robustez estatística.

Os resultados reforçam, portanto, que enquanto a água expressa as variações imediatas e sazonais no aporte de nutrientes e sais, o sedimento funciona como um compartimento de integração e retenção, modulando a biodisponibilidade de macro e microelementos a médio e longo prazo (MORTATTI; PROBST, 2010). Contudo, a falta de significância estatística em algumas correlações evidencia a importância de ampliar séries temporais e o número de amostras para fortalecer a confiabilidade das inferências.

Adicionalmente, é importante ressaltar que os padrões sugeridos pelos estudos observados podem levar à interpretação de eventos episódicos como se fossem inerentes ao sistema, sobretudo quando se atribui peso excessivo à magnitude da correlação (relevância aparente) sem a devida consideração do grau de significância.

Em termos práticos, quanto maior a significância estatística (p reduzido), menor a probabilidade de que o resultado decorra de flutuações aleatórias e, portanto, maior a confiança de que o comportamento refletido seja característico do meio. Por outro lado, à medida que a significância diminui, amplia-se a chance de interferências eventuais (amostragem limitada, pulso hidrológico, fonte pontual transitória) inflarem correlações e produzirem falsos positivos interpretativos. Essa preocupação já foi discutida em análises ambientais que enfatizam a necessidade de séries temporais mais longas e replicações para diferenciar tendências estruturais de eventos isolados (ZAR, 2010; LEGENDRE; LEGENDRE, 2012; QUINN; KEOUGH, 2002). Assim, correlações elevadas sem suporte de significância devem ser tratadas como indícios, não como evidências, recomendando-se monitoramento contínuo para melhor interpretação.

As correlações entre as variáveis da coluna d'água e sedimentos que atenderam à proposta metodológica, como $r >$ ou igual 0,8 e significância ($p \leq 0,05$) são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Correlação entre as variáveis de água e sedimento obtidas no período seco

Variável água	Variável sedimento	Correlação (r)	Significância ($p \leq 0,05$)
k	k	-0,96	0,03

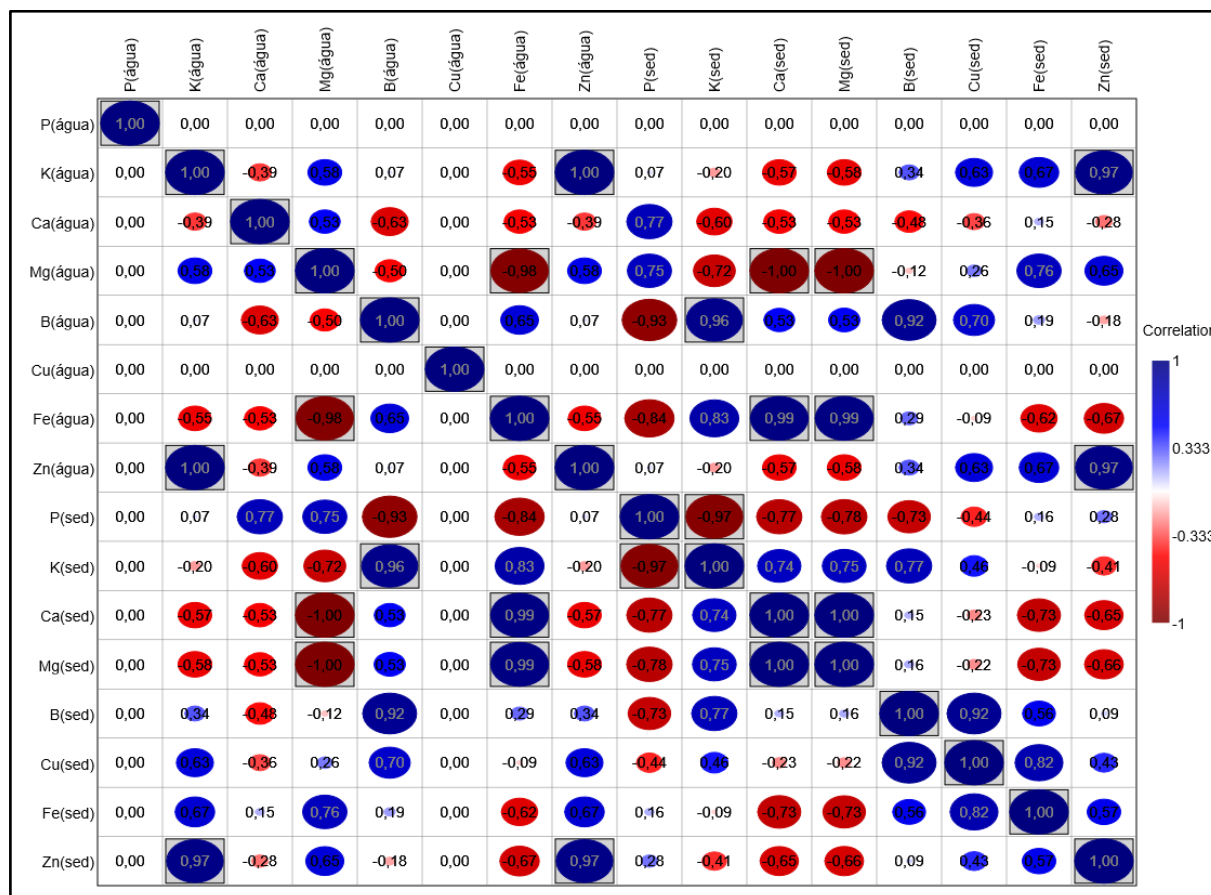
Fonte: Elaboração própria.

No período seco foi possível identificar apenas uma variável da água correlacionada com as variáveis do sedimento. O K dissolvido na coluna d'água apresentou uma forte correlação negativa com o K do sedimento ($r = -0,96$ e significância igual a 0,03). Esse comportamento indica que, em condições de estiagem, o potássio tende a permanecer majoritariamente na coluna d'água, reduzindo sua incorporação aos sedimentos. Estudos semelhantes em rios urbanos brasileiros (FERNANDES et al., 2017; ALMEIDA; MACHADO, 2021) apontam que, durante a seca, o menor escoamento reduz a ressuspensão e deposição de partículas, favorecendo a permanência de íons dissolvidos.

A permanência do potássio dissolvido na coluna d'água durante o período seco representa um problema ambiental relevante, pois aumenta o risco de enriquecimento nutricional do corpo hídrico, favorecendo processos de eutrofização quando associado ao aporte de fósforo e nitrogênio (MOSCHINI-CARLOS, 2009). Em condições de baixa vazão, a limitada incorporação do K ao sedimento dificulta sua remoção natural por deposição, prolongando sua disponibilidade na fase aquosa. Esse excesso de nutrientes dissolvidos pode intensificar florações de algas e cianobactérias, comprometendo a qualidade da água e aumentando os custos de tratamento para abastecimento público (SMITH; SCHINDLER, 2009).

As correlações entre as variáveis da coluna d'água e sedimentos do período chuvoso são apresentadas na Figura 19.

Figura 19- Correlação de Pearson do período chuvoso entre as variáveis da coluna d'água e dos sedimentos dos pontos analisados



Legenda: Os valores variam de -1 a +1, indicando a força e a direção da correlação. Correlações positivas fortes (azul) indicam associação direta entre variáveis, enquanto correlações negativas fortes (vermelho) sugerem relações inversas. Círculos maiores representam maior significância estatística ($p < 0,05$).

Fonte: Elaboração própria.

A matriz acima evidencia associações elevadas entre P, K, Ca e Mg na água ($r > 0,95$); contudo, tais correlações não alcançaram significância estatística, o que impede afirmar de forma robusta que esses elementos compartilham origem ou mecanismos hidrodinâmicos comuns. Ainda assim, a tendência observada converge com estudos que descrevem a introdução simultânea desses macronutrientes em rios urbanos por meio do intemperismo mineral e do carreamento difuso de fertilizantes e insumos agrícolas (JORDAN et al., 1997; SHARPLEY et al., 2013).

Correlação semelhante ocorreu entre metais-traço na água, como Fe e Zn ($r = 0,99$) e Cu e Zn ($r = 0,97$), também sem suporte estatístico significativo. Apesar dessa limitação, a literatura aponta que tais elementos frequentemente compartilham fontes de poluição antrópica, sobretudo efluentes industriais e urbanos, já relatados como marcadores de contaminação no rio Sorocaba (FERNANDES et al., 2017). Dessa forma, embora não conclusivos, os resultados sugerem coerência com padrões descritos em investigações anteriores.

No sedimento, observaram-se correlações positivas entre K, Ca e Mg ($r > 0,95$) e entre Cu e Zn ($r = 0,92$), que também não alcançaram significância estatística. Esse resultado deve ser interpretado com cautela, embora a tendência seja consistente com a afinidade geoquímica desses elementos com partículas finas e matéria orgânica sedimentar, que transformam o sedimento em compartimento de retenção de nutrientes e contaminantes (GAO; CHEN, 2012).

As correlações negativas destacadas, como Mg(água) $\times$ Ca(sed) ($r = -1,00$) e Ca(água) $\times$ Mg(sed) ($r = -0,99$), não apresentaram significância estatística, mas indicam padrões de troca entre a coluna d'água e o sedimento. Esses processos refletem a dinâmica de adsorção/dessorção em condições redox variáveis, fenômeno amplamente documentado em rios urbanos sujeitos a descargas e flutuações sazonais (ROCHA et al., 2019).

Outro aspecto relevante é a associação entre P(água) e P(sed) ($r = 0,77$), que, embora não significativa, sugere conexão direta entre as fases aquosa e sedimentar para o fósforo. Esse comportamento é coerente com a literatura, que reconhece o sedimento como fonte secundária de nutrientes, capaz de liberá-los para a coluna d'água sob determinadas condições ambientais (MARTINS et al., 2021).

As análises mostram que os valores de correlação sugerem possíveis interações entre nutrientes e metais no rio Sorocaba; contudo, a ausência de significância estatística para esses elementos exige cautela, para evitar que eventos pontuais sejam interpretados como padrões estruturais. Ainda assim, os indícios obtidos são coerentes com a literatura, como descrito por Varol (2011), que aponta simultaneamente a pressão antrópica como fator central na presença de metais-traço e a ciclagem biogeoquímica como moduladora da disponibilidade de macronutrientes em sistemas fluviais urbanos.

No período chuvoso as variáveis que apresentaram correlação, de acordo com os critérios estabelecidos, são representadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Correlação entre as variáveis de água e sedimento obtidas no período chuvoso

Variável água	Variável sedimento	Correlação (r)	Significância ($p \leq 0,05$)
K	Zn	0,97	0,03
Mg	Ca	-1,00	0,00
	Mg	-1,00	0,00
B	Mg	0,96	0,04

Fe	Ca	0,96	0,01
	Mg	0,99	0,01

Fonte: Elaboração própria.

No período chuvoso, foram evidenciadas múltiplas correlações fortes, tanto positivas quanto negativas, entre nutrientes e elementos-traço, o que demonstra maior conectividade entre as matrizes água e sedimento. Essa condição decorre da maior turbulência, do aumento da carga particulada e da intensificação do escoamento superficial, que potencializam tanto o transporte conjunto de íons quanto processos de troca entre a coluna d'água e o compartimento sedimentar (ZHANG et al., 2017; ROCHA et al., 2019).

O íon K apresentou comportamento distinto em relação ao período seco, ao correlacionar-se positivamente com o Zn ($r = 0,97$). Esse padrão sugere co-transporte desses elementos, possivelmente mediados pela afinidade com fases minerais e pela adsorção em matéria orgânica particulada. Estudos nacionais já relataram esse tipo de associação em ambientes urbanos, destacando o papel do carregamento difuso de fertilizantes e da entrada de esgoto doméstico no enriquecimento simultâneo de potássio e metais (COSTA; OLIVEIRA, 2022; SILVA; LIMA, 2019).

O Mg foi o elemento que apresentou as correlações negativas mais intensas, destacando-se sua relação inversa com o Ca e com o próprio Mg do sedimento ($r = -1,0$). Esse resultado indica possíveis processos de competição por sítios de adsorção, bem como partição geoquímica distinta entre a fase dissolvida e a sólida. Em cenários de alta vazão, tais processos podem ser intensificados pela instabilidade das margens e pela ressuspensão de sedimentos, fatores já discutidos em análises de rios tropicais e temperados (SIMEONOV et al., 2003; VASILJEVIC et al., 2012).

O boro (B) apresentou correlação positiva significativa com o Mg ($r = 0,96$), comportamento que sugere coparticipação em processos de transporte difuso. Esse resultado pode estar relacionado à mobilização de boro a partir de fertilizantes agrícolas, frequentemente associados ao transporte de cátions alcalino-terrosos em ambientes com forte influência antrópica.

O ferro (Fe) destacou-se como elemento com as correlações positivas mais fortes, com valores de $r = 0,99$ em relação ao Ca e ao Mg do sedimento. Esse padrão sugere intensa participação do Fe em processos de co-precipitação com carbonatos e óxidos, os quais são mobilizados durante eventos de chuva. Além disso, tais associações podem refletir fontes comuns ligadas a descargas urbanas e industriais, como observado em rios brasileiros com forte influência antrópica (FERNANDES et al., 2017; ALMEIDA; MACHADO, 2021).

Os resultados indicam que a sazonalidade exerce papel importante na dinâmica de nutrientes e metais no rio Sorocaba, promovendo, durante o período chuvoso, maior conectividade entre a água e o sedimento. Esse comportamento confirma que a matriz sedimentar atua como reservatório e modulador da biodisponibilidade de elementos, liberando ou retendo nutrientes e metais conforme as condições hidrológicas e redox locais (SHARMA; TRIPATHI, 2013).

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a dinâmica da série de sólidos no rio Sorocaba é fortemente modulada pela interação entre sazonalidade hidrológica e pressão antrópica ao longo do trecho urbano. O ponto de controle a montante (P4) manteve-se sistematicamente separado dos demais na ordenação multivariada, sugerindo menor influência de aportes urbanos e corroborando que a intensificação de sólidos ocorre sobretudo no interior do perímetro municipal. Esse padrão foi evidenciado tanto pela Análise de Componentes Principais (ACP) quanto pela distribuição espacial dos escores, nos dois períodos amostrados.

Em termos de pontos amostrais, o P2 sobressai com maior preocupação ambiental por apresentar concentrações elevadas de sólidos, especialmente no período chuvoso, e comportamento geoquímico atípico em análises complementares, sinalizando possível influência de fontes pontuais e de escoamento superficial urbano/industrial nas proximidades de estradas e vias de elevado fluxo de transportes. A robustez dessa interpretação é reforçada pela combinação de resultados de série de sólidos e de elementos-traço em água e sedimento, que mostraram variações coerentes com a maior carga particulada no trecho urbano central.

A análise sazonal evidenciou que, no período chuvoso, há maior conectividade entre as matrizes água e sedimento, com múltiplas correlações fortes, positivas e negativas, refletindo cotransporte, co-precipitação e competição por sítios de adsorção entre íons e metais. Destacam-se as associações K–Zn ($r = 0,97$) e Fe com Ca e Mg ($r = 0,99$), além de relações negativas envolvendo Mg e Ca, compatíveis com partição geoquímica diferenciada sob alta vazão e turbulência. No período seco, por outro lado, a conectividade foi mais restrita, com correlação negativa marcante entre K dissolvido e K no sedimento, sinalizando retenção do K na coluna d'água e menor incorporação aos sedimentos.

A compartimentação em subáreas de influência e o de uso e ocupação do solo (recorte urbano) mostraram que a urbanização se concentra no entorno do curso principal e de tributários relevantes (Córrego do Matadouro, Córrego Itanguá e Pirajibu Mirim), condição que potencializa a geração de escoamento superficial, a mobilização de partículas e a transferência de cargas para a calha principal

do rio Sorocaba, sobretudo em eventos de elevados índices pluviométricos. A porção urbana representa, aproximadamente, um terço do território municipal, enquanto as áreas agropecuárias se distribuem nas margens do município com menor impacto direto no trecho urbano estudado, reforçando a centralidade da matriz urbana na pressão sobre a qualidade da água.

Intervenções recentes de desassoreamento no trecho urbano e em tributários possivelmente influenciaram temporariamente a disponibilidade e a redistribuição de sedimentos, com possíveis efeitos sobre as séries de sólidos e a morfodinâmica do canal. A continuidade do monitoramento é necessária para distinguir efeitos transitórios dessas obras de tendências estruturais associadas ao uso do solo e ao regime hidrológico local.

Do ponto de vista metodológico, a estratégia amostral com duas campanhas representando fim do período chuvoso (março de 2024) e período seco (agosto de 2024), aliada ao emprego combinado de métricas, ensaios laboratoriais (série de sólidos) e estatística multivariada, mostrou-se adequada para captar padrões sazonais e espaciais no trecho urbanos de rios. Recomenda-se, entretanto, a expansão temporal do desenho amostral (incluindo eventos de cheia e estiagens prolongadas) e a incorporação de variáveis hidrossedimentológicas (vazão, turvação contínua) para fortalecer inferências causais.

Em síntese, o estudo confirma que a urbanização possivelmente é um indutor do aumento de sólidos no trecho urbano bem como a sazonalidade modula a conectividade água-sedimento e a partição iônica/metálica. Os pontos P2 e P3 requerem atenção prioritária por sua exposição a fontes difusas e potenciais fontes pontuais, enquanto P4 funciona como referência a montante, com menor influência antrópica. Esses achados subsidiam ações de gestão, como controle de fontes difusas, como drenagem urbana sustentável, manejo de vias e canteiros, limpeza preventiva de bocas de lobo, fiscalização de fontes pontuais, manutenção criteriosa de intervenções de desassoreamento controlada e restauração ciliar para amortecer picos de escoamento e retenção particulada.

Recomenda-se que futuras etapas integrem sensoriamento remoto e séries históricas pluviométricas com monitoramento de alta frequência, assim como a aplicação contínua de ACP e matrizes de correlação sazonais para rastrear mudanças de regime e avaliar a efetividade de medidas de gestão. A adoção dessas medidas permitirá distinguir flutuações episódicas de alterações persistentes no estado do sistema, orientando políticas públicas baseadas em evidências.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. M. *Clima e geografia de São Paulo*. São Paulo: Editora Paulista, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- ALMEIDA, C.; MACHADO, R. Influência da urbanização na qualidade da água em bacias hidrográficas urbanas. *Revista Ambiente & Água*, v. 16, n. 2, p. 1-15, 2021.
- Almeida, F. F. M. (2011). *Geologia: História e evolução geológica do Brasil*. Editora Sociedade Brasileira de Geologia.
- ALMEIDA, P. R.; SOUZA, V. R. Gestão sustentável da água: desafios e oportunidades no contexto atual. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 45-57, 2021.
- ALMEIDA, Ricardo L.; MACHADO, Ana P. Sedimentos e nutrientes em rios urbanos: uma análise das consequências das atividades humanas na qualidade da água. In: *SIMPÓSIO SOBRE GESTÃO AMBIENTAL*, 8., 2021, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, p. 134-146. 2021.
- ALMEIDA, S. R.; LIMA, F. M. Impactos da poluição hídrica e da gestão inadequada dos recursos hídricos: um panorama global. *Revista Ambiente & Água*, v. 15, n. 4, p. 229-241, 2020.
- ALVES, L. F.; SANTOS, J. R. Uso sustentável da água na agricultura: impactos da irrigação na produção e na conservação dos recursos naturais. *Revista de Agricultura Sustentável*, v. 9, n. 2, p. 101-115, 2021.
- ASSIS, Roberto. Impactos da presença de sólidos em suspensão nos ecossistemas aquáticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 32, n. 4, p. 123-136, 2021.
- BARROS, L. F.; MARTINS, R. G. Dinâmica da erosão e seus efeitos sobre a qualidade da água potável: Estudo em áreas urbanas e rurais. *Revista de Geografia e Recursos Naturais*, v. 20, n. 2, p. 99-112, 2022.
- BASTOS, R.; MELO, F. Sensoriamento remoto e poluição do solo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 48, n. 3, p. 601-615, 2018
- BHUTIANI, R. et al. Statistical and multivariate techniques to study the hydrochemistry of a Himalayan river: A case study of river Henwal. *Water Science*, v. 34, n. 1, p. 36-48, 2020.
- BHUTIANI, R.; KULKARNI, D. B.; KHANNA, D. R.; GAUTAM, A. Water quality, pollution source apportionment and health risk assessment of heavy metals in groundwater of an industrial area in North India. *Exposure and Health*, v. 8, n. 1, p. 3-18, 2016. doi: <https://doi.org/10.1007/s12403-015-0178-2>
- BIBIAN, João Paulo Rambelli. *Caracterização hidrogeoquímica da micro-bacia de drenagem do Córrego Barra Bonita*, São Paulo. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BOCHICHI, Diego da Cruz. *Avaliação do potencial de produção de sedimento na sub-bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, 2018.
- BRANDÃO, C. J. et al. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos*. São Paulo: CETESB, 2011. 325 p.
- BRASIL. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*: seção 1, São Paulo, p. 1-2, 31 dez. 1991.
- CARDOSO-SILVA, S. et al. Paleolimnological evidence of environmental changes in seven subtropical reservoirs based on metals, nutrients, and sedimentation rates. *Catena*, v. 206, p. 105432, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105432>
- CARDOSO-SILVA, Sheila et al. Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings. *Bioikos–Título não-corrente*, v. 28, n. 1, 2014.

- CAVALCANTE, S. C.; SILVA, E. R. Processos geomorfológicos e formação de paisagens em áreas de intemperismo hídrico. *Geografia e Análise Ambiental*, v. 14, n. 3, p. 211-226, 2020.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de Qualidade Ambiental. São Paulo: CETESB, 2023.
- CLIMATA-DATA. CLIMA: SÃO PAULO. CLASSIFICAÇÕES- SOROCABA. 2024. Disponível em: <Clima: São Paulo (climate-data.org)>. Acesso em: março de 2024.
- CORREA, Edinelson Saldanha; MONTE, Christiane; DO NASCIMENTO, Thiago Shinaigger Rocha. Avaliação de impacto ambiental causado por efluentes da estação de piscicultura Santa Rosa, Santarém/Pará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 1, p. 260-273, 2020.
- COSTA, Luís A.; OLIVEIRA, José M. Erosão do solo e qualidade da água em bacias hidrográficas urbanizadas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 45, n. 2, p. 87-98, 2022.
- CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Evolução Mensal e Sazonal das Chuvas. 2025. Disponível em: <https://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt>. Acesso em: 15/12/2024
- Cunha, M. L., et al. (2010). Despoluição de bacias hidrográficas: O Programa PRODES e suas implicações ambientais. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 6(3), 223-234.
- Curi, N., et al. (2007). Classificação do relevo paulista: A gênese e distribuição dos principais tipos. Editora UNESP.
- DA SILVA, Fabio Leandro et al. Usos e cobertura da terra e a sua relação com a naturalidade de paisagens culturais: o caso de Sorocaba (SP). *Revista Ciência e Natura*, v. 43, 2021.
- DA SILVA, Tatiana Acácio et al. Uso da terra e sua influência na qualidade da água em uma represa de abastecimento de água no município de Sorocaba–SP. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 42, p. e188984-e188984, 2022.
- DE MATOS, Antônio Teixeira. Poluição ambiental: impactos no meio físico. Editora UFV, 2020.
- DIAS, K. S. et al. Avaliação da degradação de rochas ornamentais submetidas a ciclos de lixiviação e congelamento. *Revista Matéria*, v. 25, n. 3, 2020. Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2022/10/Tese_Kelly-de-Oliveira-Borges-da-Costa.pdf. Acesso em: 26 mar. 2025.
- DIEGUES, Antônio Carlos. Água e cultura nas populações tradicionais brasileiras. Governança da água no Brasil: uma visão interdisciplinar. São Paulo: Annablume, 2007.
- EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2005.
- EMTU – EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS. Plano de Mobilidade Urbana de Sorocaba. São Paulo: EMTU, 2023.
- ESTEVES, F. A. et al. Eutrofização: conceitos, causas, consequências e controle. *Oecologia Australis*, v. 22, n. 3, p. 331-348, 2018.
- ESTEVES, F. de A. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FABER, Marcos. A importância dos rios para as primeiras civilizações. *História ilustrada*, v. 2, 2011.
- FERNANDES, A. N. et al. Avaliação dos fluxos das principais espécies químicas dissolvidas no rio Sorocaba (SP). *Revista Geociências*, v. 36, n. 4, p. 609-620, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/157321>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- FERNANDES, Alexandre Martins. Características hidrogeoquímicas da bacia de drenagem do rio Sorocaba, SP: processos erosivos mecânicos e químicos. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, L. F. et al. Avaliação da qualidade da água do rio Sorocaba e afluentes. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 917-926, 2017.

- FERNANDES, M. P.; SOUZA, T. S.; LIMA, J. F. Correlação entre temperatura da água e os níveis de oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. *Ecologia e Conservação*, v. 18, n. 1, p. 60-72, 2021.
- Ferreira, A. L., & Rodrigues, P. M. (2016). Solos e pedologia: Análise das classes e propriedades do solo na região paulista. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40(3), 677-689.
- FERREIRA, M. L.; SANTOS, R. J. O papel da água na matriz energética brasileira: desafios e oportunidades. *Revista de Energia e Sustentabilidade*, v. 10, n. 3, p. 77-89, 2021.
- Ferro, P. F., et al. (2003). *Geologia do Estado de São Paulo: Formação Bauru e Serra Geral*. Editora da Universidade de São Paulo.
- FOLKE, Carl et al. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and society*, v. 15, n. 4, 2010.
- FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 3. ed. Berlin: Springer, 2012.
- FRASCARELI, D., Gontijo, E.S.J., Silva, S.C. et al. Statistical Approaches Link Sources of Sediment Contamination in Subtropical Reservoirs to Land Use: an Example from the Itupararanga Reservoir (Brazil). *Water Air Soil Pollut* 233, 142 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05574-0>
- FREITAS, J. S.; SILVA, S. G. Eutrofização de corpos d'água: Causas, consequências e estratégias de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 421-432, 2021.
- FUNDAÇÃO SEADE. Indicadores Socioeconômicos de Sorocaba – PIB, IDH e Desemprego. São Paulo: SEADE, 2022.
- GALLI, A.; ZHANG, Y. The Unique Properties of Water and Their Implications for Life Support Systems. *Journal of Hydrology*, v. 588, p. 125-136, 2020.
- GAO, X.; CHEN, C. T. A.. Heavy metal pollution status in surface sediments of the coastal Bohai Bay. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, n. 5, p. 919–927. 2012.
- GIERSCH, J. J.; FINN, D. S. Thermal regimes in mountain streams and their influence on the distribution of aquatic organisms: Ecological implications of water's density maximum at 4°C. *Freshwater Biology*, v. 66, n. 7, p. 1248-1261, 2021.
- GOMES DA COSTA, Talita; FELIPE MORAIS DE SOUSA, Nathan; PORTELA ZAMBALDI, Ludimilla. Mapeamento dos serviços ecossistêmicos de APPs de cursos d'água: caso da bacia do rio Doce. *Diversitas Journal*, v. 7, n. 4, 2022.
- GOMES, L. A. et al. Variação temporal da condutividade elétrica em rios urbanos sob diferentes usos da terra. *Ecologia Aplicada*, v. 19, n. 3, p. 45-57, 2020.
- HARPER, David M. et al. *Eutrophication of freshwaters*. London: Chapman & Hall, 1992.
- HIRATA, R., VIVIANI-LIMA, J. B.; HIRATA, H. *Decifrando a Terra*. -2 ed. - São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 448-452.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sorocaba/panorama>>. Acesso em: maio de 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados- São Paulo. 2022. Disponível em: <São Paulo | Cidades e Estados | IBGE>. Acesso em: Junho de 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados- Sorocaba. 2022. Disponível em: <Sorocaba (SP) | Cidades e Estados | IBGE>. Acesso em: Junho de 2024.
- INPE. Projeto PRODES: Monitoramento da Amazônia. São José dos Campos: INPE, 2020. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). ODS 6 - Água Potável e Saneamento. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>. Acesso em: 26 mar. 2025.

JENSEN, J. R. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2007.

JORDAN, T. E.; CORRELL, D. L.; WELLER, D. E. Relating nutrient discharges from watersheds to land use and streamflow variability. *Water Resources Research*, v. 33, n. 11, p. 2579–2590, 1997.

KAKADE, Apurva et al. World eutrophic pollution of lake and river: Biotreatment potential and future perspectives. *Environmental Technology & Innovation*, v. 23, p. 101604, 2021.

KALU, R. et al. Satellite remote sensing for climate change monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, v. 41, n. 15, p. 5733–5755, 2020.

KOPP, G.; HOLLOWAY, J.; RUTHERFORD, R. Sustainable Water Management: Strategies for Effective Resource Use and Conservation. *Water Resources Management*, v. 34, n. 6, p. 1863–1882, 2020.

LARKE, J. R.; BROWN, T. K. The Polar Nature of Water Molecules and Its Implications for Chemical Properties. *Chemical Reviews*, v. 120, n. 4, p. 1124–1155, 2020.

LE, Chengfeng et al. Eutrophication of lake waters in China: cost, causes, and control. *Environmental management*, v. 45, p. 662–668, 2010.

LERMEN, Andréia Monique et al. Consequências da ineficiência dos projetos de drenagem urbana: um diagnóstico do carregamento de sedimentos causadores de malefícios à saúde humana. 2020.

LOBATO, E.; SANCHES, L.; COSTA, L. R.; SANTOS, R. Thermal properties of water and their impact on aquatic ecosystems under climate change scenarios. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 65298–65312, 2021.

LU, Z.; ZHANG, Q. Surface Tension of Water: The Role of Hydrogen Bonding and Its Effect on Surface Phenomena. *Journal of Physical Chemistry B*, v. 124, n. 10, p. 2154–2162, 2020.

MANFREDINI, Fábio Navarro; GUANDIQUE, Manuel Enrique Gamero; ROSA, André Henrique. *A história ambiental de Sorocaba*. Sorocaba: Unesp-Campus Experimental de Sorocaba. 180p, 2015.

MapBiomas Project. "Collection 9 of the Annual Land Cover and Land Use Maps of Brazil (1985–2023)". 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomas/XXUKA8>

MARTINELLI, L. A. et al. Agricultura de precisão e o uso do sensoriamento remoto. *Agricultural Systems*, v. 176, p. 1–15, 2019.

MARTINS, Ana Claudia. Impermeabilização é a causa das enchentes. *Jornal Cruzeiro do Sul*, Sorocaba, 18 mar. 2023. Disponível em: (acesso 19 ago. 2025).

MARTINS, C. A.; SANTOS, F. B. Programas de recuperação ambiental no Rio Sorocaba. *Gestão Sustentável*, v. 5, n. 1, p. 79–93, 2021.

MARTINS, P. F.; ROCHA, E. C. Hidrelétricas e mudanças climáticas: implicações para a disponibilidade de água e energia. *Revista Brasileira de Políticas Energéticas*, v. 13, n. 2, p. 150–163, 2021.

MATA, Henrique Tomé Costa; CAVALCANTI, José Euclides A. A ética ambiental e o desenvolvimento sustentável. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 22, p. 176–191, 2020.

MATTHIENSEN, A. *Poluição e eutrofização de águas interiores-rios, lagos e represas*. 2017.

MELLO, K. de; PETRI, L.; LEITE, E. C.; TOPPA, R. H. Cenários ambientais para o ordenamento territorial de áreas de preservação permanente no município de Sorocaba, SP. *Revista Árvore*, v. 38, n. 2, p. 311–320, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/P84ppb3xywQMZpfqcBYcgwc/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

MENDONÇA, F.; DANTAS, M. Fatores regionais que influenciam o clima no Sudeste. *Climatologia Brasileira*, v. 12, p. 78–89, 2018.

- MOLDEN, David. Scarcity of water or scarcity of management?. *International Journal of Water Resources Development*, v. 36, n. 2-3, p. 258-268, 2020.
- MOREIRA, Glaucio Alâ Vasconcelos; GONÇALVES, Manuel Vitor Portugal; DA PORCIÚNCULA, Débora Carol Luz. O compromisso social da Educação Ambiental no âmbito da escassez hídrica. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, v. 17, n. 2, p. 389-414, 2022.
- MORTATTI, J.; PROBST, J. L. Hidrogeoquímica de grandes rios: balanço de massa e fluxos de elementos químicos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 40, n. 3, p. 494-505, 2010.
- MOSCHINI-CARLOS, Viviane et al. Cyanobacteria and cyanotoxin in the Billings reservoir (São Paulo, SP, Brazil). *Limnetica*, v. 28, n. 2, p. 0273-282, 2009.
- Muller, P. M. (2007). *Geografia física do Brasil: relevo e clima*. Editora Hucitec.
- NESBITT, H. W.; YOUNG, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, v. 299, p. 715-717, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/299715a0>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- NETO, A. T. Estudo e implementação de um sistema de monitoramento remoto de variáveis edafo-ambientais. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- NOLASCO, M. B. Transporte de material dissolvido e particulado na bacia do rio Sorocaba - São Paulo: aspectos dinâmicos da hidroquímica fluvial e modelos de distribuição. 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP_981bbe9d8db684e866fb3bce62847903. Acesso em: 21 mar. 2025.
- NOVO, E. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- NOVOTNY, V. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2003.
- OLIVEIRA, J. S.; RODRIGUES, J. C. Influência das emissões de óxidos de nitrogênio e amônia na eutrofização de corpos d'água. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, n. 2, p. 145-159, 2021.
- OLIVEIRA, S. R.; SILVA, T. C. Impactos da demanda populacional e da urbanização sobre os recursos hídricos. *Revista de Gestão de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 4, p. 303-319, 2022.
- Organização Mundial da Saúde. *Drinking-water*. WHO Fact Sheets, 2021.
- ØSTBY, Gudrun; NORDÅS, Ragnhild; RØD, Jan Ketil. Regional inequalities and civil conflict in Sub-Saharan Africa. *International studies quarterly*, v. 53, n. 2, p. 301-324, 2009.
- OXFAM BRASIL. A realidade do acesso à água potável no mundo. 2018. Disponível em: <https://www.oxfam.org.br/blog/a-realidade-do-acesso-a-agua-potavel-no-mundo/>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- Pazzini, R. (2010). Dinâmica fluvial e geomorfologia: A ação dos rios e córregos no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 9(2), 103-115.
- PEREIRA, B. B. et al. Composição química da água de rios tropicais: influência da geologia e da sazonalidade. *Química Nova*, v. 44, n. 8, p. 1045-1054, 2021.
- PEREIRA, Cristina, Da Silva et al. Identificação de impactos ambientais provocados pelo lançamento de resíduos sólidos e líquidos no Rio Itapecuru. *Nature and Conservation*, v. 13, n. 2, p. 58-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPCC2318-2881.2020.002.0006>
- PEREIRA, Denise Navas. Eutrofização e floração de fitoplâncton marinho. *Revista CETESB*, n. 1, p. 30-35, 1994. Disponível em: <https://revistacetesb.emnuvens.com.br/revista/article/download/164/158>. Acesso em: 16 abr. 2025.
- PEREIRA, F. J.; SANTANA, R. G.; OLIVEIRA, C. R. Avaliação da qualidade da água e hidrogeoquímica do Rio Sorocaba em áreas influenciadas por atividades urbanas e industriais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 26, n. 2, p. e41, 2021.

- PEREIRA, Gabrielle Alberta; OLIVEIRA, Gustavo Henrique; PINTO, André Luiz. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. *Revista Geomae*, v. 1, n. 1, p. 69-82, 2010.
- PEREIRA, J. P.; COSTA, A. L. Dinâmica dos processos de intemperismo hídrico e sua influência na paisagem e no desenvolvimento dos ecossistemas. *Revista Brasileira de Estudos Ambientais*, v. 15, n. 1, p. 45-60, 2023.
- PEREIRA, M. A.; SANTANA, C. M. O uso de sensoriamento remoto no planejamento urbano sustentável. *Revista Brasileira de Planejamento Urbano*, v. 12, p. 22-34, 2021.
- PEREIRA, R.; SANTOS, V. A Mata Atlântica e sua preservação. São Paulo: Editora Verde Brasil, 2022.
- PICAZO, María Teresa Pérez. Agua y coyuntura economica: las transformaciones de los regadios murciano (1450-1926). Edicions Universitat Barcelona, 1985.
- PININSKA, J. Influência da variação de temperatura no comportamento mecânico das rochas. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/7558/3/MONOGRAFIA_InfluenciaVariacaoTemperatura.pdf. Acesso em: 26 mar. 2025.
- POMPÊO, Marcelo Luiz Martins et al. Qualidade da água em região alterada pela mineração de carvão na microbacia do rio Fiorita (Siderópolis, Estado de Santa Catarina, Brasil). *Acta Scientiarum*, v. 26, n. 2, p. 125-136, 2004.
- Quinn, G. P.; Keough, M. J.. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press. 2002.
- RAIJ, B. VAN. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, 285p, 2001.
- RESENDE, A. V. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato.- Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p.
- RICHARDSON, J. S.; FISHER, J. Water Molecule Polarity: Effects on Intermolecular Interactions and Solvation Properties. *Journal of Physical Chemistry B*, v. 124, n. 12, p. 2589-2598, 2020.
- RITCHIE, H.; ROSER, M. Water use and stress: How is water used in agriculture? Our World in Data, 2020.
- ROBB, Laurence. *Introduction to ore-forming processes*. John Wiley & Sons, 2020.
- ROCHA, A. A. et al. Impactos da urbanização na qualidade da água de rios do Sudeste brasileiro. *Revista de Biologia Neotropical*, v. 16, n. 2, p. 65-78, 2019.
- RUIZ, Néstor Nicolás; ALONSO, María Luisa Suárez; VIDAL-ABARCA, María Rosario. Contributions of dry rivers to human well-being: A global review for future research. *Ecosystem services*, v. 50, p. 101307, 2021.
- SAAE. Prefeitura e Saee anunciam novo sistema de abastecimento de água em Sorocaba com mais autonomia e confiabilidade. Disponível em: <<https://www.saaesorocaba.com.br/prefeitura-e-saee-anunciam-novo-sistema-de-abastecimento-de-agua-em-sorocaba-com-mais-autonomia-e-confiabilidade/>>. Acesso em: maio de 2023.
- Santos, A. R., et al. (2015). *Geografia Física de São Paulo: Análise da Geomorfologia do Estado*. Universidade Estadual Paulista.
- SANTOS, A. R., Nascimento, S. L., Calijuri, M. L., & Pompêo, M. L. M.. Assessment of trace metals and environmental risk in surface waters influenced by industrial activities in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193-297, 2021.
- SANTOS, A.; OLIVEIRA, P. Monitoramento da biodiversidade com o uso de imagens de satélite. *Conservação da Natureza*, v. 23, p. 47-60, 2015.
- SÃO PAULO (Estado). DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. Relatório Rodoviário: Rodovias SP-270 e SP-280. São Paulo: DER, 2022a.
- SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Ensino Superior e Pesquisa no Interior Paulista. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2023a.

- SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES. Aeroporto Estadual de Sorocaba – Infraestrutura e Operações. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2022b.
- Schmidt, G. B., et al. (2012). Mapeamento e classificação de solos do Estado de São Paulo. Editora Agronômica Ceres.
- SCHOLZ, A.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E. Water as a common good: Distributive justice and public perceptions in water governance. *Environmental Science & Policy*, v. 112, p. 125-133, 2020.
- SHARMA, S.; TRIPATHI, B. D. Sediment–water interaction and nutrient dynamics in a tropical river impacted by urban pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 185, n. 9, p. 7411-7422, 2013.
- SHARPLEY, A. N. et al. Phosphorus legacy: Overcoming the effects of past management practices to mitigate future water quality impairment. *Journal of Environmental Quality*, v. 42, n. 5, p. 1308–1326, 2013.
- SIANOS, G. et al. Hypoxia in aquatic ecosystems: mechanisms, consequences and management strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 21, n. 12, p. 7301–7311, 2014.
- SigRH- Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://sigrh.sp.gov.br/divisaohidrografica>>. Acesso em: maio de 2023.
- SILVA, Ariane Aparecida Santos da. Fragilidade ambiental e estimativa de perdas de solo na unidade de gerenciamento de recursos hídricos Tietê/Batalha (UGRHI–16)/SP. Repositório UNESP. 2024.
- SILVA, Carlos; OLIVEIRA, Fernanda. Hidrografia do estado de São Paulo: análise das principais bacias. *Revista de Geografia, Campinas*, v. 7, n. 3, p. 22-36, 2019.
- SILVA, G. B. O protagonismo da indústria na economia da região de Sorocaba. *Jornal Cruzeiro do Sul*, 2023. Disponível em: <https://www.jornalcruzeiro.com.br/opiniaio/artigos/2023/07/717564-o-protagonismo-da-industria-na-economia-da-regiao-de-sorocaba.html>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- Silva, J. G., et al. (2009). Geodinâmica e processos de erosão em áreas urbanas: O caso de Sorocaba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3(1), 45-56.
- SILVA, J. M.; LIMA, R. F. Avaliação da qualidade da água do rio Sorocaba e ações de despoluição. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 24, n. 2, p. 1-12, 2019.
- SILVA, João da; PEREIRA, Maria. Gestão de recursos hídricos e controle de sólidos em suspensão. 2. ed. São Paulo: Editora Ambiental, 2020.
- SILVA, M. T.; GOMES, C. A. A importância da água para a saúde humana e sua influência na qualidade de vida. *Revista Brasileira de Saúde e Nutrição*, v. 12, n. 1, p. 55-67, 2021.
- SIMEONOV, V. et al. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research*, v. 37, n. 17, p. 4119-4124, 2003.
- SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. *Geosul*, v. 34, n. 72, p. 01-27, 2019. doi: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p01>
- SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Reflexos das atividades antrópicas sobre a qualidade da água e do solo na bacia do rio Pirajibu-Mirim (Sorocaba, SP). *Revista Ambiente & Água*, v. 17, n. 4, p. 1-15, 2022.
- SIMONETTI, Vanessa Cezar et al. Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 44, p. 169-180, 2018.
- SMITH, W. S. Os peixes do rio Sorocaba: A história de uma bacia hidrográfica. Sorocaba, SP: Editora TCM. 2003. 160p.
- SOROCABA (Município). PREFEITURA MUNICIPAL. Áreas Verdes e Sustentabilidade – Parques Naturais e Jardins Botânicos. Sorocaba: PMS, 2023.
- SOROCABA (Município). PREFEITURA MUNICIPAL. Distrito Industrial de Sorocaba – Desenvolvimento e Infraestrutura. Sorocaba: PMS, 2022a.

- SOROCABA (Município). PREFEITURA MUNICIPAL. Parque Tecnológico de Sorocaba – Inovação e Desenvolvimento. Sorocaba: PMS, 2022b.
- SOROCABA (Município). PREFEITURA MUNICIPAL. Plano Municipal de Mobilidade Urbana. Sorocaba: PMS, 2023.
- SOUZA, A. R.; SILVA, M. C. Qualidade da água: influência do oxigênio dissolvido e pH em ambientes aquáticos. *Revista Brasileira de Hidrologia*, v. 25, n. 3, p. 123-135, 2022.
- SZIKSZAY, Maria. Geoquímica das águas. *Boletim IG-USP. Série Didática*, v. 5, p. 1-166, 1993.
- Tavares, M. M. (2014). Sedimentação fluvial e impacto das chuvas no relevo urbano. *Geografia Física e Aplicada*, 8(2), 112-123.
- TUNDISI, J. G. Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez. – São Carlos: RiMa, IIE, 2. ed., 2005. 248 p.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. *Limnologia*. – São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 508-509.
- TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. *Limnologia*. Oficina de textos, 2016.
- UN-SPIDER. The use of remote sensing in disaster management. Vienna: United Nations Office for Outer Space Affairs, 2014.
- UNRIC. Água - Nações Unidas - ONU Portugal. 2017. Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- WHITE, A. F.; BRANTLEY, S. L. Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals: An Overview. In: WHITE, A. F.; BRANTLEY, S. L. (Ed.). *Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*. Washington: Mineralogical Society of America, 1995. p. 1-22. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/9781501509575-003>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- YAMAGUTI, Wilson; ORLANDO, Valcir; PEREIRA, Sérgio de Paula. Sistema brasileiro de coleta de dados ambientais: Status e planos futuros. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 14, p. 1633-1640, 2009.
- YANG, Mingyu et al. Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. *Environmental Chemistry Letters*, v. 21, n. 1, p. 55-80, 2023.
- ZANOTTI, Laura et al. Sustainability, resilience, adaptation, and transformation: tensions and plural approaches. *Ecology and Society*, v. 25, n. 3, 2020.
- ZORPAS, Antonis A. Strategy development in the framework of waste management. *Science of the total environment*, v. 716, p. 137088, 2020.

APÊNDICE A- Tabelas de resultados laboratoriais brutos

Tabela 1- Parâmetros laboratoriais da coluna d'água.

Parâmetro		N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	C.E.
		----- mg /L -----													mS/cm
Seco	P1	2,80	0,35	4,96	6,87	2,38	2,38	14,75	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	7,20	0,147
	P2	4,20	0,38	7,83	8,42	2,98	4,88	26,41	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	7,65	0,271
	P3	2,80	0,54	8,24	9,36	3,18	6,00	30,11	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	7,56	0,318
	P4	9,80	0,65	7,85	11,67	3,84	3,19	29,63	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	7,58	0,329
		----- mg /L -----													mS/cm
Chuvoso	P1	6,00	0,00	6,00	10,00	3,00	4,30	18,50	0,00	0,00	0,22	0,00	0,01	7,52	0,191
	P2	4,00	0,00	5,00	14,00	3,00	3,70	14,52	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	7,74	0,197
	P3	7,00	0,00	6,00	10,00	3,00	4,90	17,71	0,08	0,00	0,31	0,00	0,01	7,34	0,329
	P4	7,00	0,00	5,00	9,00	2,00	3,00	12,84	0,07	0,00	0,62	0,00	0,00	7,51	0,143

N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; S: Enxofre; Na: Sódio; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco; pH: Potencial hidrogeniônico; C.E.: Condutividade elétrica.

Tabela 2- Parâmetros laboratoriais dos sedimentos.

Parâmetro		pH	pH	M.O.	Presina	Al3+	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		CaCl																		
		2	H2O	g/dm3	mg/dm3	mmolc/dm3									mg/dm3					
Seco	P1	6,10	-	8,00	42,00	-	10,00	-	2,70	131,00	30,00	164,00	174,00	94,00	-	0,18	1,70	119,00	11,40	5,50
	P2	5,30	-	13,00	62,00	-	18,00	-	1,70	25,00	6,00	33,00	51,00	64,00	-	0,16	3,50	398,00	36,60	26,80
	P3	5,80	-	3,00	173,00	-	8,00	-	1,10	47,00	6,00	55,00	62,00	88,00	-	0,05	0,30	63,00	8,00	9,60
	P4	6,10	-	5,00	147,00	-	7,00	-	1,60	75,00	17,00	94,00	101,00	93,00	-	0,09	0,50	82,00	7,20	2,80
Chuvoso	P1	5,30	-	4,00	51,00	-	10,00	-	0,70	22,00	4,00	27,00	36,00	74,00	-	0,12	0,90	98,00	6,40	11,70
	P2	5,10	-	3,00	55,00	-	10,00	-	0,80	24,00	5,00	29,00	39,00	75,00	-	0,12	0,80	102,00	5,30	3,70
	P3	5,60	-	11,00	37,00	-	15,00	-	1,40	27,00	6,00	34,00	49,00	70,00	-	0,21	1,50	154,00	24,80	9,30
	P4	6,00	-	2,00	30,00	-	8,00	-	1,60	140,00	38,00	180,00	187,00	96,00	-	0,16	0,90	59,00	7,60	2,50

pH: Potencial hidrogeniônico; M.O.: Matéria orgânica; P resina: Fósforo extraído por resina; Al³⁺: Alumínio trocável; H+Al: Acidez potencial; Na: Sódio; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca de cátions; V%: Saturação por bases; S: Enxofre; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

Tabela 3- Resultado das análises de série de sólidos.

Série de sólidos	Campanha chuvoso				Campanha seco			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Sólidos dissolvidos fixos (SDF)	0,0800	0,0867	0,0767	0,0733	0,1467	0,0983	0,0983	0,0767
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	0,1333	0,1400	0,1233	0,0900	0,2417	0,1533	0,1550	0,1267

Sólidos dissolvidos voláteis (SDV)	0,0533	0,0533	0,0467	0,0167	0,0950	0,0550	0,0567	0,0500
Sólidos suspensos fixos (SSF)	0,0300	0,0400	0,0400	0,0200	0,0150	0,0250	0,0133	0,0150
Sólidos suspensos totais (SST)	0,0533	0,0967	0,0900	0,0533	0,0333	0,0450	0,0367	0,0283
Sólidos suspensos voláteis (SSV)	0,0233	0,0567	0,0500	0,0333	0,0183	0,0200	0,0233	0,0133
Sólidos totais (ST)	0,1500	0,2200	0,1467	0,0867	0,2283	0,1667	0,1650	0,0933
Sólidos voláteis totais (SVT)	0,0367	0,1333	0,0467	0,0033	0,0583	0,0567	0,0550	0,0400
Sólidos fixos totais (SFT)	0,1133	0,0867	0,1000	0,0833	0,1700	0,1100	0,1100	0,0533
Sólidos sedimentáveis (Ss)	0,3000	0,4000	0,5000	0,2000	0,1000	0,0500	0,3000	0,0000

ST: Sólidos totais; SVT: Sólidos voláteis totais; SFT: Sólidos fixos totais; SDT: Sólidos dissolvidos totais; SDF: Sólidos dissolvidos fixos; SDV: Sólidos dissolvidos voláteis; SST: Sólidos suspensos totais; SSF: Sólidos suspensos fixos; SSV: Sólidos suspensos voláteis; Ss: Sólidos sedimentáveis.