



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Departamento de Ciências Ambientais
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL
Rod. Washington Luís, Km. 235 – Cx. Postal. 676
CEP: 13565-905 – São Carlos – SP – Fone: (016) 3351-9776



IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA: UMA ANÁLISE DOS RIOS TIETÊ E TAMANDUATEÍ NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Larissa Contente de Melo

Prof^ª Dr^ª Marcela Bianchessi da Cunha Santino

**SÃO CARLOS - SP
2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL**

**IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA: UMA ANÁLISE
DOS RIOS TIETÊ E TAMANDUATEÍ NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO
PAULO**

Larissa Contente de Melo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

Orientadora: **Prof^ª Dr^a Marcela Bianchessi da Cunha Santino**

**SÃO CARLOS - SP
2025**

IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DA ÁGUA: UMA ANÁLISE DOS RIOS TIETÊ E TAMANDUATEÍ NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Larissa Contente de Melo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 26 de fevereiro de 2025 ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

.....
Prof^{ta} Dr^a Marcela Bianchessi da Cunha-Santino

Dedico este trabalho à minha irmã Ana Clara, cuja presença sempre foi uma fonte de admiração. Que este trabalho possa te inspirar e refletir a admiração e carinho que sinto por você.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar, fortalecer e iluminar meu caminho, dando-me forças para superar cada desafio.

Aos meus pais, avós, tios, minha irmã e minha prima, por todo apoio incondicional e por estarem sempre presentes em cada etapa da minha vida, contribuindo para minha evolução pessoal e acadêmica. Um agradecimento especial aos meus pais, pelo constante incentivo aos meus estudos e por serem meu alicerce ao longo dessa jornada, sempre acreditando em mim.

À Dr^a Marcela Bianchessi da Cunha Santino, por toda orientação, paciência e dedicação, que foram fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Ao Laboratório de Bioensaios e Modelagem Matemática, por todos os ensinamentos que foram essenciais tanto para este estudo quanto para minha formação profissional.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, parceria e acolhimento durante minha estadia em São Carlos. Em especial, à Beatriz Ferraz, Gabriel Durigan, Luana Diaz e Maria Eduarda Veiga, por estarem sempre presentes nos meus dias, tornando essa caminhada mais leve e alegre.

Aos moradores da República 29, pela parceria e acolhimento, que foram essenciais ao longo da graduação, em especial em 2024.

E a todos que, de alguma forma, estiveram presentes na minha vida, deixando sua contribuição para este trabalho e para o meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

O planejamento incipiente resulta na degradação ambiental, devido à impermeabilização e alteração da dinâmica das bacias hidrográficas. Esse problema, somado ao tratamento inadequado dos efluentes líquidos, altera a qualidade dos corpos hídricos. A urbanização acelerada da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) impacta diretamente a qualidade da água dos ambientes aquáticos. Diante da necessidade de promoção da gestão da água, este estudo analisou as alterações nos rios Tietê e Tamanduateí entre 1985 e 2023, utilizando dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além de mapas de uso e ocupação do solo a partir de dados do MapBiomas. Os resultados indicam um aumento da urbanização, acompanhado pela redução da vegetação e intensificação das atividades antrópicas. O despejo de efluentes e a impermeabilização do solo agravaram a poluição hídrica, refletida na piora do Índice de Qualidade da Água (IQA) e no aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo, favorecendo a eutrofização. Observou-se ainda variação sazonal na qualidade da água, com melhoria durante períodos de cheia. Destaca-se a necessidade urgente de um planejamento urbano sustentável e de práticas ambientais eficientes para mitigar os impactos da urbanização e promover a recuperação dos recursos hídricos. Medidas como a preservação de áreas verdes, o tratamento de efluentes e a redução da impermeabilização são essenciais para garantir a sustentabilidade hídrica e melhorar a qualidade de vida nas áreas impactadas. Portanto, é evidente que, embora a urbanização seja um processo inevitável, sua condução de maneira planejada e sustentável é fundamental para a preservação do meio ambiente e a qualidade da água, aspectos essenciais para o bem-estar das gerações presentes e futuras.

Palavras-chave: Qualidade da água; Urbanização; Rios Tietê e Tamanduateí; Poluição hídrica; Gestão ambiental.

ABSTRACT

The incipient planning results in environmental degradation due to impermeabilization and changes in the dynamics of hydrographic basins. This problem, combined with the inadequate treatment of liquid effluents, alters the quality of water bodies. The accelerated urbanization of the Metropolitan Region of São Paulo (MRSP) directly impacts the water quality of aquatic environments. Considering the need to promote water management, this study analyzed the changes in the Tietê and Tamanduateí rivers between 1985 and 2023, using data from the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) and the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), as well as land use and land cover maps from MapBiomass data. The results indicate an increase in urbanization, accompanied by a reduction in vegetation and an intensification of anthropic activities. The discharge of effluents and soil impermeabilization have worsened water pollution, reflected in the deterioration of the Water Quality Index (WQI) and the increase in nitrogen and phosphorus concentrations, favoring eutrophication. Seasonal variation in water quality was also observed, with improvement during flood periods. There is an urgent need for sustainable urban planning and efficient environmental practices to mitigate the impacts of urbanization and promote the recovery of water resources. Measures such as preserving green areas, effluent treatment, and reducing impermeabilization are essential to ensure water sustainability and improve the quality of life in impacted areas. Therefore, it is evident that although urbanization is inevitable, its planned and sustainable management is fundamental for environmental preservation and water quality, essential for the well-being of present and future generations.

Keywords: Water quality; Urbanization; Tietê and Tamanduateí rivers; Water pollution; Environmental management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hidrografia da UGRHI 6.....	03
Figura 2: Delimitação e Sub-Bacias da UGRHI 6.....	04
Figura 3: Variação temporal do Índice de Estado Trófico (IQA) no Rio Tietê (TIET04200) e no Rio Tamanduateí (TA4500) no período de 1985 a 2023.....	10
Figura 4: Variação temporal das concentrações de fósforo total (mg/L) no Rio Tietê (TIET04200) e no Rio Tamanduateí (TA4500) no período de 1985 a 2023.....	11
Figura 5: Variação temporal das concentrações de nitrogênio (Série nitrogenada: mg/L) no Rio Tietê (TIET04200) e no Rio Tamanduateí (TA4500) no período de 1985 a 2023.....	11

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Percentual de área urbana na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê em relação a área total da bacia.....	10
---	----

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (1985).....	18
Apêndice 2: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (1995).....	18
Apêndice 3: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (2005).....	19
Apêndice 4: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (2015).....	19
Apêndice 5: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (2023).....	20

SUMÁRIO

1. Introdução.....	01
2. Objetivos.....	02
3. Hipótese.....	02
4. Revisão Bibliográfica.....	02
5. Metodologia.....	06
5.1. Área de Estudo: Pontos de Monitoramento da Qualidade da Água.....	06
5.2. Análise dos Dados.....	07
6. Resultados e Discussão.....	09
7. Conclusões.....	13
8. Referências Bibliográficas.....	13
Apêndices.....	20

1. INTRODUÇÃO

A estrutura populacional de uma região é influenciada por fatores históricos, sociais, econômicos, políticos, culturais e naturais, os quais se manifestam de maneira distinta em cada região, podendo impactar o crescimento da população (TAVARES; PEREIRA NETO, 2020). No caso do município de São Paulo, o grande avanço econômico gerou uma rápida urbanização com aumento populacional, e as características hidrográficas da região não foram levadas em consideração para a ocupação. Como resultado, houve uma grande transformação nas paisagens fluviais, com a implementação de canalizações e a construção de hidrelétricas, que alteraram a dinâmica natural dos rios. Esses processos resultam na supressão da vegetação ciliar e na alteração do ciclo hidrológico, agravando problemas como inundações e poluição dos cursos d'água (CORAZZA; KALIL; BOROWSKI, 2008; TUCCI, 2008).

A ausência de planejamento no processo de urbanização resulta na degradação do solo devido à impermeabilização, que reduz a infiltração das águas da chuva, aumenta a erosão, compactação e deslizamentos, além de aumentar o risco de inundação (EVERLYN et al., 2018). Segundo Tucci (1997), o lançamento irregular de águas servidas sem tratamento nos rios pode levar à poluição dos efluentes sanitários. O aumento populacional e a expansão das edificações sobrecarregam o sistema de saneamento básico, que, por sua vez, não acompanha o ritmo da expansão urbana. Existe uma relação entre a densidade populacional e o aumento da carga de poluentes em águas superficiais, apontando para o impacto negativo da urbanização na qualidade da água (NONG et al., 2024).

Nesse contexto, este estudo teve como intuito realizar uma pesquisa bibliográfica e analisar dados disponibilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para investigar as alterações na qualidade da água na Região Metropolitana de São Paulo entre 1985 e 2023. Para isso, foram selecionados dois pontos de monitoramento limnológico: um no rio Tamanduateí e outro no rio Tietê.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi analisar os impactos da urbanização na qualidade da água em pontos dos rios Tamanduateí e Tietê na Região Metropolitana de São Paulo, considerando o Índice de Qualidade da Água (IQA) e as concentrações de nutrientes, entre os anos de 1985 e 2023. Assim, os objetivos específicos foram:

(i) Analisar a variação temporal do IQA e das concentrações de nitrogênio e fósforo utilizados para avaliar a qualidade da água dos rios Tamanduateí e Tietê.

(ii) Elaborar mapas de uso e ocupação do solo da Bacia do Alto Tietê, destacando as mudanças ao longo do tempo e sua relação com o crescimento urbano e os impactos sobre a qualidade da água dos rios Tamanduateí e Tietê.

3. HIPÓTESE

A hipótese deste estudo é que o aumento populacional e a intensificação da urbanização na Região Metropolitana de São Paulo resultaram no deterioramento na qualidade da água dos rios Tamanduateí e Tietê.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BHAT) está localizada predominantemente na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), integrando a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 6. Com uma extensão de 148,26 km no sentido Leste-Oeste, a BHAT compreende os rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí, entre outros, apresentando uma hidrografia complexa (Figura 1). A UGRHI possui uma população de aproximadamente 21.180.449 habitantes, sendo uma região majoritariamente urbana com significativa influência da urbanização (CBH-AT, 2023). Os reservatórios situados na UGRHI 06 incluem Billings, Guarapiranga, Rio Grande e o Sistema Alto Tietê, que é composto por quatro reservatórios: Ponte Nova, Biritiba-Mirim, Jundiaí e Taiacupeba, utilizados para o abastecimento do Sistema Produtos do Alto Tietê (CETESB, 2024).

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BHAT) está inserida no bioma da Mata Atlântica e apresenta clima tropical de altitude (RIBEIRO et al., 2009; FERREIRA, 2019). A região possui uma economia diversificada, com destaque para os setores industrial, comercial, de

serviços e a agricultura em áreas periféricas, fatores que impactam o uso do solo e os recursos hídricos, os quais serão abordados com maior profundidade adiante (GOUVEIA; RODRIGUES, 2017).

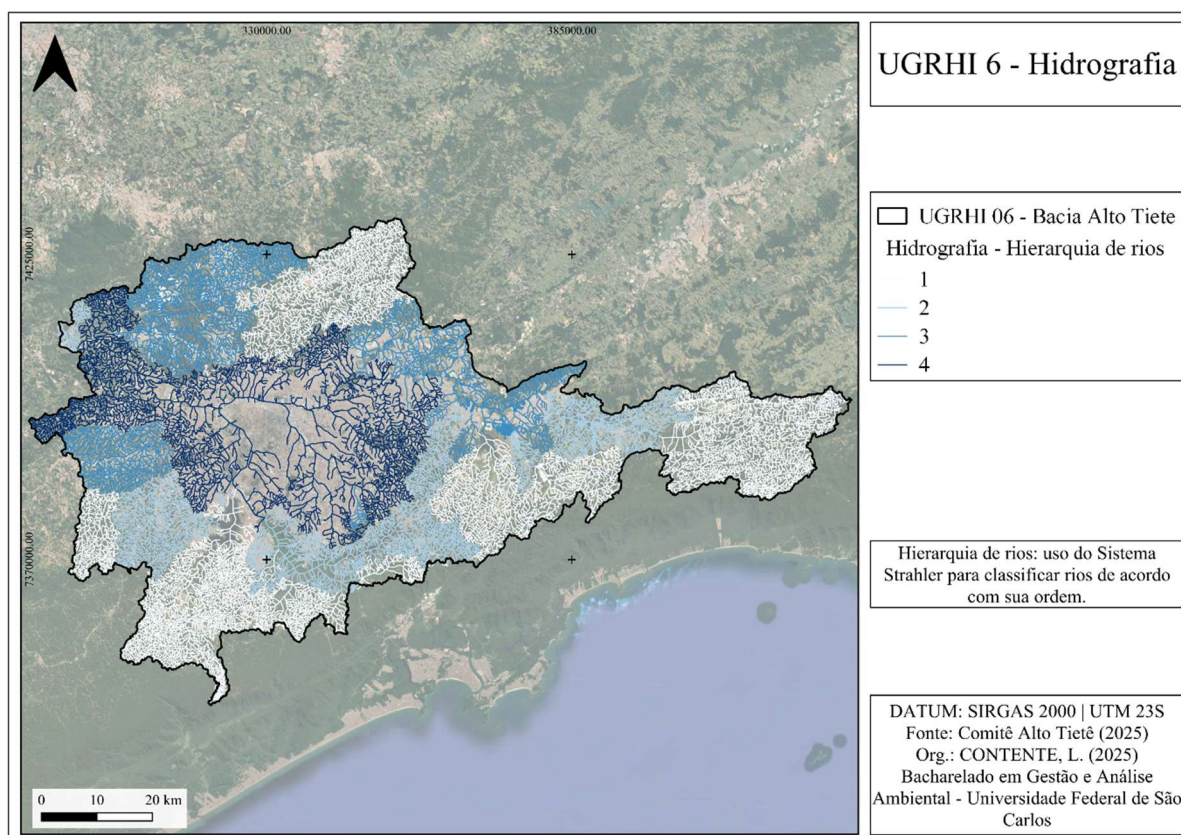


Figura 1: Hidrografia da UGRHI 6.

A BHAT é dividida em seis sub-bacias. A sub-bacia Alto Tietê-Cabeceiras abriga o Sistema Produtor do Alto Tietê, o terceiro mais importante para a RMSP. A sub-bacia Billings-Tamandateí contém a Área de Proteção e Recuperação de Mananciais Billings e o Sistema Billings, criado para geração de energia e controle de enchentes. A sub-bacia Cotia-Guarapiranga, com o Sistema Cotia, abastece a Estação de Tratamento de Água (ETA) Morro Grande, e Guarapiranga, o segundo maior manancial da RMSP, enfrenta pressão urbana. A sub-bacia Juqueri-Cantareira, localizada na Área de Proteção e Recuperação de Mananciais Alto Juqueri (APRM-AJ), integra o Sistema Cantareira, responsável pela transposição de águas do Alto Piracicaba para o Alto Tietê, o principal manancial da RMSP. A sub-bacia Penha-Pinheiros, em São Paulo, sofreu aumento de temperatura e precipitação, com queda na umidade, devido à urbanização. Por fim, a sub-bacia Pinheiros-Pirapora, com a barragem de Rasgão, concentra os impactos das regiões a montante, apesar de ser menos urbanizada (CBH-AT, 2023).

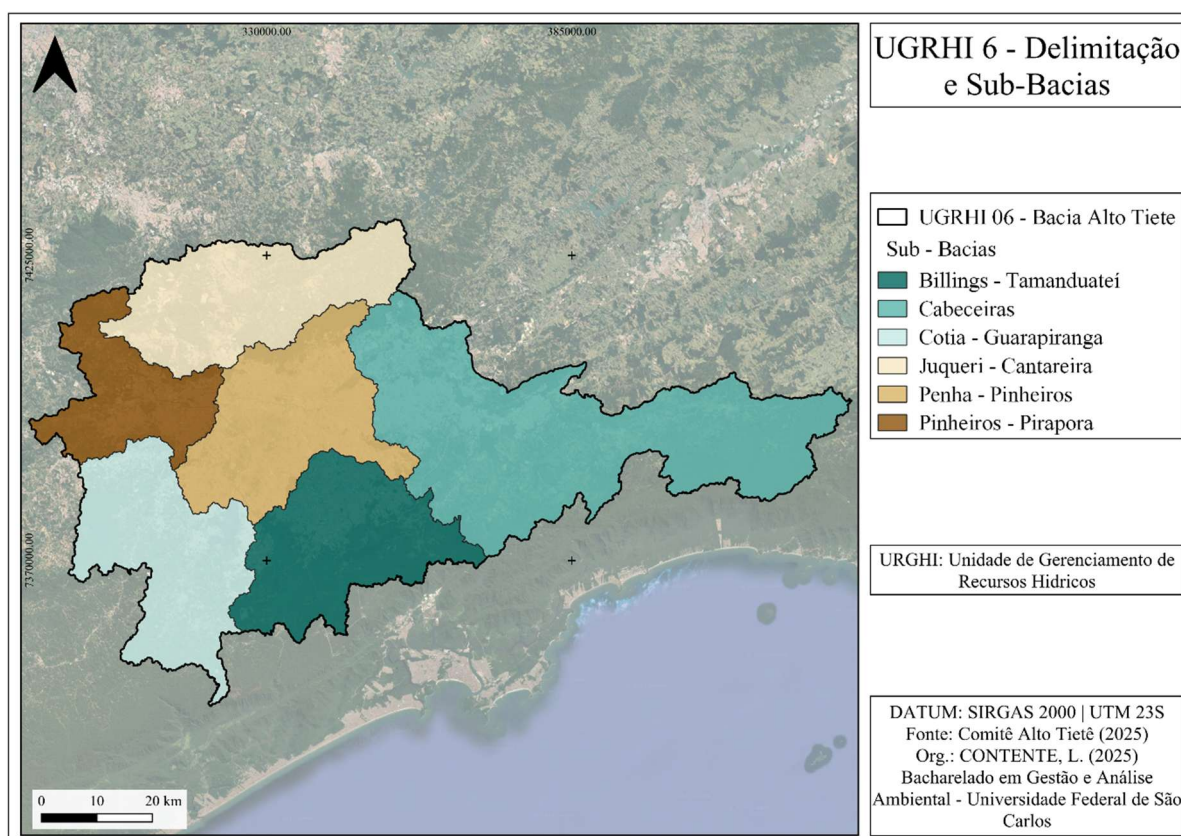


Figura 2: Delimitação e Sub-Bacias da UGRHI 6.

Com uma vegetação caracterizada principalmente pela Mata Atlântica, a RMSF sofreu intensa degradação devido ao processo de urbanização e expansão da indústria (FERREIRA, 2019). Atualmente a vegetação remanescente está concentrada em áreas de proteção ambiental, como parques e serras, e exerce um papel fundamental na regulação do clima urbano e na manutenção dos recursos hídricos (FERREIRA, 2019). Há a presença de vegetação secundária, composta por fragmentos florestais em diferentes estágios de regeneração, além de áreas de vegetação antrópica, como parques urbanos, arborização de ruas e áreas verdes planejadas (FERREIRA, 2019). Mesmo fragmentada, a vegetação remanescente é fundamental para conservar a biodiversidade e mitigar as ilhas de calor nas áreas urbanas, melhorando a qualidade do ar e protegendo os recursos hídricos (SIQUEIRA-GAY et al., 2017). Recentemente, um inventário florestal indicou um crescimento de 214 mil hectares de vegetação nativa no território paulista, evidenciando esforços de recuperação ambiental na região (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

O relevo é marcado por uma topografia diversificada, composta por planaltos, serras e depressões, estando inserida no Planalto Atlântico (FERREIRA, 2019). A Serra do Mar, ao sul,

forma uma barreira natural, enquanto os vales fluviais dos rios Tietê e Tamanduateí apresentam planícies historicamente modificadas pela urbanização. A ocupação dessas áreas baixas contribuiu para enchentes e dificuldades na drenagem natural. Além disso, o relevo influencia a circulação atmosférica e a distribuição das chuvas, impactando diretamente o clima da região. Seu clima é tropical de altitude, com verões quentes e úmidos e invernos mais secos e amenos, além disso a urbanização intensa também interfere no regime de chuvas, intensificando eventos extremos, como enchentes e tempestades mais frequentes (FERREIRA, 2019).

O clima da RMSP é classificado como tropical de altitude, com verões quentes e úmidos e invernos mais secos e amenos. A altitude elevada da região contribuiu para temperaturas médias mais amenas em comparação a áreas de menor altitude. Além disso, o relevo influencia a circulação atmosférica, favorecendo a formação de ilhas de calor urbano, especialmente nas áreas mais densamente urbanizadas. A urbanização intensa também interfere no regime de chuvas, intensificando eventos extremos, como enchentes e tempestades mais frequentes (FERREIRA, 2019).

Por ser uma região muito urbanizada, a RMSP corresponde a 17% do Produto Interno Bruto (PIB) do país em 2015, e a BHAT possui grande relevância por abastecer a região e auxiliar no abastecimento de água tanto doméstico quanto industrial. É notável que a urbanização e as atividades industriais elevam o grau de dificuldade de gestão de recursos hídricos (CBH-AT, 2023).

O rio Tamanduateí foi um dos principais eixos da urbanização de São Paulo, delimitando a ocupação da cidade até o século XIX. Com a expansão desordenada, surgiram problemas ambientais como inundações, erosão e assoreamento. A falta de planejamento adequado levou a intervenções que ignoraram as características naturais da região, intensificando os impactos geomorfológicos e tornando o meio físico um fator essencial para compreender os desafios urbanos. O rio nasce em Mauá, deságua no Tietê e atravessa os municípios de Santo André, São Caetano do Sul e São Paulo, ocupando uma bacia hidrográfica de 323 km² (GOUVEIA; RODRIGUES, 2017).

Segundo o Diário do Grande ABC (2015), o Tamanduateí já foi navegável e utilizado para o transporte de mercadorias, mas passou por retificações a partir de 1894, com o Projeto Carlos Bresser, tornando-se retilíneo nos anos 1930. Essas modificações aumentaram a velocidade da água, agravando problemas de enchentes. A urbanização intensa ao longo de suas margens levou à canalização do rio para viabilizar a construção da Avenida dos Estados, o que intensificou a poluição e o lançamento de esgoto em suas águas (DIÁRIO DO GRANDE ABC, 2015).

A ocupação urbana ao longo do Tamanduateí resultou em diversas transformações, incluindo a retificação e canalização do seu curso, alterando suas características naturais e impactando diretamente a qualidade da água e os processos ecológicos (RODRIGUES et al., 2019). Como consequência, problemas como enchentes ainda persistem. Uma reportagem do G1 (2024) destaca que chuvas intensas na Grande São Paulo provocaram alagamentos em diversas áreas próximas ao rio. Em Mauá, ruas e o terminal de ônibus ficaram inundados, interrompendo a circulação dos veículos. No Parque Boa Esperança, um muro às margens do rio foi derrubado pela força das águas. Esses eventos evidenciam a vulnerabilidade das áreas próximas ao Tamanduateí e a necessidade de medidas preventivas para minimizar os impactos das enchentes.

Segundo Peres e França (2019), o Rio Tietê teve um papel fundamental na história de São Paulo, sendo inicialmente utilizado como rota de navegação por indígenas e colonizadores. No entanto, com o crescimento urbano, passou por diversas modificações, incluindo retificações para conter enchentes e viabilizar a expansão da cidade. Essas intervenções, embora tenham alterado seu curso natural, também agravaram problemas ambientais, como a poluição e a redução da capacidade de autodepuração do rio.

O Rio Tietê foi essencial para o desenvolvimento de São Paulo, mas a urbanização resultou em sua retificação e crescente poluição. Hoje, enfrenta sérios desafios ambientais, com altos níveis de contaminação por esgoto e resíduos industriais, refletindo os impactos da expansão urbana nos recursos hídricos (PERES; FRANÇA, 2019).

Considerando a importância socioeconômica e ambiental dos rios Tietê e Tamanduateí para a RMSP, o monitoramento da qualidade da água é uma ferramenta diagnóstica. O monitoramento da qualidade da água visa fornecer os dados contínuos sobre os possíveis efeitos adversos de contaminação ou poluição decorrentes de emissões antropogênicas pontuais e difusas (ALTENBURGER et al., 2019). Também permite a adoção de medidas preventivas e corretivas, melhorando a gestão dos recursos hídricos e assegurando a qualidade da água utilizada para consumo humano e para as atividades econômicas.

5. METODOLOGIA

5.1. Área de Estudo: Pontos de Monitoramento da Qualidade da Água

O ponto de monitoramento do rio Tamanduateí (TA 4500/TAMT 04500) está situado em uma área altamente urbanizada, entre os municípios de São Caetano do Sul e Santo André. A escolha desse local se deve à intensa ocupação urbana em seu entorno, permitindo avaliar os impactos da urbanização na qualidade da água e nos processos ambientais do rio. O ponto

TA4500/TAMT04500 está localizado na RMSP, mais especificamente no ABC Paulista, englobando Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra. O ponto está na ponte na Avenida do Estado X Rua do Ouro, na divisa entre São Caetano do Sul e Santo André, em frente à Akzo Nobel, sendo sua coordenada em Latitude S (23 36 38) e Longitude W (46 32 39).

Enquanto o ponto de monitoramento do rio Tietê (TIET 04200) está inserido no município de São Paulo, com localização na ponte dos Remédios, na Av. Marginal (Rodovia Presidente Castelo Branco; São Paulo – SP), sendo sua coordenada Latitude S (23 31 11) e Longitude W (46 44 47). Ambos pertencem à UGRHI 6, inserida no estado de São Paulo (Figura 1). Esse ponto está exposto a diversos tipos de poluentes devido à intensa urbanização e atividade humana nas proximidades. A escolha desta localização se deve ao seu posicionamento em uma área altamente antropizada, o que permite avaliar os impactos da urbanização e das atividades industriais na qualidade da água do rio.

A BHAT possui grande relevância por abastecer a região e auxiliar no abastecimento de água tanto doméstico quanto industrial. É notável que a urbanização e as atividades industriais elevam o grau de dificuldade de gestão de recursos hídricos (CBH-AT, 2023). Por sua grande influência econômica no país, a RMSP também sofre a pressão da urbanização, afetando a mobilidade urbana, tratamento de efluentes e abastecimento.

5.2. Análise dos Dados

Para investigar as alterações na qualidade da água da RMSP, foram utilizados os relatórios produzidos pela CETESB, seguindo procedimentos padronizados para coleta e determinação dos parâmetros analisados. A análise abrangeu os relatórios dos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023, com o objetivo de identificar as mudanças na qualidade da água ao longo do tempo. Considerando-se as seguintes variáveis: Índice de Qualidade da Água (IQA), Nitrogênio amoniacal (mg/L), Nitrato (mg/L), Nitrito (mg/L) e Fósforo Total (mg/L). Todas as variáveis analisadas levaram em conta a sazonalidade, sendo categorizadas entre o período de seca (maio a setembro) e o período de cheia (outubro a março), com o mês de abril sendo desconsiderado por ser considerado um período de transição.

O IQA é uma ferramenta desenvolvida para avaliar a qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público, considerando parâmetros como temperatura, sólidos totais, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, coliformes fecais, demanda biológica de oxigênio (DBO), Nitratos Totais e Fosfatos (ARIZA-RESTREPO et al., 2023), sendo calculado a partir Equação 1.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

(Equação 1)

IQA: Índice de Qualidade das Águas; q_i : qualidade da i -ésimo variável, obtida da “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e, w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade (CETESB, 2020).

O nitrogênio total e o fósforo total são duas variáveis limnológicas avaliadas pelo IQA. A presença excessiva desses nutrientes na água pode levar à eutrofização, um processo que resulta no crescimento descontrolado de algas e na diminuição da qualidade da água. A eutrofização pode comprometer a potabilidade da água, afetar a fauna aquática e aumentar os custos de tratamento da água. Portanto, o monitoramento desses parâmetros é essencial para a gestão da qualidade da água e para a proteção dos recursos hídricos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, s.d.).

A análise temporal considerou a sazonalidade, que se baseia na variabilidade do regime de vazões dos rios no Brasil, que apresenta mudanças significativas ao longo do tempo e do espaço, refletindo a diversidade das bacias hidrográficas e dos padrões climáticos (CARDOSO et al., 2011). Esse fator pode influenciar diretamente a qualidade da água, tornando essencial a distinção entre períodos de seca e cheia na análise dos dados.

Em relação à análise espacial, foram elaborados mapas no software QGIS para identificar as mudanças ocorridas na ocupação da RMSP e como elas influenciaram a qualidade da água. Os arquivos sobre hidrografia e a delimitação da bacia foram obtidos a partir da base de dados do Comitê da Bacia do Alto Tietê. Para os mapas de uso e ocupação do solo, utilizou-se a base de dados do MapBiomas, que fornece informações sobre a mudança do solo ao longo do tempo, e por fim, os dados de adensamento populacional foram extraídos do IBGE.

Os usos e cobertura da terra foram obtidos por meio dos dados do MapBiomas, incluindo classes de uso do solo e arquivos vetoriais (*shapefiles*) referentes ao período de análise deste trabalho. As informações foram processadas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), e a classificação das tipologias de uso do solo seguiu a categorização do MapBiomas, considerando a interpretação de padrões espaciais e as mudanças ao longo do período analisado. A análise envolveu a identificação de transições entre as classes, como expansão urbana, conversão de vegetação nativa e variações nas áreas de corpos d'água.

As legendas utilizadas nos mapas também foram extraídas do MapBiomas, seguindo os códigos e paletas de cores das coleções disponibilizadas na plataforma. E para melhor

visualização e interpretação dos dados, foram selecionadas apenas as classes mais representativas, como formação florestal, silvicultura, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, outras áreas não vegetadas, afloramento rochoso, mineração, rio, lago e oceano, outras lavouras temporárias, café, outras lavouras perenes, soja e cana, evitando o excesso de informações.

Todos os dados foram georreferenciados na Zona 23 Sul, utilizando o sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), com datum SIRGAS 2000, sendo a versão do QGIS 3.34.11-Prizren.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A urbanização intensa e desordenada tem sido associada a impactos severos na qualidade da água, especialmente devido ao lançamento de esgoto não tratado nos corpos hídricos. Estudos realizados em diferentes regiões evidenciam que o crescimento urbano desprovido de infraestrutura de saneamento adequado resulta no comprometimento da qualidade da água, favorecendo o aumento da carga orgânica e de nutrientes nos rios (SILVA et al., 2017). Em Belo Horizonte (MG), por exemplo, pesquisas apontam que a urbanização acelerada nas últimas décadas elevou significativamente as concentrações de fósforo e nitrogênio nos cursos d'água da região, desencadeando processos de eutrofização e alterando a biodiversidade aquática (MENDES et al., 2019). De maneira semelhante, investigações realizadas no Rio Iguaçu (PR), demonstraram que o crescimento urbano contribuiu diretamente para o aumento da poluição, reduzindo a qualidade dos recursos hídricos e intensificando problemas ambientais (FERREIRA et al., 2021a). A ausência de tratamento adequado de efluentes resulta no agravamento da poluição por matéria orgânica, levando à redução dos níveis de oxigênio dissolvido na água e ao consequente comprometimento da fauna aquática (SOUZA et al., 2020). Em Salvador (BA), estudos apontaram que a ausência de infraestrutura sanitária em determinadas áreas urbanizadas resultou em índices alarmantes de poluição, afetando diretamente a qualidade da água e a saúde da população local (OLIVEIRA et al., 2018). Essa realidade reforça a necessidade de políticas públicas eficazes para mitigar os impactos da urbanização sobre os corpos d'água e garantir a preservação dos recursos hídricos.

O processo de urbanização na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) alterou profundamente a paisagem natural, especialmente os cursos fluviais, devido à expansão desordenada da cidade. As intervenções humanas, como a canalização dos rios, transformaram significativamente o meio ambiente, intensificando problemas como alagamentos e erosão. A ocupação urbana, muitas vezes desconsiderando as características naturais da região, evidencia

a falta de planejamento e resulta em sérias consequências ecológicas e geomorfológicas para a cidade e seus corpos hídricos (RODRIGUES et al., 2019). De acordo com os dados analisados, o crescimento urbano na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BHAT) tem sido acelerado. Entre 1985 e 2023, a área urbana da bacia passou de 21,30% para 32,55%, representando um aumento de aproximadamente 52,82% (Tabela 1). Esse crescimento foi acompanhado pela diminuição da vegetação florestal e pela expansão de áreas destinadas à silvicultura, mineração e lavouras temporárias.

Tabela 1: Percentual de área urbana na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê em relação a área total da bacia.

Ano	Percentual de área urbana na BHAT
1985	21,30%
1995	26,14%
2005	30,00%
2015	31,61%
2023	32,55%

Nos pontos analisados, a qualidade da água, o IQA, variou de ruim a péssimo, refletindo a degradação progressiva dos corpos hídricos na região. No rio Tamanduateí o IQA variou de 12,7 a 17,7, enquanto no Tietê, essa variação foi de 13 a 24,7. O IQA é um indicador fundamental para monitorar as condições da água, levando em consideração parâmetros como turbidez, nutrientes, presença de oxigênio dissolvido e coliformes fecais. A variação do IQA ao longo do tempo é um reflexo das intervenções humanas e das mudanças no uso do solo, como a urbanização, que contribuem para o aumento da poluição e da carga de nutrientes nos rios. Conforme ilustrado na Figura 3, as flutuações do IQA nos anos analisados revelam que a qualidade da água foi afetada negativamente, especialmente com o aumento das concentrações de nutrientes, que são indicadores claros de eutrofização.

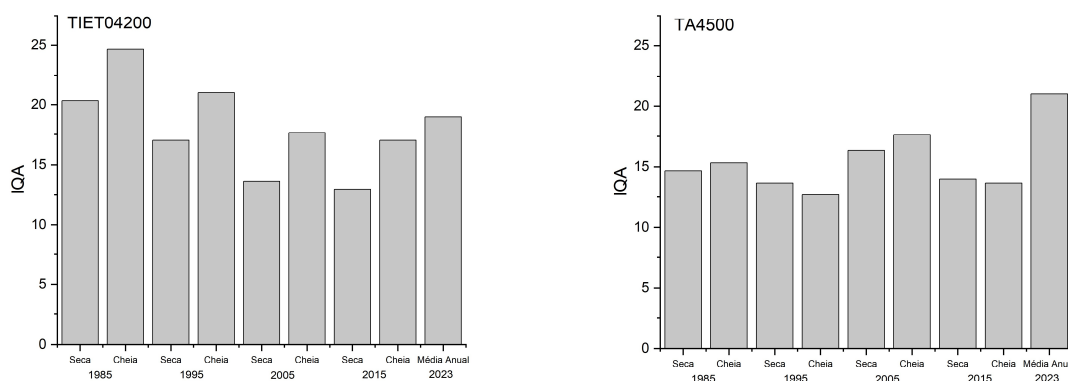


Figura 3: Variação temporal do Índice de Estado Trófico (IQA) no Rio Tietê (TIET04200) e no Rio Tamanduateí (TA4500) no período de 1985 a 2023.

Em relação à variabilidade das concentrações de nitrogênio (N) e fósforo (P), observa-se que, de modo geral, essas concentrações são mais elevadas nos períodos de seca. Esse fenômeno pode ser explicado pela menor vazão dos rios durante esses períodos, o que reduz a capacidade de diluição dos poluentes e intensifica a concentração de nutrientes na coluna d'água. Por outro lado, durante as cheias, o maior volume de água contribui para a diluição dos poluentes, resultando em uma aparente melhora na qualidade da água. No entanto, essa melhoria é temporária e não reflete uma redução efetiva das fontes de poluição (COSTA et al., 2023).

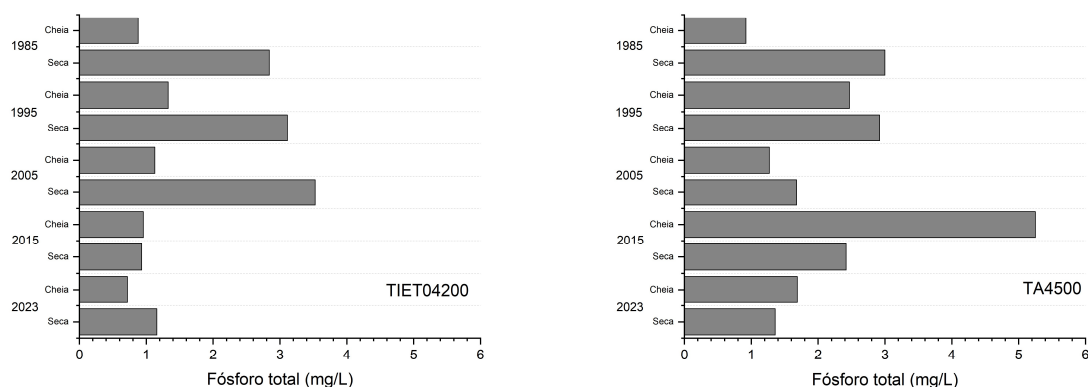


Figura 4: Variação temporal das concentrações de fósforo total (mg/L) no Rio Tietê (TIET04200) e no Rio Tamanduateí (TA4500) no período de 1985 a 2023.

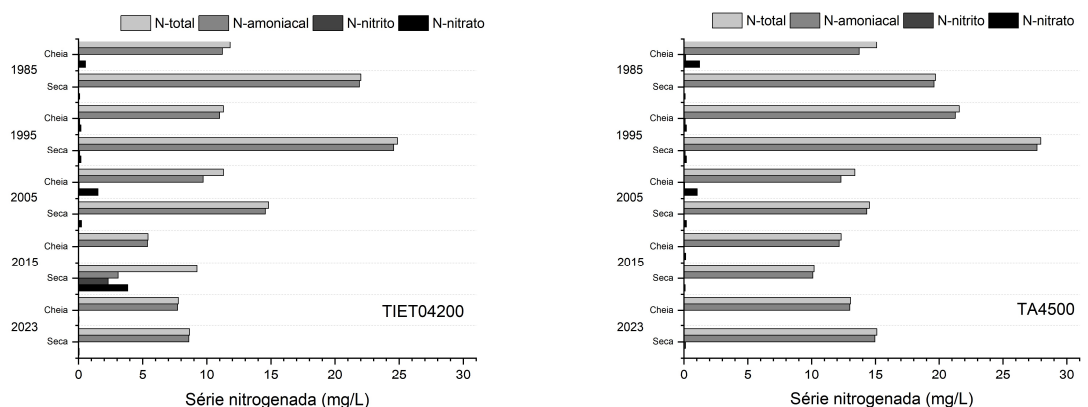


Figura 5: Variação temporal das concentrações de nitrogênio (Série nitrogenada: mg/L) no Rio Tietê (TIET04200) e no Rio Tamanduateí (TA4500) no período de 1985 a 2023.

A comparação entre os rios Tietê (N total: variação de 5,4 a 24,8 mg/L; P total = 0,7 a 3,5 mg/L) e Tamanduateí indica que este último apresenta concentrações mais elevadas de nitrogênio e fósforo (N total: variação de 10,2 a 27,8 mg/L; P total = 0,9 a 5,2 mg/L), o que pode ser atribuído ao grau de urbanização e verticalização da ocupação em sua bacia

hidrográfica. O Tamanduateí atravessa áreas densamente urbanizadas, onde a impermeabilização do solo é mais intensa e o escoamento superficial contribui para o aumento do aporte de poluentes nos cursos d'água. Além disso, a bacia do Tamanduateí recebe efluentes industriais e domésticos, o que compromete a qualidade da água (ARAÚJO, 2015).

Rios em regiões residenciais e industriais possuem menor capacidade de autodepuração do que os de outras zonas, pois as cargas de águas residuais ultrapassam a capacidade dos corpos d'água de metabolizar as substâncias presentes nos esgotos. Além disso, a vazão dos rios é um fator-chave para a autodepuração (ARAVIND et al., 2021). Nesse contexto, na BHAT, a vazão média anual do rio Tietê é de 133 m³/s (BREDA et al., 2021), enquanto a do rio Tamanduateí é de 34,83 m³/s em períodos de precipitações elevadas (CBH-AT, 2021). Essa diferença de vazão influencia as maiores concentrações de nitrogênio (N) e fósforo (P) nas águas do rio Tamanduateí em comparação com o Tietê. A perda do potencial de autodepuração desses dois rios pode ser evidenciada pelo Índice de Qualidade da Água (IQA), cuja série temporal das últimas quatro décadas aponta para a deterioração da qualidade da água, com valores variando entre ruim e péssimo (Figura 3).

Esses resultados evidenciam a relação intrínseca entre o crescimento urbano e a qualidade da água. O crescimento urbano desordenado, como demonstrado ao longo deste estudo, contribui significativamente para a poluição hídrica, ao passo que o controle ambiental e a gestão sustentável do território podem ajudar a mitigar esses impactos e promover a recuperação dos recursos hídricos. Portanto, o planejamento urbano e a implementação de práticas ambientais eficientes são fundamentais para garantir a sustentabilidade hídrica e a qualidade de vida nas áreas afetadas pela urbanização acelerada.

Em 2013, a Sabesp assegurou a despoluição do Rio Tietê até 2025, mas o cenário atual mostra que a meta está longe de ser alcançada. Apesar dos investimentos e das ações de saneamento, a poluição ainda é um problema crítico, evidenciando os desafios na recuperação da qualidade da água e na efetividade das políticas ambientais (Revista Oeste, 2025). Em 2024, a mancha de poluição do Rio Tietê aumentou 47 km, atingindo a pior extensão desde 2012. O avanço da contaminação reflete o despejo de esgoto e resíduos industriais sem tratamento, agravando a degradação da água e dos ecossistemas. Esse cenário reforça a necessidade de medidas urgentes para a despoluição do rio (G1, 2024).

O crescimento desordenado da urbanização na RMSP aumentou a demanda por água e a geração de efluentes, o que, aliado à falta de tratamento adequado, compromete a qualidade dos recursos hídricos. Esse cenário impacta diretamente as características dos rios, intensificando sua degradação. Assim, é essencial analisar os rios da região para entender como as transformações urbanas afetam sua capacidade de autodepuração e os impactos ambientais

ao longo do tempo. Esse padrão reforça a necessidade de um planejamento urbano sustentável, com foco na ampliação da infraestrutura de saneamento e na implementação de medidas que reduzam a contaminação dos corpos hídricos por nutrientes e outros poluentes.

O avanço do saneamento básico ao longo da história foi lento, apesar de ser garantido pela Constituição Federal e regulamentado pela Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), que abrange serviços como abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de águas pluviais. No entanto, mesmo com a existência de instrumentos jurídicos, a implementação de Planos e Políticas Municipais de Saneamento Básico não foi aderida por todos os municípios (FERREIRA et al., 2021b). De acordo com dados de 2022, 82,9% da população brasileira tinha acesso à rede geral de distribuição de água, enquanto 62,5% contavam com coleta de esgoto por rede geral ou fossa ligada à rede (IBGE, 2022).

Os resultados deste estudo evidenciam que o crescimento urbano desordenado na Região Metropolitana de São Paulo impactou significativamente a qualidade da água dos rios Tietê e Tamanduateí, promovendo a degradação ambiental e a perda da capacidade de autodepuração dos corpos hídricos (FREIRE; MEYER, 2017). A expansão urbana, acompanhada pela diminuição da vegetação, pelo aumento da impermeabilização do solo e pelo lançamento de efluentes, agravou a poluição hídrica, refletida na variação negativa do Índice de Qualidade da Água (IQA) (FREIRE, 2018; GUEDES-PEREIRA et al., 2025).

7. CONCLUSÕES

O crescimento urbano desordenado na BHAT entre 1985 e 2023 afetou gravemente o meio ambiente, especialmente a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos. A expansão das áreas urbanizadas, acompanhada pela diminuição da vegetação florestal e a intensificação da atividade agrícola e industrial, resultou em um aumento do escoamento superficial e na poluição dos corpos d'água, refletida no IQA e nas concentrações de nitrogênio e fósforo. A urbanização acelerada também intensificou o descarte de efluentes domésticos e industriais, agravando a poluição da água e a eutrofização. A variação do IQA entre ruim e péssimo ao longo das últimas quatro décadas, independentemente do aumento da urbanização, indica a perda da capacidade de autodepuração dos rios Tietê e Tamanduateí antes de 1985.

Destaca-se a necessidade urgente de um planejamento urbano sustentável e de práticas ambientais eficientes para mitigar os impactos da urbanização e promover a recuperação dos recursos hídricos. Medidas como preservação de áreas verdes, tratamento de efluentes e redução da impermeabilização são essenciais para garantir a sustentabilidade hídrica e melhorar a qualidade de vida nas áreas impactadas. Portanto, é evidente que, embora a urbanização seja um processo inevitável, sua condução de maneira planejada e sustentável é essencial para a

preservação do meio ambiente e a qualidade da água, aspectos fundamentais para o bem-estar das gerações presentes e futuras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTENBURGER, R. et al. Future water quality monitoring: improving the balance between exposure and toxicity assessments of real-world pollutant mixtures. **Environmental Sciences Europe**, v. 31, p. 12, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Panorama do saneamento no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/saneamento-basico-no-brasil/panorama-do-saneamento-no-brasil-1>. Acesso em: 1 jan. 2025.

ARAVIND, R. P. S. et al. Study of self depuration capability of River Pamba. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2040, p. 012039, 2021.

ARAÚJO, A. L. et al. Estudo da influência urbano-industrial sobre a degradação do Rio Tamanduateí, São Paulo, Brasil. **Scientia Vitae**, v. 2, n. 7, p. 24-33, 2015.

ARIZA-RESTREPO, J. L.; RODRIGUEZ-DIAZ, Y. J.; ONATE-BARRAZA, H. C. Water quality indices (WQI) and contamination indices (WPI): A bibliographic review. **Tecnura**, v. 27, n. 77, p. 121-140, 2023.

BREDA, C. et al. The role of bedrock and climate for the Late Quaternary erosive-depositional behavior of an intraplate tropical river: The Tietê River case, southeastern Brazil. **Geomorphology**, v. 389, p. 107834, 2021.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 1 jan. 2025.

CARDOSO, A. O.; HAMBURGER, D. S.; FERRAZ, S. T. E. Critérios para regionalização de vazão de rios ao longo do Brasil. **Ciência e Natura**, p. 343-346, 2011.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 1985**. São Paulo: CETESB, 1986. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/relatorio-aguas-superficiais-1985.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 1995**. São Paulo: CETESB, 1996. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/relatorio-aguas-superficiais-1995.zip>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2005**. São Paulo: CETESB, 2006. 2 v. (Série Relatórios/Secretaria de Estado do Meio Ambiente). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2015**. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/agua-doce.zip>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice D: Metodologia de Cálculo dos Índices de Qualidade das Águas 2023**. São Paulo: CETESB, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2024/09/Apendice-D-Metodologia-de-Calculo-dos-Indices-de-Qualidade-das-Aguas-2023.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índices de Qualidade das Águas. 2020**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores 2023. São Paulo: CETESB, 2024**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2024/11/RAI-2023-Relatorio-de-Qualidade-de-Aguas-Interiores-2023.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ (CBH-AT). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI-06 2023: ano base 2022**. São Paulo: CBH-AT, 2023. Disponível em: <https://comiteat.sp.gov.br/wp-content/uploads/2023/11/Deliberacao-CBH-AT-n%C2%B0-171-de-31.10.2023-Anexo-I-Relatorio-de-Situacao-dos-Recursos-Hidricos-da-UGRHI-06-2023.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ (CBH-AT). **Monitoramento hidrológico - Boletim chuva – vazão (fevereiro de 2021)**. Disponível em: <https://comiteat.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/2-Boletim-CBHAT-FEV-2021-CHUVA-VAZ%C3%83O.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2025.

CORAZZA, J.; KALIL, R. M. L.; BOROWSKI, G. C. Rios urbanos e o processo de urbanização: o caso de Passo Fundo, RS. **OLAM: Ciência & Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 137-159, 2008.

COSTA, M. A.; SOUZA, L. F.; RODRIGUES, P. Impactos da sazonalidade na qualidade da água em rios urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 28, n. 1, p. 45-60, 2023.

DIÁRIO DO GRANDE ABC. A vida e a morte do rio Tamanduateí. **Diário do Grande ABC**, Santo André, 19 ago. 2013. Disponível em: <https://www.dgabc.com.br/noticia/1385901/a-vida-e-a-morte-do-rio-tamanduatei>. Acesso em: 2 fev. 2025.

EVERLYN, C. M. N.; AGUIAR, K. P.; CARMO, M. O.; ANDRAUS, M. P. Ocupação urbana e a impermeabilização do solo. **Anuário Acadêmico-científico da UniAraguaia**, v. 7, n. 1, p. 50 – 56, 2018.

FERREIRA, L. S. **Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo**. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

FERREIRA, J. P.; LIMA, R. S.; ALMEIDA, T. S. Urbanização e seus efeitos na qualidade da água: estudo de caso no Rio Iguaçu. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 4, p. 112-125, 2021a.

FERREIRA, J. G.; GOMES, M. F. B.; DE ARAÚJO DANTAS, M. W. Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 65449-65468, 2021b.

FREIRE, A. R. As várzeas urbanas de São Paulo: o processo de ocupação e transformação das várzeas dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

FREIRE, A. R.; MEYER, R. M. P. As várzeas urbanas de São Paulo: estudo do processo de ocupação e transformação das várzeas dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí. In: **IX Seminário Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Bogotá, Junio 2017**. Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.

GOUVEIA, I. C. M. C.; RODRIGUES, C. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí–RMSP. **GEOUSP Espaço e Tempo** (Online), v. 21, n. 1, p. 257-283, 2017.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Novo inventário florestal do estado de São Paulo aponta crescimento de 214 mil hectares de vegetação nativa no território paulista**. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/2020/08/novo-inventario-florestal-do-esp-aponta-crescimento-de-214-mil-hectares-de-vegetacao-nativa-no-territorio-paulista/>. Acesso em: 01 mar. 2025.

GUEDES-PEREIRA, B. et al. Assessment of Water Quality and Presence of Enterobacteria in the Billings-Tamanduateí Watershed and Its Relationship with Social Indicators. **Limnological Review**, v. 25, n. 2, p. 21, 2025.

G1. Chuva forte deixa regiões da cidade de SP em estado de atenção para alagamentos neste sábado. **G1**, São Paulo, 24 fev. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2024/02/24/chuva-forte-deixa-regioes-da-cidade-de-sp-em-estado-de-atencao-para-alagamentos-neste-sabado.ghtml>. Acesso em: 2 fev. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Características dos domicílios – Censo 2022**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/22064-caracteristicas-dos-domicilios-censo-2022.html>. Acesso em: 7 fev. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 6579 - População residente estimada**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579#resultado>. Acesso em: 7 fev. 2025.

MENDES, C. A.; BARROS, P. R.; SANTOS, J. L. Eutrofização em corpos hídricos urbanos: um estudo na região metropolitana de Belo Horizonte. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 2, p. 78-92, 2019.

NONG, D. H.; NGO; A. T.; VO, C. H.; NGUYEN. T. X. Application of GIS to monitor the impact of urbanization on surface water quality in Kim Dong district, Hung Yen province, Vietnam. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1345, p. 012004, 2024.

OLIVEIRA, D. F.; MARTINS, R. P.; COSTA, L. P. Poluição hídrica e saneamento básico: análise da qualidade da água em Salvador. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**, v. 12, n. 3, p. 58-74, 2018.

PERES, F. C. S.; FRANÇA, L. C. O processo de retificação do rio Tietê e suas implicações na cidade de São Paulo. **Paisagem e Ambiente**, v. 40, p. 1-23, 2019.

REVISTA OESTE. Em 2023, Sabesp prometeu rio Tietê despoluído até 2025. **Revista Oeste**, 03 jan. 2025. Disponível em: <https://revistaoeste.com/brasil/em-2013-sabesp-prometeu-rio-tiete-despoluido-ate-2025/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RODRIGUES, C. et al. Antropoceno e mudanças geomorfológicas: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 40, n. 1, p. 105-123, 2019.

SÃO PAULO ANTIGA. O marco da enchente de 1929. **SÃO PAULO ANTIGA**, 01 dez. 2017. Disponível em: <https://saopauloantiga.com.br/o-marco-da-enchente-de-1929/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

SILVA, J. P.; GOMES, R. F.; NUNES, T. A. Impactos do crescimento urbano na qualidade da água: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 85-97, 2017.

SIQUEIRA-GAY, Juliana; DIBO, Ana Paula Alves; GIANNOTTI, Mariana Abrantes. Vulnerabilidade as ilhas de calor no município de São Paulo: uma abordagem para a implantação de medidas mitigadoras na gestão urbana. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 105-123, 2017.

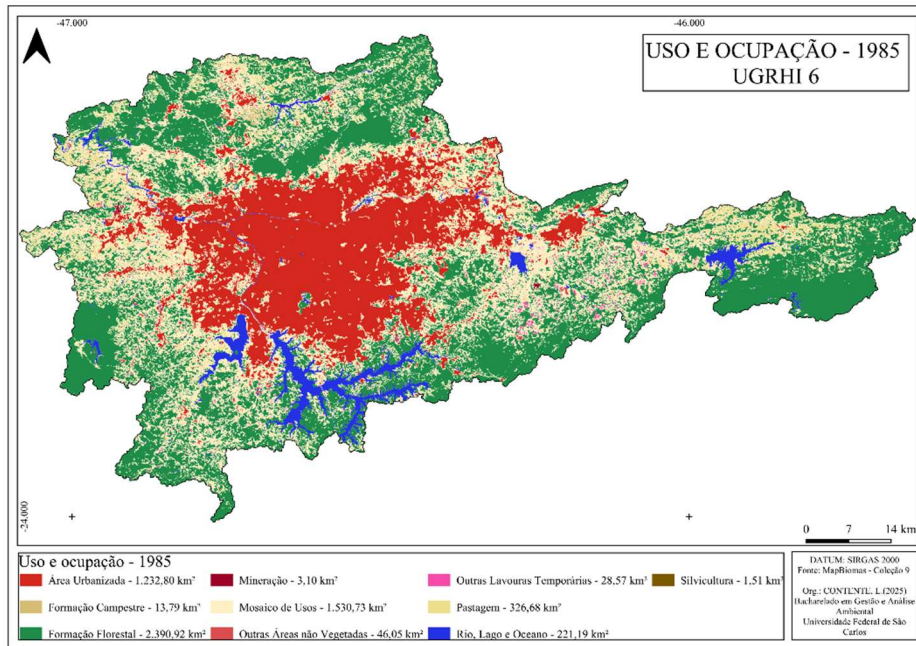
SOUZA, C. H.; FERREIRA, L. T.; OLIVEIRA, P. P. A poluição hídrica e seus efeitos na fauna aquática. **Revista de Ecologia e Meio Ambiente**, v. 15, n. 2, p. 67-80, 2020.

TAVARES, J. M. S.; PEREIRA NETO, C. Aspectos do crescimento populacional: estimativas e uso de indicadores sociodemográficos. **Formação (Online)**, v. 27, n. 50, p. 3–36, 2020.

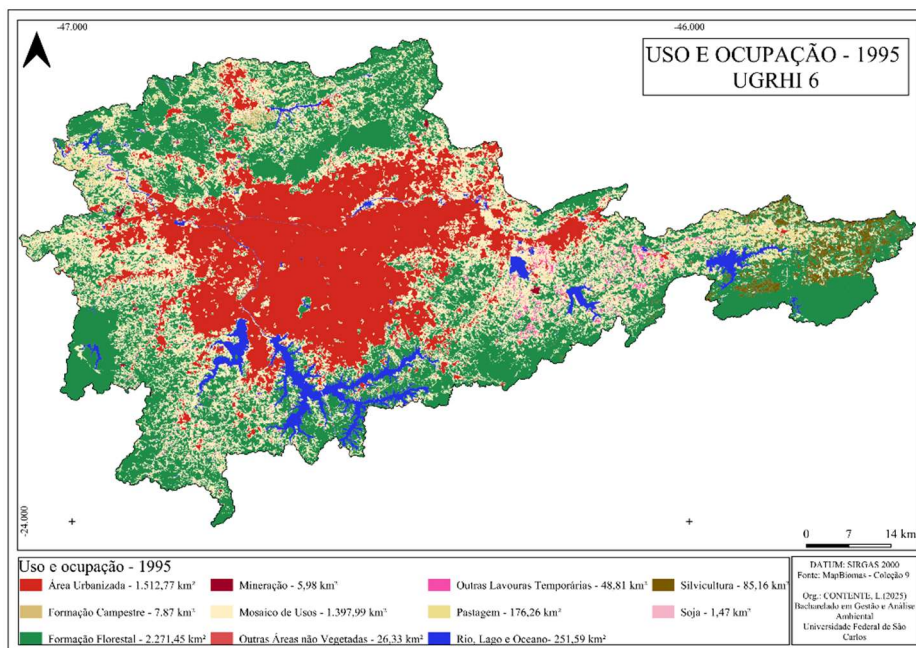
TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JÚNIOR, B. P. F.; TUNDISI, J. G. (orgs.). **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 1997. p. 475-508.

TUCCI, Carlos E. M. Urbanização e gestão das águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

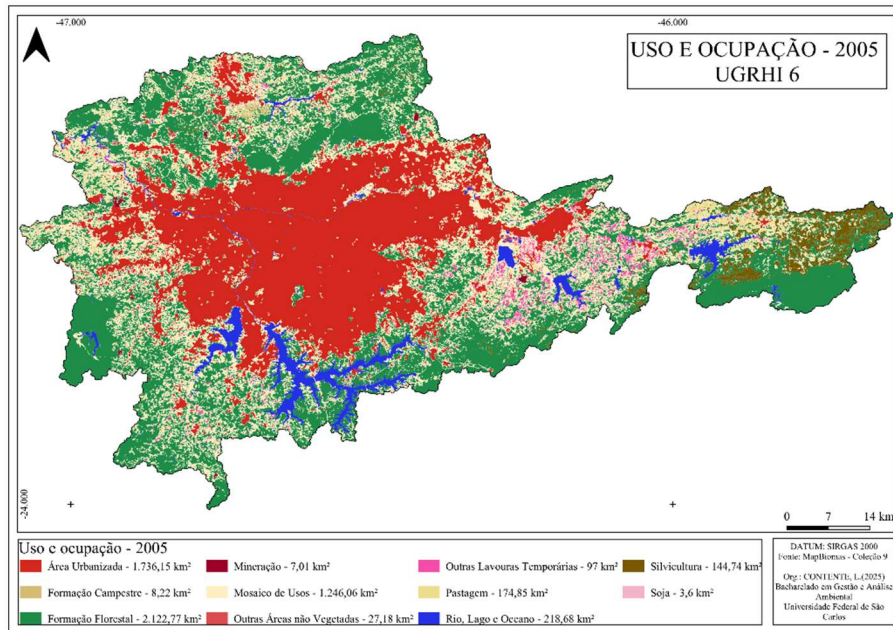
Apêndices



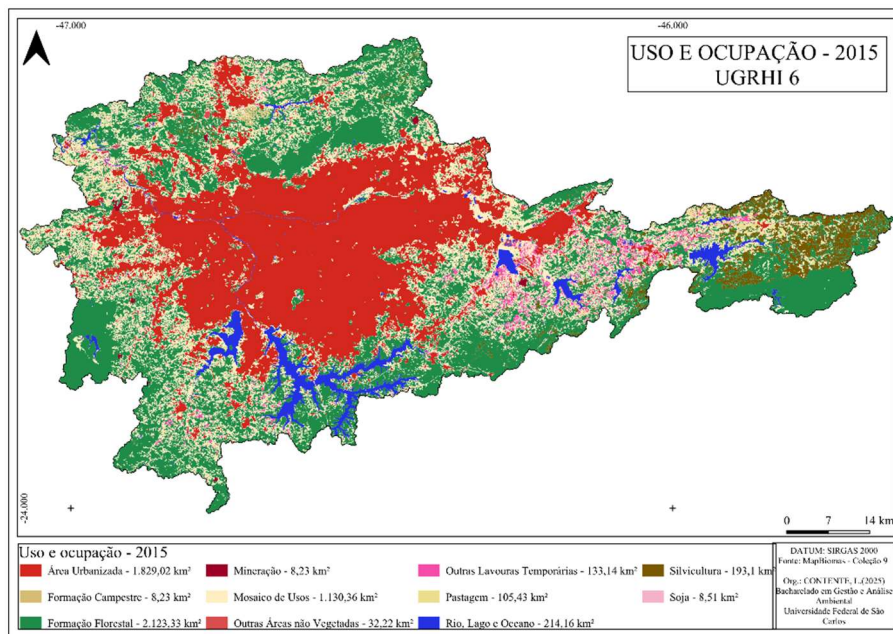
Apêndice 1: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (1985).



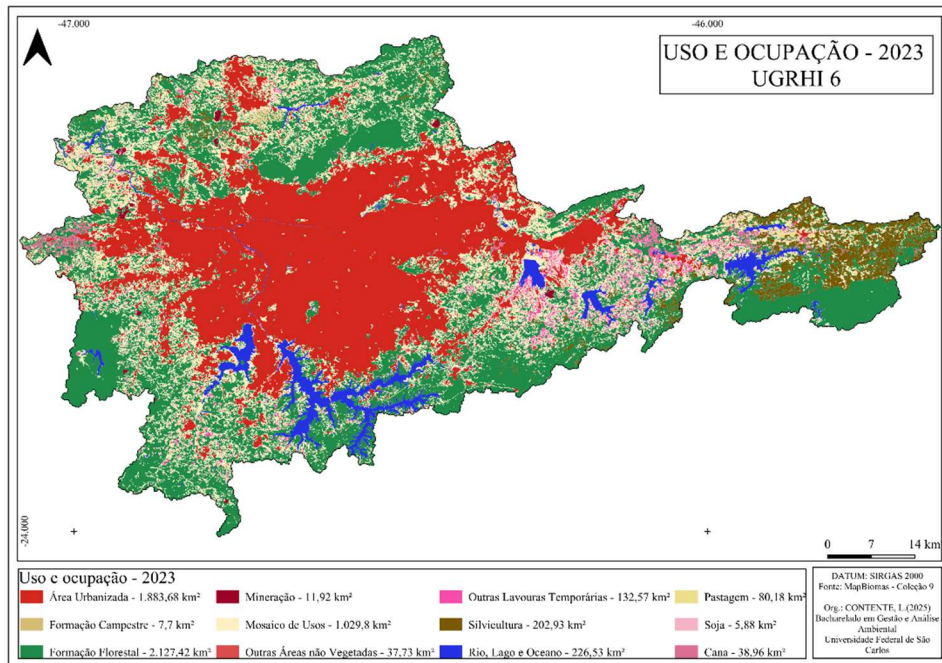
Apêndice 2: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (1995).



Apêndice 3: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (2005).



Apêndice 4: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (2015).



Apêndice 5: Mapa de uso e ocupação do solo na BHAT (2023).