



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

GUILHERME PONTES VILLAS BÔAS

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL DO RIO SOROCABA:
O USO DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA (PAR) COMO INSUMO PARA
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Sorocaba/SP

2025

GUILHERME PONTES VILLAS BÔAS

**AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL DO RIO SOROCABA:
O USO DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA (PAR) COMO INSUMO PARA
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e
Tecnologia, Sorocaba, como parte dos
requisitos para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cardoso de
Morais

Sorocaba/SP

2025

V726a

Villas Bôas, Guilherme Pontes

Avaliação do nível de preservação ambiental do rio Sorocaba : o uso do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) como insumo para gerenciamento de recursos hídricos /
Guilherme Pontes Villas Bôas. -- Sorocaba, 2025

46 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Leandro Cardoso de Moraes

1. Gestão ambiental. 2. Conservação da natureza. 3. Águas residuais nos rios,
lagos, etc. 4. Mapas de zoneamento. 5. Abastecimento de água nas cidades. I. Título.

GUILHERME PONTES VILLAS BÔAS

**AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL DO RIO SOROCABA:
O USO DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA (PAR) COMO INSUMO PARA
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP), como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Data de aprovação: 05/01/2025

Trabalho aprovado por meio de parecer, homologado pelo Conselho de Curso em reunião de 05 de janeiro de 2025.

Dedico este trabalho aos valores que me foram transmitidos: a força e o amor incondicional de minha mãe; a ética e a integridade de meu pai; a fé e a esperança em Deus; a lealdade e a amizade dos meus amigos; e o conhecimento e a responsabilidade socioambiental adquiridos em minha universidade.

RESUMO

A partir da utilização do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), como ferramenta prática e facilitadora de informações científicas, permitiu-se avaliar o nível de preservação ambiental para o presente estudo. De forma ágil, a metodologia corroborou para a avaliação da qualidade ambiental de um trecho do rio Sorocaba, em zona essencialmente urbana, do município de Sorocaba-SP, em diferentes estações do ano. Os resultados indicaram que a média geral do PAR foi classificada com nível de "alterado", revelando um ecossistema em desequilíbrio. A análise temporal mostrou variações na qualidade ambiental, com picos nos meses de setembro e novembro, possivelmente relacionados a eventos climáticos ou descargas irregulares de fontes poluidoras. Ao correlacionar os resultados com o zoneamento urbano, identificaram-se duas zonas críticas: áreas de expansão residencial, e áreas de conservação ambiental, sujeitas à pressão da urbanização. Sobre os processos de mitigação, são sugeridas propostas como: o fortalecimento da fiscalização, a implementação de sistemas de drenagem, a recuperação de áreas degradadas, a educação ambiental e o planejamento urbano integrado.

Palavras-chave: Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), Preservação Ambiental, Rio Sorocaba, Zoneamento Urbano, Gestão Ambiental.

ABSTRACT

Through the use of the Rapid Assessment Protocol (RAP) as a practical and facilitating tool for scientific information, it was possible to assess the level of environmental preservation for this study. In an agile way, the methodology contributed to the evaluation of the environmental quality of a section of the Sorocaba River, in an essentially urban area for the city of Sorocaba-SP, in different seasons of the year. The results indicated that the overall average of the RAP was classified as "altered", revealing an ecosystem in imbalance. The temporal analysis showed variations in environmental quality, with peaks in the months of September and November, possibly related to climatic events or irregular discharges from polluting sources. By correlating the results with the urban zoning, two critical zones were identified: residential expansion areas and conservation areas, subject to urban pressure. Regarding mitigation processes, proposals are suggested such as: strengthening of inspections, implementation of drainage systems, recovery of degraded areas, environmental education, and integrated urban planning.

Keywords: Rapid Assessment Protocol (RAP), Environmental Preservation, Sorocaba River, Urban Zoning, Environmental Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa zoneamento urbano de Sorocaba-SP	16
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo em Sorocaba-SP	22
Figura 3 – Pontos de Observação	25
Figura 4 – Registro fotográfico 08/02/23	30
Figura 5 – Registro fotográfico 13/06/23	31
Figura 6 – Registro fotográfico 05/09/23	32
Figura 7 – Registro fotográfico 27/11/23	33
Figura 8 – Mapa de localização dos pontos de coleta e zoneamento urbano do município de Sorocaba-SP.....	37
Figura 9 – Possível lançamento irregular: Registro fotográfico 13/06/23	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Valores de precipitação no período de monitoramento.	21
Tabela 2 – Distância subsequente entre os pontos de coleta, de acordo com o fluxo do rio, utilizando a régua do Google Street View.....	23
Tabela 3 – Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) utilizado em campo	26
Tabela 4 – Níveis de preservação ambiental em função da pontuação obtida	28
Tabela 5 – Resultado do PAR para o rio Sorocaba (08/02/23)	30
Tabela 6 – Resultado do PAR para o rio Sorocaba (13/06/23)	31
Tabela 7 – Resultado do PAR para o rio Sorocaba (05/09/23)	32
Tabela 8 – Resultado do PAR para o rio Sorocaba (27/11/23)	33
Tabela 9 – Resultado PAR: Médias	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
1.1 Recursos Hídricos Superficiais - UGRHI 10 (Sorocaba/ Médio Tietê)	09
1.2 Ecossistema ripário e uso do PAR	10
1.3 Influência da Urbanização em corpos hídricos	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivos Gerais	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 A Urbanização da Região Metropolitana de Sorocaba – RMS: Problemas ambientais associados	13
3.2 Zoneamento Urbano de Sorocaba	15
3.3 Protocolo de Avaliação Rápida (PAR)	19
3.4 Análise da precipitação pluvial durante as coletas de amostras	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 Objeto de estudo	22
4.2 Critérios de Seleção dos Pontos de Análise	22
4.3 Características Espaciais dos Pontos de Estudo	23
4.4 Protocolo de Avaliação Rápida (PAR)	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Resultado Protocolo de Avaliação Rápida (PAR)	29
5.2 Análise Média geral: PAR	35
5.3 Análise espacial: Uso e ocupação do solo sob a perspectiva do zoneamento urbano de Sorocaba-SP	36
5.4 Análise das zonas críticas	38
6. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

1.1 Recursos Hídricos Superficiais - UGRHI 10 (Sorocaba/ Médio Tietê)

Os recursos hídricos encontrados na superfície terrestre são responsáveis por propiciar a vida em suas diversas formas, e originar através da participação direta no ciclo da água a manutenção climática, e por essa razão e outras são elementos fundamentais para a sobrevivência de todos os seres vivos, além de serem a base para o crescimento e regulação do desenvolvimento econômico e social de uma região. Esse recurso natural é o alicerce para diversas atividades humanas, como agricultura, indústria, saneamento básico e turismo. No Brasil, um país essencialmente dependente de uma matriz de caráter renovável, se faz necessário esmiuçar seu potencial, ainda mais na região de estudo desta monografia. A região hidrográfica do Estado de São Paulo é uma das mais importantes do país e possui uma grande variedade de rios e bacias hidrográficas, que desempenham um papel substancial na economia industrial, no setor agropecuário, preservação ambiental, e por fim na manutenção da qualidade de vida dos seres vivos (CETESB, 2023).

A gestão dos recursos hídricos em São Paulo é feita pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH), que visa garantir o uso sustentável da água e a preservação dos ecossistemas aquáticos. Na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 10, que abrange a bacia do rio Sorocaba e Médio Tietê, as questões relacionadas aos recursos hídricos são de grande importância, já que a região concentra uma população de mais de 2,065 milhões de pessoas distribuídas em 35 municípios, possui uma área de drenagem de mais de 11 mil km², onde destacam-se o rio Sorocaba, Tietê, Sorocabuçu, Sorocamirim, Pirajibu, além de importantes reservatórios para a região como a Represa de Itupararanga e a Represa de Barra de Bonita. A unidade apresenta cerca de 2100 km² de cobertura vegetal nativa, a qual ocupa, aproximadamente, 17,5% da área da UGRHI (SigRH SP, 2024). Sob o ponto de vista econômico pode-se citar que na região metropolitana, predominam as atividades industriais, com um diversificado parque industrial distribuído por vários municípios. Este parque inclui a produção de componentes para telecomunicações e informática, montadoras de veículos automotivos, refinarias de petróleo, fábricas de celulose e papel, indústrias alimentícias e sucroalcooleiras, além

de complexos industriais de base mineral voltados para a produção de alumínio e cimento, entre outros. No setor primário, destacam-se o cultivo de cana-de-açúcar, bem como a pecuária (CBH-SMT, 2024).

A cidade de Sorocaba, em particular, é um importante centro econômico e industrial do interior de São Paulo, com cerca de 720 mil habitantes (IBGE 2022). Localizada na UGRHI 10, a cidade conta com diversos rios e córregos que cruzam seu território, como o rio Sorocaba, córrego Pirajibu, córrego Itanguá, dentre outros. Esses recursos hídricos são utilizados para o abastecimento público, como também para a geração de energia, atividades industriais, irrigação e lazer (CBH-SMT, 2024).

1.2 Ecossistema ripário e uso do PAR

Um ecossistema ripário é uma faixa de vegetação que se desenvolve nas margens de rios, lagos e outros corpos d'água. Essa região de transição entre o ambiente terrestre e aquático possui características únicas e desempenha um papel fundamental na manutenção da saúde dos ecossistemas aquáticos e terrestres (SILVA, A., 2015).

Especialmente em regiões urbanas, a influência das zonas ripárias requer um olhar mais atento, apesar de ser obrigatório o monitoramento contínuo de águas superficiais em pontos fixos, é necessário realizar ensaios laboratoriais de qualidade da água e solo em pontos críticos da cidade, a fim de apurar a exata condição ambiental do rio e do ecossistema ripário.

Tal estudo é imprescindível para manutenção da qualidade e equilíbrio de vida dos habitantes que os cercam, pois permite monitorar e assegurar a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos, garantindo que medidas de proteção ambiental e conservação de recursos hídricos sejam implementadas, quando necessário (FORTES, 2019).

Além do que, a contaminação da água pode ter consequências graves para a saúde pública, especialmente se os contaminantes forem tóxicos ou carcinogênicos (RÓDIO, 2021). A população que vive próxima ao rio pode estar exposta aos contaminantes através do contato direto da água, o que ocorre ocasionalmente em períodos de cheia ou transbordamento do seu limite de vazão natural. A avaliação frequente do grau de contaminação também pode ajudar a identificar as fontes de poluição e a desenvolver estratégias de gestão integrada de bacias hidrográficas, que visam minimizar a entrada de poluentes no ambiente aquático.

1.3 Influência da Urbanização em corpos hídricos

A urbanização, um fenômeno global crescente, tem implicações significativas sobre os corpos hídricos, influenciando sua qualidade e quantidade. À medida que as cidades se expandem, a impermeabilização do solo resulta em alterações no ciclo hidrológico, aumentando a quantidade de água superficial e diminuindo a infiltração (Moura et al., 2020). Essa alteração no ciclo pode levar a um aumento na frequência e intensidade de enchentes, comprometendo não apenas a infraestrutura urbana, mas também os ecossistemas aquáticos.

Além disso, a urbanização mal planejada contribui para a poluição dos corpos hídricos. A presença de resíduos sólidos, esgoto doméstico e efluentes industriais, se lançados de forma inadequada, compromete a qualidade da água (FINOTTI, A. R., 2009). Estudos indicam que a contaminação por metais pesados e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, provenientes do fruto da urbanização desenfreada, pode resultar em processos de eutrofização, causando a morte de organismos aquáticos e terrestres e levar a perda da biodiversidade (GUEDES, 2011).

A gestão inadequada dos recursos hídricos urbanos também é uma preocupação crescente. A falta de planejamento e a ocupação desordenada das áreas ribeirinhas dificultam a preservação de áreas de recarga e a manutenção de corredores ecológicos, essenciais para a saúde dos corpos hídricos (CAIXETA & MARTINS, 2019). Assim, a urbanização não apenas afeta diretamente a qualidade da água, mas também altera a dinâmica dos ecossistemas aquáticos, impactando a fauna e a flora local.

Portanto, a relação entre urbanização e corpos hídricos é complexa e multifacetada. É fato que políticas públicas e estratégias de gestão integrada sejam implementadas para mitigar os efeitos adversos da urbanização, promovendo a sustentabilidade dos recursos hídricos e a preservação dos ecossistemas aquáticos (Cavalcante et al., 2023).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho foi avaliar o nível de preservação ambiental em um trecho de 39 quilômetros (km) do rio Sorocaba, através da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), localizado na cidade de Sorocaba-SP, entre as diferentes estações do ano.

2.2 Objetivos específicos

- a. Delimitar e mapear os pontos estratégicos da área de estudo, localizados na cidade de Sorocaba-SP;
- b. Classificar os níveis de preservação ambiental de cada ponto de observação em função da pontuação obtida no protocolo de avaliação rápida (PAR);
- c. Relacionar a classificação da preservação dos locais de estudo e sua conformidade com as diretrizes de gestão de parcelamento, uso e ocupação do solo previsto no zoneamento urbano do município de Sorocaba-SP.
- d. identificar as zonas críticas da bacia hidrográfica e analisar sua relação com o planejamento urbano, a fim de fornecer subsídios para a gestão ambiental da bacia hidrográfica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A Urbanização da Região Metropolitana de Sorocaba – RMS: Problemas ambientais associados

A região metropolitana de Sorocaba (RMS) passou por um processo intenso de urbanização nas últimas décadas. Há 50 anos, a região tinha uma população significativamente menor, com baixa densidade demográfica e um índice de desenvolvimento humano (IDH) abaixo da média nacional (IBGE, 2022).

Com o passar dos anos, o desenvolvimento econômico da região atraiu muitas pessoas em busca de trabalho e melhores condições de vida, resultando em um rápido crescimento populacional e aumento significativo da densidade demográfica. Esse processo foi especialmente evidente na cidade de Sorocaba, que experimentou um rápido crescimento urbano (GARRAMONA, 2023).

No entanto, esse rápido processo de urbanização também trouxe consigo uma série de problemas ambientais urbanos. A população de Sorocaba cresceu mais de 300% em 50 anos, passando de aproximadamente 175.000 habitantes em 1970 para mais de 700.000 habitantes em 2023. Consequentemente, a densidade demográfica aumentou de cerca de 388 habitantes por km² em 1970 para mais de 1600 habitantes por km². (IBGE, 2023).

Apesar desses desafios, é importante destacar que Sorocaba possui um IDH de 0,795, considerado alto e acima da média nacional, de acordo com o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) divulgado em 2020 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

A urbanização trouxe diversos benefícios, como a melhoria na qualidade de vida da população que migrou do campo para os centros urbanos em busca de serviços públicos, infraestrutura urbana e acesso a bens de consumo e serviços. No entanto, é importante ressaltar que em decorrência desse processo intenso e desordenado também teve consequências negativas para o meio ambiente.

O rápido crescimento populacional em Sorocaba, aliado à falta de planejamento urbano adequado, tem resultado em um acumulado de problemas ambientais. Um dos principais desafios é o aumento da incidência de enchentes, que ocorrem com maior frequência e intensidade devido à impermeabilização do solo. A água da chuva não é absorvida adequadamente, causando inundações em áreas urbanas, especialmente

aquelas de menor altimetria ou localizadas em zonas de várzea. Em janeiro de 2024, segundo levantamento do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba, desde 1981 não se registrava na cidade um volume de alagamento tão alto, sobretudo nas regiões do Parque das Águas e Jardim Faculdade, a região mais baixa de Sorocaba enfrentou uma das piores enchentes de sua história, causando danos significativos e deixando muitas pessoas desabrigadas (CNN BRASIL, 2024).

Outra preocupação é a crescente poluição do ar, impulsionada pelo aumento do número de veículos automotores nas ruas. A mobilidade urbana se tornou um desafio, exacerbado pela falta de políticas públicas efetivas para o controle e fiscalização de emissões. De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), em 2020, Sorocaba ultrapassou os limites permitidos de poluentes, como material particulado e ozônio, o que indica que a qualidade do ar na cidade oscila, ocasionalmente, abaixo do recomendado.

Com o avanço da urbanização, a população mais vulnerável economicamente passou a ocupar áreas periféricas da cidade, muitas vezes sem infraestrutura básica, como saneamento, coleta de lixo e serviços de saúde, além de serem áreas consideradas de risco iminente a desastres naturais. Esse processo de segregação espacial é resultado de políticas públicas ineficientes e, muitas vezes, da especulação imobiliária que expulsa a população de baixa renda do centro da cidade (GARRAMONA, 2023). A população de classe social mais baixa está mais suscetível ao enfrentamento do chamado “racismo ambiental”, sentença essa que se refere à obrigação da permanência dessa classe em áreas mais críticas ambientalmente, ou seja, estão próximas a aterros sanitários, indústrias poluidoras e outras fontes de contaminação ambiental, que afetam a saúde e qualidade de vida dessas pessoas (REDE SOROCABA, 2024). Aliás, a falta de infraestrutura básica em muitas dessas áreas, como a ausência de saneamento básico, faz com que a contaminação ambiental seja ainda mais intensa e prejudicial.

Outro problema ambiental urbano enfrentado pela região é o grande volume de lixo gerado. De acordo com dados do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo de 2023, ao longo dos últimos anos, o município gerou cerca de 20.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por mês, o que representa mais de 650 toneladas diariamente. E ainda, desse total, apenas cerca de 3% eram reciclados (Portal de Notícias “Porquê”, 2023).

Com o aumento da população, a quantidade de resíduos sólidos produzidos diariamente também aumentou, podendo sobrecarregar o sistema de coleta e tratamento de lixo da região, obrigando as autoridades a manter um contrato eficiente e transparente para o correto manejo da coleta, separação e destinação desses resíduos ou rejeitos, sendo eles tanto de origem doméstica, industrial ou hospitalar.

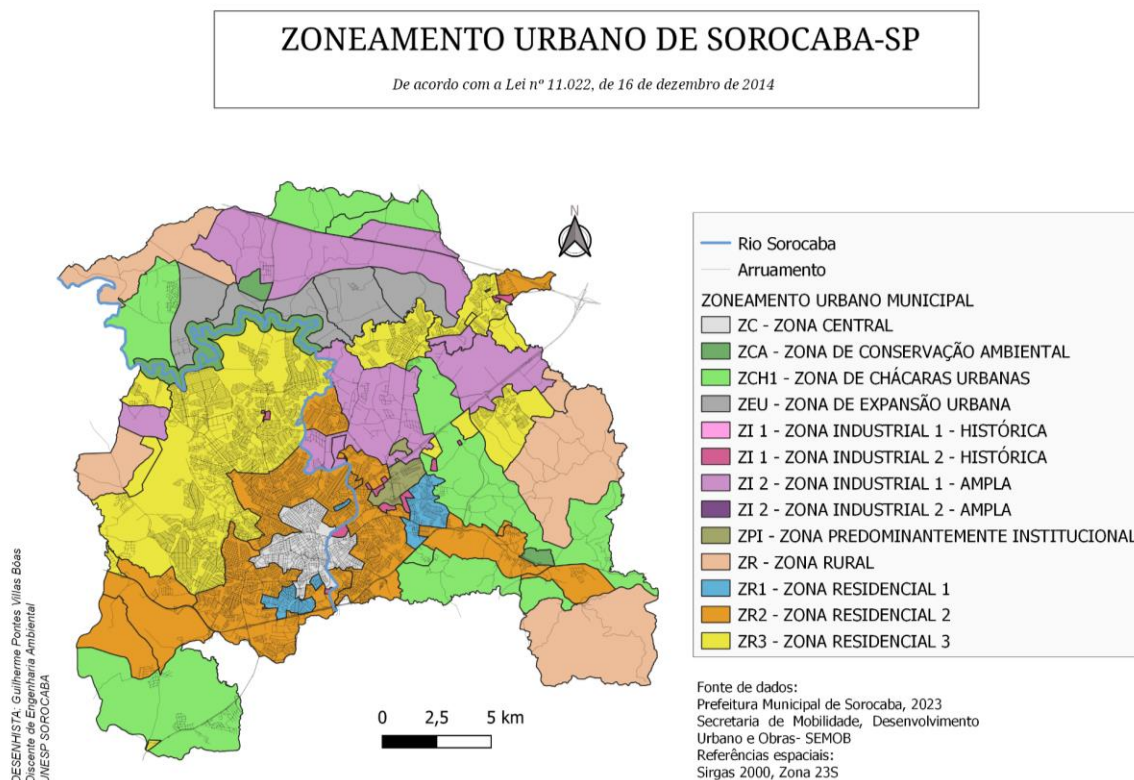
3.2 Zoneamento Urbano de Sorocaba

A preocupação com a preservação e monitoramento dos recursos hídricos tem se tornado cada vez mais premente diante dos desafios enfrentados pelo aumento populacional e consequente expansão urbana.

No caso deste referido estudo, localizado no maior município da RMS, a necessidade de um diagnóstico ambiental periódico é crucial para compreender a qualidade da água e identificar potenciais ameaças à saúde ecossistêmica e seus diferentes usos (irrigação de lavouras, abastecimento público, atividades industriais, geração de energia, extração mineral, aquicultura, navegação, turismo e lazer). (Usos da água - ANA, 2019)

Nesse contexto, reconhecer a localização dos pontos de coleta, considerando o zoneamento urbano municipal, é de suma importância para obter um panorama abrangente e embasado das condições ambientais influenciadas pela intensidade demográfica local. Além disso, a legislação pode estabelecer critérios e limites para determinadas zonas, como áreas de preservação ambiental ou áreas industriais, que influenciam diretamente na qualidade da água. Portanto, ao considerar esses aspectos legais, é possível avaliar se os pontos de coleta estão de acordo com as restrições e diretrizes estabelecidas, garantindo uma representação adequada das condições ambientais de cada área.

Em virtude disso, o trecho a seguir serve de base contextual e fundamentação teórica à discussão da tese, que destaca a importância de analisar o enquadramento dos pontos de coleta conforme a legislação vigente.

FIGURA 01 – Mapa zoneamento urbano de Sorocaba-SP

Fonte: Autoria Própria

Ainda sobre a classificação do espaço territorial urbano de Sorocaba, os artigos que abordam a temática central deste estudo, são os enumerados do 12 ao 24 da Seção 2 da Lei ° 11.022/2014, dentre eles estão citados abaixo as áreas que corroboram para estruturação da discussão.

Seção II

Subdivisão Territorial e da área Urbana

Art. 15 Para efeito da ordenação de parcelamento, uso e ocupação do solo, a Área Urbana do Município de Sorocaba é subdividida em zonas de uso, a saber:

I - Zona Central - ZC;

II - Zona Predominantemente Institucional - ZPI;

III - Zona Residencial 1 - ZR1;

IV - Zona Residencial 2 - ZR2;

V - Zona Residencial 3 - ZR3;

VI - Zona Residencial 3 expandida - ZR3-exp;

VII - Zona Industrial 1 - ZI 1;

VIII - Zona Industrial 2 - ZI 2;

IX - Zona de Chácaras Urbanas - ZCH;

X - Zona de Conservação Ambiental - ZCA;

XI (...) ao XV [sem relevância para a atual tese]

Art. 16 Na Zona Central - ZC, que compreende o centro histórico da cidade e as áreas a ele contíguas, caracterizadas pela coexistência de edificações térreas e verticalizadas, comércio e serviços diversificados e indústrias de portes variados, destacando-se equipamentos e edifícios de valor histórico e arquitetônico, as normas de parcelamento, uso e ocupação do solo devem:

I - incentivar a manutenção da variedade de usos;

II - permitir a verticalização e a ocupação extensiva dos lotes, com padrões de densidade compatíveis com a oferta de transporte público e a capacidade do sistema viário;

III - estimular a permanência e ampliação dos usos residenciais verticalizados;

IV - estimular o uso de transporte coletivo.

Art. 18 Nas Zonas Residenciais 1 - ZR1, que inclui áreas destinadas à ocupação predominantemente residencial, as normas de parcelamento, uso e ocupação do solo devem:

I - privilegiar o uso residencial em padrões de baixa densidade e baixas taxas de ocupação;

II - permitir usos do solo de atividades de apoio ao uso residencial e não incômodos;

III - limitar o percentual dos terrenos que podem ser edificadas e impermeabilizados e estimular o aumento de áreas vegetadas, visando à preservação da qualidade paisagística e ambiental dos bairros.

Art. 19 Nas Zonas Residenciais 2 - ZR2, que inclui em sua maior parte bairros já consolidados e utilizados preferencialmente por uso residencial, as normas de parcelamento, uso e ocupação do solo devem:

I - estimular o uso residencial de média densidade;

II - permitir usos não residenciais, desde que causem poucos incômodos para a população residente;

III - fixar índices urbanísticos que permitam a adoção de padrões variados de edificações com soluções térreas ou verticalizadas.

Art. 20 Nas Zonas Residenciais 3 - ZR3 e Zona Residencial 3 expandida - ZR3-exp, que compreendem áreas localizadas nos principais vetores de expansão da cidade, destinadas predominantemente ao uso residencial, as normas de parcelamento, uso e ocupação do solo devem:

I - estimular o uso residencial de alta densidade;

II - admitir usos não residenciais, tais como comércio, serviços e indústria de pequeno porte, visando à proximidade entre habitação e local de trabalho, desde que não causem incômodos à vizinhança;

III - fixar índices urbanísticos compatíveis com edificações de padrão popular, inclusive prédios verticalizados.

Art. 22 Nas Zonas Industriais 1 - ZI 1, composta por áreas com concentração industrial já estabelecida e áreas a serem destinadas para expansão destas atividades, as normas de parcelamento, uso e ocupação do solo devem:

I - reservar os terrenos exclusivamente à implantação de indústrias de grande porte e instalações correlatas;

II - fixar afastamentos e recuos visando à segurança e a redução de conflitos de vizinhança com áreas não industriais;

III - viabilizar a circulação e as operações de carga e descarga de veículos de grande porte sem conflitos com o tráfego geral de passagem.

Art. 23 Nas Zonas Industriais 2 - ZI 2, compostas por unidades industriais de ocupação histórica e já estabelecidas, situadas em áreas de urbanização mista e consolidada, poderão ter seu zoneamento, uso e índices urbanísticos alterados para a zona lindeira menos restritiva, caso ocorra à desativação da unidade fabril nela localizada. (Vide regulamentação dada pelo Decreto nº 25.681/2020)

Art. 24 As Zonas de Conservação Ambiental - ZCA são destinadas à implantação exclusiva de usos que garantam a ampla manutenção de superfícies permeáveis recobertas por vegetação com baixos índices de ocupação, preservando em caráter permanente o atributo natural a ser protegido.

§ 1º Em Zonas de Conservação Ambiental - ZCA é permitido parcelamento do solo para fins urbanos.

§ 2º A ZCA, constituída por faixa ao longo do rio Sorocaba, terá a largura contada do seu eixo, em 250,00m de cada lado, a partir da foz do Rio Pirajibu.

Ao considerar as informações fornecidas pelos artigos da legislação municipal relacionados ao zoneamento urbano e ao combinar esses dados com os resultados das condições de preservação ambiental da área durante o ano de 2023, é possível embasar um diagnóstico ambiental preliminar do rio Sorocaba de forma mais precisa. Essa abordagem integrada permite identificar os pontos críticos que necessitam de intervenções prioritárias e contribui para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão ambiental.

3.3 Protocolo de Avaliação Rápida (PAR)

O Protocolo de Avaliação Rápida é uma ferramenta que permite uma avaliação abrangente e ágil da saúde das bacias hidrográficas, proporcionando informações cruciais para a tomada de decisões informadas e a implementação de estratégias de

conservação e recuperação (PEDROSO e COLESANTI, 2018). Ao contrário dos métodos tradicionais de monitoramento que são demorados e custosos, o Protocolo de Avaliação Rápida utiliza indicadores biológicos, físicos e químicos para fornecer uma visão geral da qualidade da água e dos ecossistemas.

Os indicadores biológicos desempenham um papel fundamental no Protocolo de Avaliação Rápida, permitindo uma avaliação imediata da saúde dos ecossistemas aquáticos (CAMPOS, NUCCI, OLIVEIRA, 2021). A presença de espécies sensíveis e a diversidade biológica são indicadores importantes, pois refletem o estado do ecossistema como um todo.

A principal vantagem do Protocolo de Avaliação Rápida é a obtenção de resultados em tempo real. Isso permite uma resposta rápida e proativa às situações de risco e aos problemas identificados, possibilitando a implementação imediata de medidas corretivas (ROSA e MAGALHÃES JÚNIOR, 2019). Os gestores de recursos hídricos e as autoridades ambientais podem usar essas informações para desenvolver políticas de controle de poluição, estabelecer áreas de proteção, restaurar habitats e promover a conscientização ambiental (PONTINI e COELHO, 2019).

Além disso, o Protocolo de Avaliação Rápida é uma ferramenta eficaz para otimizar o uso de recursos financeiros e reduzir o tempo gasto em análises laboratoriais (BENTO et al, 2019). Os métodos tradicionais de monitoramento exigem análises demoradas e custosas, enquanto o Protocolo de Avaliação Rápida permite obter resultados confiáveis de forma mais eficiente. Isso possibilita o monitoramento frequente e em grande escala, facilitando a detecção de mudanças ao longo do tempo.

A adoção contínua do Protocolo de Avaliação Rápida também contribui para a gestão adaptativa dos recursos hídricos (SILVA et al, 2021). Através do monitoramento a longo prazo, é possível identificar tendências e padrões, antecipar problemas e ajustar estratégias de gestão de forma mais precisa. Isso é fundamental em um contexto de mudanças climáticas, onde as bacias hidrográficas enfrentam desafios cada vez maiores.

3.4 Análise da precipitação pluvial durante as coletas de amostras

Do ponto de vista da qualidade da água, a chuva pode alterar significativamente a qualidade da água, afetando grandezas físico-químicas, como concentração, diluição, fluxo e volume de substâncias que pode influenciar a distribuição de

contaminantes e a representatividade das amostras. Para isso, o objetivo foi acompanhar as diferentes alterações da dinâmica hídrica conforme as estações do ano (aspectos climáticos).

Assim sendo, a Figura 2 representa a dinâmica da precipitação em períodos distintos da coleta (48 horas antecedente, no dia anterior e no momento da coleta). Os dados foram adquiridos pelo INMET, para a Estação Convencional 83851 de Sorocaba.

Tabela 1 – Valores de precipitação no período de monitoramento.

Precipitação (mm)			
Data	48 horas antecedente	24 horas antecedente	Momento da coleta
08/02/2023	1	0	0,4
13/06/2023	0	0	1,4
05/09/2023	20,2	0,2	2,4
27/11/2023	1	0,2	0

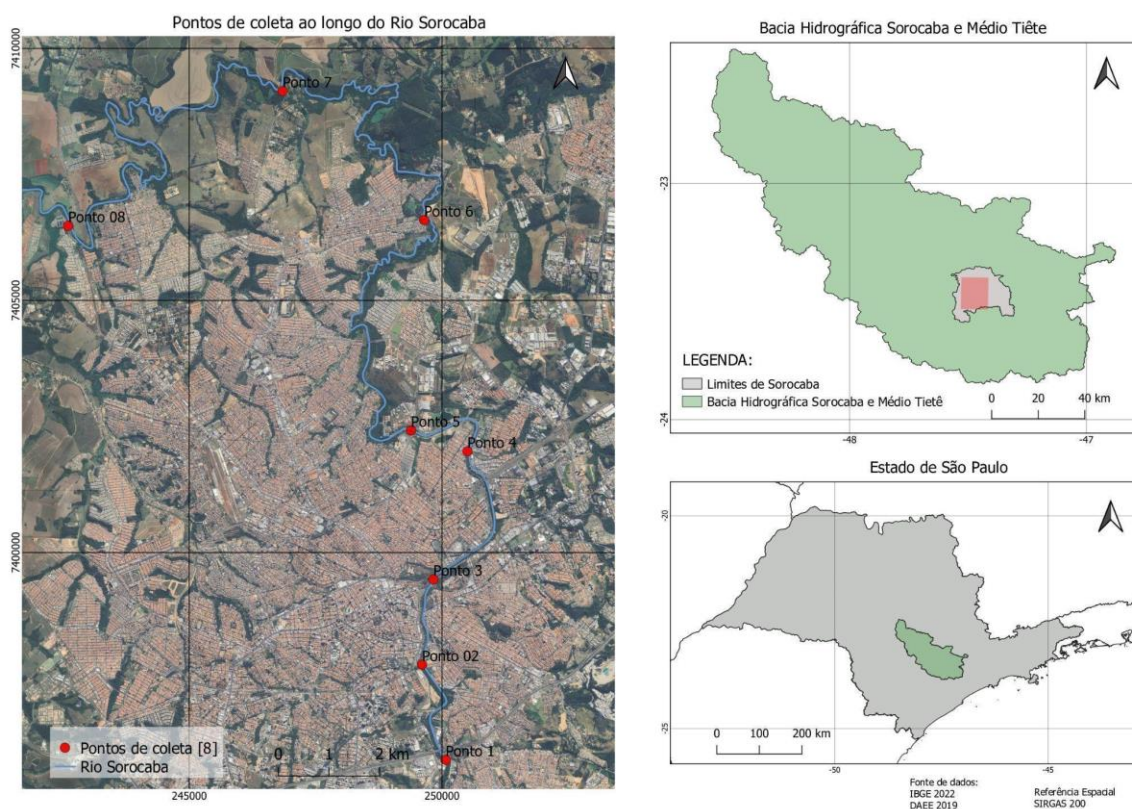
Fonte: autoria própria

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Objeto de estudo

A presente pesquisa teve como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Sorocaba, com foco específico no trecho urbano do rio principal, localizado no município de Sorocaba, estado de São Paulo. O rio Sorocaba, principal curso d'água da bacia, foi analisado em oito diferentes pontos ao longo de seu trajeto urbano, totalizando aproximadamente 39 quilômetros (km) de extensão.

FIGURA 02 – Mapa de localização da área de estudo em Sorocaba-SP.



Fonte: Autoria própria

4.2 Critérios de Seleção dos Pontos de Análise

A seleção dos pontos de análise do rio Sorocaba foi realizada considerando os seguintes critérios:

- Variabilidade ambiental: Foram escolhidos pontos que apresentassem diferentes características ambientais, como áreas de preservação permanente, áreas urbanizadas, e áreas de transição entre esses ambientes.

- Cobertura vegetal: A presença e o tipo de cobertura vegetal foram considerados como indicadores da qualidade ambiental e da capacidade de retenção de água do solo.
- Uso do solo: O uso do solo nas áreas adjacentes ao rio foi avaliado, considerando atividades como agricultura, indústria, e ocupação urbana.
- Infraestrutura urbana: A presença de infraestrutura urbana, como pontes, esgotos e sistemas de drenagem, foi considerada, pois essas estruturas podem influenciar a qualidade da água e a dinâmica fluvial.

4.3 Características Espaciais dos Pontos de Estudo

A análise dos resultados do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) foi enriquecida pela integração de dados geográficos. A utilização de ferramentas e técnicas de geoprocessamento permitiu a criação de mapas temáticos e a realização de análises espaciais, que foram fundamentais para a compreensão da dinâmica ambiental da bacia hidrográfica do rio Sorocaba, com intuito de identificar possíveis áreas mais vulneráveis e que requerem maior atenção em termos de gestão ambiental.

TABELA 02 – Distância subsequente entre os pontos de coleta, de acordo com o fluxo do rio, utilizando a régua do Google Street View.

Intervalos dos pontos de coleta	Distância (km)
1-2	2,358
2-3	1,844
3-4	3,303
4-5	2,026
5-6	7,561
6-7	8,691
7-8	13,114
TOTAL	38,8

Fonte: Autoria própria

Coordenadas:

- Ponto 01: -23,52809, -47,44788
Elevação: 554,0 m
- Ponto 02: -23,51099, -47,45215
Elevação: 542,0 m
- Ponto 03: -23,49573, -47,44966
Elevação: 551,0 m
- Ponto 04: -23,47293, -47,44265
Elevação: 561,0 m
- Ponto 05: -23,46901, -47,45349
Elevação: 550,0 m
- Ponto 06: -23,43139, -47,45026
Elevação: 552,0 m
- Ponto 07: -23,40785, -47,47721
Elevação: 547,0 m
- Ponto 08: -23,43131, -47,51915
Elevação: 547,0 m

O Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) foi selecionado como ferramenta principal para a avaliação do nível de preservação ambiental dos diferentes pontos ao longo do rio Sorocaba. A versatilidade do PAR, que permite a avaliação de diversos indicadores ambientais em um único protocolo, aliada à sua simplicidade operacional, o torna adequado para o contexto deste estudo. A escolha também foi influenciada pela facilidade de acesso aos pontos de coleta, evidenciado abaixo, o que pode possibilitar em um estudo futuro, a realização de um levantamento e a coleta de dados complementares, como amostras de água e solo.

FIGURA 03 – Pontos de Observação

Fonte: Autoria própria

4.4 Protocolo de Avaliação Rápida (PAR)

O Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) utilizado nesta pesquisa foi o desenvolvido por Callisto et al (2002), conforme as Tabelas 1 e 2.

Este PAR considera a complexidade do habitat e o seu nível de conservação, dando destaque às características do fluxo d'água e ao tipo de substrato que influenciam a formação das comunidades aquáticas. Além disso, é dada ênfase à estabilidade das margens e à presença de vegetação ripária e plantas aquáticas, reconhecendo sua importância para o funcionamento saudável do ecossistema aquático. Para isso, são atribuídos valores para cada parâmetro analisado, onde o resultado do somatório representa: a pontuação de 0 a 22 para as áreas consideradas

“impactadas”, de 23 a 32 para as áreas “alteradas” e valores acima de 32 para as áreas “naturais” (Tabela 3).

Tabela 3 – Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) utilizado em campo.

Parâmetros	Pontuação		
	4 pontos	2 pontos	0 pontos
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água	Vegetação natural	Campo de pastagem/Agricultura/Mono cultura/Reflorestamento	Residencial/Comercial/Industrial
2. Impactos antrópicos na margem	Ausente	Moderada	Acentuada (fábricas, canalização, reutilização de curso do rio, esgoto, lixo, etc.)
3. Impactos antrópicos no leito	Ausente (livre de qualquer material em suspensão/lixo)	Moderada	Acentuada
4. Odor da água e/ou do sedimento	Ausente	Moderada	Acentuada
5. Oleosidade da água e/ou do sedimento	Ausente	Moderada	Acentuada
6. Presença de plantas aquáticas	Parcial	Total	Ausente
7. Tipo de fundo	Cascalhos	Lama/Areia	Cimento/Canalização

Parâmetros	Pontuação			
	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 pontos
8. Diversidade de habitats	Mais de 50% com habitats diversificados (troncos submersos, cascalhos, remansos, folhiço ou outros habitats estáveis)	30 a 50% de habitats diversificados	10 a 30% de habitats diversificados	Menos que 10% de habitats diversificados
9. Deposição de lama	Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama	Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama	Entre 50 e 75% do fundo coberto por lama	Mais de 75% do fundo coberto por lama
10. Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado	Margens modificadas; acima de 80% do rio modificado
11. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas; mínima evidência de desflorestamento	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa; desflorestamento evidente, mas não afetando o desenvolvimento da vegetação	Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa; desflorestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada.	Menos de 50% da mata ciliar nativa; desflorestamento muito acentuado
12. Estabilidade das margens	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros; menos de 5% da margem afetada	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes; entre 5 e 30% da margem com erosão	Moderadamente instável; entre 30 e 60% da margem com erosão; risco elevado de erosão durante enchentes	Instável; muitas áreas com erosão; frequentes áreas descobertas nas curvas do rio; erosão entre 60 e 100% da margem; canalização

Fonte: Adaptado de Callisto et al. (2002)

Tabela 4 – Níveis de preservação ambiental em função da pontuação obtida.

Pontuação	Nível de perturbação
0-22	Impactado
23-32	Alterado
>32	Natural

Fonte: Adaptado de Callisto et al. (2002)

O objetivo desta ferramenta neste trabalho é observar o estado de degradação ou conservação ambiental dos pontos de coleta do rio Sorocaba, no município de Sorocaba - SP, de forma a obter uma avaliação da qualidade ambiental ao aplicar o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), que possibilite uma visão geral da saúde do ecossistema.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultado Protocolo de Avaliação Rápida (PAR)

O recorte espacial delimitado desta pesquisa compreende o município de Sorocaba - SP, onde foram selecionados oito pontos no percurso do rio Sorocaba, de montante para a jusante.

A seleção dos pontos para a aplicação do PAR, ao longo do percurso do rio Sorocaba, levou em consideração a diferenciação na densidade populacional, presença de afluentes, nível de sinuosidade do rio principal e facilidade de acesso.

Neste sentido, tem-se o ponto 1 a montante da bacia, tendo como ponto de referência o início do perímetro urbano, os pontos de 3 a 5 em áreas essencialmente urbana/residencial/industrial - do centro à área periférica do município, e os pontos 6 a 8 próximos à zonas de conservação ambiental, sendo o último localizado no interior da área da estação de tratamento de esgoto (ETE) de Sorocaba.

A aplicação do protocolo ocorreu nos meses de fevereiro, junho, setembro e novembro de 2023, para averiguar a influência do regime pluviométrico durante as diferentes estações climáticas. Para garantir uma visão multidisciplinar para a aplicação do PAR, foram escolhidos avaliadores de diferentes formações acadêmicas: geografia, engenharia ambiental e engenharia química, que observaram os pontos ao mesmo tempo, sem interferência de opiniões.

Os valores de análise dos parâmetros do PAR estão presentes nas tabelas 05, 06, 07 e 08, após o registro fotográfico de cada ponto para cada dia analisado.

FIGURA 04– Registro fotográfico 08/02/23

Fonte: Autoria própria

Tabela 05 – Resultado do PAR para o rio Sorocaba (08/02/23).

PONTOS	Parâmetros												Nível de Perturbação
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PONTUAÇÃO
1 - Av. Juscelino Kubitschek (Estação)	4	0	2	2	4	0	2	3	2	3	3	3	28 -Alterado-
2 - Ponte Dante Sola (Rotatória)	0	2	0	2	4	0	2	5	2	3	2	2	24 -Alterado-
3 - Usina Cultural	0	2	2	2	4	0	2	2	3	2	2	2	23 -Alterado-
4 - Av. Dom Aguirre / R. Manoel Correa	0	2	2	2	4	0	2	3	3	2	2	3	25 -Alterado-
5 - Abaixo da Ponte João Ribeiro de Barros	0	2	2	2	4	0	2	2	3	3	0	2	22 -Alterado-
6 - Ponte José Martinez Peres	0	0	2	0	2	0	2	2	0	2	2	2	14 -Impactado-
7 - Av. Itavuvu, 8900	4	0	0	2	2	0	2	3	2	3	5	2	21 -Impactado-
8 - ETE Itanguá	4	2	2	2	4	0	2	3	2	3	2	2	28 -Alterado-
Média Geral das Notas													23 -Alterado-

Fonte: Autoria própria

FIGURA 05– Registro fotográfico 13/06/23

Fonte: Autoria própria

Tabela 06 – Resultado do PAR para o rio Sorocaba (13/06/23).

PONTOS	Parâmetros												Nível de Perturbação
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PONTUAÇÃO
1 - Av. Juscelino Kubitschek (Estação)	4	0	2	2	4	4	2	3	2	3	3	3	32 -Alterado-
2 - Ponte Dante Sola (Rotatória)	0	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	3	15 -Impactado-
3 - Usina Cultural	0	0	2	2	4	0	2	2	3	2	2	3	22 -Alterado-
4 - Avenida XV de Agosto (Detran)	0	2	2	0	2	0	2	3	3	2	2	3	21 -Impactado-
5 - Abaixo da Ponte João Ribeiro de Barros	0	0	2	2	4	0	2	3	3	3	2	3	24 -Alterado-
6 - Ponte José Martinez Peres	0	2	2	0	2	0	2	2	0	3	2	2	17 -Impactado-
7 - Av. Itavuvu, 8900	4	4	2	2	4	0	2	5	2	3	3	3	34 -Natural-
8 - ETE Itanguá	4	4	2	2	4	0	2	5	2	2	3	3	33 -Natural-
Média Geral das Notas													24,75 -Alterado-

Fonte: Autoria própria

FIGURA 06 – Registro fotográfico 05/09/23

Fonte: Autoria própria

Tabela 07 – Resultado do PAR para o rio Sorocaba (05/09/23).

PONTOS	Parâmetros												Nível de Perturbação
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PONTUAÇÃO
1 - Av. Juscelino Kubitschek (Estação)	4	0	2	4	4	0	2	3	2	2	3	3	29 -Alterado-
2 - Ponte Dante Sola (Rotatória)	0	2	2	4	4	0	2	2	2	2	0	3	23 -Alterado-
3 - Usina Cultural	0	2	2	4	4	0	2	2	3	2	2	3	26 -Alterado-
4 - Avenida XV de Agosto (Detran)	0	2	2	4	4	0	2	3	3	0	3	2	25 -Alterado-
5 - Abaixo da Ponte João Ribeiro de Barros	0	0	2	4	4	0	2	3	3	3	2	3	26 -Alterado-
6 - Ponte José Martinez Peres	0	2	4	2	4	0	2	2	0	2	2	2	22 -Alterado-
7 - Av. Itavuvu, 8900	4	4	4	4	4	0	2	5	2	3	3	3	38 -Natural-
8 - ETE Itanguá	4	4	2	4	4	0	2	5	2	2	3	3	35 -Natural-
Média Geral das Notas													28 -Alterado-

Fonte: Autoria própria

FIGURA 07 – Registro fotográfico 27/11/23

Fonte: Autoria própria

Tabela 08 – Resultado do PAR para o rio Sorocaba (27/11/23).

PONTOS	Parâmetros												Nível de Perturbação
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PONTUAÇÃO
1 - Av. Juscelino Kubitschek (Estação)	0	0	4	2	4	0	2	3	2	3	3	3	26 -Alterado-
2 - Ponte Dante Sola (Rotatória)	0	2	4	4	4	0	2	2	2	2	2	2	26 -Alterado-
3 - Usina Cultural	0	0	2	4	4	0	2	2	3	0	2	2	21 -Impactado-
4 - Avenida XV de Agosto (Detran)	0	2	2	2	2	4	2	3	3	0	2	2	24 -Alterado-
5 - Abaixo da Ponte João Ribeiro de Barros	0	2	4	2	4	0	2	2	3	3	2	3	27 -Alterado-
6 - Ponte José Martinez Peres	0	2	0	0	2	0	2	3	0	3	2	3	17 -Impactado-
7 - Av. Itavuvu, 8900	4	2	4	2	4	4	2	5	2	2	3	3	37 -Natural-
8 - ETE Itanguá	4	4	4	2	4	0	2	5	2	2	3	3	35 -Natural-
Média Geral das Notas													26,6 -Alterado-

Fonte: Autoria própria

A partir dos resultados obtidos, pode-se inferir que houve uma avaliação da qualidade ambiental do rio Sorocaba, de forma qualitativa, realizada com auxílio do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), e diante da ilustração acima o estudo revelou uma dinâmica

interessante nos pontos de monitoramento selecionados, para quatro diferentes datas ao longo do ano.

Variação Temporal e Espacial

Ao analisar os resultados obtidos nos pontos 6, 7 e 8, observa-se uma variação temporal na classificação do PAR. O ponto 6, localizado na ponte José Martinez Perez, apresentou consistentemente uma classificação de "impactado" ao longo das quatro avaliações, indicando uma degradação persistente neste trecho do rio, tal fator é evidenciado pela sua localização geográfica (interseção entre "Zona Residencial III" e "Zona Industrial II - Ampla").

Já os pontos 7 e 8, localizados na Avenida Itavuvu 8900 e na ETE Itanguá, especificamente o ponto 7, apresentou uma tendência de melhora na qualidade da água ao longo do tempo, com classificações que evoluíram de "impactado" para "natural". Mas deve-se destacar que ambas estão localizadas em "Zona de Conservação Ambiental", e espera-se que um quadro ambiental superior às demais localidades, rotulado como "Natural".

Pontos Impactados em Diferentes Datas:

- **Dia 08/02/2023:** Pontos 6 e 7.
- **Dia 13/06/2023:** Pontos 4, 6.
- **Dia 05/09/2023:** Nenhum ponto classificado como impactado.
- **Dia 27/11/2023:** Pontos 3 e 6.

Além dos pontos citados acima, deve-se dar destaque as classificações dos pontos 4 e 3, que apesar de apresentarem valores considerados como "impactado" em diferentes dias de observação, encontram-se nas principais rota de tráfego urbano do município, localizados na "Zona Central" e "Zona Residencial II", respectivamente.

Influência de Fatores Locais

A variação na classificação dos pontos de monitoramento pode estar relacionada a diversos fatores, como:

- **Uso do solo:** A ocupação do solo no entorno da bacia hidrográfica, como áreas urbanas e industriais, pode contribuir para a degradação da qualidade da água através do escoamento superficial de poluentes.
- **Descarga de efluentes:** A presença de fontes poluidoras, como descargas de esgoto doméstico e industrial, pode influenciar significativamente a qualidade da água em determinados pontos.
- **Intensidade pluviométrica:** Eventos de precipitação intensa podem causar alterações temporárias na qualidade da água, como o aumento da turbidez e da carga de sedimentos. Observa-se que nos períodos acumulados de 48 horas anteriores até às coletas de dados, ocorreram eventos de precipitação, com destaque para os dias 05/09/2023 (22,8 mm) e 13/06/2023 (13,2 mm).

5.2 Análise Média geral: PAR

A avaliação do nível de preservação ambiental do rio Sorocaba, realizada através do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) em quatro diferentes datas ao longo do ano, revelou uma variação na média parcial dos índices obtidos. Contudo, observou-se que a média geral do PAR foi classificada com nível de **ALTERADO**.

Tabela 09 – Resultado PAR: Médias

Média Geral (PAR)		
Data	Média Parcial	Classificação (PAR)
08/02/2023	23	Alterado
13/06/2023	24,75	Alterado
05/09/2023	28	Alterado
27/11/2023	26,6	Alterado
MÉDIA TOTAL	25,6	Alterado

Fonte: autoria própria

A partir da avaliação das médias parciais e totais, possibilitou-se identificar uma frequência contínua para a classificação de nível “**Alterado**” em quase todos os pontos monitorados, outro fator que evidencia tal afirmação é sua a média total do PAR se situando em 25,6. Essa classificação indica que o ecossistema aquático e

ripario do rio se encontra em um estado de desequilíbrio, provavelmente devido à influência de diversos fatores antrópicos e naturais.

Além do mais, os resultados obtidos neste estudo indicam que a qualidade da água do rio Sorocaba apresenta uma heterogeneidade espacial e temporal, sendo influenciada diretamente pela presença das zonas urbanas, industriais e residenciais. E ainda, a persistência da classificação "impactado" no ponto 6, localizado na ponte José Martinez Perez, no bairro Vitória Régia, sugere a presença de uma fonte de poluição persistente neste local ou falta de vazão regular para autodepuração do rio. Já a melhora observada nos pontos 7 e 8, próximos à ETE Itanguá, pode estar relacionada à implementação de medidas de gestão ambiental, tratamento de efluentes e à redução da carga poluidora proveniente de outras fontes, haja visto que é uma área prioritária de conservação ambiental.

5.3 Análise espacial: Uso e ocupação do solo sob a perspectiva do zoneamento urbano de Sorocaba-SP

A análise espacial do rio Sorocaba, correlacionada com o zoneamento urbano do município de Sorocaba, (Lei nº 11.022/2014), permite uma compreensão mais aprofundada dos fatores que influenciam a qualidade dos recursos hídricos na região.

Relação entre o Zoneamento Urbano e Resultado PAR

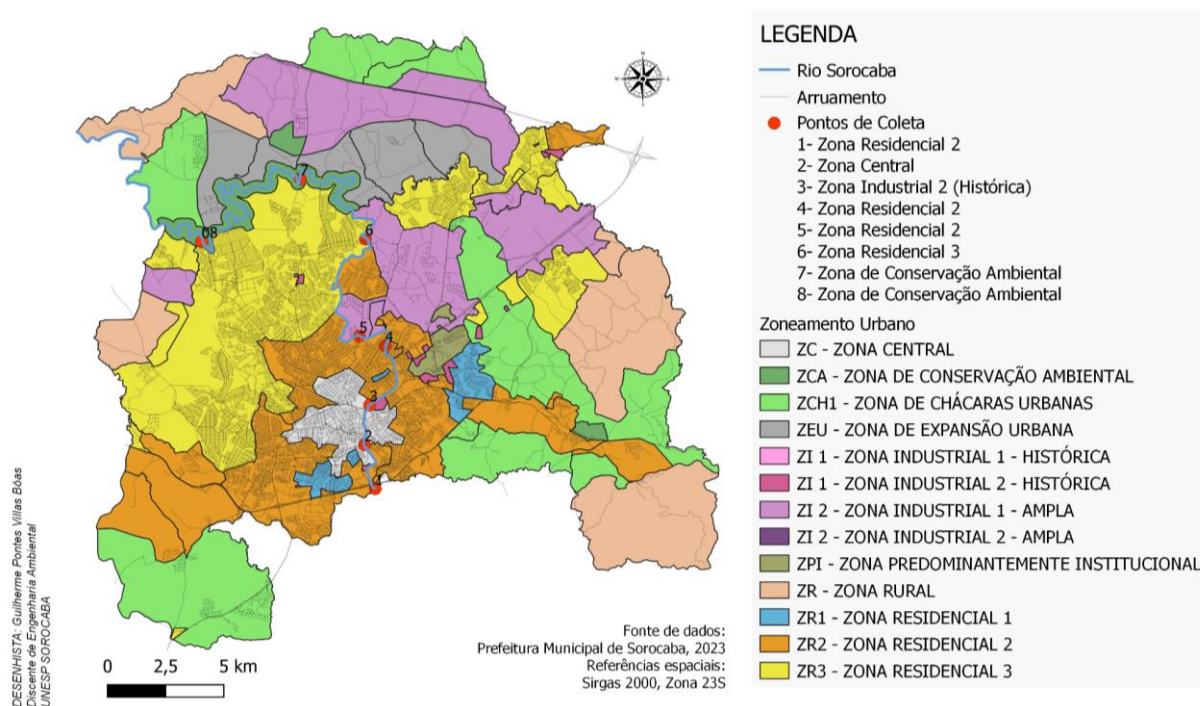
A distribuição dos pontos de monitoramento ao longo dos diferentes zoneamentos urbanos de Sorocaba revelou uma clara relação entre o uso do solo e a qualidade ambiental dos ecossistemas. Observa-se que:

- **Zonas residenciais:** Os pontos localizados em zonas residenciais (pontos 2, 4, 5 e 6) apresentaram, em geral, uma classificação de "alterado", com fortes índices de "impactado" no ponto 06, e sazonalmente no ponto 04. Isso pode ser explicado pela contribuição de fontes poluidoras difusas, como por exemplo, o despejo irregular de resíduos sólidos e outras fontes de poluição provenientes das áreas residenciais.
- **Zona industrial:** O ponto localizado na zona industrial histórica (ponto 3) também apresentou classificação de "impactado" em um momento específico, o que pode estar relacionado à descarga de efluentes industriais ou domésticos e à presença de atividades econômicas que geram resíduos poluentes.

- **Zonas de conservação ambiental:** Os pontos localizados em zonas de conservação ambiental (pontos 7 e 8) apresentaram, em geral, uma melhor qualidade ambiental, com classificação de "natural". Isso indica a importância das áreas protegidas para a manutenção da qualidade dos recursos hídricos, principalmente nos limites territoriais urbanos.

A seguir é evidenciada a relação entre os pontos de monitoramento do rio Sorocaba com o zoneamento urbano municipal, o mapa temático é uma ferramenta fundamental para a compreensão da dimensão da dinâmica de expansão das zonas urbanas.

FIGURA 08 – Mapa de localização dos pontos de coleta e zoneamento urbano do município de Sorocaba-SP



Fonte: Autoria própria

Análise detalhada:

Identificação de áreas críticas: O mapa permite identificar as áreas da cidade onde a qualidade da água pode estar mais comprometida, de acordo com o uso e ocupação do solo, auxiliando na definição de prioridades para as ações de controle de possíveis fontes poluidoras.

Monitoramento da expansão urbana: Ao relacionar os dados de qualidade ambiental com o zoneamento urbano, é possível acompanhar a expansão urbana e seus impactos sobre os recursos hídricos, permitindo a antecipação de problemas e a adoção de medidas preventivas.

Avaliação da eficácia de políticas públicas: O mapa pode ser utilizado para avaliar a eficácia das políticas públicas de gestão urbana e ambiental, permitindo identificar as áreas críticas, onde as medidas possam ser implementadas de maneira efetiva, e também propiciar mais foco aquelas que necessitam de ajustes.

5.4 Análise das zonas críticas

A partir das análises anteriores, subdividiu-se em duas zonas críticas, as quais foram elaboradas estratégias de mitigação e planejamento para futura gestão ambiental.

Zona de Ampliação de Ambientes Residenciais:

- Avaliação dos impactos: Os resultados acima permitiram avaliar os impactos da expansão das áreas residenciais sobre o nível de preservação ambiental, identificando as áreas onde a urbanização está causando maior pressão sobre os recursos naturais.
- Planejamento urbano: Ao integrar os dados e análise do mapa temático com o planejamento urbano, é possível detectar a forte pressão de ambientes impermeabilizados que afetam diretamente na velocidade do escoamento superficial, até mesmo possíveis lançamentos irregulares, evidenciado pela figura 09. Logo se faz necessário, desenvolver projetos de urbanização sustentável que minimizem os impactos ambientais, como a implantação de modernos sistemas de galerias pluviais e obras de drenagem, além de promover criação de áreas verdes, nos biomas de várzea, onde encontram-se as matas ciliares.

FIGURA 09 – Possível lançamento irregular: Registro fotográfico 13/06/23



Fonte: Autoria própria

Zona de influência urbana nas áreas de Conservação Ambiental:

- Detecção de pressões: Foi identificado que as zonas de conservação ambiental estão sofrendo pressões externas, principalmente da Zona Residencial 3, dita como “em expansão urbana”, logo deve-se analisar como a ocupação regular ou até mesmo irregular, afeta na descarga de efluentes, que podem comprometer a qualidade da água e a integridade dos ecossistemas.
- Ações de proteção: Ao identificar as áreas de maior grau de naturalidade do ecossistema, é possível direcionar essas como vulneráveis, e ampliar as ações de proteção ambiental, principalmente aquelas de limites de separação entre Zona de Conservação Ambiental e Zona Residencial 3, garantindo a conservação dos recursos naturais e da biodiversidade local.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a qualidade da água do rio Sorocaba apresenta uma classificação geral de "alterado", com nível de perturbação que varia de 0-22 (impactado), 23-32 (alterado) e maior que 32 (natural). Com uma média total do PAR de 25,6. Essa classificação indica que o ecossistema se encontra em um estado de desequilíbrio, exigindo medidas de revitalização para melhora no índice.

A análise temporal dos dados revelou uma variação na qualidade da área de estudo ao longo do ano, com as maiores médias sendo registradas nos meses de setembro e novembro. Essa variação pode estar relacionada a diversos fatores, como eventos climáticos, controle de vazão fluviométrica, descarga irregular de efluentes e processos naturais.

Ao correlacionar os resultados com o zoneamento urbano, identificaram-se duas zonas críticas:

1. **Zona de Ampliação de Ambientes Residenciais:** Nessa zona, a qualidade ambiental apresentou, em geral, uma classificação de "alterado", com variabilidade frequente de "impactado", principalmente no ponto 6, localizado no bairro Vitória Régia, zona Residencial 3 (em expansão), indicando a influência de contaminantes de origem doméstica, provenientes das áreas residenciais.
2. **Zona de Influência Urbana nas Áreas de Conservação Ambiental:** Apesar de serem áreas protegidas, essas zonas também sofrem os impactos do avanço da urbanização. Apesar da regularidade da classificação "natural" neste trecho, deve-se manter atenção a presença de pontos possíveis alterações nessas áreas, indicando a necessidade de aumentar as ações de fiscalização e monitoramento.

A Lei nº 11.022/2014, que estabelece as diretrizes de uso e parcelamento do solo para a gestão ambiental do município de Sorocaba, destaca a importância da proteção dos recursos hídricos. No entanto, os resultados desta pesquisa indicam que ainda há pontos críticos que merecem relevância para garantir a qualidade do ecossistema e da biodiversidade do rio Sorocaba.

Considerando os resultados obtidos, sugere-se:

- **Fortalecimento da fiscalização:** Intensificar a fiscalização das atividades que podem gerar poluição, e evitar descarga irregular de efluentes industriais e domésticos em zonas críticas.
- **Implementação de sistemas de drenagem pluvial:** Expandir a cobertura dos sistemas de drenagem e de galerias pluviais, focar na limpeza de bueiros especialmente nas áreas com maior densidade populacional.
- **Recuperação de áreas degradadas:** Promover a recuperação de áreas degradadas, como margens de rios e áreas de preservação permanente, especialmente em matas ciliares.
- **Educação ambiental:** Investir em programas de educação ambiental para conscientizar a população sobre a importância da preservação dos recursos naturais.
- **Planejamento urbano integrado:** Elaborar um plano de gestão integrada dos recursos hídricos, considerando as características de cada bacia hidrográfica e os interesses dos diferentes setores da sociedade.

É importante lembrar que a legislação é um importante instrumento para a proteção e melhoria da qualidade ambiental dos rios, mas sua efetividade depende da fiscalização e da participação ativa da sociedade civil nas ações de gestão e conservação dos recursos hídricos. Ao cumprir as leis e adotar práticas sustentáveis, contribuimos para a preservação dos rios e a garantia de um futuro mais sustentável e saudável para todos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). Usos da água no Brasil. Disponível em: Usos da água — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (www.gov.br). Acesso em: 07 jul. 2023.

BENTO, J.; CALDEIRA, L. F. da R.; MEDEIROS, G.; GONZALEZ, A. C.; CARNIATTO, I. (2019). "Elaboração de protocolo de avaliação rápida para vulnerabilidade dos mananciais de abastecimento próximo às rodovias". *International Journal of Environmental Resilience Research and Science*, v. 1, n. 1, pp. 174 - 188.

CAIXETA, Danila & Martins de MENEZES FILHO, Frederico & Moraes, Eduardo. (2019). Urbanização e seus efeitos sobre os corpos hídricos: uma situação de escassez e deterioração.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. (2002). "Aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG –RJ)". *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 14, n. 1, pp. 91-98.

CAMPOS, J. C.; NUCCI, J. C.; OLIVEIRA, C. (2021). "Protocolo de avaliação rápida de rios como referencial para uma educação ecossistêmica e transdisciplinar" *RA'EGA*. Curitiba. v.50, p.207–230.

CAVALCANTE, R. B. et al. (2023). Políticas públicas e urbanização: um olhar sobre os corpos hídricos. *Journal of Urban Planning*, 15(1), 78-92.

CETESB. Sistema Integrado de Monitoramento da Qualidade das Águas do Estado de São Paulo: EF12 – SOROCABA. Disponível em: <https://simqua.cetesb.sp.gov.br/estacao/12/>. Acesso em: 23 set. 2024.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA SOROCABA E MÉDIO TIETÊ. Apresentação. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhsmt/apresentacao>. Acesso em: 10 set. 2024.

FINOTTI, A. R.; FINKLER, R.; SILVA, M.D.; CEMIN, G. Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas. Caxias do Sul: EDUS, 2009.

FORTES, Ana Carolina Chaves; BARROCAS, Paulo Rubens Guimarães; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso. *Saúde em Debate*, v. 43, n. especial 3, p. 20-34, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S302>. Acesso em: 10 set. 2024.

GARRAMONA, Rofecele Teixeira. O processo de metropolização em Sorocaba e sua hinterlândia: análise a partir dos eixos de desenvolvimento. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, UFSCAR – Campus Sorocaba. Disponível em: [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/19732/ROFECELE TEIXEIRA GARRAMONA.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/19732/ROFECELE_TEIXEIRA_GARRAMONA.pdf?sequence=1). Acesso em: 17 set. 2024.

GUEDES, Josiel de Alencar. Poluição de rios em áreas urbanas. *Ateliê Geográfico, Goiânia-GO*, v. 5, n. 2, p. 212-226, ago. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 1970. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/71/cd_1970_v1_br.pdf. Acesso em: 25 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3175>. Acesso em: 25 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 04 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 25 mar. 2023.

Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos: GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2024/05/Inventario-Estadual-de-Residuos-Solidos-Urbanos-no-Estado-de-Sao-Paulo-2023.pdf>. Acesso em: 17 set. 2024.

LEI Nº 11.022, DE 16 DE DEZEMBRO DE 2014: BRASIL. Lei nº 11.022, de 16 de dezembro de 2014. Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial do Município de Sorocaba e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Sorocaba, Sorocaba, SP, 17 dez. 2014. Disponível em: <https://obras.sorocaba.sp.gov.br/plano-diretor/>. Acesso em: 18 abr. 2023.

MOURA, T. A. et al. (2020). Impactos da urbanização no ciclo hidrológico: uma revisão. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, 25(4), 233-242.

PEDROSO, L. B; COLESANTI, M. T. M. (2018). "Aplicação do protocolo de avaliação rápida de rios durante período de estiagem em trechos da bacia hidrográfica do ribeirão da Areia, Goiás". Revista de Geografia (Recife). v 35, n. 3, pp. 248 - 268.

PONTINI, V. V.; COELHO, A. L. N. (2019). "Emprego de protocolo de avaliação rápida no diagnóstico ambiental de sistemas fluviais: estudo de caso em áreas urbanas de Iconha e Piúma (ES)". GeoTextos, v. 15, n. 2, pp. 175 - 196.

PORTAL PORQUÊ. Sorocaba recicla apenas 3% de seus resíduos sólidos por falta de política ambiental. Disponível em: <https://www.portalporque.com.br/sorocaba-regiao/sorocaba-recicla-apenas-3-de-seus-residuos-solidos-por-falta-de-politica-ambiental/>. Acesso em: 17 set. 2024.

PREFEITURA DE SOROCABA. Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de Sorocaba. Disponível em: Sorocaba (SP) | Cidades e Estados | IBGE/. Acesso em: 17 set. 2024.

REDE SOROCABA. Racismo ambiental não é brincadeira. Disponível em: <https://redesorocaba.org.br/p/racismo-ambiental-nao-e-brincadeira>. Acesso em: 17 set. 2024.

Resíduos Sólidos - Prefeitura de Sorocaba: SOROCABA. Prefeitura Municipal de Sorocaba. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://www.sorocaba.sp.gov.br/ppp/residuos-solidos/>. Acesso em: 18 abr. 2023.

RIGUE, André. Com informações da Agência Brasil. “Com maior volume de alagamentos desde 1981, Sorocaba decreta estado de calamidade”. CNN Brasil. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/com-maior-volume-de-alagamentos-desde-1981-sorocaba-decreta-estado-de-calamidade/>. Acesso em: 17 set. 2024.

RÓDIO, G. R. .; ROSSET, I. G. .; BRANDALIZE, A. P. C. . Pesticides exposure and consequences to human health. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 8, p. e43010817526, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17526. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17526>>. Acesso em: 10 set. 2024.

ROSA, N. M.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. (2019). "Aplicabilidade de Protocolos de Avaliação Rápida (PARs) no diagnóstico ambiental de sistemas fluviais: o caso do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG)". Caderno de Geografia, c. 29, n. 57, pp. 441 - 464.

SÃO PAULO. Agência SMT. Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê. Disponível em: Agência SMT - Rio Sorocaba e Médio Tietê (agenciasmt.com.br) Acesso em: 17 set. 2024.

SILVA, A. C. A. da. A influência da mata ripária na qualidade da água superficial da bacia hidrográfica do córrego moeda – BHCM, em Três Lagoas/MS. Geografia em Questão, [S.l.], v. 15, n. 02, 2015. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/25206>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SILVA, R. V. et al. (2021). "Aplicação de um protocolo de avaliação rápida nas margens do rio Paraguai, Cáceres/MT, Brasil". Revista de Estudos Ambientais, v. 23, n. 2, pp. 23-34.