RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de **04/09/2027**.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

TATIANE ALMEIDA LEMOS

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DOS SEDIMENTOS DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DIRETA AO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA- SP

Sorocaba
2025

TATIANE ALMEIDA LEMOS

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DOS SEDIMENTOS DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DIRETA AO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA- SP

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Luiz Martins Pompêo

Coorientadora: Profa. Dra. Sheila Cardoso da Silva

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em ciências ambientais unesp Sorocaba

Sorocaba
2025

À minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor de todas as coisas, das portas abertas e fechadas. Ele, que tudo rege, protege e direciona.

À minha família - meu pai, Clodoaldo Duarte Lemos; minha mãe, Lucineide Almeida Lemos; e minha irmã, Thayane Almeida Lemos - por todo o apoio, incentivo e por encorajarem cada passo meu.

Às minhas avós: Luzia Maria da Silva, pelas ligações diárias, pelo incentivo e pelo afeto que atravessou o país; e Maria Inês Duarte Lemos (*in memoriam*), pelo exemplo de sabedoria e perseverança.

À minha família sorocabana/paulistana/maranhense — obrigada por me receberem tão bem, mesmo sem antes me conhecerem. Vocês foram abrigo, lar e família durante toda esta etapa da minha vida e continuarão nela, por onde eu estiver. Obrigada, Lúcia, Jorge, Francinaldo, Hellen, Heven, Hévila, Joana, Érick e Gê. Sou infinitamente grata a vocês.

À minha grande amiga, por todo o apoio em todos os momentos: minha eterna gratidão, Maira.

Aos meus orientadores, professor Dr. Marcelo Luiz Martins Pompêo e Sheila Cardoso da Silva: professor Marcelo, obrigada pelos ensinamentos e pela receptividade, pela prontidão em esclarecer dúvidas e pelas longas conversas de orientação. Sheila, obrigada pela paciência, gentileza e por todo o conhecimento compartilhado.

Aos meus parceiros de campo, de laboratório, de angústias e de celebrações: Felipinho, obrigada pelas risadas, conversas, incentivos e pelo auxílio essencial nas coletas de campo, sob o sol escaldante e em meio às rodovias. Liliane, obrigada pelo conhecimento compartilhado, pela paciência e pela prontidão em responder todas as minhas dúvidas — você foi luz durante este período. Mari, obrigada por toda a assistência, incentivo e pelas conversas trocadas - você foi essencial para esta pesquisa. Thaís, obrigada pelas dicas, pela parceria e por todas as dúvidas sanadas.

Ao professor Dr. Jorge Trindade e à Universidade Aberta de Portugal, pela receptividade, pelo compartilhamento de conhecimento e pela prestatividade durante todo o período pré, durante e pós-intercâmbio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Câmpus de Sorocaba pela oportunidade, aprendizado e acolhimento.

Ao Laboratório de Limnologia e ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, pelo apoio no desenvolvimento das análises.

Aos membros da banca avaliadora, pela disponibilidade em agregar e compartilhar conhecimentos nesta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2023/13376-1, Processo nº 2021/10637-2 e Processo nº 2020/11759-1.

O presente trabalho também foi realizado com apoio da Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PROPG) da UNESP – Edital PROPG Nº 44/2022 Inclusão social de alunos da pós-graduação da UNESP em estágio no exterior.

“A metamorfose é irreversível. Depois que voa, a borboleta jamais volta a rastejar."

- Wandy Luz

RESUMO

A compreensão das características físicas de uma bacia hidrográfica auxilia no correto manejo de suas áreas. Deste modo, a caracterização física torna-se uma importante ferramenta de detecção e previsão de desastres. Associado a isso, o conhecimento sobre o uso e ocupação do solo agrega subsídios ao ordenamento territorial e zoneamento de áreas mais suscetíveis a impactos, bem como, propícias para determinados usos. Dessa forma, a caracterização física de bacias correlacionada com análises de uso e ocupação do solo são importantes instrumentos para proposições de mitigação de impactos. Um dos principais problemas decorrentes das atividades humanas atualmente é a contaminação dos corpos hídricos por metais, seja proveniente de efluentes industriais, agrícolas e urbanos. Entender como esse processo ocorre é fundamental no estabelecimento de medidas ao combate à deposição destes elementos nos corpos hídricos, sobretudo nos sedimentos. O objetivo desta pesquisa é quantificar e descrever o uso e ocupação do solo, assim como, analisar a qualidade dos sedimentos acumulados nas bacias de contribuição direta do reservatório de Barra Bonita-SP. O reservatório de Barra Bonita localiza-se na região central do estado de São Paulo, Brasil, e possui influência direta das bacias dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) e Sorocaba/Médio Tietê (SMT), também chamadas de UGRHI 05 e UGRHI 10, respectivamente. Para isso, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtidos através da USGS, a partir do qual foram extraídos os dados de Hipsometria, Aspecto, Índice de Rugosidade Topográfica, Índice de Posição Topográfica, Declividade e Índice de Umidade Topográfica. Para o uso e ocupação do solo foram utilizadas imagens de satélite Landsat dos anos de 1985, 2002 e 2022, obtidas através da USGS. As áreas de interesse foram delimitadas por meio de máscaras das duas bacias, obtidas através da SEMIL. E por fim, avaliação da qualidade dos sedimentos baseou-se em coletas de perfis sedimentares em duas áreas do reservatório Barra Bonita: uma sob influência da entrada das águas do rio Piracicaba e outra com influência das águas do rio Tietê. Os perfis foram datados por método do ^{210}Pb e analisados em relação aos teores dos metais Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Al e Fe, Sc, V, Ti e K. A caracterização física, revelou que as duas bacias apresentam cotas de altitude bem distribuídas e baixa incidência de relevos montanhosos e escarpados, sendo caracterizadas como bacias mais dissecadas, com faixas de umidade mais concentradas em regiões próximas aos corpos hídricos. Em relação ao uso e ocupação do solo, apesar de diferenças em extensão e demografia, as duas bacias exibem composição do uso e ocupação do solo semelhantes, com predominância de áreas agrícolas, seguidas da classe de vegetação natural e uso antrópico não agrícola. No entanto, observou-se que na bacia PCJ a classe de uso agrícola apresentou redução ao longo dos anos e crescimento da classe de vegetação natural, enquanto que, a bacia SMT apresentou o inverso. As análises da qualidade do sedimento dos dois principais rios das bacias indicaram que não há sinais de contaminação significativa ao longo dos anos.

Palavras-chave: Ecotoxicologia. Metais. Sensoriamento remoto. Uso da Terra.

ABSTRACT

Understanding the physical characteristics of a watershed aids in the proper management of its areas. Thus, physical characterization becomes an important tool for detecting and predicting disasters. Associated with this, knowledge about land use and occupation provides support for land use planning and zoning of areas more susceptible to impacts, as well as those suitable for certain uses. Thus, the physical characterization of watersheds, correlated with land use and occupation analyses, are important tools for proposing impact mitigation. One of the main problems arising from human activities today is the contamination of water bodies by metals, whether from industrial, agricultural, or urban effluents. Understanding how this process occurs is fundamental to establishing measures to combat the deposition of these elements in water bodies, especially in sediments. The objective of this research is to quantify and describe land use and occupation, as well as to analyze the quality of sediments accumulated in the basins directly contributing to the Barra Bonita reservoir in São Paulo. The Barra Bonita Reservoir is located in the central region of São Paulo state, Brazil, and is directly influenced by the Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) and Sorocaba/Médio Tietê (SMT) river basins, also known as UGRHI 05 and UGRHI 10, respectively. For this purpose, the Digital Elevation Model (DEM) obtained from the USGS was used, from which data on Hypsometry, Aspect, Topographic Roughness Index, Topographic Position Index, Slope, and Topographic Moisture Index were extracted. Land use and occupation data were obtained from the USGS using Landsat satellite images from 1985, 2002, and 2022. The areas of interest were delimited using masks of the two basins, obtained through SEMIL. Finally, sediment quality assessment was based on sediment profile collections in two areas of the Barra Bonita Reservoir: one influenced by the Piracicaba River inflow and the other influenced by the Tietê River. The profiles were dated using the ^{210}Pb method and analyzed for the metals Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Al, Fe, Sc, V, Ti, and K. Physical characterization revealed that both basins have well-distributed elevations and a low incidence of mountainous and steep terrain. They are characterized as more dissected basins, with moisture bands more concentrated in regions close to water bodies. Regarding land use and occupation, despite differences in size and demographics, the two basins exhibit similar land use and occupation compositions, with a predominance of agricultural areas, followed by natural vegetation and non-agricultural anthropogenic land use. However, it was observed that in the PCJ basin, the agricultural use class decreased over the years and the natural vegetation class increased, while in the SMT basin, the opposite occurred. Sediment quality analyses of the two main rivers in the basins indicated no signs of significant contamination over the years.

Keywords: Ecotoxicology. Metals. Remote sensing. Land use.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBH PCJ- Comitê das Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

CBH SMT- Comitê das Bacias hidrográficas dos rios Sorocaba/Médio Tietê

cm = Centímetro

CCME = *Canadian Council of Ministers for the Environment*

FABH-SMT- Fundação Agência de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê

FE = Fator de Enriquecimento

ISQGs = *Interim Sediment Quality Guidelines*

Km^2 = Quilometro quadrado

m = Metro

m^3 /s = Metro Cúbico por segundo

MDE- Modelo Digital de Elevação

PCJ- Piracicaba/Capivari/Jundiaí

PEL = *Probable Effect Level*

PIB- Produto Interno Bruto

RMSP = Região Metropolitana de São Paulo

SEADE- Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados.

SEMIL- Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo

SMT- Sorocaba/Médio/Tietê.

SNIS- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TEL = *Threshold Effect Level*

TPI- Índice de Posição Topográfica.

TRI- Índice de Rugosidade Topográfica

UGRHI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

USGS- *The United States Geological Survey*

SUMÁRIO

1 CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO GERAL 17

1.1. Considerações sobre o impacto da atividade antrópica e o ambiente.....17

1.2. Breve panorama histórico e atual.....19

1.2.1. Reservatório de Barra Bonita.....19

1.2.2. UGRHI PCJ.....20

1.2.3. UGRHI SMT.....22

1.2.4. Demografia.....23

1.2.5. Urbanização e industrialização.....24

1.2.6. Produto Interno Bruto (PIB).....26

1.2.7. Saneamento.....27

1.3. Revisão de Literatura.....32

1.3.1. Evolução do Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Brasil.....32

1.3.2. Gerenciamento dos Recursos Hídricos no estado de São Paulo.....32

1.3.3. Uso e ocupação do solo e geotecnologias.....36

1.3.4. Sedimentos como arquivos de mudanças ambientais.....37

1.4. Referências Bibliográficas.....38

2 HIPÓTESE.....47

3 OBJETIVOS.....47

3.1.1. Objetivo Geral.....47

3.1.2. Objetivos Específicos.....47

4 CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DIRETA DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA, SP-BRASIL.....49

4.1. Introdução.....49

4.2. Material e métodos.....50

4.2.1. Caracterização da área de estudo 50

4.2.2. Análise e interpretação dos dados.....51

4.3. Resultados.....54

4.4. Discussão.....64

4.5. Considerações Finais.....67

4.6. Financiamento.....67

4.7. Referências Bibliográficas.....67

5 CAPÍTULO 3 – USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE CONTRIBUIÇÃO DIRETA AO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA-SP.....73

5.1. Introdução.....73

5.2. Material e métodos.....74

5.2.1. Área de estudo 74

5.2.2. Aquisição e processamento das imagens de satélite.....75

5.2.3. Amostras de Campo e validação dos resultados.....77

5.3. Resultados e Discussão.....78

5.4. Conclusões.....84

5.5. Agradecimentos.....84

5.6. Referências Bibliográficas.....85

6 CAPÍTULO 4 - ANÁLISE TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DIRETA AO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA- SP.....89

6.1. Introdução.....89

6.2. Material e métodos.....90

6.2.1. Caracterização da área de estudo 90

6.2.2. Aquisição e processamento das imagens.....91

6.2.3. Amostras de campo.....92

6.2.4. Validação dos resultados.....93

6.3. Resultados.....94

6.4. Índice Kappa.....96

6.5. Discussão.....97

6.6. Conclusão.....99

6.7. Agradecimentos.....100

6.8. Referências bibliográficas.....100

7 CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS NAS BACIAS CONTRIBUINTES DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA (SP).....104

7.1. Introdução.....104

7.2. Material e métodos.....105

7.2.1. Caracterização da área de estudo 105

7.2.2. Coleta e processamento das amostras.....106

7.2.3. Fator de Enriquecimento.....107

7.2.4. Índice de Carga Poluidora.....108

7.2.5. Índice de Risco Ecológico.....108

7.2.6. Análise Estatística.....109

7.3. Resultados e Discussão.....110

7.3.1. Taxas de sedimentação e geocronologia 110

7.3.2. Metais: geoquímica e variação temporal.....112

7.3.3. Metais: Enriquecimento, poluição e potencial tóxico.....120

7.4. Conclusão.....122

7.5. Agradecimentos.....123

7.6. Referências Bibliográficas.....123

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....128

1 CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Considerações sobre o impacto da atividade antrópica e o ambiente

A gradativa busca por eletricidade ocasionou a expansão de maneira inédita da construção e planejamento de barragens hidroelétricas em países emergentes. Nesse contexto, a utilização dos recursos hídricos por meio da formação de reservatórios e represas apresenta elevada relevância na obtenção de diversos serviços ecossistêmicos, incluindo múltiplos usos como: abastecimento de água, navegação, aporte no controle de enchentes, agricultura e indústria, entre outros (Zahedi et al., 2022; Zarfl et al., 2015; Zhang et al., 2018;).

No Brasil, milhões de pessoas dependem estritamente da utilização de barragens para obtenção de água em condições adequadas para uso, considerando aspectos de quantidade e qualidade, localização e disponibilidade temporal. Em razão das condições físicas e hidrológicas pertinentes, assinalada por uma expressiva rede de bacias hidrográficas, a geração de energia hidrelétrica do Brasil desempenha um papel primordial no abastecimento da demanda doméstica de eletricidade (ANA, 2017; Católico et al., 2021).

Contudo, apesar de sua relevância nos aspectos sociais resultantes de seus múltiplos usos, a implantação de reservatórios resulta também em impactos socioambientais, como por exemplo alteração na estrutura da comunidade aquática, ascensão do lençol freático e consequente aumento da umidade do solo, inundações de áreas povoadas, entre outros (Esteves, 1998; Li et al., 2019).

Além disso, ocorre a aceleração do processo de deposição de sedimentos nos reservatórios, que impacta diretamente o fluxo de sedimentos a jusante, gerando dificuldades junto às atividades agrícolas em várzea, em razão da limitada carga de sedimento e nutrientes (Capoane, 2021; Thornton, 1990).

Outros aspectos como alteração no uso do solo podem expandir os riscos associados à degradação da água. O uso inadequado do uso do solo desencadeia a deterioração na qualidade e quantidade de recursos hídricos, inclusive, de reservatórios oriundos de barramentos, estes, quando inseridos em zonas urbanas e polos industriais ficam suscetíveis ao recebimento de descargas de compostos orgânicos, metais e nutrientes em níveis excessivos (Medeiros et al., 2017; Vasconcelos, 2023).

O uso e cobertura do solo são dois termos frequentemente utilizados em conjunto, contudo, possuem diferentes significados. O uso da terra refere-se aos diferentes modos, que

a superfície terrestre é utilizada englobando campos agrícolas, áreas industriais, urbanas e recreativas. Já a cobertura da terra remete a aparência física dos recursos terrestres, abrangendo, a superfície/subsuperfície do planeta, superfície hídrica, estruturas artificiais, topográficas e solo de cobertura (Dewangkoro; Arymurthy, 2021).

O diagnóstico da relação entre o padrão da paisagem e a cadeia de poluição é um importante mecanismo de regulação dos poluentes introduzidos nos rios em vistas à qualidade dos corpos hídricos. Neste cenário, a utilização de dados mais específicos e confiáveis sobre o ambiente é fundamental para a proposição de medidas de gestão, ordenamento territorial e investigação das alterações ocorridas na paisagem de uma área (Pacheco, 2021; Peng; Li, 2021).

Diante disto, a obtenção de dados geoespaciais por meio de satélites transformou-se em um importante mecanismo de caracterização global em diferentes escalas e parâmetros. A utilização de técnicas de geoprocessamento em bacias hidrográficas auxilia programas de planejamento ambiental, uma vez que as informações obtidas podem compor bancos de dados que permitem a realização de avaliações sistemáticas (Peng; Liu, 2023; Silva, 2017).

O sensoriamento remoto permite a extração de informações através de imagens de satélite, utilizadas, dentre outras aplicações na elaboração de mapas de uso e ocupação do solo. O planejamento de uso do solo em torno de bacias hidrográficas é essencial, em decorrência do abastecimento de água e fornecimento a todos os seres vivos, além de serem ambientes suscetíveis a alterações generalizadas nestes padrões de uso, uma vez que, antes de qualquer intervenção antrópica o ambiente aquático encontra-se em estado de equilíbrio dinâmico (Alves et al., 2021; Campos, 2020; Rodrigues et al., 2018).

Aspectos como erosão, degradação do solo, assim como transporte de sedimentos são problemas comuns em bacias hidrográficas. Os sedimentos depositados em reservatórios de água são comumente oriundos do processo de erosão de rochas e minerais, lixiviação do solo, processos químicos e biológicos naturais do ambiente aquático, deposição de matéria orgânica e, de ações antrópicas (Frascareli et al., 2018; Jeanneau, 2021).

Os sedimentos apresentam um papel fundamental na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, atuando como importantes indicadores ambientais. Ao acumularem partículas provenientes da coluna d'água incluindo poluentes, como metais, os sedimentos refletem a intensidade e natureza dos impactos decorrentes das atividades antrópicas na bacia hidrográfica. Estudos que analisam a concentração de metais nos sedimentos permitem inferir a magnitude da contaminação ambiental Trata-se de um compartimento ativo, que

além de acumular o material proveniente da coluna d'água também o reprocessa, possibilitando novamente sua disponibilidade (Gutierrez et al., 2004; Mariani; Pompêo, 2011; Vidmar et al., 2017).

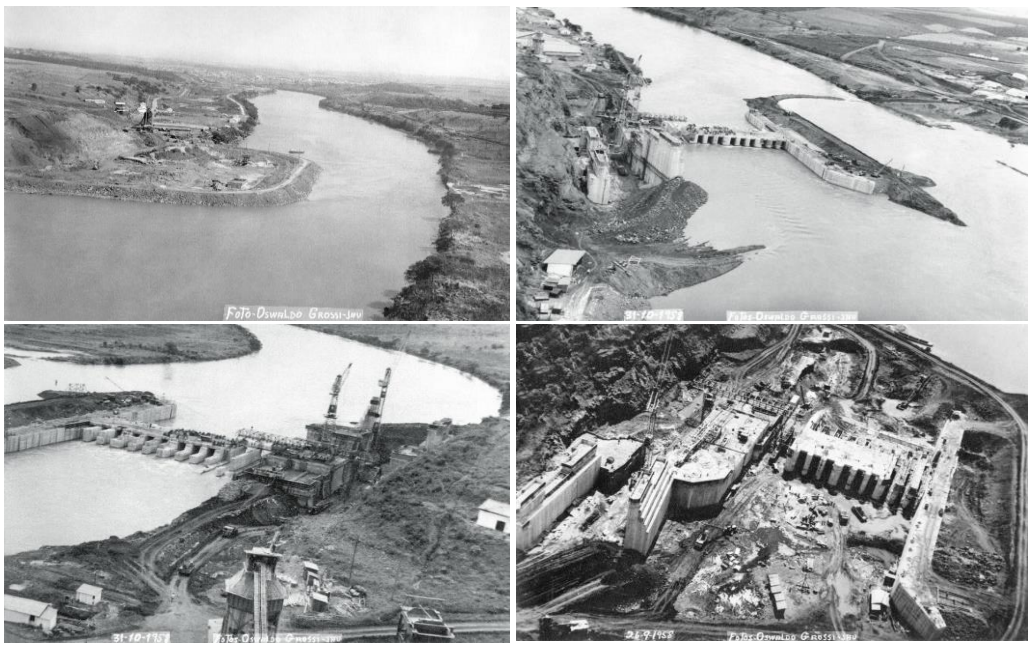
Neste cenário, a contaminação dos sedimentos é considerada por muitas agências reguladoras como um dos principais riscos aos ecossistemas aquáticos, uma vez que, além de atuarem como fontes potenciais de remobilização de poluentes para a coluna d'água, os sedimentos abrigam muitos organismos que permanecem todo, ou, a maior parte de seu ciclo de vida neste compartimento (Sadiq; alam, 1992).

1.2 Breve panorama histórico e atual

1.2.1 Reservatório de Barra Bonita

O reservatório de Barra Bonita é o primeiro de uma cadeia de reservatórios inseridos ao longo do rio Tietê (figura 1) formado pelo represamento dos rios Piracicaba e Tietê, e da contribuição de 114 tributários distribuídos em sua extensão, localiza-se na região central do estado de São Paulo entre os municípios de Igaraçu e Barra Bonita (Minhoni et al., 2017; Tonietto, 2010).

Figura 1- Imagens da construção da Usina Hidrelétrica e Barragem de Barra Bonita.



Registros de Oswaldo Grossi Jaú. Fonte: Projeto eletromemória (1958).

Construído em 1963 o seu principal objetivo era a geração de energia elétrica. Porém, atualmente, o reservatório também atende atividades de transporte fluvial, integrando uma

das principais hidrovias do estado (Hidrovia Tietê-Paraná), pesca, lazer, turismo, irrigação e abastecimento urbano e industrial da região no qual está localizado (Matsumura-Tundisi; Prado; Novo, 2007; Tundisi, 2005;).

A princípio a hidroelétrica de Barra Bonita foi gerida pela iniciativa estatal, gestão que se estendeu até 1990, entretanto a partir de 1996 em decorrência do Programa Estadual de Desestatização a administração passou a ser de domínio da multinacional AES-Tietê também responsável pela operação da eclusa inserta na hidrovia do rio Tietê-Paraná (Penteado et al., 2017).

O reservatório de Barra Bonita, em decorrência da sua localização, atua como corpo receptor de efluentes domésticos e industriais, com destaque para o material proveniente da monocultura da cana-de-açúcar, predominante no entorno do reservatório, que fornece diretamente resíduos de beneficiamento do produto através do escoamento superficial para o curso d'água (Espindola, 1994).

Estabelecer o perímetro e o reconhecimento do ambiente físico da bacia hidrográfica como uma perspectiva estratégica, aponta a bacia hidrográfica como recorte territorial integrada, que disponibiliza a ligação entre a organização espacial e a população (Carvalho, 2020).

Ainda de acordo com Carvalho, a gestão hídrica a partir deste prisma tem entre os objetivos a gestão sistemática dos recursos hídricos, considerando as especificidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais em âmbito nacional, fundamentado na gestão ambiental e articulação das ações com diversos atores nos níveis dos planejamentos regional, estadual e nacional.

As unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) de contribuição direta ao reservatório de Barra Bonita neste trabalho são as UGRHIs dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí (UGRHI PCJ) e Sorocaba/Médio Tietê (UGRHI SMT).

Os comitês das UGRHIs Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Sorocaba/Médio Tietê estão inseridos em quatro regiões metropolitanas do estado de São Paulo: Sorocaba (RMS), Campinas (RMC), Piracicaba (RMP) e Jundiaí (RMJ), áreas em movimento de conurbação e em contato direto com o rio Tietê, maior rio do estado (Nunes; Guandique, 2022).

1.2.2 UGRHI PCJ

A UGRHI PCJ contempla as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (tabela 1) e incorpora parte dos estados de São Paulo e Minas Gerais, região sudeste do Brasil. Sua área compreende aproximadamente de 15.377,81 km², destes 92% corresponde ao estado de São Paulo (CBH PCJ, 2020).

Tabela 1- Área das sub-bacias formadoras da UGRHI PCJ

	Sub-bacias	Área (km²) - SP	%
Piracicaba	Camanducaia	1.040,00	7
	Jaguari	3.303,96	21
	Atibaia	2.816,11	18
	Corumbataí	1.719,46	11
	Piracicaba	3.775,48	25
	Capivari	1.568,34	10
	Jundiaí	1.154,46	8
	Total	**15.377,81**	**100**

Fonte: Comitê de Bacias Hidrográficas do Piracicaba/Capivari/Jundiaí (2025).

Dos 76 munícios integrantes desta unidade 71 pertencem ao estado de São Paulo e 5 ao estado de Minas Gerais (Quadro 1). Existem ainda, municípios pertencentes também a outras UGRHIs e que fazem parte parcialmente da UGRHI PCJ, à saber: Anhembi (UGRHI 10), Botucatu (UGRHI 10); Dois Córregos (UGRHI 13), Engenheiro Coelho (UGRHI 9), Itirapina (UGRHI 13), Itu (UGRHI 10), Mairiporã (UGRHI 06); Mineiros do Tietê (13), Mogi Mirim (9), Serra Negra (UGRHI 9), Sapucaia-Mirim (GD5), Socorro (UGRHI 9), Tietê (UGRHI 10), Torrinha (UGRHI 13) (SigRH, 2024).

Quadro 1- Municípios com território totalmente inserido na UGRHI PCJ

Sub-bacias	Municípios
Piracicaba	Águas de São Pedro, Americana, Amparo, Analândia, Artur Nogueira, Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Camanducaia, Campinas, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Cosmópolis, Extrema, Holambra, Hortolândia, Ipeúna, Iracemápolis, Itatiba, Itapeva, Jaguariúna, Jarinu, Joanópolis, Limeira, Monte Alegre do Sul, Morungaba, Nazaré Paulista, Nova Odessa, Paulínia, Pedra Bela, Pedreira, Pinhalzinho, Piracaia, Piracicaba, Rio Claro, Rio das Pedras, Saltinho, Santa Barbara D'Oeste, Santa Gertrudes, Santa Maria da Serra, Santo Antônio da Posse, São Pedro, Sumaré, Toledo, Tuiuti, Valinhos, Vargem, Vinhedo.
Capivari	Capivari, Elias Fausto, Louveira, Mombuca, Monte Mor, Rafard.
Jundiaí	Campo Limpo Paulista, Indaiatuba, Itupeva, Jundiaí, Salto, Várzea Paulista.

Fonte: SigRH (2024).

Destaca-se os diversos enquadramentos de municípios em diferentes UGRHIs a depender do órgão ou documento a que estão atribuídos, tais como: Comitê de bacias hidrográficas, Agência de bacias hidrográficas e Plano de bacias. Para esta pesquisa adotou-se o estabelecido pelos respectivos planos de bacias de cada UGHRI.

1.2.3 UGRHI SMT

A UGRHI SMT compreende as bacias dos rios Sorocaba e o trecho do médio Tietê, sua área de drenagem possui cerca de 11.827,824 km² distribuída em 35 municípios. É formada pelas sub-bacias do Médio Tietê Inferior; Médio Tietê Médio; Baixo Sorocaba; Médio Sorocaba; Médio Tietê Superior; e Alto Sorocaba (Tabela 2). Seus principais rios de contribuição são: Sorocaba, Tietê, Sorocabaçu, Sorocamirim, Una, Pirajibu, Jundiuvira, Murundu, Sarapuí, Tatuí, Guarapó, Macacos (PBH-SMT, 2016-2017; CBH-SMT, 2019).

Tabela 2- Municípios integrantes da UGRHI dos rios Sorocaba e Médio Tietê

Bacia	Área (km²)	%	Municípios
Alto Sorocaba	924,498	8	Ibiúna, Vargem Grande Paulista.
Médio Sorocaba	1.212,364	10	Alumínio, Araçoiaba da Serra, Iperó, Mairinque, Sorocaba, Votorantim.
Baixo Sorocaba	3.136,384	27	Alambari, Capela do Alto, Cesário Lange, Laranjal Paulista, Piedade, Quadra, Salto de Pirapora, Sarapuí, Tatuí.
Médio Tietê Superior	1.388,065	12	Araçariguama, Cabreúva, Itu, São Roque, Salto.
Médio Tietê Médio	1025,181	9	Boituva, Cerquilho, Jumirim, Porto Feliz, Tietê.
Médio Tietê Inferior	4.141,332	35	Anhembi, Bofete, Botucatu, Conchas, Pereira, Porangaba, Torre de Pedra.
Total	**11.827,824**	**100**	

Fonte: Comitê de Bacias Hidrográficas do Sorocaba/Médio Tietê (2025).

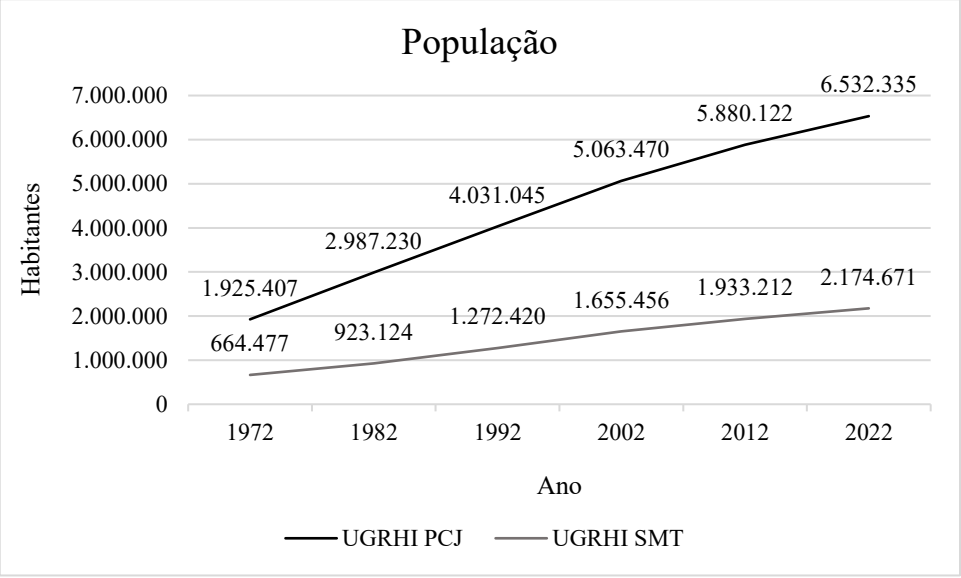
O rio Sorocaba percorre aproximadamente 200 km até atingir o rio Tietê, do qual é o maior afluente à margem esquerda. Na nascente do rio Sorocaba está inserido o reservatório de Itupararanga, que possui uma área de drenagem estimada em 851 km², composto pelos rios Sorocamirim e Sorocabaçu, à margem direita são os rios Tatuí e Sarapuí, Ipanema e Pirapora (Smith, 1999).

Enquanto que, a área do médio Tietê corresponde o trecho do rio Tietê da saída do reservatório de Pirapora à barragem de Barra Bonita, perfazendo 367 km de extensão e uma área de drenagem de cerca de 6.830 km², seus principais afluentes são os rios Jundiaí, Piracicaba à margem direita e o rio Sorocaba na margem esquerda.

1.2.4 Demografia

A população dos municípios integrantes da UGRHI PCJ apresentou um crescimento de aproximadamente 4.606.928 habitantes em 50 anos (1972-2022). A UGRHI SMT exibiu um crescimento a cerca de 1.510.194 habitantes durante o mesmo período analisado, segundo dados da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) (Figura 2).

Figura 2- População total dos municípios pertencentes a UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) e Sorocaba/Médio Tietê (SMT).



Fonte: SEADE (2024).

Observa-se que o número de habitantes da UGRHI PCJ representa aproximadamente o triplo da UGRHI SMT. Sendo os dez municípios mais populosos da UGRHI PCJ: Campinas, Jundiaí, Piracicaba, Limeira, Rio Claro, Americana, Bragança Paulista, Atibaia, Santa Bárbara D'Oeste e Indaiatuba, respectivamente. Na UGRHI SMT os municípios mais

populosos foram: Sorocaba, Botucatu, Itu, Tatuí, São Roque, Votorantim, Piedade, São Manuel, Ibiúna, Salto. Para as duas Unidades não houve alterações quanto aos municípios mais populosos nos diferentes períodos.

Na década de 1970 transcorreu um processo de distribuição de movimentos migratórios vindos da capital em direção ao interior do estado de São Paulo, este processo associado ao êxodo rural proveniente da disponibilidade de empregos e avanço tecnológico no setor agropecuário, gerou o aumento significativo da urbanização do interior, transformando cidades de médio porte em importantes polos e expressivos aglomerados urbanos (Ribeiro; Gallerani, 2001).

A UGRHI SMT é uma das unidades de gerenciamento mais populosas inseridas ao longo do rio Tietê, fato atribuído ao processo de urbanização da região na última década (COMITRE, 2017).

1.2.5 Urbanização e industrialização

A urbanização configura um fenômeno mundial com influência direta sobre o ambiente aquático, o aumento populacional e as alterações nos modelos de desenvolvimento têm auxiliado na intensa expansão de centros urbanos (Huang et al., 2020).

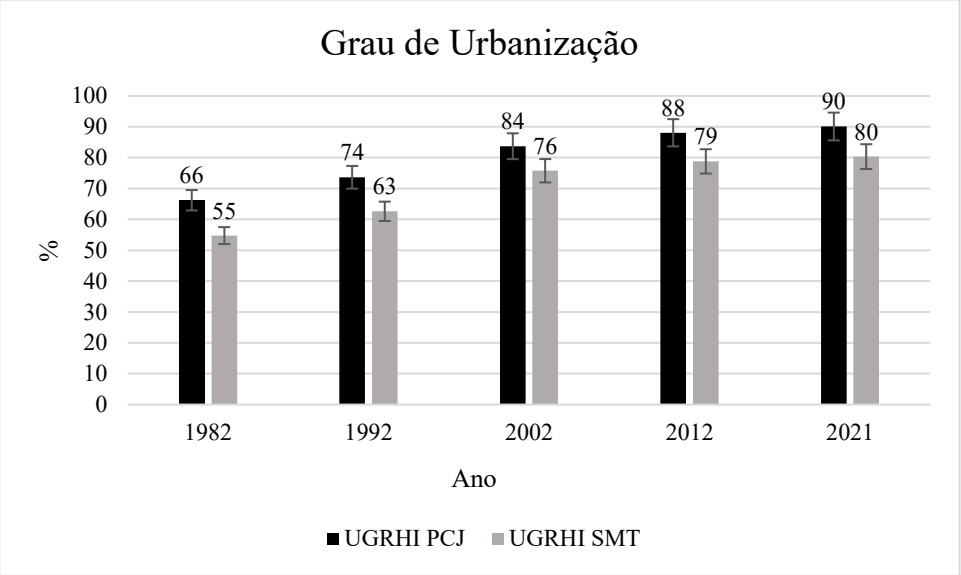
Neste cenário, encontra-se um eixo linear de urbanização entre as duas UGRHIs ao longo da rodovia Santos Dumond (SP-75) no trecho entre as cidades de Campinas e Sorocaba, perfazendo a área de seis municípios do estado de São Paulo: Campinas, Indaiatuba, Salto, Itu, Sorocaba e Votorantim, que formam um vetor linear em direção a capital e são também, o resultado de uma ligação morfológica com a malha urbana de outras conurbações, tais como: Jundiaí e Piracicaba (Júnior, 2020).

A urbanização na UGRHI PCJ representava um baixo percentual em 1962 (1,0%), transcorrendo de forma discreta e dispersa, sem ordenamento. Já na década de 1970, somente na planície de Campinas a área urbanizada triplicou de 0,4 para 1,3% em decorrência da expansão periférica à época, abrangendo áreas anteriormente ocupadas por pastagens (Simplicio, 2020).

De acordo com Silva (2025) 43% da UGRHI SMT apresenta, em decorrência da urbanização, entre outros fatores, alto Índice de Priorização de Áreas de Preservação Permanente (IAPP), onde, a taxa de urbanização desencadeia a ocupação irregular de zonas ripárias.

A UGRHI PCJ apresenta maior grau de urbanização se comparada a UGRHI SMT (Figura 3), atingindo 90% de áreas urbanas no ano de 2021. Para o último intervalo de décadas observa-se a estabilidade no grau de urbanização das duas UGRHIs.

Figura 3- Grau de urbanização (%) dos municípios inseridos nas UGRHIs PCJ e SMT.



Fonte: SEADE, 2024.

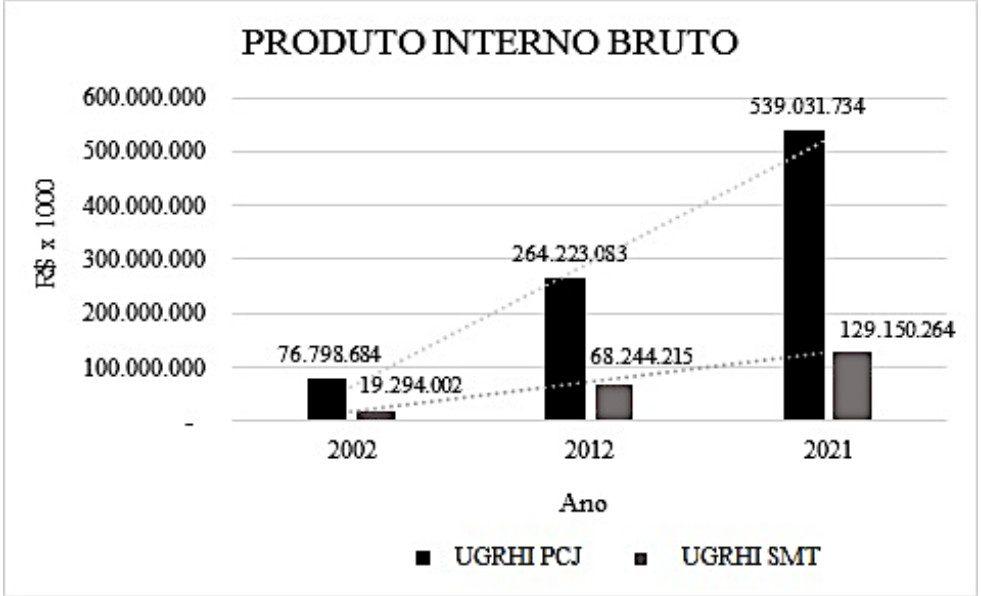
No estado de São Paulo ações de planejamento regional foram desenvolvidas almejando a interiorização industrial e administrativa, direcionando assim, um movimento de urbanização externo à capital e região metropolitana, as primeiras ações identificadas foram a construção e melhoria de estradas propostas pelos planos estadual e nacional entre os anos de 1910 e 1940 que resultaram em um aglomerado rodoviário que interliga o estado a outras unidades federativas (Tavares, 2020).

Tavares complementa que em 1950 o estimulo à expansão industrial surgiu através de estudos desenvolvidos pelo SAGMACS- Economia e humanismo que preconizava a extensão das atividades industriais para os principais polos urbanos do interior paulista na extensão das estradas. A construção da rodovia Castelo Branco (1960), Dom Pedro I e Bandeirantes (1970) e Imigrantes (1970 e 1980) solidificou a estrutura de eixos econômicos com o emprego de faixas exclusivas a escoamento, a construção das marginais Tietê e Pinheiros, nos anos 70 e anel rodoviário (Rodoanel) foram práticas que beneficiaram a expansão industrial que está intrinsicamente ligada a urbanização do interior do estado.

1.2.6 Produto Interno Bruto (PIB)

O PIB da UGRHI PCJ correspondeu no ano de 2022 a 539.031.734 a preços correntes (x 1.0000,00). Na UGHI SMT o valor atingiu 129.150.264 (Figura 4).

Figura 4- Produto Interno Bruto a preços correntes (R$1000,00) da UGRHI Piracicaba, Capivari, Jundiaí (PCJ) e Sorocaba/Médio Tietê (SMT).



Fonte: IBGE, 2024.

O produto Interno Bruto corresponde ao total de riqueza (bens e serviços) produzido por um determinado período em uma dada área (país, região, estado ou município) é o total equivalente do valor adicionado bruto (VAB) e dos impostos. O crescimento econômico estimado por meio das variações do PIB é uma das diversas estratégias empregadas como indicador de desenvolvimento econômico (Forlin; Rodrigues, 2012; IBGE; IPARDES, 2016).

Verifica-se o expressivo crescimento das duas UGRHIs ao longo dos anos. A UGRHI PCJ concentra um importante polo industrial, conhecido por conter setores modernos e plantas industriais ligadas a extensas e complexas cadeias produtivas, só a região metropolitana de Campinas arrecada 57,06% do seu PIB movimentado pela indústria, com ênfase para o polo petroquímico de Paulínia (Pacobello et al., 2022).

Esta região é considerada uma das mais importantes do Brasil em virtude do seu valor econômico, a área além de abranger diferentes tipos de indústria incorpora um alto grau de urbanização e representatividade agrícola no cenário brasileiro (Finker et al., 2015).

Quanto a UGRHI SMT, ela engloba a Região Metropolitana de Sorocaba (RMS) que apresenta forte influência do setor agrícola nos últimos anos, chegando a ser a segunda maior se comparada as demais regiões metropolitanas do estado de São Paulo, ficando atrás apenas da região metropolitana de Ribeirão Preto (Ribeiro et al., 2019).

1.2.7 Saneamento

Na Tabela 3 são apresentados os indicadores de esgotamento sanitário das UGRHIs estudadas, disponibilizados através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Para a caracterização do esgotamento sanitário foram selecionados os seguintes indicadores, classificados e definidos de acordo com SNIS:

ES001 - População total atendida com esgotamento sanitário: População total atendida com esgotamento sanitário: reflete à população total abrangida pelo serviço de esgotamento sanitário através do prestador de serviços, em áreas urbanas e rurais. Quando ausente mecanismos de obtenção deste dado pelo prestador de serviços, deverá ser adotado o produto da quantidade de economias residenciais ativas de esgotos, multiplicada pela taxa média de habitantes por domicílio do município em questão pelo censo ou contagem de população através do IBGE. Neste caso, deverão ser abatidos os domicílios que não possuem população residente. Unidade: habitantes.

ES002 - Quantidade de ligações ativas de esgotos: Quantidade de ligações ativas de esgotos: representa o número de ligações ativas de esgoto ligadas a rede pública, incluindo as ligações ativas sem cobrança. Unidade: ligações.

ES004 - Extensão da rede de esgotos: Extensão da rede de esgotos: corresponde ao comprimento total da malha de coleta de esgoto, incluindo redes de coleta, coletores troncos, interceptores, não abrangendo ramais prediais e emissários de recalque operados pelo prestador de serviços. Unidade: km.

ES005 - Volume de esgotos coletado: abrange o volume anual de esgoto desembocado na rede coletora, não inclui o volume de esgoto bruto importado. Unidade: 1000m³/ano.

ES006 - Volume de esgotos tratado: representa o volume de esgoto anual no qual foi realizado tratamento, sendo este medido ou estimado nas entradas das ETEs, onde, são excluídos deste indicador o volume de esgoto bruto importado tratado nas instalações do importador e o volume de esgoto bruto exportado tratado nas instalações do exportador. Unidade: 1.000m³/ano.

ES012 - Volume de esgoto bruto exportado: volume de esgoto bruto anual transferido para outros agentes, sendo ele enviado a outros prestadores de serviços ou a outros municípios dos quais o prestador de serviços está instalado. Unidade: 1.0000m³/ano.

ES013 - Volume de esgotos bruto importado: refere-se ao volume de esgoto bruto recebido de outros, devendo integrar o recebimento de esgoto de outros prestadores de serviços ou outros municípios do próprio prestador. Unidade: 1.000m³/ano.

ES026 - População urbana atendida com esgotamento sanitário: o número de pessoas em área urbana que utiliza os serviços de esgotamento sanitário pelo prestador de serviços. Na ausência de mecanismos para obtenção deste indicador o prestador de serviços poderá estimar utilizando o produto da quantidade de economias residenciais ativas multiplicada pela taxa média de habitantes por domicilio do município obtida por meio do censo ou contagem do IBGE, sendo abatidas as economias residenciais ativas de esgoto que não possuem população residente. Unidade: habitantes.

O período de tempo selecionado justifica-se pela escassez de dados nos anos anteriores, apesar da maior robustez a partir de 2013, dos 110 municípios correspondentes as duas Unidades de Gerenciamento analisadas os municípios de Iracemápolis, Saltinho e Toledo localizados na UGRHI PCJ não estão inseridos na pesquisa, pois não possuem dados para o ano de 2013.

O município de Rio das Pedras, inserido na UGRHI SMT, não possui dados para o ano de 2022 e também não foi inserido. Com base nesses dados é possível observar que a PCJ possuía uma cobertura de 89% em 2013 e a SMT de 80%, através do indicador ES001 (Tabela 3).

Tabela 3- Índice de esgotamento sanitário dos anos de 2013 e 2022 das UGHIs do Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) e Sorocaba/Médio Tietê (SMT)

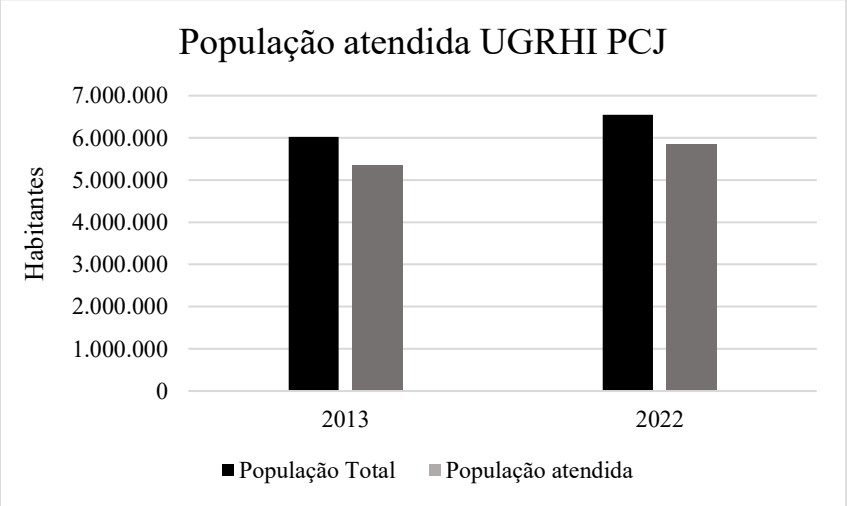
UGRHI	ES001 (Hab)[1]	ES002 (lig)[2]	ES004 (km) [3]	ES005 (m³) [4]	ES006 (m³)	ES012 (m³)	ES013 (m³)	ES026 (Hab)
2013								
PCJ	5.357.147	1.666.550	18.846,19	314.640,55	237.750,15	404	710,82	5.285.476
SMT	1.579.003	524.635	4.481	87.645	75.077	0	0	1.558.831
2022								
PCJ	5.844.974	2.080.266	22.157,64	383.135,04	351.326,88	22,94	263,54	-
SMT	1.735.977	655.817	6.017	103.192	100.161	0	2.045	-

Unidade de medida: [1]Hab: Habitantes. [2]Lig: Ligações. [3]Km: Quilômetros. 4m³: Metros cúbicos.

Fonte: SNIS (2024).

Verifica-se também que a população atendida pelo esgotamento sanitário aumentou nas duas unidades, o que pode ser atribuído ao aumento populacional ao longo dos anos de estudo. Não houve alteração quanto a cobertura de população atendida para os anos de 2013 e 2022 na UGRHI PCJ, 89% da população possui sistema de esgotamento sanitário, ou seja, à medida em que ocorreu o aumento no número de habitantes ocorreu a ampliação do sistema de esgotamento sanitário para a área (Figura 5).

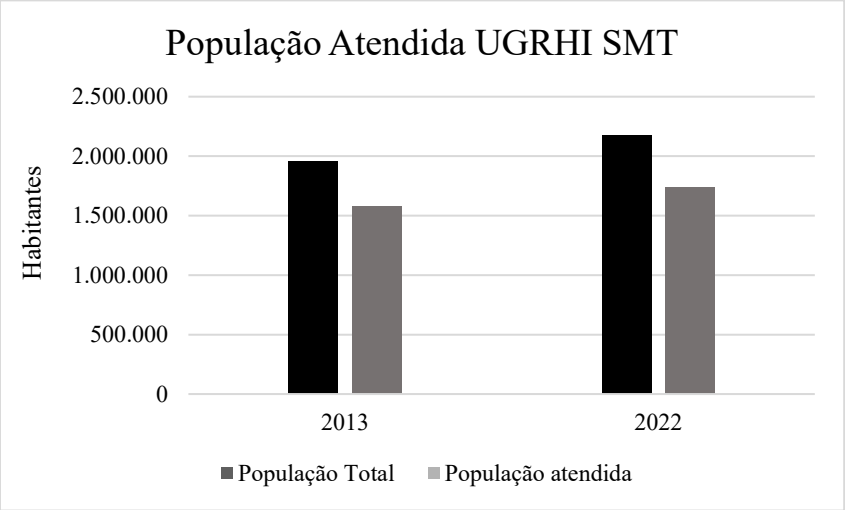
Figura 5- Número de habitantes atendidos pelo sistema de esgotamento sanitário na UGRHI PCJ.



Fonte: SNIS (2024).

Na UGRHI SMT 81% da população foi assistida pelo sistema de esgotamento sanitário no ano de 2013, já no ano de 2022 esse número foi de 80%. Apesar de apresentar uma pequena redução no percentual em relação ao número de habitantes e a população atendida pelo serviço, o sistema de esgotamento nesta unidade foi ampliado para o acompanhamento da densidade demográfica da área (Figura 6).

Figura 6- Número de habitantes atendidos pelo sistema de esgotamento sanitário na UGRHI SMT.



Fonte: SNIS (2024).

O número de habitantes abrangidos pelo sistema de esgotamento sanitário nas UGRHIs durante os anos de 2013 e 2022 é alto, se comparado ao restante do país, de acordo com o SNIS apenas 56% da população total brasileira é atendida com rede coletora de esgotos (SNIS, 2024).

Os valores encontrados na UGRHI PCJ aproximam-se do informado pelo seu Plano de bacias (2020-2035), que aponta a cobertura de 88% dos habitantes pelo serviço de esgotamento sanitário, já para a UGHI SMT o número informado pelo plano é de apenas 18,18% de atendimento, valor bem abaixo do que foi encontrado neste estudo (CBH PCJ, 2020; CBH SMT, 2023).

O número de ligações ativas (ES002) na UGRHI PCJ aumentou 413.716 de 2013 para 2022, para a UGRHI SMT ocorreu o aumento de 131.182 ligações. O aumento no número de ligações possui relação direta com o índice de atendimento do esgotamento sanitário de uma área, e quando este atendimento possui baixa amplitude ocorre a atenuação do valor deste indicador (Nascimento el at., 2019).

A extensão da rede de esgoto (ES004) na UGRHI PCJ aumentou 3.311, 45 km, enquanto que na UGRHI SMT o aumento foi de 1.536 km de 2013 a 2022. Algumas cidades inseridas nas duas UGRHIs possuem elevada taxa de urbanização e construções verticais, de acordo com Dias (2021) em estudo comparativo entre os municípios de Catalão-GO e Balneário Camboriú- SC, afirma-se que o município com maior proporção verticalizada, ou

seja, habitantes residentes em edifícios ocorre redução da extensão das tubulações que transpassam a cidade.

O volume de esgoto coletado (ES005) na UGRHI PCJ aumentou 68.494,49 m³, na UGRHI SMT o aumento foi de 15.547 m³. O volume de esgoto tratado (ES006) na UGRHI PCJ aumentou 113.576,73m³, enquanto na UGRHI SMT aumentou 25.084 m³.

Os volumes de esgoto bruto exportado (ES012) e importado (ES013) na UGRHI PCJ reduziram para -381,06 e -447,28m³ respectivamente, na UGRHI SMT não houve registro de esgoto bruto exportado e importado, apenas o município de Sorocaba possui registro de 2.045 de esgoto importado no ano de 2022, essa lacuna de informações também é apontada em outros trabalhos, em diferentes regiões, como por exemplo, no trabalho desenvolvido por Freire e Santos (2019) nos municípios de Crato e Barbalha que não encontraram dados oficiais sobre estes indicadores.

Com relação a população urbana atendida (ES026) não foi possível realizar o comparativo entre os dois anos analisados, em decorrência da ausência de informações no ano de 2022 para as duas unidades de gerenciamento. A ausência de informações em alguns indicadores inviabiliza a realização de pesquisas, e por conseguinte a proposição de medidas de melhorias que auxiliem no sistema de esgotamento nas diferentes esferas de abrangência.

Segundo o disposto pela Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020 os serviços públicos de saneamento básico devem elaborar metas de universalização do saneamento que contemplem 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033, bem como, estipulação de metas de melhoria dos processos de tratamento (Brasil, 2020).

Atualmente, a maioria dos 76 municípios pertencentes a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Piracicaba/Capivari/Jundiaí possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) inseridos na faixa de Alto Desenvolvimento Humano e aproximadamente 10% dos municípios estão inseridos na classe de Médio Desenvolvimento Humano (CBH PCJ, 2020).

Na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sorocaba/Médio Tietê o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) ocorre entre as classes alta em 11 municípios e média em 23 municípios, não havendo ocorrência de municípios inseridos na classe baixa (CBH SMT, 2016).

1.3 Revisão de literatura

1.3.1 Evolução do Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Brasil

A apreensão acerca da segurança hídrica ocorre em escala mundial, onde, investimentos em práticas e estratégias de pesquisas visam garantir a disponibilidade de água quali-quantitativamente de maneira satisfatória. Sua gestão deve garantir a oferta deste recurso para todos os seres vivos, bem como, suas dinâmicas e interações com o meio, sendo assim, o esforço no ordenamento da sua utilização é essencial para o melhor gerenciamento e enfrentamento aos conflitos quanto aos seus diferentes tipos de uso (Calado et al., 2020).

O primeiro marco regulatório voltado ao gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil foi o decreto Nº 24.643 de 10 de julho de 1934 conhecido como Código de Águas, justificado pelo uso das águas no Brasil Posteriormente, foi publicada a lei Nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 definida como Política Nacional de Recursos Hídricos, também chamada de Lei das Águas, tendo por base o modelo francês de gerenciamento dos recursos hídricos (*Le regime el la repartition dêx oux et la luttle contre leur pollution*) (Silva et al., 2021).

A lei Nº 9.433 cria a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Integram o SINGREH: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos; a Agência Nacional de Águas; Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e Distritos Federal; Comitê de Bacia Hidrográfica; Órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e Agências de Água.

1.3.2 Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo

As discussões no Brasil sobre a gestão compartilhada da água tiveram início no estado de São Paulo, estendendo-se de forma gradual ao restante do país, em São Paulo as primeiras medidas de implantação ocorreram no início da década de 90 com a Lei Estadual nº 7.663/91, apontada como uma proposta inovadora, abrangendo a gestão descentralizada e integrada do ambiente aquático (Basso, 2018; Jacobi et al., 2015).

A gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos também tida como derivada do modelo francês começou a ser implantado no Brasil na década de 90 do século passado com a definição da política estadual de Recursos Hídricos de São Paulo (SÃO PAULO, 1991) e logo após a política nacional de recursos hídricos (BRASIL, 1997). Ambas as

políticas instituirão os comitês de bacias hidrográficas (CBHs) como gestores e os planos de bacia como ferramenta mais importante de gestão (Santos et al., 2018).

Em 1990 a Política Estadual de Recursos Hídricos do estado de São Paulo (Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991) foi encaminhada à Assembleia legislativa, sendo convertida em lei no ano seguinte, esta lei institui as normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, onde, deverá obedecer ao seguinte princípio de acordo com seu art. 3º, inciso I: "gerenciamento descentralizado, participativo e integrado, sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos e das fases meteórica, superficial e subterrânea do ciclo hidrológico" (SÃO PAULO, 1991).

O Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH) é responsável por assegurar meios financeiros e institucionais para o atendimento do disposto nos artigos 205 a 213 da Constituição Estadual que trata sobre os Recursos hídricos do Estado de São Paulo. Ressalta-se que esta política teve sua última atualização em 2016, através da Lei nº16.337.

O Sistema de Gestão de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo é composto por três instâncias: a instância financeira, a instância técnica e a instância política. A instância financeira é constituída pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), a instância técnica é constituída pelo Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI) e a instância política é constituída por um colegiado central, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), e os órgãos colegiados regionais, denominados Comitês de Bacias Hidrográficas (Oliveira, 2009).

Três órgãos fazem a coordenação e integração do SIGRH: o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH); os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) e o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI). Cabe a esses órgãos promover o envolvimento dos diferentes segmentos sociais no gerenciamento do PERH (Figura 7).

Figura 7- Composição do SIGRH do estado de São Paulo.



Fonte: Autores (2025).

O Conselho Estadual dos Recursos Hídricos, possui, entre outras atribuições a elaboração e aprovação do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), do mesmo modo que encaminha propostas a projetos de lei correspondentes ao plano plurianual, diretrizes orçamentárias e orçamento anual do estado.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos é um instrumento de natureza estratégica, estabelecido com a finalidade de orientar a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos. O PERH deve conter as diretrizes de uso dos recursos hídricos no estado para um período de quatro anos e deve ser atualizado sistematicamente (PERH, 2024-2027).

De acordo com o art. 16 da Lei nº 7.633/91 em NR (Nova Redação) pela Lei nº 16.337/16 O Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH deve ser periodicamente atualizado, a lei proposta em 2016 estabelece a Divisão hidrográfica do Estado de São Paulo, que abrange 22 unidades hidrográficas intituladas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs). Sendo levados em consideração os divisores de água, critérios ambientais, socioeconômicos e administrativos como território de atuação em planejamento e gestão de recursos hídricos (CRH, 2022) (Figura 8).

Figura 8- Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.



1- Mantiqueira
2- Paraíba do Sul
3- Litoral Norte
4- Pardo
5- Piracicaba/Capivari/Jundiaí
6- Alto Tietê
7- Baixada Santista
8- Sapucaí/ Grande
9- Mogi-Guaçu
10- Tietê/Sorocaba
11- Ribeira de Iguape/ Litoral S
12- Baixo Pardo Grande
13-Tietê/ Jacaré
14- Alto Paranapanema
15- Turvo/Grande
16- Tietê/ Batalha
17- Médio Paranapanema
18- São José dos Dourados
19- Baixo Tietê
20- Aguapeí
21- Peixe
22- Pontal do Paranapanema

Fonte: Autora (2024).

Os Comitês de Bacias Hidrográficas são órgãos colegiados regionais formados por representantes do estado, municípios e sociedade civil para decisões, dispondo de um número igualitário de membros por segmento (tripartite), embora possuam número total de representantes variável em função das características da bacia correspondente , os comitês representam uma espécie de parlamento regional das águas que visa discussões e decisões

de consenso, estabelece prioridades de ações e investimentos, medidas de recuperação ambiental e uso adequado dos recursos hídricos (Nunes; Guandique, 2022).

Aos Comitês de Bacias Hidrográficas como órgão consultivo e deliberativo, competem, entre outras atribuições, avaliar propostas de integração de bacias hidrográficas junto ao Plano Estadual de Recursos Hídricos e suas atualizações, assim como avaliar propostas de programas anuais e plurianuais de aplicações de recursos financeiros voltados aos recursos hídricos.

Por sua vez, o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos – CORHI fornece subsídios ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos e aos Comitês de Bacias Hidrográficas, possui, entre outras atribuições coordenar o desenvolvimento periódico do Plano Estadual de Recursos Hídricos, adicionando proposta dos Comitês de Bacias e encaminhando-as ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos, além de gerir quando necessário, demandas em conjunto com estados adjacentes e entre municípios do próprio estado.

1.3.3 Uso e ocupação do solo e geotecnologias

As geotecnologias abrangem o agrupamento de tecnologias direcionadas a captura e tratamento de informações espaciais para um propósito específico, dividida em diferentes áreas como: cartografia digital, sensoriamento remoto, Sistema Global de Navegação Por Satélite (GNSS), WebGis, mapas interativos, Sistemas de Informação Geográficas (SIGs), entre outros. Sendo, o seu uso fundamental para a gestão de territórios (Borges et al., 2020; Silva, 2022; Zaidan, 2017).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são mecanismos computacionais que consentem a aquisição, produção, análise, disseminação e gerenciamento de informações espaciais. Os primeiros registros de SIGs datam a década de 60, no Canadá, como produto do programa governamental para elaboração de um inventário de recursos naturais, em 1962, Tomlinson, integrante do Canadian Land Inventory criou o Sistema de Informações Geográficas Canadense (Canadian Geographic Information System- CGIS), considerado o primeiro SIG contemporâneo e admitido como tal em 1965 (Pires, 2020; Tomlinson, 1988).

O sensoriamento remoto utiliza a captura de dados espaciais disponibilizados com o uso de satélites, uma das suas principais aplicações é o levantamento de tipos de uso e cobertura terrestre, com o aumento exponencial de missões espaciais e alterações nas políticas de acesso aos dados, ocorreu uma redução significativa no custo e no tempo de realização de tais levantamentos se comparados aos levantamentos de campos (Carranza-García et al., 2019).

1.3.4 Sedimentos como arquivos de mudanças ambientais

Os sedimentos são constituídos por partículas com diferentes tamanhos, formas e composição química, dispostos no fundo do ambiente aquático. São considerados um dos principais compartimentos ambientais para pesquisas sobre contaminação de corpos hídricos devido à sua capacidade de transportar e acumular contaminantes. Comumente, os sedimentos apresentam concentrações de poluentes acima das encontradas na coluna de água, mesmo após o controle ou interrupção da fonte de contaminação. Essa característica possibilita a obtenção de dados históricos da contaminação de um corpo hídrico por meio da análise do seu perfil sedimentar (Aghalari, 2020; Liu et al., 2019).

As propriedades físico-químicas dos sedimentos exercem papel fundamental na avaliação de impactos ambientais em uma área, pois controlam processos como a mobilidade e a biodisponibilidade dos metais neste compartimento. Os elevados teores de metais nos sedimentos podem ser um indicador da atuação de uma fonte de contaminação antropogênica em atividade no ambiente além de fontes naturais, como o intemperismo (Ferreira, 2006; Peijnenburg et al., 2007; Sharifi et al., 2016).

As principais fontes de metais em sedimentos englobam: erosão e lixiviação; deposição atmosférica e sedimentação na coluna de água; despejo *in situ* de metais de origem antrópicas; diagêneses de minerais nas camadas de sedimentos mais profundas; e deposição de matéria orgânica. Todas essas fontes podem ter contribuição antrópica (Lacerda et al., 2023).

Em razão de suas características os sedimentos funcionam como um banco de dados ambientais. Para acessá-los é necessário a coleta de testemunhos verticais (cores), mantendo a integridades das camadas sedimentares. Uma das técnicas mais utilizadas para obter informações temporais sobre esses perfis é através da datação por radioisótopos,

especialmente o uso do chumbo 210 (^{210}Pb) para um período de até 150 anos. O ^{210} Pb faz parte da cadeia de decaimento de ^{238} U, e é disponibilizado à atmosfera por meio do decaimento de ^{222} Rn, que é liberado da superfície terrestre como produto do decaimento de ^{226} Ra presente em rochas e solos (Esteves, 1998; Poet et al., 1972; Tokieda et al., 1996).

A concentração total do ^{210} Pb em sedimentos (^{210} Pb total) abrange a fração de ^{210} Pb suportada (^{210} Pb suportado) formada *in situ* nos sedimentos e a fração de excesso de ^{210} Pb (^{210} Pb em excesso), proveniente principalmente da atmosfera, que se deposita na superfície da coluna de sedimentos. É essa fração em excesso que é utilizada na datação. Em um testemunho a concentração do ^{210}Pb em excesso tende a reduzir com o aumento da profundidade, refletindo a taxa de decaimento radioativo ao longo do tempo e permitindo, assim, estimar a cronologia de deposição e a acumulação de metais nos diferentes estratos (Lubis, 2006; Ruiz-Fernández et al., 2024).

1.4 Referências Bibliográficas

AGHALARI, AGHALARI, Z., DAHMS, H.U., SILLANPÄÄ, M., SOSA; HERNANDEZ, J.E., PARRA-SALDÍVAR, R., 2020. Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: a systematic review. **Globalization and Health**, v. 16, p. 1–11. DOI: **10.1186/s12992-020-0546-y**.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens para Entidades Fiscalizadoras**. Brasília – DF: ANA, 2017.

ALVES, W.D.S.; MARTINS, A.P.; PÔSSA, E.M.; MOURA, D.M.B.D.; MORAIS, W.A.; FERREIRA, R.S.; SANTOS, L.N.S.D. Geotechnologies applied in the analysis of land use and land cover (LULC) transition in a hydrographic basin in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing Applications: Society and Environment,** v. 22, 100495, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100495.

APEX. Relese. Agencia de Promoção de Exportações do Brasil, Brasília-DF, junho de 2004. Disponível em: www.apexbrasil.com.br. Acesso em: 01 dez. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, Brasília, DF, 2020, p. 1, 16 jul. 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades (MCID). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgotos – Ano de referência 2022**. Brasília: Ministério das Cidades; SNSA, 2023.

BRITO, R. N. R.; ASP, N. E.; BEASLEY, C. R.; SANTOS, H. S. S. D. Características sedimentares fluviais associadas ao grau de reservação da mata Ciliar -Rio Urumajó, Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, v.39, n.1, p.173–180. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000100017

BORGES, K.M.R.; FILHO, J.C.O.; COAN, G.P.D.O.; VASCONCELOS, T.M.M. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como Subsídio ao Manejo do Fogo e ao Combate aos Incêndios Florestais em Unidades de Conservação Federais. **Biodiversidade Brasileira**, v.11, n. 2, p. 168-178, 2021. DOI: https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v11i2.1685

CAETANO, A.J.S.; SIMANGO, E.Z.; HUO, K.L. Uso de geotecnologias (SIG) para mapeamento de áreas inundáveis em zonas urbanas: estudo de caso bairro de Bunhiça. **Janus.net. e-Journal of International Relations**, v.15, n.1, p. 133-148, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/rs11030274.

CAMPOS, M.; CAMPOS, S. CAMPOS, M. Geotecnologias aplicada nos conflitos de uso do solo em áreas de preservação permanente no município de Barra Bonita/SP. Brazilian **Journal of Biosystems Engineering**, v. 14, n. 2, p. 140-151, 2020.

CARDOSO-SILVA, S.; MIZAEL, J.O.O.S.; FRASCARELI, D.; FERREIRA, P.A.D.L.; ROSA, A.H.; VICENTE, E.; FIGUEIRA, R.C.L.; POMPÊO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Paleolimnological evidence of environmental changes in seven subtropical reservoirs based on metals. nutrients. and sedimentation rates. **CATENA,** v. 206, p. 105432, 2021b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105432.

CARRANZA-GARCÍA, M.; GARCÍA-GUTIÉRREZ, RIQUELME, J.C. A framework for evaluating land use and land cover classification using convolutional neural networks. **Remote Sensing**, v. 11, n. 3, p. 1-23. DOI: https://doi.org/10.3390/rs11030274.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 42, p. 140–161, 2020. DOI: http://orcid.org/0000-0002-6642-3802.

CATOLICO, A. C. C.; MAESTRINI, M.; STRAUCH, J. C. M.; GIUSTI, F.; HUNT, J. Socioeconomic impacts of large hydroelectric power plants in Brazil: A synthetic control assessment of Estreito hydropower plant. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 151, p. 111508, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111508.

CHAPMAN, P.M.; WANG, E. Issues in ecological risk assessment of inorganic metals and metalloids Hum. **Ecol. Risk Assess**., v.6, n. 6, p. 965-988, 2000. DOI: https://doi.org/10.1080/10807030091124392

CHOWDHURY, M.; HASAN, M.E.; ABDULLAH-AL-MAMUN, M.M. Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v.23, n. 1, p.63–75, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.11.003.

CBH PCJ- Comitê das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Plano de recursos hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2020-2035. **Relatório síntese**. Piracicaba: PCJ, 2020.

CBH SMT- Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê – CBH-SMT. **Relatório de situação 2023** - Ano base 2022, 2023.

COMITRE, F. A evolução do uso e ocupação do solo na periferia urbana de Sorocaba-SP: do esquecimento ao despertar dos interesses públicos e privados. **GEO UERJ**, v.31, n.1, p. 1 - 30, 2017. DOI: https://doi.org/10.12957/geouerj.2017.27200.

DEWANGKORO, H. I. ; ARYMURTHY, A. **Land use and land cover classification using CNN, SVM, and channel squeeze & spatial excitation block**. *In:* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v.704, n. 1, p. 012048, 2021.

DIAS, Júnior. **Avaliação do saneamento na cidade de Catalão Goiás: cobertura e atendimento do sistema de distribuição de água e coleta de esgoto.** 9f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica. Disponível em: https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/2408.

DOS SANTOS, A. B. Processos de Tratamento e reuso de esgotos. RECESA, Ministério das Cidades, 2008.

ESPÍNDOLA, Evaldo Luiz Gaeta. **Dinâmica da associação congenérica das espécies de Notodiaptomus (Copepoda, Calanoida) no reservatório de Barra Bonita, São Paulo.** 1994. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Sao Carlos, 1994. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-29082024-110530/. Acesso em: 02 dez. 2024.

ESTEVES, FRANCISCO DE ASSIS. **Fundamentos de Limnologia.** 226p. 2ª Ed. – Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FERREIRA, K. S.; RANI-BORGES, B.; SANTOS, G. L. M.; CARDOSO-SILVA, S.; SÁ, L. R. M. D.; POMPÊO, M.L.M. Metais nos sedimentos em reservatórios: há toxicidade potencial? **Revista Sociedade & Natureza**, v.33, n.58794, p.1-12, 2021. DOI: https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-58794.

FERREIRA, J. G. Avaliação de parâmetros ambientais em aterros sanitários: estudo de caso. Taubaté, 2006.

FINKLER, N.R; MENDES, L.A; BORTOLIN, T.A; SCHNEIDER, V.E. Cobrança pelo uso da água no Brasil: Uma revisão metodológica. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Curitiba, v.33, p. 33-49, 2015. DOI: 10.5380/dma.v33i0.36413.

FISTAROL, P.H.B.; SANTOS, J. Y. G. Implicações das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Ondas, Estado da Bahia. **Okara: Geografia em Debate**, v. 14, n. 1, p. 81-103, 2020.

FRASCARELI, D.; CARDOSO-SILVA, S.; MIZAEL, J.D.O.S.; ROSA, A. H.; POMPÊO, M. L. M.; LÓPEZ-DOVAL, J. C.; MOSCHINI-CARLOS, V. Spatial distribution, bioavailability, and toxicity of metals in surface sediments of tropical reservoirs, Brazil. **Environ Monit Assess**., v.190, n.199, p.1-15. Doi: https://doi.org/10.1007/s10661-018-6515-8.

FREIRE, L.L.; SANTOS, Y.T.D.C. A gestão da prestação de informações ao Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento básico: estudo de caso na região metropolitana do Cariri – Ce (1995 – 2015). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Fortaleza, 10, 2019, Bauru, Anais eletrônicos. Bauru: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS), 2019.p. 1-5. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/IX-049.pdf. Acesso em: 09 out. 2024.

GE, X.; SUN, J.; CHU, D.; LIU, J.; ZHOU, Y.; ZHANG, L.; CHEN, H.; KAN, K.; BINAMA, M.; ZHENG, Y. Sediment Erosion on Pelton Turbines: A Review. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 36, n.64, p.1-27, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s10033-023-00880-y.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. (org.). **Métodos de pesquisa.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/52806 Acesso em: 01 set 2024.

GUTIERREZ, O.; LUCIANO, C.; RODRIGUEZ, M.; FINK, B, C. Comparison between an acceptance based and a cognitive control based protocol for coping with pain. **Behavior Therapy**, v.35, n.4, p.767-783, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/S0005-7894(04)80019-4

HUANG, J. S.; KOONGOLLA, J. B.; LI, H. X.; LIN, L.; PAN, Y. F.; LIU, S.; HE, W. H.; MAHARANA, D.; XU, X. R. Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. **Science of The Total Environment**, v. 708, 134839, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134839.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios.** Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=downloads. Acesso em: 29 nov 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto a preços correntes.** Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/imp/imp.php?page=varinfpop&var=572. Acesso em: 30 nov 2024.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Produto Interno Bruto (PIB) a Preços Correntes.** Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/imp/imp.php?page=varinfpop&var=572. Acesso em: 30 nov 2024.

JEANNEAU, A.; HERRMANN, T.; OSTENDORF, B. Mapping the spatio-temporal variability of hillslope erosion with the G2 model and GIS: A case-study of the South Australian agricultural zone. **Geoderma** 2021, 402, 115350. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115350.

JÚNIOR, William R. Santos. A infraestrutura rodoviária e a urbanização regional contemporânea no território paulista: o caso do corredor urbano Campinas-Sorocaba, Brasil. **Eure**, v.46, n.138, p. 235-256, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612020000200235.

LACERDA, L.D.; GODOY, J.M.O.; GONÇALVES, R.A.; ROCHA, M.F.; DUTRA, B.F. Metais em sedimentos da interface talude-plataforma continental da bacia potiguar em área de exploração de petróleo e gás natural Offshore, ne Brasil. **Química Nova,** v. 46, p. 554-560, 2023. DOI: https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170959.

LIU, J.; SONG, J.; YUAN, H.; LI, X.; LI, N.; DUAN, L. Trace metal comparative analysis of sinking particles and sediments from a coastal environment of the Jiaozhou Bay, North China: Influence from sediment resuspension. **Chemosphere,** v. 232, p.315–326, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.090.

LONE, A.M.; ANCHYUTHAN, H.; SHAH, R.A.; SANGODE, S.J. Environmental Magnetism and Heavy Metal Assemblages in Lake Bottom Sediments, Anchar Lake, Srinagar, NW Himalaya, India. **International Journal of Environmental Research**, v.12, p.489–502, 2018.

MATSURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. G. Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir, SP, Brazil). **Hydrobiologia,** v. 542, n. 1, p. 367 - 378, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/s10750-004-9461-0.

MARIANI, C.F.; POMPEO, M.L.M. Sedimento: como avaliar sua contaminação por metais. **Saneas**, n. 40, p. 10-13, 2011.

MEDEIROS; G. A. DE; LIMA-TRESMONDI, A. C. C. D.; QUEIROZ, B. P. V. D.; FENGLER, F. H.; ROSA, A. H.; FIALHO, J. M.; LOPES, R. S.; NEGRO, C. V.; SANTOS, L. F. DOS; RIBEIRO, A. I. Water quality, pollutant loads, andmultivariate analysis of the effects of sewage discharges into urban streams of Southeast Brazil. **Energy, Ecology and Environment,** v. 2, p.259–276. Doi:10.1007/s40974-017-0062-y.

MINHONI, R. T.D.A.; PINHEIRO, M. P. M. A.; FILGUEIRAS, R.; ZIMBACK, C. R. L. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento de macrófitas aquáticas no Reservatório de Barra Bonita, SP. **Irriga**, v. 22, n. 2, p. 330-342, 2017. DOI: https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n2p330-342.

NASCIMENTO, E.L.D.; BITTENCOURT, S.; MIKOWSKI, A.A.B.; ANDREOLI, F.D.N. II-092 - Expansão de redes coletoras e de ligações prediais na universalização do esgotamento sanitário no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30, 2019, Natal, **Anais eletrônicos**. Rio de Janeiro: Abes conecta, 2019. p. 1-7. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/45_Download/TrabalhosCompletosPDF/II-092.pdf. Acesso em: 09 out. 2024.

NUNES, N.; GUANDIQUE, M. E. G. O processo de planejamento e gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Sorocaba e Médio Tietê e sua integração com o planejamento regional e municipal. **Revista de Gestão de Água da América Latina**., v. 19, n. 2022, 2022. DOI: https://dx.doi.org/10.21168/rega.v19e19.

OPEYEMI, O.A.; FATUROTI, H.; OTOKITI, K.V. Assessing the Impact of Soil Erosion on Residential Areas of Efon-Alaaye Ekiti, Ekiti-State, Nigeria. **International Journal of Environmental Planning and Management**, v. 5, n. 1, p. 23-31, 2019.

PACHECO, Dhiego Gonçalves. Análise das mudanças do uso e ocupação do solo no município de Araçuaí, Minas Gerais por meio de técnicas de sensoriamento remoto nos anos de 2000 e 2019. **Cerrados**, v. 19, n. 2, p. 303-322, 2021.

PACOBELLO, D.R.; BENEDICTO, S. C.D.; SILVA, L. H. V.D.; SIANI, S. R. Estudo das práticas de sustentabilidade em grandes empresas químicas na região metropolitana de campinas. **Gestão & Regionalidade**, v. 38, n. 115, 2022. DOI: https//doi.org/10.13037/gr.vol38n115.7506.

PEELING, J. A.; CHEN, C.; JUDGE, J.; SINGH, A.; ACHIDAGO, S.; EIDE, A.; OLOFSSON, P. Applications of Remote Sensing for Land Use Planning Scenarios with Suitability Analysis. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v.17, p. 6366 – 6378, 2024. DOI: 10.1109/JSTARS.2024.3370379.

PENG, D.; LIU, L. Importance of global spherical geometry for studying slab dynamics and evolution in models with data assimilation. **Earth-Science Reviews**, v.241, p. 104414, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104414.

PENG, S.; LI, S. Scale relationship between landscape pattern and water quality in different pollution source areas: A case study of the Fuxian Lake watershed, China, **Ecological Indicators**, v. 121, 107136, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107136.

PENTEADO, C.L.D.C.; ALMEIDA, D.L.; BENASSI, R.F. Conflitos hídricos na gestão dos reservatórios Billings e Barra Bonita. **Estudos avançados**, v. 31, p. 299-322, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890023.

PIACENTE, Fabrício José. **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental: o caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** 181p. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

POET, S.E.; MOORE, H.E.; MARTELL, E.A. Lead 210, Bismuth 210, and Polonium 210 in the Atmosphere: accurate ratio measurement and application to aerosol residence time determination. **J. Geophys. Res.**, v. 77, pp. 6515-6527, 1972. DOI: 10.1029/JC077i033p06515.

PRADO, R.B.; NOVO, E.M.L.D.M. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. **Sociedade & Natureza**, v. 19, p. 5-18, 2007.

Projeto Eletromemória. **História da Energia elétrica no estado de São Paulo**. Disponível em: https://eletromemoria.fflch.usp.br/content/obras-da-usina-hidreletrica-e-barragem-de-barra-bonita.html. Acesso em: 02 dez 2024.

RAHMAN, A.; FARROK, O.; HAQUE, M.M. Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 161, p. 112279, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-45132007000200001.

RIBEIRO, F.; LIMA, F.A.D.; JUNIOR, V.M. A produção olerícola na Região Metropolitana de Sorocaba. In: XVII CICLO DE DEBATES EM ECONOMIA INDUSTRIAL, TRABALHO E TECNOLOGIA, 2019, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: EEIT-PUC-SP, 2019, p. 12

RIBEIRO, C.M.L.; GALLERANI, M.A C. Industrialização, urbanização e recursos hídricos nas bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, de 1970 a 2001. **Pos FAUUSP**, n. 16, p. 98-112, 2004.

ROCHA, M.C.D.; PINHEIRO, K. S. F.; SOUSA, C. J. D. S.D.; BEZERRA, J. F. R Saneamento e qualidade das águas na bacia hidrográfica do Rio Paciência, Ilha do Maranhío, Brasil. **Revista Geotemas**, v. 11, p. e02103-e02103, 2021. DOI: https://doi.org/10.33237/2236-255X.2021.3082.

RODRIGUES, L.G.; MEIRELES, A.C.M.; OLIVEIRA, C.W. Emprego do sensoriamento remoto para análise do uso e ocupação do solo no perímetro irrigado várzeas de Sousa-PB. **Irriga**, v. 1, n. 4, p. 722-729, 2021. DOI: https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n4p722-729

RUIZ-FERNÁNDEZ, A.C.; PÉREZ-BERNAL, L. H.; SANCHEZ-CABEZA, J. A.; VALENCIA-CASTAÑEDA, G.; ONTIVEROS-CUADRAS, J. F.; ALONSO-HERNÁNDEZ, C. M. Accelerating microplastic contamination in 210Pb dated sediment

cores from an urbanized coastal lagoon (NW Mexico) since the 1990s. **Science of The Total Environment**, v.951, p.175613, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175613.

SADIQ, M.; ALAM, I. A. Bioaccumulation of mercury by clams (Meretrix meretrix) collected from the Saudi Coast of the Arabian Gulf. **Chemical Speciation & Bioavailability**, v. 4(1), p. 9-17, 1992. https://doi.org/10.1080/09542299.1992.11083173 » https://doi.org/10.1080/09542299.1992.11083173.

SAMPAIO, S.A.; GOMES, R.L. O saneamento básico de Ipiaú e sua influência na qualidade das águas do Rio de Contas. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 74, p. 68-86, 2020. DOI: http://doi.org/10.14393/RCG217448747.

SÃO PAULO. (2025). Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - SIGRH - Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Sorocaba e Médio Tietê - SMT. Acessado em 09 de agosto de 2025, de https://sigrh.sp.gov.br/cbhsmt/apresentacao.

SÃO PAULO. **Lei Nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016**. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e dá providências correlatas. São Paulo: SP, 2016. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2016/lei-16337-14.12.2016.html. Acesso em: 17 set 2024.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Banco de Dados de Informações dos Municípios Paulistas.** São Paulo. Disponível em: https://populacao.seade.gov.br/. Acesso em: 01 set 2024.

SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **SEADE população**. Disponível em: https://populacao.seade.gov.br/. Acesso em: 29 nov 2024.

SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Perfil dos municípios Paulistas**. Disponível em: https://perfil.seade.gov.br/. Acesso em: 30 nov. 2024.

SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Memórias das estatísticas demográficas**. Disponível em: http://produtos.seade.gov.br/produtos/500anos/index.php?tip=esta. Acesso em: 30 nov. 2024.

SHARIFI, R.; MOORE, F.; KESHAVARZI, B. Mobility and chemical fate of arsenic and antimony in water and sediments of Sarouq River catchment, Takab geothermal field, northwest Iran. **Journal of Environmental Management**, v.170, n. 1, p .136-144, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.018.

SIGRHI. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **Identificação dos Municípios por UGRHI/CBH.** Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/municipios. Acesso em: 03 dez de 2024.

SILVA, Tatiana Acácio da. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação da qualidade ambiental de bacias hidrográficas com Sistema de Informações Geográficas e Análise Hierárquica de Processo.** 2025. Tese (Doutorado em Ciências

Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2025.

SILVA, Leandro Félix da. **Identificação e análise integrada de espaços naturais e antrópicos com o uso de modelagem ambiental e geotecnologias em unidades de conservação no semiárido brasileiro.** 169p. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

SILVA, F.L.D.; FUSHITA, A.T.; CUNHA-SANTINO, M.B.D.; JÚNIOR, I.B.; JÚNIOR, J.C.T.V. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1626-1653, 2021.

SILVA, C.V.T.; RIBEIRO FILHO, J.C.; SILVA, P.M.; LEMOS FILHO, L.C.A.; BRASIL, J.B. Caracterização morfométrica, uso e ocupação de uma bacia hidrográfica. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, n.1, p. 436-444, 2017.

SIMPLICIO, Marina Nicoletti. **Evolução da ocupação e da suscetibilidade às inundações na planície do Rio Atibaia em Campinas e Jaguariúna, SP**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

SMITH, Welber Senteio. **Estrutura da comunidade de peixes da bacia do rio Sorocaba-SP em diferentes situações ambientais**. 121p. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel de Indicadores- Ano base 2022**. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/agua_esgoto/mapa-esgoto. Acesso em: 18 set 2024.

TAVARES, Jeferson. Formação da Macrometrópole no Brasil: processo de urbanização e a constituição de uma região ganhadora. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. e01221, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc201901221r1vu2020L2DE.

THORNTON, KW. WK., KIMMEL, B. L., PAYNE, E. F. Perspectives on reservoir limnology. In: Thornton K. W., B. L. Kimmel & E. F. Payne (Coord.). Reservoir limnology: Ecological perspectives. **Limnology and Oceanography,** v. 35, n.6, p. 1411-1412, 1990.

TOKIEDA, T.; YAMANAKA, K.; HARADA, K.; TSUNOGAI, S. Seasonal variations of residence times and upper atmospheric contribution of aerosol studied with Pb-210, Bi-210, Po-210 and Be-7. **Tellus B Chem. Phys. Meteorol**., v.48, p. 690-702, DOI: 10.3402/tellusb.v48i5.15940.

TOMLINSON, R. F. The impact of the transition from analogue to digital cartographic representation. American Cartographer, v.15, p.249-262, 1988. DOI: https://doi.org/10.1559/152304088783886937

TONIETTO, Alessandra Emanuele. **Especiação de metais e sua interação com a matéria orgânica dissolvida em um reservatório artificial.** 130p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D.S. A dinâmica ecológica do reservatório de Barra Bonita (Rio Tietê, SP, Brasil): Implicações para sua biodiversidade.

Revista Brasileira de Biologia, v. 68, n. 4, p. 1079–1098, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500015.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. **46% da população global vive sem acesso a saneamento básico**. UNESCO 22 de março de 2023. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2023/03/1811712. Acesso em: 09 set 2024.

VASCONCELOS, Helen Xavier Tavares. **Integração de modelagem hidrológica e de operação de reservatórios para determinação da vazão regularizável em barragens de Pernambuco.** 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, 2023.

VIDIMAR, J.; ZULIANI, T.; NOVAK, P.; DRINČIĆ, A.; ŠČANČAR, J.; RADMILA M. Elements in water, suspended particulate matter and sediments of the Sava River. **Journal of Soils and Sediments.** https://doi.org/10.1007/s11368-016-1512-4.

ZAHEDI, R.; AHMADI, A.; GITIFAR, S. Reduction of the environmental impacts of the hydropower plant by microalgae cultivation and biodiesel production. **Journal of Environmental Management**, v. 304, p. 114247. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114247.

ZARFL, C.; LUMSDON, A.E.; BERLEKAMP, J.; TYDECKS, L.; TOCKNER, K. 2015. A global boom in hydropower dam construction**. Aquatic Scienc**e, 77: 161-170.

ZHANG, D.; LIN, J.; PENG, Q.; WANG, D.; YANG, T.; SOROOSHIAN, S.; LIU, X.; ZHUANG, J. Modeling and simulating of reservoir operation using the artificial neural network, support vector regression, deep learning algorithm. **Journal of Hydrology**. 2018, v.565, p.720–736. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.050.

8 Considerações finais

Os resultados obtidos nesta pesquisa sugerem a necessidade de monitoramento contínuo dos recursos aquáticos, sobretudo, continentais, em razão do contato direto com diversas fontes iminentes de contaminação. O estado de São Paulo é o mais populoso do Brasil, consequentemente demanda maior uso dos recursos naturais e gera maiores impactos sobre os mesmos, oriundos de atividades industriais, agrícolas e do adensamento urbano. A compreensão das características físicas de uma área auxilia no processo de tomadas de decisões quanto ao seu ordenamento, nas bacias hidrográficas não é diferente, conhecer as faixas hipsométricas, declividade, e o aspecto de uma bacia, assiste a decisão de instalação de sistemas de colheitas, para o beneficiamento da mecanização agrícola, por exemplo, já o índice de umidade topográfica pode detectar áreas propensas ao acúmulo de água e inundações.

Com relação ao uso e ocupação do solo nas duas bacias, observa-se que apesar das diferenças na extensão territorial e de demografia, as duas bacias estudadas possuem a composição de uso e ocupação comparáveis, embora, enquanto a bacia do Piracicaba/Capivari/Jundiaí apresente redução nas áreas antrópicas agricolas e expansão das áreas de vegetação ao longo dos anos, a bacia do Sorocaba/Médio Tietê exibe o inverso, indicando uma redução nas áreas de vegetação natural e crescimento de áreas antrópicas agrícolas.

As duas bacias de contribuição direta ao reservatório de Barra Bonita estão inseridas na região central do estado de São Paulo, dispostas em duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos supervisionadas pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH), estas duas bacias encontram-se em áreas com intenso uso agrícola , composto por números robustos de plantações, com destaque para plantação de cana-de-açúcar, e pecuária, configurando uma área com considerável rebanho bovino no estado.

Tais atividades, se não geridas e fiscalizadas corretamente podem gerar impactos, por vezes irreversíveis a biota, ou ambiente aquático de forma geral, neste sentido, destacou-se a análise dos sedimentos destes ambientes. A análise da qualidade dos sedimentos das duas bacias revelou que as taxas de sedimentação variaram ao longo dos anos e das camadas estudadas, sem apresentar um padrão uniforme entre as bacias.

Além disso, os teores da maioria dos metais mostraram uma distribuição relativamente constante ao longo dos perfis sedimentares, sem evidências significativas de contaminação ao longo do tempo. Ocorre enriquecimento mínimo para todos os elementos analisados na maioria dos períodos.

Cobre e Níquel apresentaram valores entre TEL e PEL de acordo com o guia de qualidade dos sedimentos da *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)* órgão regulador do Canadá, o que implica um efeito tóxico potencial no ambiente, possivelmente resultante de efluentes industriais, uma vez que as áreas agricolas, por vezes possuem industrias implantadas no próprio local de colheita, localizados próximos a mananciais, e ação de fertilizantes, que são lixiviados para corpos hídricos. Apesar disso, para as duas áreas o Índice de Carga Poluidora apresentou ausência de poluição significativa ao longo dos anos para as duas bacias, principalmente a bacia PCJ.

A análise do uso e ocupação do solo nas bacias contribuintes ao reservatório de Barra Bonita — também denominadas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs) — indicou composições espaciais de classes de uso e ocupação do solo semelhantes entre as duas áreas, apesar de suas particularidades. Do mesmo modo, os resultados ecotoxicológicos obtidos a partir dos sedimentos dos rios não apresentaram diferenças significativas ao longo dos anos entre os dois principais rios das supracitadas bacias.

Esses achados indicam que, embora a bacia dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) apresente maior extensão territorial e população, ambas as bacias contribuem de forma equivalente para a entrada de metais no reservatório de Barra Bonita. Esse resultado pode estar relacionado a um equilíbrio entre a redução de áreas agrícolas e o aumento da vegetação na bacia PCJ, e o crescimento da atividade agrícola acompanhado da diminuição da vegetação natural na bacia do rio Sorocaba-Médio Tietê (SMT) ao longo dos anos. Além disso, sugere que as medidas de mitigação de impactos têm sido implementadas de maneira similar em ambas as regiões, especialmente no que se refere à ampliação dos serviços de saneamento, como o esgotamento sanitário e o tratamento de efluentes.

Esta pesquisa representa um recorte dentro de uma ampla área de influência. Recomenda-se a realização de estudos complementares, com um número maior de pontos de coleta de sedimentos, a fim de possibilitar comparações espaciais mais precisas e permitir uma associação mais robusta com o uso e a cobertura do solo no entorno.