



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM
GEOGRAFIA**

BÁRBARA SANTOS RIBEIRO

**Estimativa da pegada hídrica cinza urbana da região metropolitana de
Piracicaba-SP**

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

RIO CLARO - SP
2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas Câmpus de Rio Claro

BÁRBARA SANTOS RIBEIRO

**Estimativa da pegada hídrica cinza urbana da região metropolitana de
Piracicaba-SP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geografia.

Prof. Dr. Roberto Braga

Rio Claro
2025

R484e	Ribeiro, Bárbara Estimativa da pegada hídrica cinza urbana da região metropolitana de Piracicaba-SP / Bárbara Ribeiro. -- Rio Claro, 2025 113 f. : il., tabs. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro Orientador: Roberto Braga 1. Pegada Hídrica Cinza. 2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). 3. Saneamento Básico. 4. Gestão de Recursos Hídricos. 5. Região Metropolitana de Piracicaba-SP. I. Título.
-------	---

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas Câmpus de Rio Claro

BÁRBARA SANTOS RIBEIRO

**Estimativa da pegada hídrica cinza urbana da região metropolitana de
Piracicaba-SP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Roberto Braga
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Rodrigo Silva Lemos
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Prof. Dra. Patrícia Martinelli
DEGEO / UFSJ / São João del-Rei (MG)

Conceito: Aprovado

Rio Claro (SP), 15 de maio de 2025.

Agradecimentos

A realização desta dissertação marca o término de uma etapa desafiadora e enriquecedora da minha vida acadêmica e profissional. Ao longo deste percurso, fui agraciada com o apoio e a colaboração de diversas pessoas, às quais expresso minha mais sincera gratidão.

Agradeço primeiramente à minha mãe, Priscilla Santos Ribeiro, por todo o amor, apoio e incentivo incondicionais ao longo de toda a minha jornada. Sua força e dedicação foram pilares fundamentais para a realização deste trabalho, impulsionando-me a superar os desafios e a acreditar no meu potencial.

Agradeço também ao meu pai, Luiz Cássio Ribeiro (in memoriam), por ter me ensinado a importância da perseverança, da ética e da busca incansável pelo conhecimento. Seus ensinamentos e valores continuarão a me guiar, inspirando-me a trilhar um caminho de integridade e excelência.

Ao meu irmão, Cássio Santos Ribeiro, agradeço pelo companheirismo, apoio e por sempre acreditar em mim. Sua presença em minha vida é um presente valioso e sua amizade me fortalece e me motiva a seguir em frente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Braga, expresso minha profunda gratidão pela orientação, paciência e dedicação durante todo o processo de desenvolvimento desta dissertação. Seus conhecimentos e experiências foram essenciais para a conclusão deste trabalho, e sua orientação me permitiu aprofundar meus conhecimentos e desenvolver minhas habilidades de pesquisa. Agradeço ainda a todos os colegas e amigos que trilharam comigo esta jornada da pós-graduação. As trocas de experiências, os debates enriquecedores e o apoio mútuo foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional. Agradeço também aos professores e funcionários da instituição, que contribuíram com seus conhecimentos e apoio para a realização deste trabalho. Agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

E, por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia UNESP/Rio Claro, por me receber e, também, pela contribuição para este estudo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - 001 - Código de Financiamento.

Dedicatória

*“Presentemente eu posso me considerar um sujeito de sorte
Porque apesar de muito moço me sinto são e salvo e forte
E tenho comigo pensado
Deus é brasileiro e anda do meu lado
E assim já não posso sofrer no ano passado
Tenho sangrado demais, tenho chorado pra cachorro
Ano passado eu morri mas esse ano eu não morro
Tenho sangrado demais, tenho chorado pra cachorro
Ano passado eu morri mas esse ano eu não morro
Ano passado eu morri mas esse ano eu não morro
Ano passado eu morri mas esse ano eu não morro.”*

Compositor: Antonio Carlos Belchior (Belchior)

Este trecho da canção, dedico ao meu eterno pai, Sr. Luiz Cássio Ribeiro.

Resumo

A crescente urbanização e a desigualdade na infraestrutura de saneamento básico têm impactado diretamente a qualidade dos recursos hídricos, especialmente em regiões metropolitanas. Neste contexto, a Pegada Hídrica Cinza (PHcinza) emerge como um importante indicador para quantificar os impactos da poluição orgânica nos corpos d'água. O presente estudo tem como objetivo analisar a PHcinza urbana na Região Metropolitana de Piracicaba-SP, utilizando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) como parâmetro de qualidade da água. Os resultados evidenciaram disparidades significativas entre os municípios da região quanto à eficiência no saneamento. Enquanto algumas cidades, como Araras e Capivari, apresentam índices elevados de coleta e tratamento de esgoto, apresentam, também, uma elevada pegada hídrica cinza. Outras, como Rio das Pedras e Rafard, ainda despejam efluentes sem tratamento adequado, elevando substancialmente a pegada hídrica cinza e comprometendo a qualidade dos corpos hídricos locais. Além disso, mesmo em cidades com bons índices de coleta e tratamento de esgotos, a presença de carga orgânica remanescente reforça a necessidade de investimentos em tecnologias mais eficientes, reúso de água e soluções descentralizadas para minimizar os impactos ambientais. Os achados desta pesquisa reforçam a importância da pegada hídrica como ferramenta de gestão ambiental, fornecendo subsídios para políticas públicas voltadas para a expansão e aprimoramento do saneamento básico, monitoramento contínuo da qualidade da água e conscientização da população e setores produtivos. Conclui-se que a pegada hídrica cinza não apenas quantifica os impactos hídricos, mas também orienta ações estratégicas para a preservação dos recursos hídricos e a mitigação dos efeitos da urbanização sobre os ecossistemas aquáticos.

Palavras-chave: Pegada Hídrica Cinza; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Saneamento Básico; Gestão de Recursos Hídricos; Região Metropolitana de Piracicaba-SP.

Abstract

The increasing urbanization and inequality in basic sanitation infrastructure have directly impacted the quality of water resources, especially in metropolitan areas. In this context, the Grey Water Footprint (GWFP) arises as an important indicator to quantify the impacts of organic pollution on water bodies. This study aims to analyze the urban GWFP in the Metropolitan Region of Piracicaba-SP, using biochemical oxygen demand (BOD) as a water quality parameter. The results revealed significant disparities among the municipalities in the region regarding sanitation efficiency. While some cities, such as Araras and Capivari, show high rates of sewage collection and treatment, they also have a high grey water footprint. Others, such as Rio das Pedras and Rafard, still discharge untreated effluents, substantially increasing the grey water footprint and compromising the quality of local water quality. Moreover, even in cities with good sewage collection and treatment rates, the presence of remaining organic load reinforces the need for investments in more efficient technologies, water reuse, and decentralized solutions to minimize environmental impacts. The findings of this research emphasize the importance of the water footprint as an environmental management tool, providing support for public policies aimed at the expansion and improvement of basic sanitation, continuous monitoring of water quality, and raising awareness among the population and productive sectors. It is concluded that the gray water footprint not only quantifies the water impacts but also guides strategic actions for the preservation of water resources and the mitigation of the effects of urbanization on aquatic ecosystems.

Keywords: Gray Water Footprint; Biochemical Oxygen Demand (BOD); Basic Sanitation; Water Resource Management; Metropolitan Region of Piracicaba-SP.

Lista de figuras

Figura 1 - Consumo de água para a produção de itens alimentícios.....	6
Figura 2 - Os diversos componentes da Pegada Hídrica de um produto.....	7
Figura 3 - Os diversos componentes da Pegada hídrica e a divisão das águas dentro do ciclo hidrológico.....	10
Figura 4 - Contribuição (%) dos diferentes componentes para a Pegada Hídrica total de Caraguatatuba em 2012.....	14
Figura 5 - Disponibilidade hídrica superficial nas regiões hidrográficas brasileiras no ano de 2020.....	21
Figura 6 - Usos consuntivos setoriais da água em 2021.....	22
Figura 7 - Usos Consuntivos da Água nas Unidades da Federação.....	23
Figura 8 - Instrumentos da PNRH.....	37
Figura 9 - Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).....	34
Figura 10 - Interdependência dos sistemas de infraestrutura urbana.....	36
Figura 11 - A importância do saneamento.....	41
Figura 12 - Localização dos municípios da Região Metropolitana de Piracicaba-SP.....	47
Figura 13 - Unidades de Conservação inseridas nas bacias PCJ.....	60
Figura 14 - Captações superficiais, subterrâneas e lançamentos na UGRHI 09.....	67
Figura 15 - % de coleta de esgoto nas cidades da RMP em 2023.....	69
Figura 16 - % de tratamento de esgoto nas cidades da RMP em 2023.....	70
Figura 17 - % de eficiência do sistema de remoção de DBO nas cidades da RMP em 2023.....	72
Figura 18 - Fluxograma da metodologia de Hoekstra <i>et al.</i> , (2011).....	73
Figura 19 - Pegada hídrica per capita da RMP em 2023.....	84

Lista de tabelas

Tabela 1 - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e Bacias Hidrográficas.....	26
Tabela 2 - Estrutura Institucional da PERH do Estado de São Paulo.....	31
Tabela 3 - População Absoluta (2022), Densidade Demográfica (2022) e Taxa de Urbanização (2022).....	49
Tabela 4 - Distribuição do valor adicionado por setor econômico nos municípios da Região Metropolitana de Piracicaba em 2021.....	55
Tabela 5 - Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos (UGRHI).....	57
Tabela 6 - Valores de Referência de disponibilidade per capita da UGRHI 5.....	61
Tabela 7 - Disponibilidade das Águas da UGRHI 5.....	61
Tabela 8 - Disponibilidade per capita da UGRHI 09 (m ³ /hab.ano).....	63
Tabela 9 - Pegada Hídrica Cinza urbana e PHcinza per capita do ano de 2023 das cidades da região metropolitana de Piracicaba-SP.....	78
Tabela 10 - Dados do ano de 2023 sobre o tratamento de esgoto e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) das cidades com maior índice de pegada hídrica cinza.....	87

Lista de Gráfico

Gráfico 1 - Demanda de Água.....	64
Gráfico 2 - Gráfico de vazões superficiais e subterrâneas em relação a vazão total outorgada.....	66
Gráfico 3 - Gráfico vazão outorgada x finalidade de uso na UGRHI 09.....	68

Sumário

Apresentação.....	XV
Introdução.....	1
Objetivo principal.....	4
Objetivos Secundários.....	4
I Fundamentação Teórica: Conceito de Pegada Hídrica.....	5
1.1 Conceito e definição da Pegada Hídrica (PH).....	5
1.2 Pegada hídrica cinza.....	11
1.3 Pegada Hídrica em Contextos Urbanos.....	12
II Gestão de Recursos Hídricos no Brasil.....	15
2.1 Situação dos Recursos Hídricos no Brasil.....	15
2.2 Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil.....	23
2.3 Gestão dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo.....	28
2.4 Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).....	33
2.5 Gestão da Drenagem Urbana no Brasil.....	34
2.6 Saneamento urbano.....	37
2.6.1.1 Legislação Federal.....	39
2.6.1.2 Legislação Estadual.....	39
2.6.1.2.3 Legislação Municipal.....	40
III Materiais e Métodos.....	46
3.1 Localização e caracterização da área estudo.....	46
3.2 Alocação das atividades econômicas na RMP.....	54
3.3 Caracterização ambiental da RMP.....	56
3.4 Situação da disponibilidade hídrica da RMP (UGRHI 5 e 9).....	60
3.4.1 Bacias do PCJ (UGRHI 5).....	60
3.4.2 CBH-MOGI (UGRHI 9).....	62
3.5 Demanda de uso da água nas UGRHIS (5 e 9).....	63
3.5.1 Bacias do PCJ - (UGRHI 5).....	63
3.5.2 CBH-MOGI (UGRHI 9).....	65
3.6 Saneamento da Região Metropolitana de Piracicaba.....	69
3.7 Metodologia do cálculo da Pegada Hídrica Cinza.....	73
3.7.1 Poluente considerado no cálculo da PHcinza.....	75
3.7.2 Estimando a concentração máxima permitida do poluente no corpo de água (Cmax).....	75
3.7.3 Obtenção de dados para a estimativa da pegada hídrica cinza urbana.....	76
3.7.4 Limitações da Metodologia.....	77
IV Resultado e Discussão.....	78
4.1 Pegada hídrica cinza per capita.....	83
V Conclusão e Recomendações.....	92
VI Referências bibliográficas.....	94

Apresentação

A gestão dos recursos hídricos é um dos desafios centrais para o desenvolvimento sustentável, especialmente em regiões metropolitanas sujeitas a pressões urbanas e industriais. Nesse contexto, a pegada hídrica cinza surge como um indicador fundamental para avaliar os impactos das atividades humanas sobre os corpos d'água, uma vez que quantifica o volume de água necessário para diluir os poluentes até níveis aceitáveis.

Esta dissertação tem como objetivo analisar a pegada hídrica cinza urbana das cidades da Região Metropolitana de Piracicaba (RMP), utilizando como parâmetro a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). A escolha desse parâmetro se justifica pela sua representatividade na avaliação da carga orgânica despejada nos cursos d'água, sendo amplamente utilizado como indicador da qualidade da água e da eficiência dos sistemas de saneamento.

A pesquisa concentra-se na estimativa da pegada hídrica cinza das cidades que compõem a RMP, identificando as cidades com maior impacto. Considerando que a bacias hidrográficas em estudo abrange as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs) 5 e 9, a análise auxilia a fornecer subsídios para a formulação de estratégias voltadas para a redução da carga poluidora e a melhoria da qualidade das águas superficiais.

Os resultados obtidos poderão contribuir para o aprimoramento das estratégias de gestão ambiental na RMP, apontando medidas para minimizar os impactos do despejo de efluentes urbanos. Dessa forma, esta pesquisa busca fornecer um diagnóstico que auxilie na preservação dos recursos hídricos.

Introdução

O uso dos recursos hídricos é uma pauta importante no cenário global, introduzida nas discussões mediante as políticas públicas que fomentam a implementação de um modelo de desenvolvimento sustentável (Willet *et al.*, 2019). Portanto, a sustentabilidade equivale a distribuição equitativa deste recurso natural para a população, com infraestrutura adequada e de qualidade e de forma que não exceda o suporte biológico dos ecossistemas a longo prazo (Cavalcanti, 2012).

Atualmente, uma das principais implicações para a gestão dos recursos hídricos se baseia, segundo os autores Empinotti e Jacobi (2012) na promoção de práticas de gestão elencadas pelo uso eficiente da água, assegurar o uso sustentável deste recurso e principalmente, fomentar a responsabilização mediante à disponibilidade e qualidade hídrica. Desta forma, indicadores ambientais possuem uma grande importância para a implementação de práticas que incentivem o consumo sustentável dos recursos hídricos. Com isso, importantes conceitos se manifestam no contexto científico, como a pegada hídrica (PH). Este, se apresenta como um indicador multidimensional do uso da água e a avaliação do consumo (Velásquez *et al.*, 2011).

A Pegada Hídrica é um indicador ambiental e multidimensional relevante em um mundo onde a escassez de água é uma realidade crescente. À medida que a demanda por recursos hídricos cresce em detrimento ao desenvolvimento urbano, econômico e das mudanças climáticas, compreender e gerenciar nossa pegada hídrica torna-se uma prática crucial para assegurar a sustentabilidade hídrica e ambiental. Desta forma, a Pegada Hídrica surge como uma ferramenta fundamental para avaliar e quantificar o consumo da água ao longo da cadeia de produção, desde a obtenção de matérias-primas até o consumo final (Yu *et al.*, 2010).

O conceito de pegada hídrica foi desenvolvido por Hoekstra (2002). Sendo uma ferramenta que possibilita mensurar o uso direto e indireto da água e possui três componentes: a pegada hídrica azul (água superficial e subterrânea introduzida ao processo por meio da irrigação), a pegada hídrica verde (corresponde a água da chuva não escoada) e a pegada hídrica cinza (sendo o volume de água doce necessária para absorver uma carga de poluentes). Um exemplo sobre o cálculo deste indicador, de acordo com Mekonnen e Hoekstra

(2010) realizaram um estudo para mensurar a pegada hídrica do trigo, sendo uma das culturas que mais necessita de um grande volume de água no mundo. Os resultados deste trabalho possibilitaram compreender que o consumo de água desta cultura equivale a 1.087 km³/ano de pegada hídrica global, com média de 1.827 m³/tonelada.

Assim sendo, a relevância da pegada hídrica (PH) consiste na sua capacidade de estruturar um entendimento mais preciso do impacto na utilização da água associada a um determinado produto, processo ou estilo de vida. Pois, é possível mensurar o consumo direto de água (como por exemplo, para abastecimento) e também a água incorporada em matérias-primas e produtos intermediários. Com isso, a pegada hídrica avalia as interconexões entre os diferentes setores e regiões, destacando os vínculos entre a produção e o consumo de água de forma global (Empinotti e Jacobi, 2013).

Além de informar sobre o uso da água, a pegada hídrica também quantifica os impactos ambientais e socioeconômicos associados a esse uso. Essa ferramenta pode auxiliar a identificar áreas com escassez de água, avaliar o risco de degradação de ecossistemas hídricos, contribuir para a tomada de decisões e fomentar práticas sustentáveis mediante a gestão de recursos hídricos.

Portanto, a junção de governos, empresas e a participação da sociedade civil é de suma importância para o desenvolvimento de políticas e práticas que garantam o uso sustentável da água e a proteção dos ecossistemas hídricos. Como por exemplo, a implementação de regulamentações mais rigorosas, o investimento em infraestrutura hídrica adequada e de qualidade e o incentivo à pesquisa e inovação em tecnologias de conservação de água (Maracajá, 2013).

Esta dissertação tem como objetivo calcular a pegada hídrica cinza urbana da Região Metropolitana de Piracicaba-SP e, com isso, entender a necessidade do consumo hídrico consciente e se se justifica pela importância sobre o conhecimento da pegada hídrica cinza urbana, visando fornecer informações que subsidiem a implementação de medidas eficazes para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A análise da pegada hídrica cinza permitirá compreender o cenário atual do uso dos recursos hídricos, avaliar o impacto da urbanização na qualidade da água e propor medidas de mitigação.

A escolha por não abordar as pegadas hídricas verde e azul se dá pelo foco específico na poluição hídrica urbana na Região Metropolitana de Piracicaba (RMP). A pegada hídrica verde, relacionada à água da chuva, é mais relevante para atividades agrícolas e florestais, enquanto a pegada hídrica azul, referente à água doce consumida, não aborda diretamente o objetivo central desta pesquisa.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que representa a quantidade de oxigênio consumida por microorganismos na decomposição da matéria orgânica, será utilizada como parâmetro neste estudo devido à sua relevância na avaliação da pegada hídrica cinza urbana. A DBO permite quantificar a carga de poluição orgânica, principal poluente presente em efluentes domésticos e industriais, e, conseqüentemente, o volume de água necessário para diluir essa carga.

Objetivo principal:

Esta dissertação tem como objetivo principal o cálculo da pegada hídrica urbana cinza (PHcinza) urbana na Região Metropolitana de Piracicaba-SP.

Objetivos Secundários:

1. Comparar os níveis de coleta, tratamento de esgoto e avaliar a sua influência na carga orgânica residual dos corpos de água.
2. Avaliar a pegada hídrica cinza como indicador ambiental para a gestão dos recursos hídricos na Região Metropolitana de Piracicaba-SP.
3. Propor estratégias para mitigação dos impactos dos recursos hídricos.
4. Subsidiar discussões sobre a gestão dos recursos hídricos na região Metropolitana de Piracicaba-SP.

I Fundamentação Teórica: Conceito da Pegada Hídrica

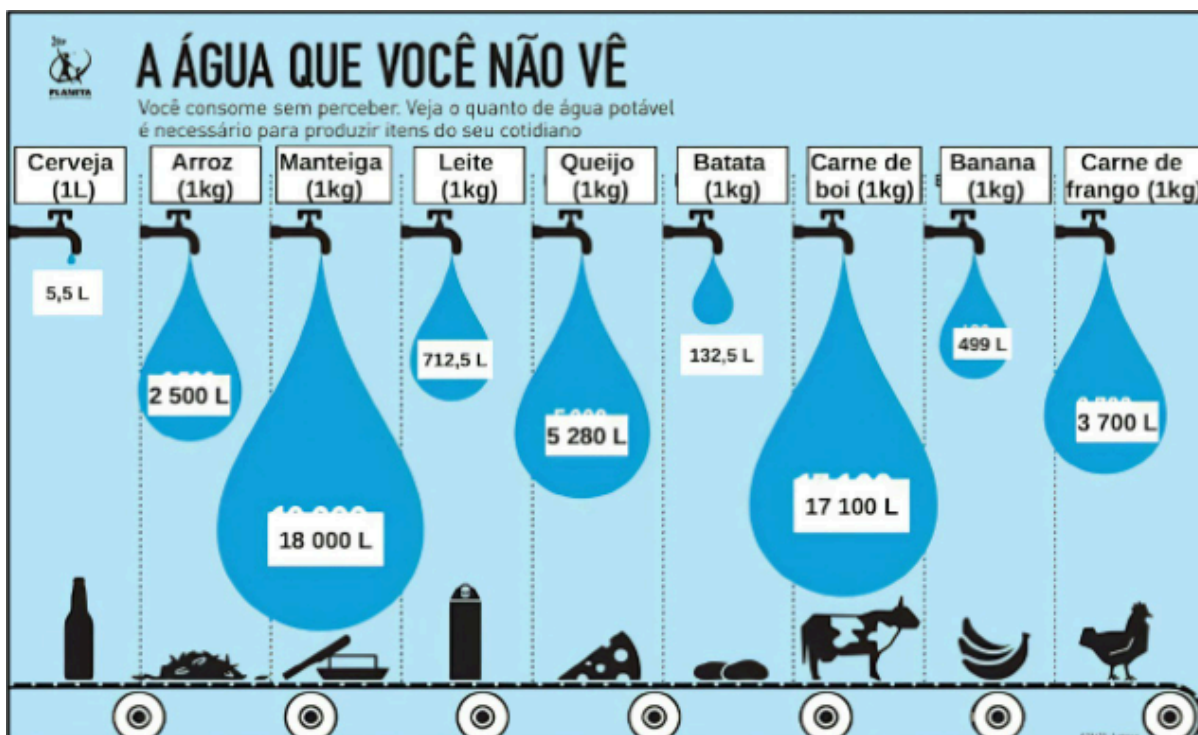
1.1 Conceito e definição da Pegada Hídrica (PH)

O conceito referente ao indicador ambiental pegada hídrica (PH) foi elaborado por Arjen Hoekstra no ano de 2002 na Holanda, durante uma assembleia que reunia profissionais qualificados sobre o mercado de “água virtual”. Hoekstra e Huang (2002) realizaram um estudo referente à pegada hídrica das nações. Após cinco anos, pesquisas mais amplas foram elaboradas por Hoekstra e Chapagain (2007) sobre o mesmo assunto. Além disso, Hoekstra determinou o nome pegada hídrica por conta da similaridade com o conceito pegada ecológica, termo cunhado por Mathis Wackernagel e William Rees, pesquisadores canadenses em 1990. E com isso, tornou-se um indicador que mensura os recursos naturais do planeta consumidos pelos seres humanos. Enquanto o cálculo da pegada ecológica é realizado em hectares, já a pegada hídrica em volume de água doce utilizada.

De acordo com Hoekstra (2003) o autor retrata que a visão sobre a gestão dos recursos hídricos se dava apenas de forma local e na delimitação de uma bacia hidrográfica, sendo que o problema abrange diversos fatores. À vista disso, a pegada hídrica (PH) representa um papel importante, já que possibilita uma melhor compreensão sobre a gestão dos recursos hídricos, o impacto do uso da água doce pelos seres humanos e também o mercado global. Por conseguinte, de acordo com Zhao *et al.*, (2009), Romaguera *et al.*, (2010) e Feng *et al.*, (2011) o indicador pegada hídrica se tornou um conceito global, diversos países utilizam essa ferramenta para mensurar o consumo de água dos indivíduos e também das mercadorias consumidas.

Para melhor compreensão deste conceito, mediante ao exposto acima, os seres humanos acreditam que o maior consumo de água é derivado do consumo diário. Porém, de acordo com a **Figura 1** o elevado consumo se dá através das mercadorias consumidas. Contudo, para mensurar o uso da água em determinados produtos, é considerada a quantidade de volume gasto para a produção dos mesmos.

Figura 1 - Consumo de água para a produção de itens alimentícios



Fonte: PLANETA SUSTENTÁVEL (2011)

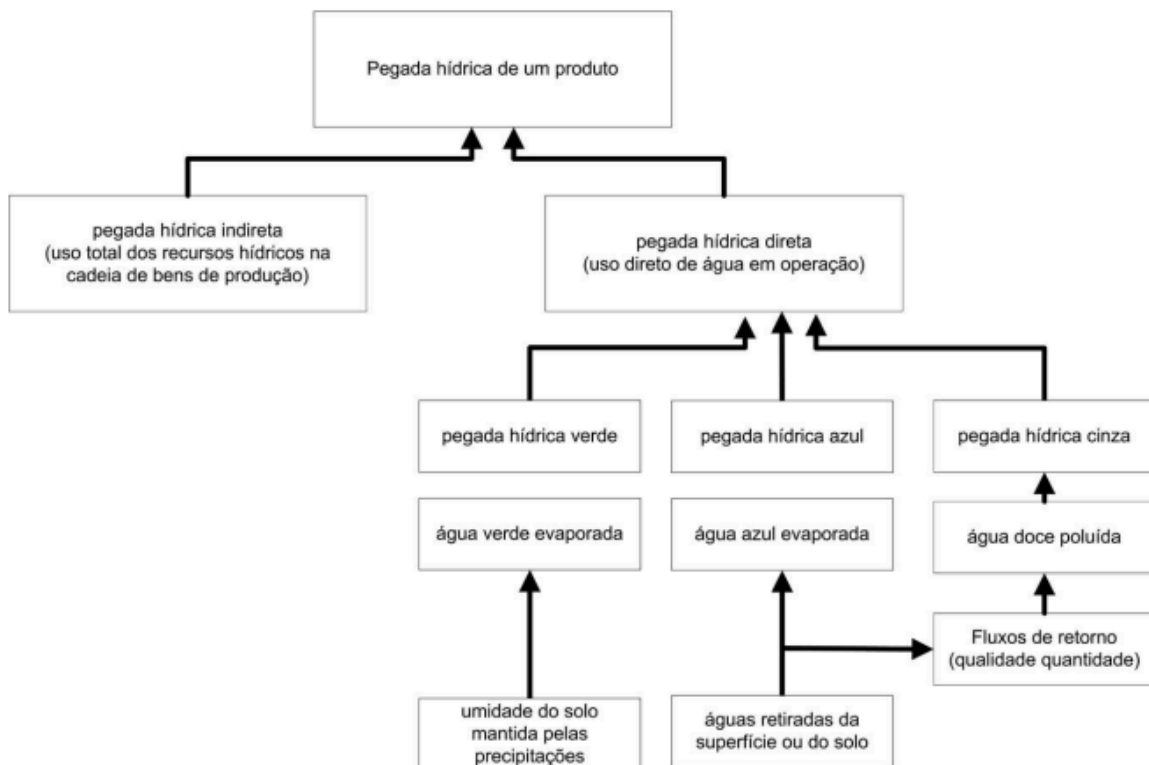
Com isso, segundo (Yu *et al.*, 2010) a definição para o cálculo da pegada hídrica (PH) é a utilização da água doce necessária para a produção de bens e serviços. Considerando também, a quantificação do consumo direto e indireto ao longo desta cadeia de produção de acordo com a **Figura 2**. O setor agrícola é um dos principais setores que consomem um grande volume de água para a manutenção de suas culturas e também o setor industrial, devido ao consumo elevado de água e a poluição da mesma.

Para validar o exposto acima e com base nos dados mais recentes do Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020, aqui estão as estimativas do consumo de água global por setor:

- 1. Agrícola:** Aproximadamente 70% do consumo global de água doce é destinado à agricultura. A irrigação de plantações continua sendo o maior consumidor de água.

2. **Industrial:** Cerca de 20% do uso de água doce é utilizado pela indústria. Isso inclui processos de produção, resfriamento de maquinários e outras atividades industriais.
3. **Doméstico:** O uso doméstico representa aproximadamente 10% do consumo de água. Isso inclui água para beber, cozinhar, lavar e outras atividades domésticas

Figura 2 - Os diversos componentes da Pegada Hídrica de um produto



Fonte: EMPINOTTI E JACOBI (2012)

De acordo com Oel *et al.*, (2009) é possível quantificar a pegada hídrica de indivíduos, comunidades e até nações. O cálculo para a pegada hídrica dos indivíduos e das comunidades é baseada na multiplicação do consumo total dos bens e serviços com a "água virtual", água embutida na produção das mercadorias consumidas. A pegada hídrica das nações é composta pelo uso da água dentro do respectivo país e também o consumo dos recursos hídricos de outros países através da "água virtual".

Allan (1998) introduziu o conceito de “água virtual” que está fortemente relacionado com o conceito de pegada hídrica. Esse autor teve como motivação contribuir com abordagens menos limitantes para solucionar questões associadas à escassez de recursos hídricos no Oriente Médio. O conceito foi difundido e posteriormente diversas pesquisas de diferentes países foram realizadas. Inclusive, estudos elaborados por Hoekstra (2003).

Em segmento, Hoekstra e Chapagain (2007) contribuíram para o estudo referente a “água virtual” ressaltando que este conceito abrange a somatória do consumo total de água doce utilizada em toda a produção em cadeia, desde da produção agrícola até a finalização da manufatura. Ou seja, o volume de água doce consumida para a produção de uma mercadoria ou bens e serviços. Com isso, é possível analisar que o volume de água consumido é maior durante a produção em cadeia do que no respectivo produto, exemplificando o termo “virtual”.

Além disso, Fernandez e Mediondo (2011) alegam que em países desenvolvidos, a pegada hídrica é maior que em países subdesenvolvidos por causa do maior consumo em relação a bens e serviços. Pois, em países subdesenvolvidos, há diversos fatores que interferem, como por exemplo o modelo de gestão agrícola que contribui diretamente para as crises climáticas que ocasionam em climas desfavoráveis que impactam na produtividade. Desse modo, é notório que a ação antrópica contribui para a crescente poluição e também os impactos sofridos pelas reservas naturais de água por conta da intensa captação desse recurso.

Logo, de acordo com Ercin *et al.*, (2011) retrata que a pegada hídrica demonstra-se como uma medida volumétrica capaz de identificar o consumo de água e o grau de poluição dos recursos hídricos.

Ou seja, ela oferece uma dimensão extensa e real sobre a situação do consumo de água realizado tanto por produtores rurais quanto por consumidores finais. Contudo, é possível compreender a degradação ambiental decorrente do intenso consumo de água e o grau de poluição de uma área através da suscetibilidade de retirada de água da reserva natural hídrica deste local. Portanto, a partir do cálculo da pegada hídrica é possível construir discussões relevantes baseadas nos fatores ambientais, econômicos e sociais pautadas na sustentabilidade e na distribuição equitativa da água.

Diante o exposto acima, Morrison *et al.*, (2010) aponta que o indicador pegada hídrica contribui para a conscientização de seus consumidores perante os recursos hídricos e na construção de informações que auxiliam na elaboração de uma gestão eficiente dos mesmos mediante ao uso de água em todo o mundo.

Com isso, Fernandez e Mediondo (2011, p.6) retratam que:

“Diante de um cenário com crescente demanda de água e consumo de produtos, bens e serviços, verifica-se a necessidade de medidas não-estruturais, incluindo políticas públicas relacionadas à educação para um consumo mais sustentável e medidas que permitam, por exemplo, que o consumidor escolha o produto que requer menor quantidade de água na sua produção ou cadeia produtiva.”

Portanto, para uma visão sustentável a partir da pegada hídrica, é essencial ponderar todos os fatores elencados acima. Desde a disponibilidade do sistema de água de uma determinada área, condições climáticas, bens e serviços e a quantidade de consumidores. Dessa forma, é possível elaborar a pegada hídrica de uma área delimitada e posteriormente, constatar por meio da comparação com outras regiões, produtos e processos os diferentes valores e diretrizes que auxiliam para a construção de estudos completos (Hoekstra e Chapagain, 2007).

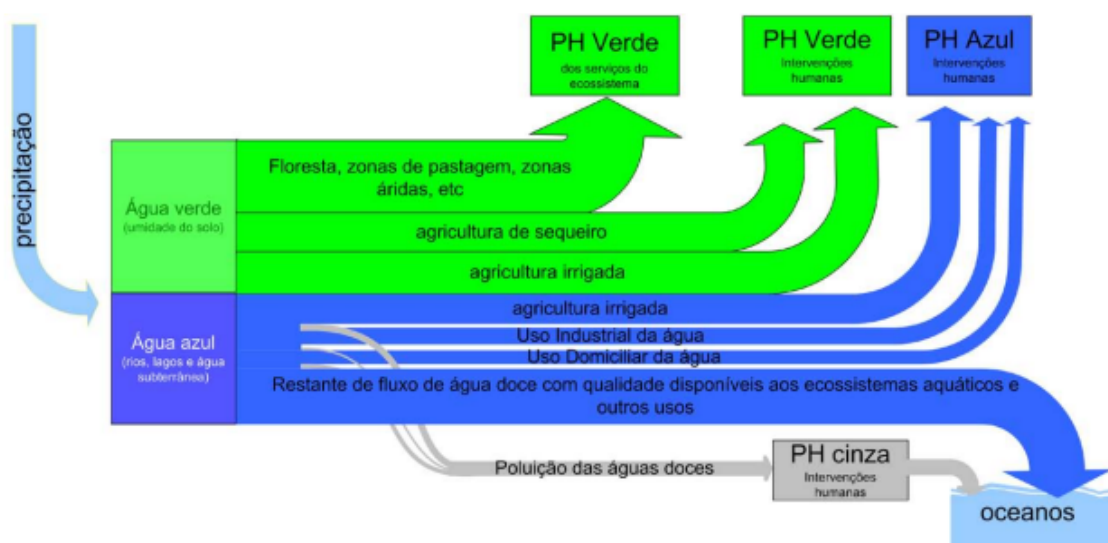
Logo, a pegada hídrica é composta por três componentes: Pegada hídrica azul, cinza e verde. De acordo com Mekonnen e Hoekstra (2010) é o volume de água doce superficial e subterrânea consumida em um processo produtivo. Permite avaliar o impacto do consumo de água em regiões com disponibilidade limitada, auxiliando na gestão de recursos hídricos e na identificação de áreas de risco, analisa a vulnerabilidade de setores produtivos em relação à disponibilidade de água, permitindo a avaliação de riscos e a busca por alternativas e também avalia o consumo de água em diferentes etapas de produção, possibilitando a identificação de oportunidades para otimizar o uso da água.

A pegada hídrica verde é o volume de água da chuva evaporada ou incorporada em produtos agrícolas e florestais (Hoekstra, *et al.*, 2011). Permite avaliar o impacto da produção agrícola no ciclo hidrológico, auxiliando na identificação de práticas agrícolas sustentáveis e na gestão de bacias hidrográficas, analisa a relação entre o uso da terra e a disponibilidade de água, permitindo a avaliação de impactos de diferentes atividades e o planejamento do uso do solo e contribui, também, para a eficiência do uso da água da chuva na

produção agrícola, possibilitando a identificação de oportunidades para aumentar a produtividade e reduzir a dependência de irrigação.

Por fim, a pegada hídrica cinza é um indicador capaz de quantificar o nível de poluição nos corpos hídricos e, geralmente, atrelados a estágios de um processo de produção (Hoekstra 2009).

Figura 3 - Os diversos componentes da Pegada hídrica e a divisão das águas dentro do ciclo hidrológico



Fonte: EMPINOTTI E JACOBI (2012)

A pegada hídrica apresenta diversas aplicações, como: gestão de recursos hídricos; avaliação de impactos ambientais; certificação e rotulagem; educação e conscientização; planejamento urbano e agrícola. É fundamental que se reflita sobre a pegada hídrica, ponderando seus alcances e limites. Embora não seja a única abordagem para a contabilização do consumo de água, sua aplicação tem o potencial de impactar significativamente e influenciar as práticas de gestão hídrica, variando conforme a maneira como é empregada.

1.2 Pegada hídrica cinza

A base teórica da pegada hídrica cinza está fundamentada na ideia de que os corpos d'água têm uma capacidade limitada de assimilar poluentes sem comprometer sua qualidade e os ecossistemas aquáticos. Quando essa capacidade é excedida, ocorre a degradação da qualidade da água, com impactos negativos para a saúde humana, a biodiversidade e os usos múltiplos da água, como abastecimento público e irrigação.

Portanto, para a determinação da pegada hídrica cinza envolve a identificação dos principais poluentes, a quantificação de suas cargas e a determinação das concentrações máximas permitidas. Esses dados são obtidos por meio de monitoramento ambiental, modelos matemáticos e normas técnicas. A complexidade do cálculo varia conforme a escala de análise (local, regional ou global) e a disponibilidade de dados.

Este componente é determinado como sendo o volume de água fundamental para incorporar a porção de poluentes fundamentada no estado natural e nos padrões ambientais concebidos. Dessa forma, a pegada hídrica cinza foi elaborada através da compreensão da dimensão da carga de poluentes em um corpo hídrico que se dá através do volume de água fundamental para a incorporação desses poluentes para que se tornem inofensivos. (Hoekstra, 2009).

A ocorrência natural num corpo hídrico é a concentração no volume de água caso não decorra-se a deposição de substâncias derivadas das ações antrópicas. Pois, em condições naturais, essas substâncias não seriam encontradas no corpo d'água. Portanto, caso as concentrações naturais não sejam identificadas mas consideradas mínimas, entende-se que a concentração natural no volume de água é nula. Posto que, de acordo com Hoekstra, *et al.*, (2011) os padrões de qualidade ambiental da água em concentrações naturais são estabelecidos em legislações nacionais ou estaduais, baseadas através de determinadas bacias hidrográficas ou corpo hídrico em esfera de legislação nacional ou regional.

Outro fator relevante, no contexto das mudanças climáticas, a pegada hídrica cinza adquire ainda maior relevância. O aumento da temperatura e a alteração dos padrões de precipitação podem reduzir a disponibilidade de água e sua capacidade de diluição, exacerbando os impactos da poluição. Nesse cenário, a redução da pegada hídrica cinza torna-se uma estratégia essencial para garantir a segurança hídrica (Aldaya *et al.*, 2018).

1.3 Pegada Hídrica em Contextos Urbanos

A aplicação do conceito de pegada hídrica em contextos urbanos é um campo em crescimento, dada a importância crescente das cidades como centros de consumo de recursos. As áreas urbanas, caracterizadas por alta densidade populacional e intensa atividade econômica, exercem uma pressão significativa sobre os recursos hídricos disponíveis, muitas vezes resultando em escassez de água e degradação da qualidade dos recursos hídricos (Vörösmarty *et al.*, 2000).

Estudos como os de Chapagain e Hoekstra (2004) e Mekonnen e Hoekstra (2011) destacam a importância da pegada hídrica na avaliação da sustentabilidade urbana. Nessas áreas, a pegada hídrica é influenciada por fatores como densidade populacional, tipos de indústrias presentes, práticas agrícolas e políticas de gestão da água. Por exemplo, cidades com indústrias de alto consumo de água, como a produção de alimentos e bebidas, geralmente apresentam uma pegada hídrica mais alta (Allan, 1998).

Em muitos casos, as cidades importam uma grande quantidade de produtos agrícolas e industriais que foram produzidos em outras regiões do país ou do mundo, carregando consigo uma pegada hídrica invisível. Isso significa que, embora a água não seja diretamente consumida na cidade, ela é essencial para sustentar o estilo de vida urbano. Este conceito de água virtual é essencial para entender a pegada hídrica urbana, pois revela a interconexão global dos fluxos de água e como as decisões de consumo em uma cidade podem impactar recursos hídricos distantes (Hoekstra e Mekonnen, 2012).

Logo, também está intimamente ligada às questões de qualidade da água, que são abordadas pela pegada hídrica cinza. Em muitas cidades, a infraestrutura de tratamento de esgoto e a gestão de efluentes industriais são inadequadas, resultando em uma pegada hídrica cinza elevada, que indica uma

alta carga poluente sobre os corpos d'água (Falkenmark e Rockström, 2004).

Assim, a análise da pegada hídrica em contextos urbanos não apenas fornece informações sobre o volume de água consumido, mas também sobre os desafios de qualidade da água e a necessidade de melhorar as infraestruturas de saneamento.

A sustentabilidade da pegada hídrica urbana depende da capacidade das cidades de adotar práticas que reduzam o consumo excessivo de água e minimizem a poluição. Isso pode incluir a implementação de tecnologias de reuso de água, a promoção de uma arquitetura mais sustentável que reduza a necessidade de água para resfriamento e irrigação, e a melhoria dos sistemas de saneamento para tratar adequadamente os efluentes urbanos (Gleeson *et al.*, 2012).

Portanto, a pegada hídrica cinza assume um papel de destaque devido à natureza concentrada e diversificada das atividades humanas. A complexidade dos sistemas urbanos, com suas indústrias, comércios e residências, resulta em uma produção massiva de efluentes carregados de poluentes. A pegada cinza, que mensura o volume de água necessário para diluir esses poluentes a níveis seguros, torna-se um indicador crucial para avaliar o impacto da poluição na qualidade dos recursos hídricos locais (Hoekstra *et al.*, 2011).

A relevância da pegada cinza em contextos urbanos reside em sua capacidade de evidenciar a pressão exercida sobre os sistemas de tratamento de água e esgoto. Em cidades, a demanda por tratamento é intensa, e a pegada cinza destaca a necessidade de investimentos em infraestrutura para garantir a saúde pública e a preservação dos ecossistemas aquáticos. Além disso, a pegada cinza serve como um instrumento para monitorar e mitigar os riscos de contaminação da água potável, incentivando a adoção de práticas de gestão hídrica mais sustentáveis (Aldaya *et al.*, 2018).

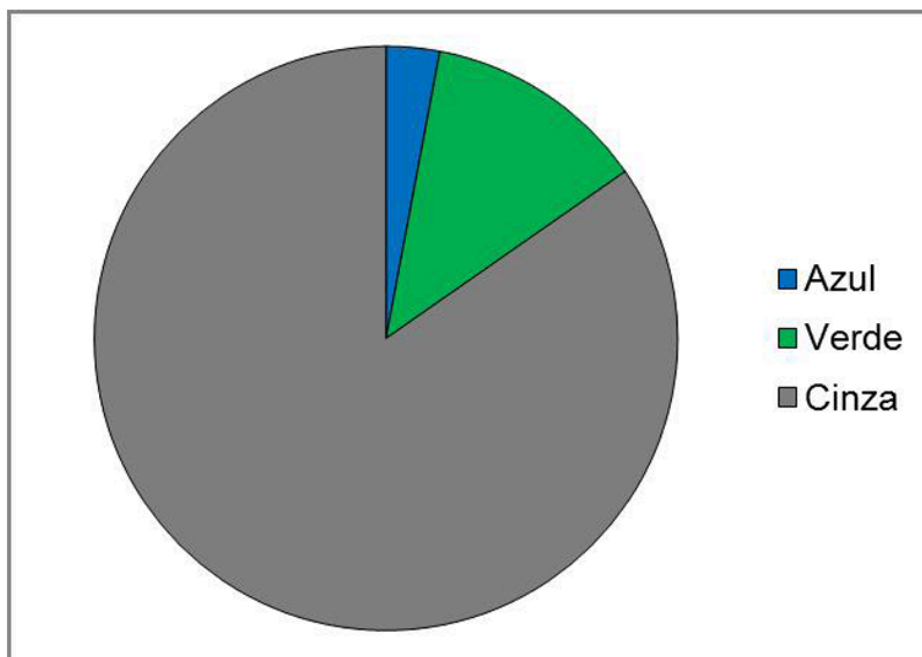
Por outro lado, as pegadas hídricas verde e azul, embora importantes em outros contextos, apresentam limitações em áreas urbanas. A pegada verde, que se refere à água da chuva armazenada no solo, tem sua relevância diminuída em áreas urbanas, visto que a mesma é importante para a área rural. Já a pegada azul, que mede o consumo de água de corpos hídricos superficiais e subterrâneos, não reflete adequadamente o impacto da poluição na qualidade da

água, um aspecto central em áreas urbanas (Hoekstra *et al.*, 2011).

Para corroborar com o exposto acima, Vieira e Sousa Junior (2012) realizaram um estudo sobre a pegada hídrica do município de Caraguatatuba-SP. E, evidenciaram que a pegada hídrica cinza teve a maior porcentagem entre as componentes. Logo, analisando os dados da **Figura 4**, observa-se que a pegada hídrica municipal é predominantemente influenciada pela água cinza, representando 85% do total. A água verde contribui com 12% da pegada hídrica, enquanto a água azul responde pela parcela restante. Essa distribuição evidencia a importância da gestão da água cinza no contexto urbano, dada a sua significativa contribuição para a pegada hídrica total.

Ao analisar a pegada hídrica específica de cada atividade no município, o tratamento de esgoto se destaca como o principal contribuinte para a pegada hídrica total, representando 85% do total. As atividades de pastagem, pecuária e abastecimento público contribuem com 12%, 0,7% e 3% da pegada hídrica total, respectivamente. Essa distribuição evidencia a necessidade de priorizar a gestão do tratamento de esgoto como forma de reduzir a pegada hídrica municipal.

Figura 4 - Contribuição (%) dos diferentes componentes para a Pegada Hídrica total de Caraguatatuba em 2012



Fonte: VIEIRA E SOUSA JUNIOR (2012)

II Gestão de Recursos Hídricos no Brasil

2.1 Situação dos Recursos Hídricos no Brasil

De acordo com o IBGE (2022), o território brasileiro apresenta 510.417,771 km²¹ e aproximadamente 212.583.70 milhões de indivíduos, de acordo com as Projeções das Populações do IBGE (2024)². Com isso, dada a sua extensão territorial e a quantidade de habitantes, tornou o Brasil o quinto país do mundo de acordo com essas proporções. Contudo, mediante a sua vasta área territorial, possibilitou também diversas conjunturas como o desequilíbrio entre a distribuição dos habitantes, o desenvolvimento social e econômico e os diferentes períodos climáticos.

À vista disso, o Brasil apresenta uma grande disponibilidade hídrica em comparação aos outros países do mundo. Segundo o Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023 - Informe anual, a principal fonte de água para o continente é a chuva, cuja quantidade e padrão de ocorrência ao longo do ano variam pelo território. Mesmo que a média anual de precipitação no Brasil seja cerca de 1.760 mm, existem regiões onde o volume de chuva é significativamente menor, como o Semiárido, com menos de 500 mm, e outras onde é muito maior, como a Amazônia, que registra mais de 3.000 mm. Essas variações são evidentes até mesmo dentro de bacias hidrográficas, como é o caso da UGRHI São Francisco.

As variações nos regimes fluviométricos, tanto no espaço quanto no tempo, observadas nas bacias hidrográficas brasileiras são influenciadas por diversas condições climáticas, armazenamento de água no solo, demandas evaporativas, inclinação do terreno e cobertura vegetal. No entanto, o principal fator é a chuva, resultando em maiores vazões durante os períodos úmidos e menores nos períodos secos ou de estiagem.

Dos 255 mil m³/s de água que escoam, em média, pelo território brasileiro,

¹ IBGE. IBGE atualiza dados geográficos de estados e municípios brasileiros. Agência de Notícias, 29 mar. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/36532-ibge-atualiza-dados-geograficos-de-estados-e-municipios-brasileiros>. Acesso em: 16 jun. 2025.

² IBGE. Projeções 2024: Tabela 4 – Indicadores. [S. l.]: IBGE, 2024. Disponível em: [\[projeco.es_2024_tab4_indicadores.ods\]](#). Acesso em: 16 jun. 2025.

cerca de 80% estão na bacia Amazônica. A vazão de estiagem representa cerca de 30% da vazão média, sendo 63 mil m³/s na bacia Amazônica e 13,5 mil m³/s no restante do país, com variações significativas entre as bacias. Enquanto a vazão de estiagem em rios da bacia do Paraná pode superar 40% da vazão média, em bacias do Semiárido, a maioria dos rios seca no período de estiagem.

Assim, a garantia de oferta de água só pode ser aumentada por meio de reservatórios artificiais ou pela transferência de água de outras bacias. Consoante as bases de dados da ANA, as variações anuais de precipitação tendem a ser mais pronunciadas em regiões como o Semiárido, comparado ao Sudeste do Brasil. Para mitigar os impactos decorrentes das flutuações nas vazões ao longo do tempo, são implementadas obras de infraestrutura hídrica, com ênfase em reservatórios artificiais.

Portanto, o Brasil possui aproximadamente 240 mil corpos d'água mapeados, dos quais 3.661 são reservatórios artificiais com capacidade total de armazenamento documentada, somando 630,2 bilhões de m³, sendo 92,7% deste total destinado à geração de energia hidrelétrica. As maiores capacidades de armazenamento de água encontram-se nas UGRHs das bacias do Paraná (Paraná, Iguaçu, Paranapanema, Grande e Paranaíba), Tocantins-Araguaia e São Francisco, totalizando cerca de 266 bilhões de m³. Em 2022, a ANA, em colaboração com instituições parceiras, monitorou 715 infraestruturas hídricas, incluindo reservatórios, usinas hidrelétricas e estações de bombeamento, por meio do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR).

Mediante o Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023 - Informe anual, em 2022 o Brasil registrou, de modo geral, precipitações acima da média histórica, embora alguns locais tenham apresentado um comportamento mais seco que o normal. No estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, foram observadas precipitações 25% a 50% menores do que a média histórica, especialmente na região oeste do estado. A porção sul da Região Hidrográfica Paraguai também apresentou precipitação significativamente inferior ao esperado em 2022, com totais acumulados 50% a 75% menores que a média em algumas estações de monitoramento.

À vista disso, a região Nordeste, por outro lado, registrou um aumento nas precipitações em relação a 2021, com chuvas acima da média histórica, fato que

se refletiu positivamente na situação do armazenamento dos reservatórios na região. A RH Paraná, que recentemente passou por uma seca severa, também registrou aumento das precipitações em relação a 2021.

Na Amazônica, embora alguns locais tenham apresentado precipitações abaixo da média histórica, de forma geral foram observadas precipitações acima da média, com diversas estações apresentando totais acumulados 50% acima da média histórica (SNIRH, 2023).

Com base nisso, em 2022, as chuvas no Brasil foram consideradas normais, com tempos de retorno inferiores a 20 anos para cheias e secas. No entanto, algumas áreas, como a RH Amazônica, a cabeceira da RH São Francisco e as porções médias das RHs Tocantins-Araguaia e Atlântico Leste, registraram chuvas intensas com tempos de retorno acima de 100 anos. A RH Paraná apresentou variações de seca e cheia com tempos de retorno menores que 20 anos, enquanto a RH Paraguai teve precipitações consideradas normais, com algumas áreas registrando tempos de retorno superiores a 50 anos para cheias e secas (SNIRH, 2023).

Referente à estiagem de chuva dos últimos anos que implica diretamente nos reservatórios brasileiro do Sistema Interligado Nacional (SIN) registraram, no final de 2022, um volume útil de 59%, cerca de 18% a mais que em dezembro de 2021. Em meados de junho de 2023, o volume dos reservatórios do SIN atingiu aproximadamente 88%, o maior valor observado nesse período nos últimos 30 anos. No Nordeste, uma região fortemente dependente da água armazenada em reservatórios, houve recuperação dos volumes entre 2017 e 2022. No início de 2023, o volume armazenado no reservatório equivalente do Nordeste era de 39,9%, cerca de 7% a mais que no início de 2022. O estado do Ceará destacou-se com um aumento de 10,6% no volume de seus reservatórios em 2022.

Consoante o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH, 2023), a disponibilidade de água superficial depende da contribuição dos aquíferos, que sustentam o fluxo de base da maioria dos rios no território nacional. Entretanto, a extração excessiva de águas subterrâneas pode comprometer esse fluxo, reduzindo a vazão dos rios. Por esse motivo, a estimativa da disponibilidade hídrica subterrânea considera apenas uma fração

das reservas renováveis dos aquíferos, correspondente à parcela da recarga, enquanto o restante é reservado para a manutenção das vazões dos rios.

Corroborando com o exposto acima, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH, 2023) pontua que a disponibilidade de água subterrânea no Brasil é estimada em aproximadamente 13.205 m³/s, porém sua distribuição pelo território nacional é irregular, assim como ocorre com as águas superficiais. As características hidrogeológicas dos aquíferos variam em produtividade, resultando em regiões com escassez e outras com maior disponibilidade. A extração de água por meio de captações subterrâneas e poços permite avaliar a parcela já utilizada desse recurso. Atualmente, há 388.514 poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)³, mantido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), representando um crescimento em relação ao ano anterior. As maiores concentrações de poços registrados estão associadas aos sistemas aquíferos Açu, Bauru-Caiuá, Guarani e Serra Geral.

É importante ressaltar que, apoiado no Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023 - Informe anual, o monitoramento das águas subterrâneas no Brasil ainda é bastante inicial em comparação ao das águas superficiais e é conduzido de forma descentralizada. Estados como São Paulo, Ceará, Distrito Federal e Minas Gerais possuem suas próprias redes de monitoramento. Em nível nacional, o Serviço Geológico do Brasil administra a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS)⁴. Atualmente, a RIMAS conta com 504 poços de monitoramento dos níveis de água subterrânea, com alertas de qualidade, distribuídos em 25 aquíferos de 22 unidades federativas.

Um aspecto fundamental para a compreensão da situação dos recursos hídricos no Brasil é a qualidade da água, tanto superficial quanto subterrânea, pois influencia diretamente sua adequação para diferentes usos, como abastecimento humano, lazer, agricultura e processos industriais.

Diversos fatores determinam a qualidade da água, incluindo condições

³ SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. [S. l.]: SGB, [2025]. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

⁴ SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). RimasWeb: Sistema Integrado de Monitoramento de Águas Subterrâneas. [S. l.]: SGB, [s.d.]. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/rimasweb/>. Acesso em: 16 jun. 2025

naturais, como regime de chuvas, escoamento superficial, características geológicas e cobertura vegetal, bem como interferências humanas. Entre os impactos antrópicos, destacam-se fontes de contaminação pontuais e difusas, resultantes do lançamento de efluentes, uso e manejo do solo, além do descarte inadequado de substâncias na superfície ou no subsolo. No caso das águas subterrâneas, a interação com as formações rochosas dos aquíferos e o tempo de permanência no subsolo também exercem influência sobre sua composição.

Diante desses fatores, torna-se essencial um monitoramento contínuo da qualidade da água, a fim de garantir sua disponibilidade em condições adequadas para os diversos usos e minimizar riscos ambientais e à saúde pública.

Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH, 2023), o monitoramento desempenha um papel essencial na gestão dos recursos hídricos, permitindo avaliar a qualidade das águas em rios, lagos e reservatórios. Essa atividade possibilita a identificação de tendências, a definição de áreas prioritárias para o controle da poluição e a verificação da adequação da água para diferentes finalidades. Além disso, o monitoramento é fundamental para a formulação de planos de gestão hídrica e para a classificação dos corpos d'água conforme seu uso mais restritivo. As informações obtidas servem como base para um diagnóstico detalhado das condições hídricas dentro de uma bacia hidrográfica, auxiliando na tomada de decisões e na implementação de políticas de preservação e recuperação da qualidade da água.

Dessa forma, a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA) representa uma das principais fontes de informação sobre a qualidade dos recursos hídricos no Brasil. Embora a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) tenha como foco principal a avaliação da quantidade de água disponível, ela também realiza a coleta de dados sobre indicadores básicos de qualidade, incluindo pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e condutividade elétrica. Para isso, utiliza sondas multiparamétricas em todas as unidades da federação, garantindo um acompanhamento amplo e sistemático. Embora haja uma vasta quantidade de dados coletados em vários corpos hídricos ao longo do território brasileiro, ainda existem áreas sem informações. Algumas unidades federativas estão começando a monitorar a qualidade da água e, em outras regiões onde o monitoramento já ocorre, há lacunas quanto à representatividade

temporal e espacial dos dados (SNIRH, 2023).

Apesar dessa extensa disponibilidade hídrica no Brasil, ocorre uma ampla assimetria referente a produção hídrica e a distribuição populacional. Apesar dos avanços significativos, ainda ocorrem grandes desigualdades na distribuição de água, especialmente entre áreas urbanas e rurais. Segundo Aleixo *et al.* (2016), por mais que o acesso à água tratada tenha se expandido nos centros urbanos, diversas regiões periféricas ainda enfrentam desafios significativos referente ao abastecimento. As desigualdades no acesso a este recurso refletem as disparidades socioeconômicas e as deficiências estruturais do país. Como ressaltado por Paiva e Souza (2018), em várias regiões, especialmente nas mais remotas ou com condições climáticas adversas, a população continua a depender de fontes de água contaminadas, agravando os problemas de saúde pública e comprometendo o bem-estar social.

De acordo com o IBGE (2000), entre os anos de 1970-2000 ocorreu um aumento do número da população urbana, que estava abaixo de 56% e subiu para mais de 81%. Ou seja, ao longo desses 30 anos a crescente taxa da população urbana é uma das principais causas dos impactos aos recursos hídricos. Segundo Neder (2002) em 1990 já pôde se observar que a disposição da população é um fator mais relevante que o próprio crescimento populacional. Pois, a disposição espacial demográfica é um coeficiente importante para as atividades ambientais de um país.

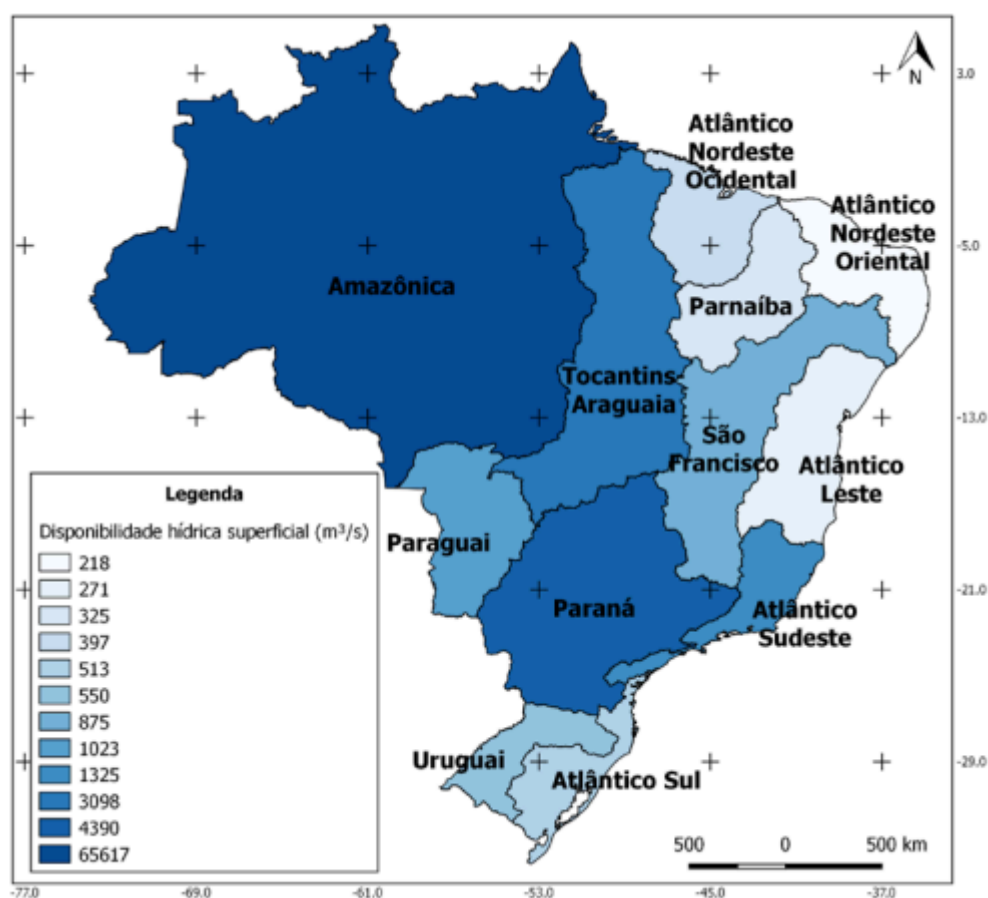
Em 2021, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a população brasileira entrou na marca de 213,3 milhões de habitantes. Os dados divulgados indicam que a concentração demográfica se encontra nas grandes cidades. Sendo 17 municípios com mais de 1 milhão de habitantes (14 deles são as capitais). Portanto, esses municípios abrangem cerca de 21,9% da população ou 46,7 milhões de indivíduos. Os outros 49 têm mais de 500 mil habitantes e 326 dispõem de mais de 100 mil indivíduos.

Além do crescimento demográfico da população brasileira ser cada vez maior e ser crucial para a disponibilidade hídrica (**Figura 5**), Neder (2002) aponta outros fatores que implicam na situação de abastecimento hídrico brasileiro. Como por exemplo, a expansão dos setores agrícolas e industriais gerando uma pressão

nas reservas naturais hídricas referente a demanda intensa e crescente de uma região, afetando a qualidade e disponibilidade da água.

Em complemento, Cosgrove e Loucks (2015) indicam que em 2050 a demanda aumentará em relação ao ano de 2015. Portanto, a crescente demanda pelo uso dos recursos hídricos está diretamente ligada com o aumento da competição por energia e alimentos.

Figura 5 - Disponibilidade hídrica superficial nas regiões hidrográficas brasileiras no ano de 2020



Fonte: SANTOS ET AL., (2020)

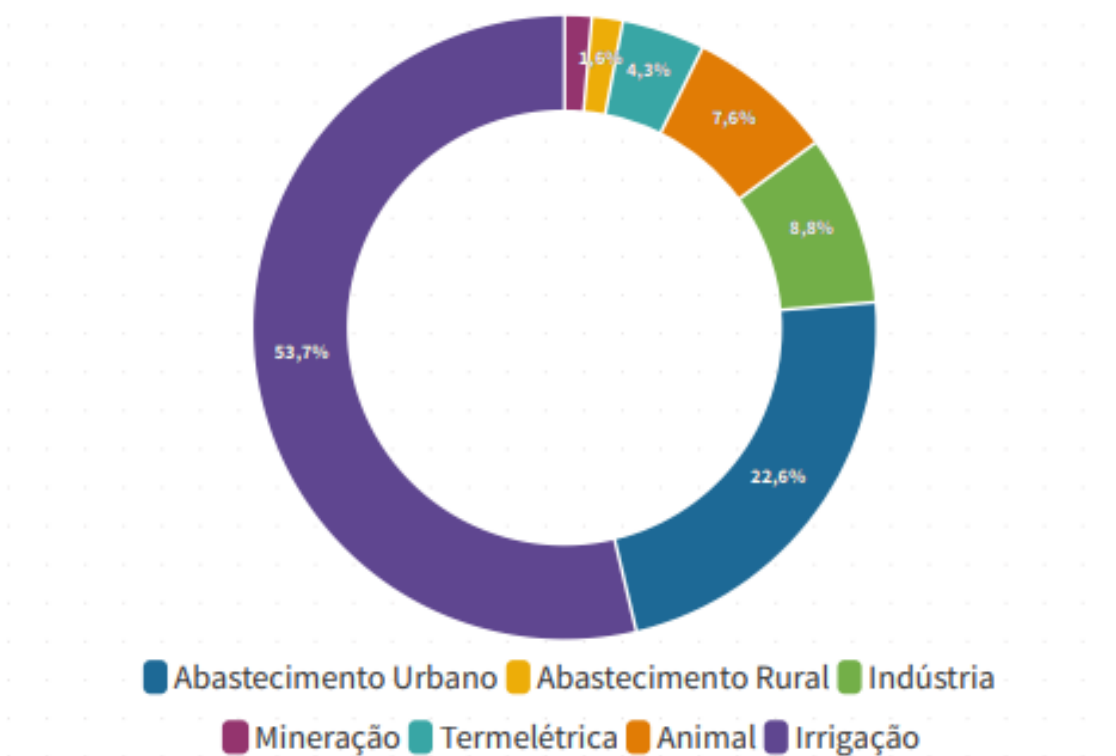
De acordo com o autor Neder (2002) há diversos fatores que implicam na situação de abastecimento hídrico brasileiro, como por exemplo, a conjuntura do uso consuntivo de água no Brasil (**Figura 6**). A ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) publicou “A Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2022” e neste informe a Agência evidencia a contínua e crescente demanda por

água no país principalmente pela agricultura irrigada, abastecimento urbano e as indústrias. Contudo, aponta que a agricultura irrigada, nas últimas décadas, consome cerca de 50% da totalidade do uso consuntivo de água no Brasil em 2021.

Entretanto, as condições econômicas, climáticas e ambientais são fatores que alteram a demanda de água. ANA (2022) aponta que o arranjo de oferta e demanda de um setor produtivo está diretamente ligado ao uso do solo e critérios. Com isso, se há a alteração desses fatores, há também alteração na demanda pelo consumo de água. Entretanto, essa conjuntura também é afetada mediante as alterações climáticas. Como por exemplo: período de seca ou chuva, eventos climáticos intensos como inundações entre outras causas. No Brasil, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo e Bahia são os estados que mais consomem água. Pois, na Bahia e em Minas Gerais, o uso da água é voltada para a irrigação em pivôs. No Rio Grande do Sul há a cultura de arroz irrigado que exige um grande volume de água. E, referente a **Figura 7** o consumo de água do estado de São Paulo é voltado para o abastecimento urbano. À vista disso, a demanda de água está intrinsecamente vinculada aos sistemas sociodemográficos e das atribuições econômicas de um respectivo município (ANA, 2022).

Figura 6 - Usos consuntivos setoriais da água em 2021

Retirada total dos usos setoriais: 2.134,8 m³/s ≈ 67,32 trilhões de L/ano

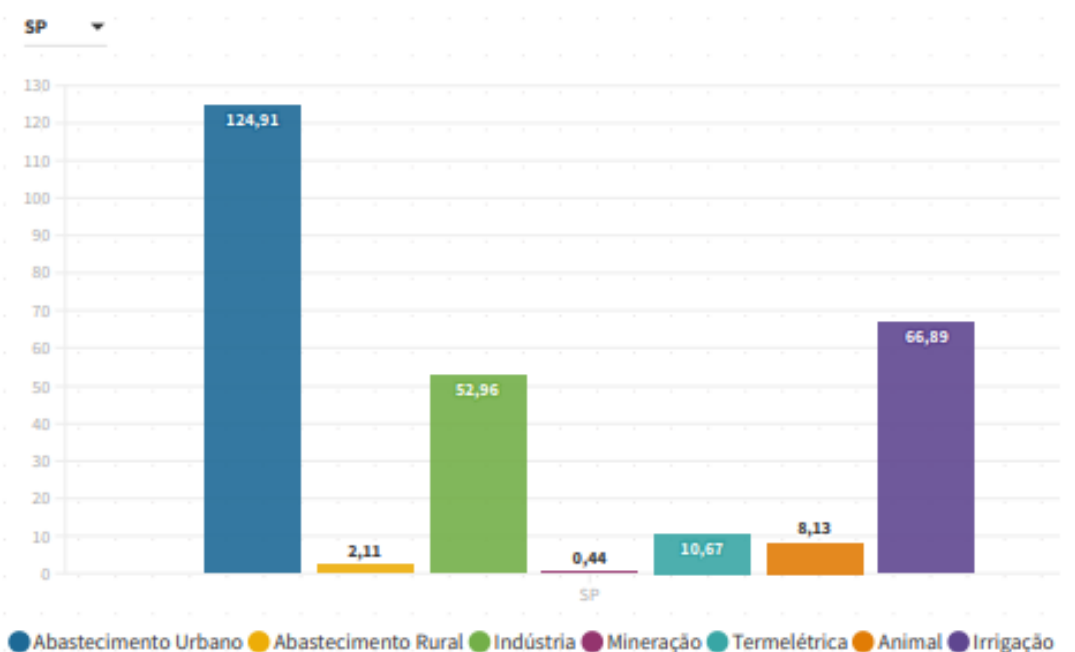


Fonte: ANA (2022)

Figura 7 - Usos Consuntivos da Água nas Unidades da Federação

USOS CONSUNTIVOS SETORIAIS DA ÁGUA NAS UF's

Retirada em 2021, em m³/s



Fonte: ANA (2022)

2.2 Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil

De acordo com a crescente preocupação com o uso da água, segundo Borsoi e Torres (1997) a gestão de recursos hídricos passou a ser um fator relevante para o Brasil na década de 30 e neste período, a água era associada ao Ministério da Agricultura. Não obstante, a Diretoria de Águas foi originada no ano de 1933 e em seguida nomeada como Serviço de Águas.

Entretanto, este ofício foi concedido para a organização do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) em meados de 1934 que, inclusive, ocorreu a edição do Código das Águas. Em 1961, o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) passou a vincular-se ao Ministério das Minas e Energia. Pois, neste momento, a gestão estava voltada para o setor elétrico. Contudo, no ano de 1965 decorreu-se a segmentação do Serviço de Águas, representado como Departamento Nacional de Águas e Energia (Dnae). Posteriormente, em 1968, este Departamento foi alcunhado como Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). Mediante a configuração voltada

para a preocupação do setor elétrico, ocorreu a demanda por um modelo focado para este setor que, fundamentalmente, colaborava com a urgência do desenvolvimento do Brasil.

Dessa forma, de acordo com Borsoi e Torres (1997) a realização da Conferência Mundial do Meio Ambiente de Estocolmo em 1972 que, abrangeu uma pauta relevante sobre a necessidade de ações voltadas para o meio ambiente, repercutiu, no mesmo ano, na criação da Secretaria Especial de Meio Ambiente (Sema) associada ao Ministério do Interior. Com isso, a Sema era responsável pela elaboração da especificação das águas interiores e desenvolver pesquisas atendendo ao proveito numeroso dos fluxos de água e das bacias hidrográficas. E, dessa forma, a Secretaria requereu o uso de sistemas de tratamento de resíduos mediante ao capital que adviria de investimentos aos corpos hídricos. E, no ano de 1981, ocorreu a criação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo advindo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). O SISNAMA possui como objetivo a implantação de políticas públicas de proteção ambiental nacional, porém os estados e municípios possuem uma certa autoridade para exercer a função de acordo com a sua determinada região (Leme, 2010).

De acordo com Drummond (1999) em 1981 também ocorreu a criação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) que foi estabelecida pela Lei 6.938 que, em seguida, ocorreu a alteração para a Lei 7.804 de 1989. A PNMA possui uma grande relevância, pois foi considerada uma das normatizações ambientais fundamentais para o Brasil. Os objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) são voltados para a preservação do meio ambiente mediante ao desenvolvimento econômico-social, determinar diretrizes e modelos de qualidade ambiental e também estabelecer estatutos para o uso e manejo eficiente e sustentável dos recursos naturais.

Segundo Granziera (1993) o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) instaurou o uso obrigatório da elaboração do Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EPIA referente a obras, operações e serviços que possam ocasionar impactos ambientais. Desse modo, com o decreto da Constituição Federal de 1988, essa ferramenta tornou-se obrigatória por ser fundamental para a conservação dos corpos hídricos. A Constituição Federal de 1988 contribuiu

para os novos modelos de diretrizes para a preservação dos recursos hídricos, visto que a maioria das legislações vigentes não instituíram ferramentas eficientes para a gestão dos recursos naturais (Muñoz, 2000).

Não obstante, em Janeiro de 1997, foi ratificada a Lei 9.433, referente à Lei das Águas que instaura a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Inclusive, institui também o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) lei 9.984, de 17 de julho de 2000 a partir do Decreto nº 4.613 de 11 de março de 2003 que possui como propósito a elaboração de políticas para os recursos hídricos a nível nacional, e instituir critérios que corroborem a sua execução e práticas de ferramentas para a atividade do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) (Silva, 1998).

Nesse contexto, conforme Silva (2017), o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) é formado por diferentes órgãos que desempenham suas funções de maneira independente. Entre suas atribuições, destaca-se o papel do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que ocupa a posição mais elevada na hierarquia do sistema. Esse conselho tem como diretor executivo o Ministro do Meio Ambiente e é composto por representantes de ministérios do Governo Federal, membros indicados pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, além de representantes de usuários de água e de organizações civis envolvidas na gestão dos recursos hídricos.

Os Conselhos Estaduais são responsáveis por estabelecer normas, critérios e diretrizes para o funcionamento do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Já os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) contam com a participação de representantes do Governo Federal, dos estados ou do Distrito Federal onde a bacia se localiza, ainda que parcialmente, além de municípios, usuários da água e entidades civis atuantes na gestão hídrica da região. O número de integrantes de cada segmento e os critérios para sua nomeação são definidos conforme as regulamentações específicas de cada comitê (Silva, 2017).

No que se refere ao papel dos Comitês de Bacia Hidrográfica, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2012) ressalta que essas instâncias possuem uma função distinta de outras formas de participação em políticas públicas. Sua principal atribuição legal é deliberar sobre a gestão dos

recursos hídricos, exercendo essa responsabilidade de maneira compartilhada com o poder público, promovendo uma administração mais descentralizada e participativa.

Tabela 1 - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e Bacias Hidrográficas

CNRH	Formulação e deliberação sobre políticas de recursos hídricos	Formulação de políticas governamentais	Apoio aos colegiados	Apoio Técnico (T) e Regulação (R)
Nacional	Conselho Nacional	Ministério do Meio Ambiente	SRHU e ANA	ANA (T e R)
Estadual	Conselhos estaduais	Secretarias de Estado	Órgãos gestores estaduais	Órgãos gestores estaduais (T e R)
Bacia Hidrográfica	Comitês de bacia		Secretarias–executivas ou agências de Água	Agência de Água (T)

Fonte: ANA (2012)

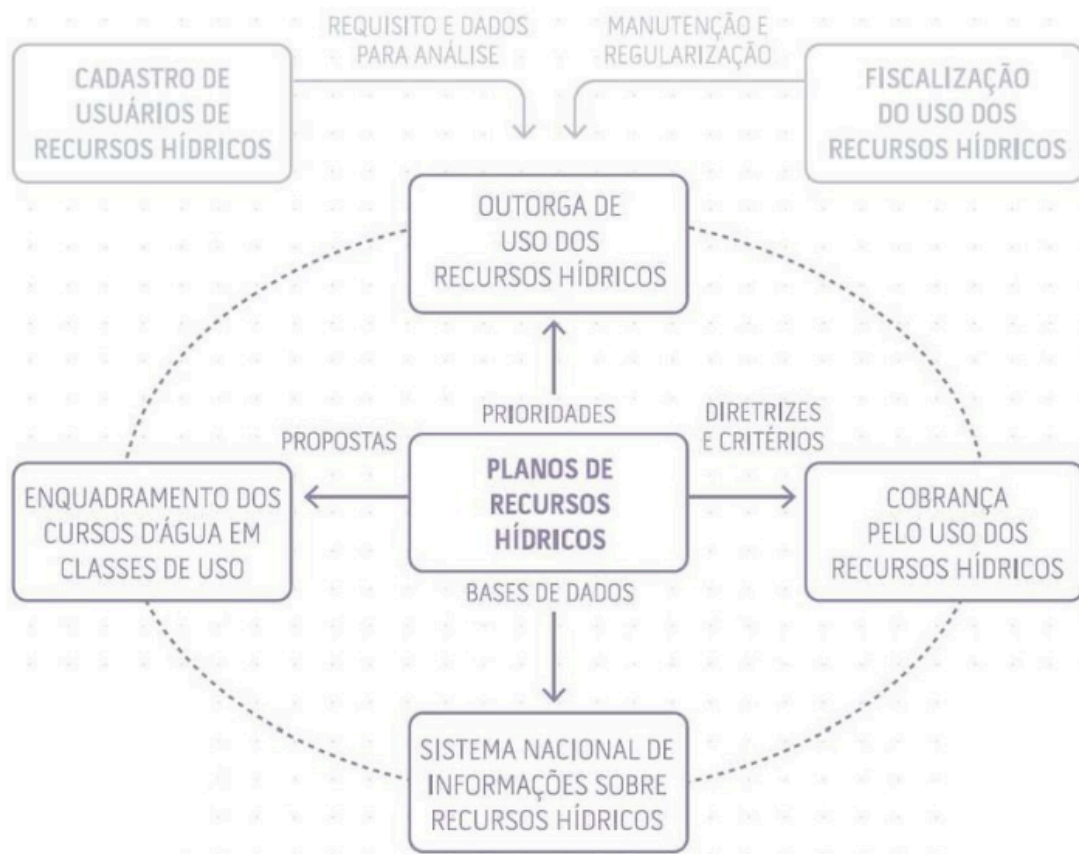
É importante ressaltar que o termo bacia hidrográfica é designado como uma área que é designada como a entrada de água advinda das chuvas que são drenadas por um rio principal, contendo seus afluentes e subafluentes (Cunha e Coelho, 2012). De forma a corroborar com o exposto acima, (Porto e Porto, 2008) ressaltam que a bacia hidrográfica é o território onde as atividades humanas se desenvolvem. Nela, áreas urbanas, industriais, agrícolas e de preservação coexistem. No ponto de saída da bacia, o exutório, os processos do sistema se manifestam, refletindo a ocupação do território e o uso da água.

Para complementar a gestão e a administração dos recursos hídricos, foi elaborado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) como uma ferramenta condutora, o plano também foi instituído pela Lei nº 9.433/1997. O PNRH é composto por uma associação de metas, diretivas e programas que foram deliberadas por meio de mobilizações e a colaboração da sociedade. Por conseguinte, somente no dia 30 de janeiro de 2006 o plano obteve a sua aprovação. Não obstante, no ano de 2012 passou por uma retificação para os anos de 2012 a 2015. Em 2016, foi realizada outra revisão para os anos de 2016 a 2020 (MMA, 2019).

A ferramenta em questão visa a criação de um acordo nacional para a formulação de diretrizes e políticas públicas que visem a melhoria da

disponibilidade de água, tanto em quantidade quanto em qualidade. Seu objetivo central é gerenciar as demandas hídricas, reconhecendo a água como um elemento fundamental para a implementação de políticas setoriais, sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável e da inclusão social (MMA, 2019) (MMA, 2019).

Figura 8 - Instrumentos da PNRH



Fonte: ANA (2017)

A partir da criação da Agência Nacional de Águas – ANA (Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000) em 2001 com o intuito de apoiar a estruturação organizacional da gestão dos recursos hídricos do Brasil, a agência passa a liderar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos com a autoridade de conferir a fiscalização e as cobranças advindas do consumo de água. Com isso, essa instituição detém a responsabilidade de conduzir a gestão dissociada e repartida dos recursos hídricos em acordo com a função dos órgãos gestores dos respectivos estados brasileiros. (Porto e Porto, 2008).

A gestão dos recursos hídricos é uma temática importante que repercute gradativamente no panorama nacional e internacional, uma vez que está intrinsecamente conectado a um modelo de desenvolvimento sustentável. À vista disso, Tundisi (2006) ressalta que a gestão sustentável da água é imprescindível para o avanço dos países e a saúde e segurança da população. Contudo, para corroborar com um modelo de sistema sustentável, é necessário a construção de um conjunto eficiente e apropriado de gestão, inovações tecnológicas e parâmetros estruturais e não estruturais para a gestão ajustada e prognosticador dos recursos hídricos.

2.3 Gestão dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo

Segundo Cesar Neto (1988) o Estado de São Paulo no final da década de 1980 se encontrava vinculado a problemas oriundos a escassez de água em certas regiões, principalmente aquelas que compreendiam as bacias hidrográficas do Alto Tietê, Baixada Santista, Piracicaba, Paraíba do Sul, Jundiaí e Capivari. Uma vez que, sofriam pressão de acordo com o desenvolvimento socioeconômico. Contudo, o autor ainda aponta que:

“A necessidade do planejamento do uso da água para possibilitar o desenvolvimento econômico do Estado, visando o “máximo de benefícios e o mínimo de custos para a população como um todo” (Cesar Neto, p. 15, 1988).”

Com a Constituição de 1988 foi possível a descentralização da gestão, ressaltada na legislação do Estado de São Paulo estabelecida em 5 de outubro de 1989 (CBH PCJ, 1988). De acordo com Abers (2010) o estado de São Paulo foi o primeiro a possuir uma gestão dissociada e autorizada na década de 1990. Portanto, foi a primeira legislação que previa um modelo novo de gerenciamento integrado de água. A nova gestão paulista apresentou uma nova visão para a gestão de água no país.

Pautada, então, na elaboração de novas organizações para o gerenciamento de água como, por exemplo, o comitê de bacia associado às novas ferramentas de gestão e consumo de água. Entretanto, o dinamismo dessa nova gestão era limitado. Visto que a regulamentação pela arrecadação do uso de água foi autorizada somente dez anos depois e mesmo com a criação e a eficiência dos

comitês das bacias hidrográficas, não havia recursos financeiros mediante a cobrança a partir do uso de água.

Entretanto, o SMA (2004) aponta que antes da legislação paulista, o Estado tinha formulado em 1987 o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) com o objetivo de planejar as ações políticas e criar o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e a composição do Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI).

Apesar do CRH e CORHI serem órgãos que compunham a disposição burocrática do Estado de São Paulo, não abrangiam a participação das outras partes imprescindíveis, como os municípios e a sociedade civil. Deste modo, o CRH adequado à Lei 7.663/91 e introduzido em 1993 abrange, então, a participação da Secretaria do Estado, Municípios e indivíduos associados à organização civil (CarneSeca, 2002).

Para corroborar com o exposto acima, Amaral (p. 8, 1998) afirma que:

“A questão da participação de usuários e poder público em políticas de gestão de recursos hídricos baseia-se na convicção de que a resolução dos problemas complexos exige uma ampla compreensão dos valores, dos conhecimentos, e dos interesses das partes afetadas e de que, apesar da incerteza, no médio e no longo prazos das decisões tomadas em comum acordo tendem a resultar em melhorias para o meio ambiente e em redução de conflitos.”

Com base em Gomes e Barbieri (2004), os órgãos de gestão de recursos hídricos se estruturam em colegiados de natureza política, estratégica e deliberativa. Em nível central, destaca-se o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), enquanto nos níveis regionais atuam os comitês de bacias hidrográficas (CBHs). A composição desses colegiados segue um modelo de paridade, abrangendo representantes do governo estadual de São Paulo, dos governos municipais e da sociedade civil. Nos comitês, a quantidade de representantes varia conforme as características regionais e as decisões específicas de cada bacia, sempre mantendo a igualdade entre os três segmentos.

O CRH é instância estratégica e deliberativa do Sistema Integrado de

Gerenciamento de Recursos Hídricos. Basicamente, sua função é formular e acompanhar a implantação das políticas de recursos hídricos no estado.”

Posto isso, o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI) norteia-se a partir dos planos de bacia, formulado através das bacias hidrográficas e também os relatórios visando a situação das mesmas. É composto pelos órgãos estaduais que atuam na gestão dos corpos hídricos. Entretanto, nos quesitos quantitativos quem assume é o órgão DAEE e nos quesitos qualitativos, quem assume é a CETESB. Desse modo, o comitê funciona como um sustento técnico para os órgãos de gestão (Gomes e Barbieri, 2004).

O Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) se torna a principal ferramenta para a condução e elaboração de estratégias visando os recursos hídricos no estado de São Paulo. Contudo, apoiado nos projetos de Bacia de cada unidade o propósito se baseava na formulação de um plano tático e, com isso, ocorreu a segmentação do território em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). Dessa forma, alguns estados decretaram regulamentos equivalentes ao do estado de São Paulo. Porém, apenas em 1997 com a implementação da legislação, foi possível a consolidação da gestão proposta por São Paulo e também, com o objetivo de estabelecer um modelo para que todos os estados que não dispunham de uma estrutura legal (Puga, 2018).

Conforme apontado por Gomes e Barbieri (2004), o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI) atua como um suporte técnico, elaborando propostas que são posteriormente debatidas e decididas pelas instâncias políticas deliberativas. No nível regional, essa instância é representada pelos plenários dos comitês de bacia, enquanto no nível central, pelo Conselho de Recursos Hídricos. O processo se inicia com a elaboração, pelo CORHI, do relatório de situação e dos planos de bacias para as 22 unidades de planejamento e gerenciamento.

Em seguida, os plenários dos comitês de bacia analisam e deliberam sobre os planos apresentados. O CORHI, então, consolida e harmoniza os 22 planos de bacias hidrográficas, propondo o Plano Estadual de Recursos Hídricos. Este plano é submetido à deliberação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos em primeira instância, e posteriormente à aprovação da Assembleia Legislativa do

Estado de São Paulo. Finalmente, os comitês de bacias hidrográficas, com base nas diretrizes aprovadas no plano estadual, estabelecem as prioridades regionais (Gomes e Barbieri, 2004).

De acordo com Grisotto (2003) o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) não é intitulado na legislação como uma ferramenta de gestão, mas um órgão de suporte para o gerenciamento das bacias hidrográficas. Todavia, este fundo é considerado, na maioria dos casos, como uma ferramenta econômica. Isto posto, ROCHA (1998) afirma que o FEHIDRO corresponde a uma ferramenta econômica, visto que abrange os recursos financeiros do tesouro do Estado, dos royalties equivalentes do setor elétrico e também pela cobrança do uso da água. O FEHIDRO é dirigido de maneira descentralizada através de subcontas das bacias.

Tabela 2 - Estrutura Institucional da PERH do Estado de São Paulo

Objetivo da PERH	Fornecer água na quantidade e qualidade adequada para a geração atual e futura
Princípios	IWRM, bacia como unidade de gestão Água como um recurso finito Água como bem econômico Gestão participatória e descentralizada
Organizações	CRH CORHI FEHIDRO (COFEHIDRO) Agencias Estatais de Gestão hídrica CBHs Agencias de Bacia

Instrumentos	Planos de bacias / PERH Permissão de retirada de água bruta Cobrança pelo uso da água Classificação através de enquadramento Sistema de Informação estatal
--------------	--

Fonte: Johnson e Kemper (2005)

A implementação da estrutura da Política Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo, em consonância com a Política Nacional de Recursos Hídricos, se concretiza por meio de quatro instrumentos principais, conforme Lopes e Neves

(2016). Estes incluem a outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, o estabelecimento de infrações e penalidades, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o rateio de custos de obras de uso múltiplo ou de interesse coletivo. A cobrança pelo uso da água nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) encontra respaldo legal em diversas normas: o Código Civil, que prevê a remuneração pelo uso de bens públicos; o Código de Águas, que admite a cobrança pelo uso comum da água; e a Política Nacional de Meio Ambiente, que adota o princípio do usuário-pagador para recursos naturais (Lopes e Neves, 2016).

Apoiado nisso, a ANA (2007) destaca que no Estado de São Paulo, a cobrança realizada pelo uso dos corpos hídricos não é classificada como uma tarifa, mas como um subsídio pelo consumo de um bem público. Determinando, assim, uma das ferramentas de gerenciamento das Políticas Estadual e Nacional de Recursos Hídricos. Através da realização de uma assembleia plenária o valor recolhido é acordado mediante os membros do comitê de bacia e adotado. Ainda assim, se por obséquio, os membros que compõem o comitê não formalizarem a cobrança, os mesmo estarão conscientes que tal deliberação agrega um possível impacto relacionado à disponibilidade e a quantidade de água da bacia em questão.

Atualmente, de acordo com o Decreto Estadual 50.667/2006 as cobranças são realizadas para os setores urbanos e industriais. Entretanto, as cobranças serão submetidas a todos os consumidores dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos independente da obtenção direta de um corpo hídrico ou no mesmo contendo resíduos que sujeitam-se à concessão para o direito de consumo (SÃO PAULO, 2015).

Segundo Scarpinella e Mauad (2009), a implementação da cobrança pelo uso da água pode ser iniciada nas bacias hidrográficas que possuam Comitê de Bacia estabelecido, Agência de Bacia para suporte técnico, financeiro e administrativo, e Plano de Bacias estruturado. A cobrança é realizada pela Agência de Bacias ou, na ausência desta, pela entidade responsável pela outorga de direitos de uso. Os valores arrecadados são destinados a uma subconta do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), garantindo a aplicação dos recursos na própria bacia.

A cobrança pelo uso de água se torna um instrumento para o incentivo ao uso eficiente deste recurso. Visto que, auxilia também o sistema de gestão, pois o recurso financeiro advindo do recebimento é investido em práticas para a manutenção da bacia hidrográfica e subsídios para a estrutura. (SÃO PAULO, 2015) Logo, (Forgiarini *et.al.*, 2010) ressalta que somente a cobrança pelo uso deste recurso, em termos de médio a longo prazo, não possui eficiência no quesito educativo referente ao uso consciente da água se não ocorrer a associação com outras ferramentas que contribuam para essa situação.

2.4 Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)

A Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) é uma abordagem que visa coordenar o desenvolvimento e a gestão da água, da terra e dos recursos relacionados de forma sustentável. A GIRH considera as interações entre os diferentes usos da água, promovendo um equilíbrio entre as necessidades de diferentes setores e a preservação ambiental. Em contextos urbanos, a GIRH pode ajudar a reduzir a pegada hídrica ao integrar políticas de uso eficiente da água e conservação dos ecossistemas aquáticos (Schuler *et al.*, 2018).

A GIRH é particularmente relevante em contextos urbanos, onde a competição por recursos hídricos é intensa e os conflitos entre diferentes usuários da água são comuns. Em áreas urbanas, pode ajudar a equilibrar as necessidades de abastecimento doméstico, industrial e agrícola, garantindo que todos os setores tenham acesso adequado à água sem comprometer a qualidade ou a disponibilidade dos recursos para as gerações futuras (Biswas, 2004).

Além disso, promove a participação dos diversos grupos na tomada de decisões, o que é crucial para a implementação bem-sucedida de políticas de gestão hídrica que sejam aceitáveis e eficazes para todas as partes envolvidas (Global Water Partnership, 2000).

Em relação aos princípios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos, de acordo com a Global Water Partnership (2000) a GIRH baseia-se em vários princípios fundamentais, como: participação das partes interessadas; gestão ao nível da bacia hidrográfica; sustentabilidade ambiental e integração intersetorial:

Figura 9 - Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)



Fonte: Associação Amigos do Memorial da Classe Operária - UGT (s.d.)

A implementação da GIRH enfrenta vários desafios, como a fragmentação institucional, a falta de dados e informações, a resistência à mudança e as dificuldades de coordenação entre diferentes níveis de governo e setores. No entanto, é amplamente reconhecido que a GIRH é essencial para lidar com as pressões crescentes sobre os recursos hídricos decorrentes do crescimento populacional, urbanização, mudanças climáticas e outros fatores (Molle, 2008). A integração de práticas de GIRH pode contribuir para a redução da pegada hídrica ao promover o uso eficiente da água, a conservação dos recursos hídricos e a melhoria das infraestruturas de tratamento de efluentes (Molle, 2008).

2.5 Gestão da drenagem urbana no Brasil

A ocupação descontrolada das regiões urbanas, a retirada indiscriminada da vegetação nas bacias hidrográficas, a impermeabilização extensiva de áreas, e a produção de resíduos sólidos e esgoto sanitário, em muitos contextos, sem coleta e tratamento adequados, alteram e impactam os sistemas de drenagem (Miguez *et al.*, 2016).

O crescimento urbano e a consequente produção de resíduos poluentes representam desafios crescentes para a gestão de bacias hidrográficas, especialmente devido à descarga de poluentes em corpos hídricos. Conforme

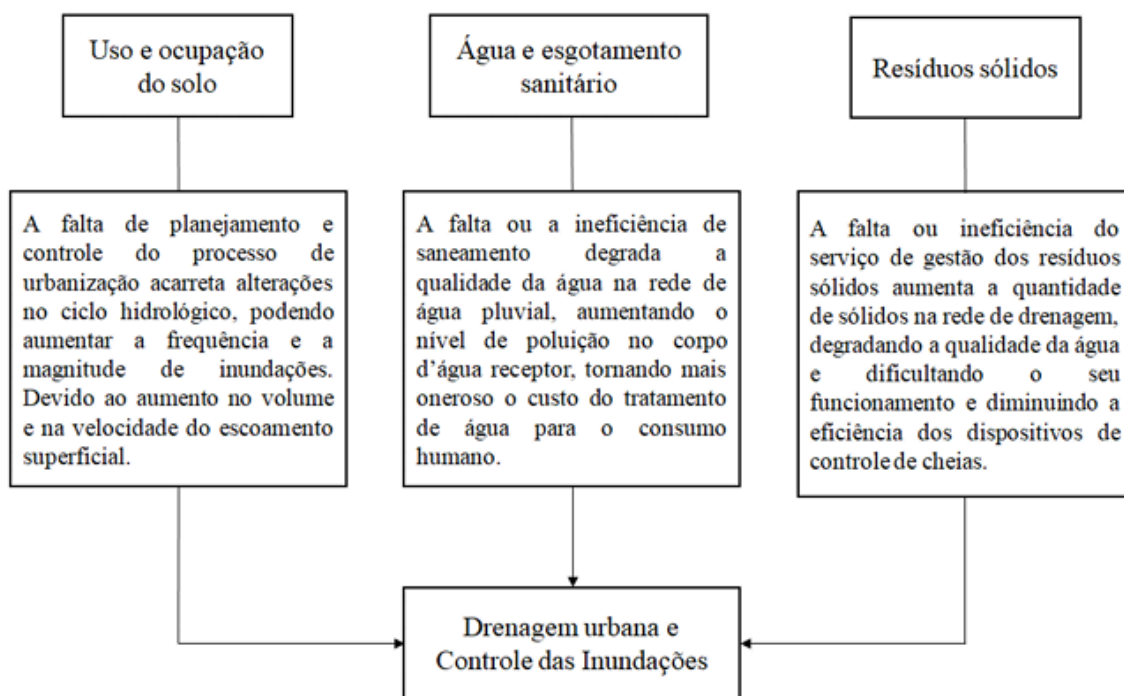
apontado por Campana e Bernardes (2010), o escoamento urbano de águas pluviais carrega consigo substâncias que degradam os corpos d'água receptores. A ocupação do solo em áreas urbanas e as atividades ali desenvolvidas geram cargas poluidoras difusas que, durante eventos de chuva, são incorporadas ao escoamento superficial e transportadas pelas redes de drenagem até os corpos hídricos.

A ineficiência dos sistemas de saneamento básico contribui para a poluição dos corpos hídricos urbanos, facilitando o descarte irregular de efluentes domésticos e resíduos sólidos nas redes de drenagem. A alta concentração de matéria orgânica, nutrientes e patógenos presentes nesses despejos representa um risco significativo para a saúde humana e a qualidade ambiental dos corpos d'água (Campana e Bernardes, 2010).

A Lei 11.445/2007, que institui a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), define que a gestão e o manejo das águas pluviais urbanas abrangem um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana pluvial. Isso inclui o transporte, a retenção ou detenção para controle de vazões de cheias, o tratamento e a destinação final das águas pluviais coletadas nas áreas urbanas.

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) estabelece que a drenagem urbana deve ser acessível a todos e integrada com os serviços de água, esgoto e resíduos sólidos. Rezende (2010) destaca a interdependência dos sistemas de infraestrutura urbana, alertando que a negligência dos efeitos de um sistema sobre o ambiente urbano pode prejudicar ou inviabilizar o funcionamento de outros **(Figura 10)**.

Figura 10: Interdependência dos sistemas de infraestrutura urbana



Fonte: REZENDE (2010)

A gestão da drenagem urbana se organiza em dois níveis regulatórios, segundo Tucci (2016). O primeiro nível, de abrangência nacional, estadual ou por planos de bacias hidrográficas, estabelece diretrizes gerais. O segundo nível, municipal, foca na minimização dos impactos quantitativos e qualitativos dentro do perímetro urbano, em bacias urbanas menores, evitando a transferência desses impactos para os rios.

Os planos de bacias hidrográficas, previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997), definem as bases e regras para a aplicação dos instrumentos de outorga e enquadramento. No âmbito municipal, o plano de saneamento básico, conforme a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), deve buscar reduzir os impactos quantitativos e qualitativos dentro da cidade, especialmente em bacias urbanas menores, prevenindo a transferência desses impactos para os rios (Tucci, 2005). O plano de saneamento básico deve incluir um plano de drenagem urbana, alinhado com o plano de bacias quanto às alterações na qualidade e vazão dos rios, conforme o Artigo 12 da PNRH

Dentro do município, o plano de saneamento básico, previsto pela PNSB, deve procurar minimizar os impactos de quantidade e qualidade dentro da cidade, especialmente nas pequenas bacias urbanas, e evitar a transferência desses impactos para os rios (Tucci, 2005). É necessário incluir um plano de drenagem urbana no plano de saneamento básico, que deve estar alinhado com o plano de bacias quanto às alterações na qualidade e vazão dos rios, conforme descrito no Artigo 12 da PNRH.

Apesar da importância, os planos de bacias desenvolvidos no Brasil frequentemente negligenciam os impactos que as áreas urbanas podem transferir para a drenagem a jusante (Tucci, 2016). O uso e a ocupação do solo exercem influência significativa sobre o escoamento pluvial, tornando essencial a legislação e fiscalização da expansão territorial nas bacias hidrográficas. Segundo Camelo (2019), a ocupação desordenada do território urbano intensifica os problemas de drenagem, afetando principalmente as áreas próximas aos cursos d'água.

A gestão moderna das águas pluviais em áreas urbanas exige uma mudança de paradigma. Não se trata mais de simplesmente remover a água dos pontos críticos. A abordagem atual preconiza um sistema de gestão integrado, que combina diversas estratégias. Isso envolve tanto a implementação de infraestruturas físicas, como obras de diferentes escalas, quanto a adoção de medidas não estruturais. A gestão do espaço urbano, por meio de leis e fiscalização eficazes, é crucial para controlar o escoamento superficial resultante do uso e ocupação do solo (Righetto, 2009).

2.6 Saneamento urbano

O saneamento urbano, crucial para a saúde pública e a qualidade ambiental, abrange um conjunto de serviços essenciais, como abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. A deficiência nesses serviços impacta diretamente a qualidade da água, elevando, por exemplo, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), um parâmetro importante de impacto hídrico que compromete a saúde dos ecossistemas aquáticos (Von Sperling, 1995). A implementação de sistemas de saneamento eficientes é fundamental para reduzir a poluição orgânica e garantir

a sustentabilidade dos recursos hídricos, conforme preconizado pela legislação ambiental, como a Resolução CONAMA nº 357/2005⁵, que estabelece padrões de qualidade da água e diretrizes para o lançamento de efluentes.

O esgoto urbano é composto por uma mistura de águas residuais domésticas, industriais e pluviais, contendo matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais pesados, patógenos e microplásticos (Tchobanoglous *et al.*, 2014). Em muitas cidades, a ausência de redes de coleta e tratamento de esgoto resulta no despejo direto desses efluentes em rios, lagos e oceanos. Além disso, sistemas de drenagem inadequados contribuem para a contaminação de aquíferos e solos, ampliando os danos ambientais.

A geração de esgoto em áreas urbanas está diretamente relacionada à densidade populacional. As maiores concentrações populacionais, por sua vez, estão localizadas nas capitais dos estados e suas regiões próximas, devido à disponibilidade de serviços, infraestrutura, logística e outros fatores que favorecem o desenvolvimento de diversas atividades. Portanto, é natural que as capitais e os principais centros urbanos do país concentram a maior parte do esgoto gerado (BRASIL, 2020).

Logo, o estado de São Paulo possui um arcabouço legal robusto que disciplina a coleta e o tratamento de esgoto, visando a proteção da saúde pública e do meio ambiente. As normas abrangem desde a legislação federal até as resoluções estaduais e municipais, cada uma com sua importância específica.

Com base no exposto acima, Para uma compreensão e aplicação adequadas das diretrizes relacionadas ao tema, é imprescindível considerar o conjunto de dispositivos legais provenientes das esferas federal, estadual e municipal. Sendo estas:

⁵ Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 9 jun. 2025.

2.5.1.1 Legislação Federal

- **Lei nº 11.445/2007⁶**: Conhecida como a Lei Nacional de Saneamento Básico, estabelece as diretrizes para o planejamento, execução e gestão dos serviços de saneamento em todo o país. Define os serviços de saneamento básico, incluindo a coleta, transporte, tratamento e destinação final adequada dos esgotos sanitários. É a base para a legislação estadual e municipal.
- **Resolução CONAMA nº 430/2011⁷**: Dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos. Define os limites máximos de concentração de poluentes que podem ser lançados nos cursos d'água, estabelecendo critérios de qualidade da água e protegendo os recursos hídricos.

2.5.1.2 Legislação Estadual

- **Lei nº 17.383/2021⁸**: Institui as unidades regionais de saneamento básico no estado de São Paulo, com o objetivo de otimizar a gestão dos serviços de água e esgoto. Define princípios para a prestação dos serviços, como a universalização do acesso, a qualidade, a modicidade tarifária e a sustentabilidade ambiental.

⁶ Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei no 8.137, de 27 de dezembro de 1990. Brasília, DF: Presidência da República, 2007. Disponível em: [\[Lei-11445-5-janeiro-2007-549031-norma-atualizada-pl.pdf\]](#). Acesso em: 9 jun. 2025.

⁷ Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complemento e alteração da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Brasília, DF: CONAMA, 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=226292>. Acesso em: 9 jun. 2025.

⁸ SÃO PAULO (Estado). Lei n. 17.383, de 5 de julho de 2021. São Paulo, SP: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 2021. Disponível em: [\[LEI Nº 17.383, DE 05 DE JULHO DE 2021 - Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo\]](#). Acesso em: 9 jun. 2025.

- **Decreto nº 42.565/2002⁹:** Regulamenta a obrigatoriedade de ligação das edificações à rede coletora pública de esgoto. Determina que os imóveis devem se conectar à rede pública quando disponível, garantindo que o esgoto seja coletado e tratado adequadamente.

2.5.1.2.3 Legislação Municipal

Cada município do estado de São Paulo pode ter suas próprias normas sobre coleta e tratamento de esgoto, complementando as legislações federal e estadual. Essas normas podem detalhar aspectos específicos, como os requisitos para a ligação à rede pública, os padrões de lançamento de efluentes e as exigências para o licenciamento de sistemas de tratamento.

As legislações federais, estaduais e municipais apresentadas demonstram a complexidade e a abrangência da estrutura normativa que rege o saneamento básico no Brasil. Com esse arcabouço legal como pano de fundo, torna-se possível compreender sobre os desafios e as perspectivas para a efetivação dos serviços de saneamento, considerando as particularidades de cada esfera de atuação e a necessidade de uma gestão integrada para superar as lacunas ainda existentes. Assim, é crucial aprofundarmos na importância do saneamento, explorando como sua efetivação se reflete diretamente na saúde pública, no meio ambiente e na economia, impactando de forma sistêmica a sociedade.

Moretti e Silva (2021) descrevem a rede de esgoto como um sistema de tubulações que coleta e transporta efluentes de diversas origens, como residências, edifícios, indústrias e estabelecimentos comerciais, até as estações de tratamento. Nessas estações, o esgoto é submetido a processos que removem poluentes, permitindo que a água tratada seja devolvida aos corpos hídricos, como rios e mares, em condições adequadas. Essencialmente, a água utilizada em atividades cotidianas é direcionada para a rede pública de esgoto e encaminhada às Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) para purificação, assegurando a preservação ambiental. Geralmente, os sistemas de esgotamento sanitário são compostos por diversos componentes, incluindo bacias de

⁹ SÃO PAULO (Município). Decreto n. 42.565, de 31 de outubro de 2002. Regulamenta a Lei nº 13.369, de 3 de junho de 2002, que dispõe sobre a obrigatoriedade, para todas as edificações, da ligação da canalização de esgoto à rede coletora pública, nos logradouros providos dessa rede, e dá outras providências. São Paulo, SP: Prefeitura do Município de São Paulo, 2002. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto-42565-de-31-de-outubro-de-2002/detalhe>.

drenagem, caixas de passagem, ligações prediais, coletores, estações elevatórias de esgoto, estações de tratamento de esgoto, redes coletoras, interceptores, entre outros (**Figura 11**).

Figura 11 - A importância do saneamento



Fonte: ESCOLA EDUCAÇÃO (2020)

Em relação ao esgoto tratado, as ETEs - Estação de tratamento de esgoto, realizam uma papel fundamental, pois o processo de tratamento de esgoto inclui diversas etapas importantes, como gradeamento, desarenação, remoção de gordura, tratamento biológico, decantação, desinfecção, oxigenação e descarte. Cada etapa possui sua própria importância e especificações, que devem ser seguidas para garantir a eficiência e cumprir os parâmetros legais de tratamento. Para que o esgoto tratado possa ser devolvido à natureza de forma adequada, é necessário atender aos requisitos estabelecidos pela legislação ambiental. No cenário brasileiro, a gestão dos serviços de esgotamento sanitário pode ser conduzida por entidades de natureza pública ou privada. Essa operacionalização se concretiza por meio de diferentes modalidades, como concessões, parcerias público-privadas e subdelegações, entre outras formas de contratação (BRASIL, 2020).

O funcionamento inicia-se com o pré-tratamento, onde grades e caixas de areia removem sólidos grosseiros e areia, protegendo os equipamentos subsequentes. Em seguida, o tratamento primário geralmente emprega decantadores para separar sólidos sedimentáveis e óleos por gravidade, formando o lodo primário. Essas etapas iniciais são fundamentais para preparar o efluente para as fases mais complexas, conforme diretrizes da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2017), que enfatizam a importância da remoção de materiais que poderiam sobrecarregar o sistema.

A etapa central é o tratamento secundário, onde ocorre a degradação biológica da matéria orgânica dissolvida. Este processo pode ser aeróbio (com oxigênio), como nos sistemas de lodos ativados, onde microrganismos convertem a matéria orgânica em biomassa e gases; ou anaeróbio (sem oxigênio), como nos reatores UASB, que produzem biogás. Após o tratamento biológico, um decantador secundário separa o lodo biológico do efluente tratado. A escolha do processo biológico e sua otimização são descritas amplamente na literatura técnica, visando a máxima eficiência na remoção de poluentes (Von Sperling (2016).

Finalmente, algumas ETEs incluem um tratamento terciário para polimento do efluente, removendo nutrientes como nitrogênio e fósforo e realizando a desinfecção por cloração, ozônio ou UV, quando se busca um efluente de alta qualidade para reuso ou descarte em ambientes sensíveis. O lodo gerado em todas as etapas é um subproduto que também exige tratamento e destinação final ambientalmente adequada, passando por adensamento, estabilização e desidratação. Este ciclo completo é essencial para mitigar os impactos da urbanização nos recursos hídricos (Von Sperling, 1995).

Referente a resíduos poluentes, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um parâmetro fundamental para avaliar a qualidade da água, especialmente no que tange à presença de matéria orgânica. Conceitualmente, a DBO representa a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos aeróbicos durante a decomposição dessa matéria orgânica em um corpo d'água, sob condições específicas.

Na prática, altos valores de DBO indicam uma grande quantidade de matéria orgânica presente, o que pode levar a uma série de problemas ambientais. As

implicações da DBO para a qualidade da água são significativas. Primeiramente, o consumo excessivo de oxigênio pelos microrganismos pode levar à diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido (OD), essencial para a vida aquática. Isso pode resultar em condições de hipóxia ou anóxia, prejudicando peixes e outros organismos. Além disso, a matéria orgânica em excesso pode contribuir para a eutrofização, um processo de enriquecimento excessivo de nutrientes que leva ao crescimento descontrolado de algas, com consequências negativas para o ecossistema aquático (Von Sperling, 1995).

No Brasil, a legislação ambiental, em especial as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece limites para a DBO em corpos d'água. A Resolução CONAMA nº 357/2005, por exemplo, classifica os corpos d'água em diferentes classes, de acordo com seus usos, e define padrões de qualidade, incluindo limites para a DBO. Esses limites variam conforme a classe da água, refletindo a necessidade de maior proteção em corpos d'água destinados a usos mais nobres, como o abastecimento humano. Sendo este, rios de classe 2, onde a concentração máxima de DBO aceitável é 5 mg/L.

O monitoramento da DBO é, portanto, essencial para verificar o cumprimento da legislação e avaliar a eficácia das medidas de controle da poluição. O tratamento adequado de esgoto e efluentes, bem como a gestão integrada de bacias hidrográficas, são medidas cruciais para reduzir a DBO e proteger a qualidade da água (Von Sperling, 1995).

A partir dos dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019), observa-se que o acesso aos serviços de saneamento no Brasil ainda apresenta desafios significativos. Aproximadamente 83,7% da população tem acesso ao abastecimento de água, enquanto a coleta de esgoto alcança 54,1%, sem considerar o tratamento. Esses números evidenciam a necessidade de melhorias na infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto no país.

Para impulsionar o desenvolvimento do saneamento básico, a Lei nº 14.026/2020 implementou mudanças no marco legal do setor, estabelecendo a meta de universalizar os serviços até 2033 (BRASIL, 2020).

É fundamental distinguir a água da chuva do esgoto: enquanto a primeira provém da precipitação atmosférica, o segundo é a água anteriormente potável,

agora contaminada por dejetos e outros poluentes domésticos. Em muitas cidades com sistemas de esgoto separados, ocorrem interconexões indesejadas na infraestrutura, resultando na mistura de esgoto na água da chuva e vice-versa. Nessas situações, o esgoto pode contaminar as águas urbanas, ou os dutos de esgoto podem ser sobrecarregados durante fortes chuvas, levando à poluição da água urbana (Moretti e Silva, 2021).

Os autores destacam as diferenças substanciais entre esgoto e água da chuva, tanto em volume quanto em composição. Para ilustrar essa disparidade, consideremos uma residência com três habitantes em um terreno de 250 m², totalmente impermeabilizado, em uma cidade com precipitação anual de 1500 mm. Na ausência de infiltração, drenagem ou evaporação, a água da chuva acumulada atingiria 1,5 metros, resultando em um volume anual de 375 m³. Em contraste, a mesma residência gera aproximadamente 105 m³ de esgoto por ano, considerando um consumo individual de 120 litros de água por dia (0,12 m³) e que 80% da água potável se transforma em esgoto. Portanto, o volume anual de água da chuva é cerca de 3,5 vezes maior que o volume de esgoto produzido.

Logo, Moretti e Silva (2021) enfatizam que as diferenças volumétricas entre esgoto e água da chuva se tornam ainda mais evidentes quando analisamos os volumes diários. Devido à natureza irregular da precipitação, concentrada em eventos pontuais, o volume de água da chuva em um único dia, ou mesmo em algumas horas, pode superar em até 100 vezes o volume de esgoto. Essa disparidade explica a diferença de dimensionamento entre os dutos de água da chuva, geralmente de maior diâmetro, e os dutos de esgoto.

Uma diferença adicional entre as redes de esgoto e de águas pluviais é que o esgoto é conduzido exclusivamente por dutos fechados, enquanto a água da chuva, em certas áreas urbanas, é direcionada para canais abertos, frequentemente situados perto de antigos cursos d'água naturais, como córregos. As redes de esgoto são inteiramente protegidas por sifões e outras barreiras hidráulicas para impedir a entrada de insetos, animais e a propagação de mau cheiro. Em contraste, o sistema de águas pluviais geralmente não conta com esse tipo de proteção (Zeng *et al.*, 2019).

A poluição difusa, originada de fontes dispersas e intensificada pelo

escoamento superficial, atinge seu pico no início das chuvas. O fenômeno das primeiras chuvas, caracterizado pelo primeiro escoamento superficial em um evento chuvoso, resulta em uma descarga inicial de alta concentração de poluentes. Essa descarga inicial, que ocorre quando a água entra nos bueiros em áreas com alta impermeabilidade, apresenta níveis de poluição superiores aos da água da chuva subsequente (Zeng *et al.*, 2019).

Embora a água da chuva seja frequentemente percebida como um líquido puro, ela pode se tornar uma fonte significativa de poluição em áreas urbanas e rurais, especialmente a primeira descarga. Nas cidades, a chuva lava a atmosfera, telhados e ruas, carregando consigo uma variedade de contaminantes, como produtos químicos, derivados de petróleo, metais pesados e bactérias provenientes de excrementos de animais (Argue, 2004).

Um estudo conduzido em Guangzhou, em 2019, revelou que amônia, nitrogênio e fósforo figuraram como os principais contaminantes presentes na primeira descarga de água pluvial na área investigada (Zeng *et al.*, 2019). Em áreas rurais, a água da chuva pode carregar pesticidas, fertilizantes e outros produtos associados ao uso agrícola do solo. Dessa forma, a poluição difusa se manifesta através do escoamento de água da chuva não tratada em regiões rurais ou urbanizadas (SEPA, 2021).

Nesse contexto, o desenvolvimento de baixo impacto surge como uma abordagem para a gestão de águas pluviais urbanas, com foco no controle na fonte e na promoção da infiltração local. Essas intervenções paisagísticas de pequena escala englobam a redução de superfícies impermeáveis, o uso de canais abertos, o aumento da infiltração no subsolo e a implementação de áreas de biorretenção e filtração de águas pluviais (PGDER, 1999).

As soluções verdes, por sua vez, representam estratégias de gestão baseadas no conceito de controle na fonte, com melhorias de pequena escala que retêm, tratam e maximizam a infiltração da precipitação no local onde ocorre. Em contraste, as soluções cinzas englobam métodos de gestão que coletam e transportam a água da chuva de forma rápida, utilizando sistemas de drenagem de grande escala e instalações hidráulicas de grande porte localizadas nas áreas inferiores das bacias de drenagem (Wright, 2011).

A mitigação da poluição por esgoto enfrenta desafios estruturais, como a falta

de infraestrutura, recursos financeiros limitados e a ausência de políticas públicas eficazes. Em muitas cidades, os sistemas de tratamento de esgoto são insuficientes e incapazes de atender à demanda crescente. A expansão urbana desordenada dificulta a implementação de soluções integradas, enquanto a falta de conscientização da população sobre práticas sustentáveis perpetua o problema. Estratégias eficazes incluem a expansão e modernização das estações de tratamento de esgoto (ETEs), com adoção de tecnologias avançadas como lodos ativados e tratamento terciário para remoção de nutrientes (Metcalf e Eddy, 2014).

III Materiais e Métodos

3.1 Localização e caracterização da área estudo

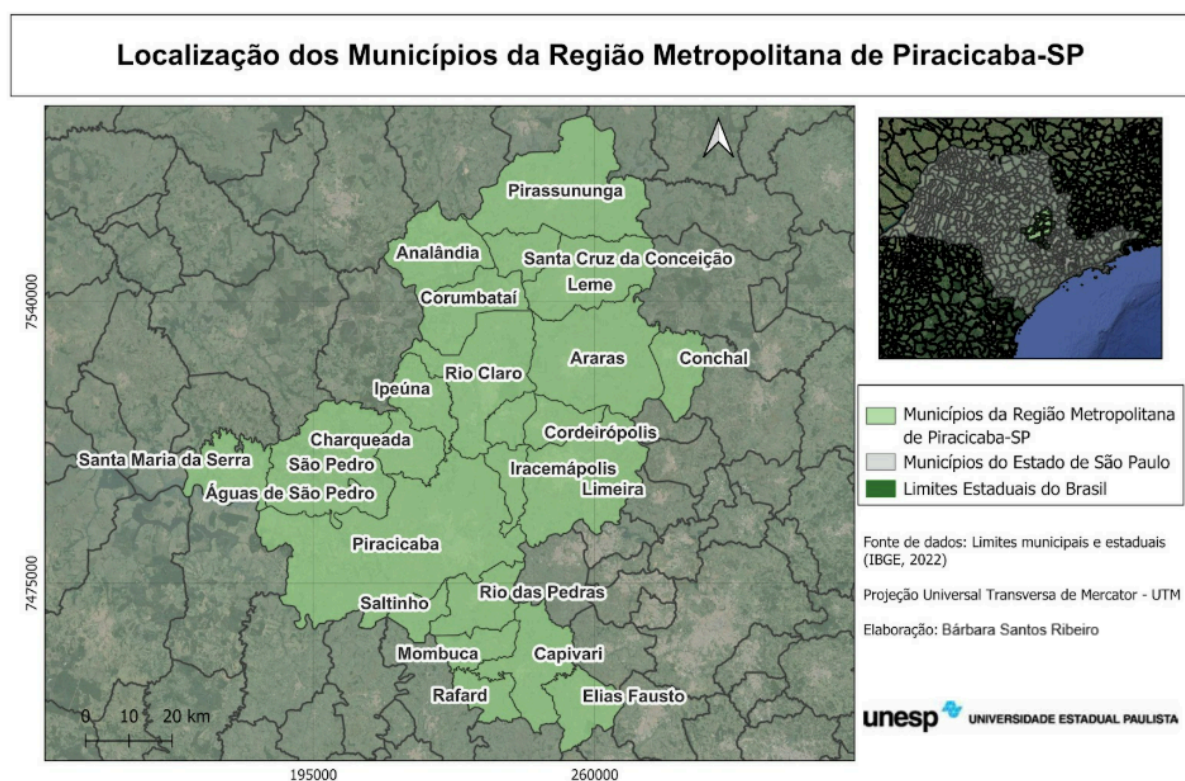
A criação da Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) foi oficializada em 24 de agosto de 2021, com a promulgação da Lei Complementar Estadual nº 1.360. Conforme o artigo 2º desta lei, são estabelecidos cinco objetivos principais que a RMP busca alcançar:

I - O planejamento regional para o desenvolvimento socioeconômico e a melhoria da qualidade de vida; II - a cooperação entre diferentes níveis de governo, mediante a descentralização, articulação e integração de seus órgãos e entidades da administração direta e indireta com atuação na região, visando ao máximo aproveitamento dos recursos públicos a ela destinados; III - a utilização racional do território, dos recursos naturais e culturais e a proteção do meio ambiente, mediante o controle da implantação dos empreendimentos públicos e privados na região; IV - a integração do planejamento e da execução das funções públicas de interesse comum aos entes públicos atuantes na região; V - a redução das desigualdades regionais (São Paulo, 2021).

Logo, o município de Piracicaba situa-se a 138 quilômetros da capital paulista e a 71 quilômetros de Campinas, em uma das regiões mais desenvolvidas economicamente do Estado. A RMP inclui 24 municípios: Águas de São Pedro, Analândia, Araras, Capivari, Charqueada, Conchal, Cordeirópolis, Corumbataí, Elias Fausto, Ipeúna, Iracemápolis, Leme, Limeira, Mombuca, Piracicaba,

Pirassununga, Rafard, Rio Claro, Rio das Pedras, Saltinho, Santa Cruz da Conceição, Santa Gertrudes, Santa Maria da Serra e São Pedro (**Figura 12**).

Figura 12 - Localização dos municípios da Região Metropolitana de Piracicaba-SP



Fonte: ELABORADO PELA AUTORA

Além dos 24 municípios mencionados, é importante destacar que existem 11 distritos, entre eles: Paraisolândia (Charqueada); Tujuguaba (Conchal); Cardeal (Elias Fausto); Ártemis, Ibitiruna, Santa Teresinha de Piracicaba, Tanquinho e

Tupi (Piracicaba); Cachoeira de Emas (Pirassununga); Ajapi e Assistência (Rio Claro).

É de grande importância salientar que a Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) inclui a maioria dos municípios que faziam parte do Aglomerado Urbano de Piracicaba (AUP), criado em 2012 pela Lei Complementar n. 1.178/2012. No entanto, quando a Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (ALESP) aprovou a formação da RMP, algumas mudanças ocorreram. Pirassununga e Santa Cruz da Conceição foram adicionados, enquanto Laranjal Paulista foi excluído da configuração metropolitana.

Segundo relatos na mídia, a decisão de exclusão da nova configuração partiu do próprio município de Laranjal Paulista. O principal argumento para a saída foi a incerteza sobre a continuidade do atendimento no hospital de referência da UNESP em Botucatu para os moradores, após a adesão à Região Metropolitana (ALESP, 2021).

Em decorrência dessa situação, foi apresentada uma moção de apelo nº 186/2021, com o propósito de assegurar a validade de acordos, parcerias, termos de adesão e outras formas de pactuação entre os municípios do estado, independente de fazerem parte ou não das Regiões Metropolitanas. Posteriormente, com o Projeto de Lei nº 426/2021, buscou-se garantir a continuidade dos direitos relacionados ao atendimento pré-hospitalar e hospitalar em hospitais localizados fora das atuais e futuras Regiões Metropolitanas (ALESP, 2021).

Após a definição dos municípios que compõem a Região Metropolitana de Piracicaba (RMP), esta abrange uma área de 7.860,851 km², correspondendo a 3,17% da área total do estado de São Paulo. De acordo com o censo demográfico do IBGE de 2022, a população da RMP soma 1.519.012 pessoas, resultando em uma densidade demográfica de 193,23 habitantes por quilômetro quadrado. Em termos econômicos, o Produto Interno Bruto (PIB) gerado pelos municípios integrantes da RMP foi de aproximadamente R\$ 83 bilhões, representando 3,5% do PIB estadual (IBGE, 2020).

Tabela 3 - População Absoluta (2022), Densidade Demográfica (2022) e Taxa de Urbanização (2022)

Município	População Absoluta (2022)	Densidade Demográfica (2022) - hab/km²	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) (2010)	Taxa de Urbanização - % (2022)
Águas de São Pedro	2.780	769,66	0,854	100
Analândia	4.589	14,08	0,754	84,9
Araras	130.866	202,95	0,781	97,03
Capivari	50.068	155,07	0,75	96,25
Charqueada	15.535	88,34	0,736	93,05
Conchal	28.101	153,73	0,708	95,29
Cordeirópolis	24.514	178,18	0,758	95,57
Corumbataí	4.195	15,06	0,754	64,67
Elias Fausto	17.699	87,46	0,695	86,92
Ipeúna	6.831	35,95	0,753	92,11
Iracemápolis	21.967	190,82	0,776	99,44
Leme	98.161	243,65	0,744	98,24
Limeira	291.869	502,61	0,775	96,98
Mombuca	3.722	27,84	0,719	85,14
Piracicaba	423.323	307,19	0,785	97,86
Pirassununga	73.545	101,15	0,801	95,91
Rafard	8.965	73,7	0,745	89,27
Rio Claro	201.418	404,11	0,803	98,64
Rio das Pedras	31.328	138,22	0,759	96,24
Saltinho	8.161	81,82	0,791	89,6
Santa Cruz da Conceição	4.277	28,49	0,79	81,27
Santa Gertrudes	23.611	240,22	0,737	98,87
Santa Maria da Serra	5.243	20,75	0,686	92,71
São Pedro	38.256	62,58	0,755	96,15

Fonte: ELABORADO PELA AUTORA COM BASE NO IGBE (2022)

De acordo com a **Tabela 3**, a maior parte da população da Região

Metropolitana de Piracicaba se concentra em cidades de médio porte, com mais de 100 mil habitantes, situadas ao longo dos eixos viários das rodovias Anhanguera, Bandeirantes, Washington Luiz e Luiz de Queiroz. Entre essas cidades estão Araras, Leme, Limeira, Piracicaba e Rio Claro, que juntas representam 75,45% da população.

Essa região apresenta uma alta densidade demográfica, com 4.123,63 habitantes por km². Cidades como Águas de São Pedro, Leme, Limeira, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes possuem densidades próximas ou superiores à densidade média da Região Metropolitana de Piracicaba. A taxa de urbanização é elevada, com 94,84% da população residindo nas áreas urbanas dos municípios que a compõem. É importante destacar que Águas de São Pedro possui uma taxa de urbanização de 100%, e 15 dos 24 municípios apresentam taxas de urbanização de 90% ou mais. Esses municípios incluem Araras, Capivari, Charqueada, Conchal, Cordeirópolis, Iracemápolis, Leme, Limeira, Piracicaba, Pirassununga, Rio Claro, Rio das Pedras, Santa Gertrudes e Santa Maria da Serra. Apenas dois municípios apresentam baixas taxas de urbanização, ainda que superiores a 50%: Corumbataí com 64,67% e Analândia com 84,9 %.

De acordo com os indicadores apresentados no Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado - PDUI¹⁰, a Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) ocupa uma posição geográfica privilegiada no estado, a noroeste, estando próxima a outras regiões metropolitanas como São Paulo, Campinas e Sorocaba. Essa localização estratégica, juntamente com a proximidade a aeroportos e ao porto de Santos no litoral paulista, favorece o desenvolvimento econômico regional. Este crescimento está associado a diversos setores, incluindo automotivo, metalmecânico, sucroalcooleiro, agroindustrial, ceramista, biotecnológico e de biocombustíveis. Além disso, a RMP se destaca como um importante pólo científico regional, abrigando universidades públicas e privadas, além de renomados institutos de pesquisa de alcance internacional.

A presença de empresas, universidades e oportunidades de emprego atrai

¹⁰ O Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI), instituído pelo Estatuto da Metrópole (Lei 13.089/2015), é um instrumento de gestão para regiões metropolitanas e áreas interligadas. Visa promover o planejamento conjunto entre municípios integrando políticas públicas, infraestrutura e desenvolvimento socioeconômico.

uma população migrante de várias regiões do país, que vem para a área em busca de trabalho e educação. A mobilidade pendular dos habitantes e o transporte de mercadorias são facilitados pela inclusão da Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) em importantes sistemas rodoviários estaduais, como as rodovias Anhanguera-Bandeirantes, Washington Luiz, Fausto Santomauro e do Açúcar.

Para a construção do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI), mencionado anteriormente, foi desenvolvido o “Diagnóstico da Região Metropolitana de Piracicaba”, elaborado pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE). Esse estudo incluiu análises detalhadas e mapeamentos do território, abordando áreas essenciais para a consolidação e crescimento da região metropolitana, como: organização urbana, processo de urbanização, distribuição de centralidades, vulnerabilidades socioterritoriais, políticas habitacionais, infraestrutura urbana e de serviços públicos, mobilidade, sistemas de transporte e logística, dinâmicas econômicas e ambientais, além de aspectos relacionados à gestão pública e à governança regional (FIPE, 2022).

De acordo com a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE, 2022) a Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) destaca-se como um polo relevante de crescimento industrial e agrícola no Estado de São Paulo. Sua localização estratégica, situada no eixo urbano-industrial que conecta as Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas, permitiu que compartilhasse do crescimento populacional e econômico observado em outras áreas da Macrometrópole Paulista ao longo dos últimos dez anos.

O documento em questão destaca que Piracicaba se configura como o principal pólo de centralidade da rede urbana regional, reunindo importantes ativos urbanos, como o hospital regional, o aeroporto, o parque tecnológico e instituições de ensino superior, além de complexos industriais, áreas comerciais e espaços culturais. Essa posição de centralidade é compartilhada com cidades como Limeira, Rio Claro e Araras, que atendem parcialmente a demanda por comércio e serviços dos municípios vizinhos, atuando de forma integrada entre si e com Piracicaba. Essas cidades também abrigam instituições de ensino superior, parques industriais, aeródromos, unidades do Poupatempo, shoppings centers e outros equipamentos de abrangência regional.

Em um nível complementar, Leme e Pirassununga exercem certa atratividade sobre os municípios próximos, enquanto Capivari, São Pedro e Águas de São Pedro destacam-se pelo turismo. Além disso, observa-se uma forte interação entre os municípios localizados nos limites da região metropolitana e cidades vizinhas de outras regiões, especialmente aquelas próximas à Região Metropolitana de Campinas. Dessa maneira, evidencia-se que a Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) configura-se como um pólo significativo de expansão industrial e agrícola no Estado de São Paulo.

A Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) destaca-se no cenário educacional, abrigando instituições acadêmicas que impulsionam o desenvolvimento regional por meio da geração de conhecimento e pesquisa. Essas iniciativas desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade de vida da população. Conforme evidenciado no Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI), a RMP possui uma extensa e diversificada rede de formação e pesquisa, com forte presença de universidades, escolas técnicas e tecnológicas. Além disso, a região conta com um sistema de inovação robusto, embora predominantemente focado no agronegócio (FIPE, 2022).

Além disso, a região possui um grande número de municípios que abrigam Escolas Técnicas Estaduais (ETECs)¹¹, instituições de ensino técnico, médio e integrado ao médio, que fazem parte do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Também está presente na região o Colégio Técnico de Limeira (COTIL), vinculado à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), além de dois pólos¹² das Faculdades de Tecnologia do Estado de São Paulo (Fatecs), localizados em Araras e Piracicaba.

A RMP abrange algumas das principais universidades e centros de pesquisa do Brasil, tanto estaduais quanto federais. Entre elas, destacam-se a Universidade de São Paulo (USP) em Pirassununga e Piracicaba; a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) com campi em Limeira e Piracicaba¹³; a

¹¹ As Escolas Técnicas Estaduais (ETECs) estão presentes em vários municípios da RMP, como Pirassununga, Piracicaba, Araras, São Pedro, Rio Claro, Limeira e Leme. Além disso, as extensões da ETEC, que oferecem cursos técnicos em escolas estaduais, estão localizadas em Capivari, Charqueada, Conchal, Cordeirópolis e Santa Maria da Serra.

¹² Atualmente, existem projetos em andamento para a instalação de novas unidades das Faculdades de Tecnologia (Fatecs) nos municípios de Limeira e Rio Claro.

¹³ Os cursos superiores do IFSP em Piracicaba são voltados para a área de exatas. Além da formação superior, o IFSP oferece pós-graduação em Direitos Humanos e cursos técnicos

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) em Rio Claro; a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) em Araras; e o Instituto Federal de São Paulo (IFSP) em Piracicaba. Juntas, essas instituições oferecem cerca de quarenta cursos de graduação e diversas opções de pós-graduação nas áreas de ciências humanas, exatas e biológicas.

Além disso, é relevante destacar a presença de diversas instituições privadas de ensino superior, especialmente nos maiores municípios da região, como Piracicaba, Limeira, Rio Claro e Araras. Essas instituições oferecem uma ampla variedade de cursos de graduação e pós-graduação em várias áreas, com ênfase nos cursos de Medicina, disponíveis em Araras, Rio Claro e Limeira.

Esses cursos atraem diariamente um grande número de alunos de outras regiões do estado e do país. Portanto, além da importância de uma educação básica e técnica de qualidade, a presença de universidades renomadas contribui significativamente para o desenvolvimento regional, proporcionando não apenas formação superior, mas também ações de disseminação do conhecimento para a população por meio de ensino, pesquisa e extensão. Vale ressaltar que essas instituições também impulsionam a economia local em diversos setores, como imobiliário, transportes, restaurantes, lojas, supermercados e shopping centers.

Uma característica distinta da RMP é a presença de bases militares do Exército Brasileiro EB - (13º Regimento de Cavalaria Mecanizado - ACISO) e da Academia da Força Aérea Brasileira (AFA) em Pirassununga, instaladas na década de 1970. A AFA, conhecida como "Ninho das Águias", é um centro de excelência na formação de aviadores, intendentos e infantess, sendo parte essencial do sistema de formação aeronáutica e sede da famosa "Esquadrilha da Fumaça", que realiza demonstrações aéreas a nível mundial.

Além disso, é importante notar que grande parte da formação oferecida pelas instituições de ensino, sejam técnicas ou universitárias, está alinhada com as principais atividades econômicas desenvolvidas na RMP.

concomitantes e integrados, como Técnico em Mecânica, Técnico em Informática integrado ao Ensino Médio e Técnico em Manutenção Automotiva Integrada ao Ensino Médio.

3.2 Alocação das atividades econômicas na RMP

Relativo às fontes econômicas, a **Tabela 4** apresenta a Distribuição do Valor Adicionado (DVA) por setor da economia nos municípios da RMP. Esta distribuição abrange os resultados das atividades agropecuárias, industriais e de serviços, tanto do setor privado quanto da administração pública. Conforme Cavalcante e Rodrigues (2016), a DVA é uma ferramenta essencial para verificar a distribuição de riquezas para o governo, facilitando a análise tributária das empresas em cada setor da economia.

Tabela 4 - Distribuição do valor adicionado por setor econômico nos municípios da Região Metropolitana de Piracicaba em 2021

Município	PIB (R\$ - x1000)	PIB per capita (R\$ - x1000)	Agropecuária (R\$ - x1000)	Indústria (R\$ - x1000)	Serviços - Exclusive Administração, defesa, educação e saúde públicas, seguridade social (R\$ - x1000)	Administração, defesa, educação, saúde públicas e seguridade social (R\$ - 1000x)
Águas de São Pedro	147.855,14	41.208,23	0	8.858,84	98.194,68	31.514,80
Analândia	208.314,00	40.726,10	46.530,60	55.494,84	61.449,91	35.351,74
Araras	6.942.567,27	50.772,40	174.528,66	1.569.122,47	3.673.554,21	611.475,85
Capivari	2.990.809,57	52.495,21	60.898,21	1.045.163,30	1.086.429,18	297.785,23
Charqueada	515.122,58	29.370,12	21.621,04	174.764,36	187.873,34	74.413,25
Conchal	859.274,27	30.159,50	46.361,61	238.864,19	349.403,84	126.418,66
Cordeirópolis	4.107.826,50	163.554,17	60.273,84	1.298.662,35	1.915.957,77	197.078,76
Corumbataí	345.025,59	84.731,24	38.854,12	19.007,58	200.435,34	31.662,99
Elias Fausto	1.004.655,10	55.521,14	101.618,80	371.413,35	300.563,40	96.498,85
Ipeúna	947.911,80	121.154,37	24.395,32	486.813,77	272.643,30	42.254,99
Iracemópolis	2.127.925,26	85.178,34	22.556,37	714.975,25	749.838,89	122.989,78
Leme	4.101.866,54	38.964,09	111.181,59	983.962,35	1.929.158,94	459.955,02

Continua

Limeira	16.060.738,81	51.678,31	113.031,06	4.846.073,77	7.194.792,77	1.324.328,68
Mombuca	124.517,47	35.344,16	24.900,34	30.102,07	35.638,20	25.990,34
Piracicaba	34.555.723,85	84.225,76	168.945,82	9.974.330,04	14.606.754,80	1.922.643,90
Pirassununga	3.312.332,24	42.833,73	128.540,36	592.377,46	1.720.941,36	387.141,68
Rafard	442.882,50	48.529,75	20.286,32	174.144,12	141.670,81	45.998,40
Rio Claro	13.245.335,96	63.209,08	112.216,84	4.767.917,62	5.155.244,74	1.035.055,22
Rio das Pedras	1.787.681,41	49.338,49	29.941,31	401.905,02	834.683,38	175.137,14
Saltinho	377.871,41	44.465,92	18.640,61	65.924,15	189.118,57	45.259,45
Santa Cruz da Conceição	161.650,68	35.264,11	26.035,01	21.339,89	64.182,38	32.998,88
Santa Gertrudes	3.895.817,99	139.885,74	11.776,00	2.307.247,56	723.287,44	164.236,20
Santa Maria da Serra	153.023,63	24.297,18	29.119,76	26.485,31	55.640,42	31.762,63
São Pedro	886.335,96	24.418,31	64.623,83	64.260,76	514.870,53	165.476,39

Fonte: ELABORADO PELA AUTORA COM BASE NO IBGE (2021)

De acordo com o IBGE (2021), o PIB do Estado de São Paulo em 2021 foi de R\$ 2.719.751 trilhões. No mesmo ano, a RMP, então considerada Aglomeração Urbana, registrou um PIB de R\$ 82.282.270,61 bilhões, representando 3,02 % do PIB estadual. Esse valor ficou atrás das RMs de São Paulo (50,99%), Campinas (9,79%) e Baixada Santista (2,91%). Quanto ao PIB per capita, a média do Estado de São Paulo foi de R\$70.471 bilhões, enquanto a média dos municípios da Região Metropolitana de Piracicaba foi superior, atingindo R\$59.888,5. Cordeirópolis destacou-se com o maior PIB per capita da região, alcançando R\$ 163.554,17, enquanto Santa Maria da Serra registrou o menor PIB per capita, com R\$ 24.297,18.

Consoante a **Tabela 4**, é evidente que, na maioria dos municípios da RMP, predominam atividades econômicas urbanas, com maior ênfase no setor de serviços. No entanto, nos municípios de Araras, Capivari, Cordeirópolis, Limeira, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes, a indústria tem maior relevância, representando mais de 50% do valor adicionado bruto.

Já os municípios Analândia, Mombuca, Rafard e Santa Maria da Serra apresentam características multissetoriais, com valores adicionados brutos nos setores agropecuário, industrial, serviços e administração pública que não ultrapassam a 50%. Araras, Capivari, Conchal, Cordeirópolis, Iracemápolis, Leme, Limeira, Piracicaba, Pirassununga, Rio Claro, Santa Gertrudes, Rio das Pedras e São Pedro apresentam maior peso em serviços, com valores adicionados brutos próximos ou acima de 50%.

Os municípios de Limeira, Piracicaba e Rio Claro, que são considerados polos da Região Metropolitana, possuem mais de 50% do valor adicionado bruto em serviços. No entanto, esses municípios são também importantes para o Estado como centros industriais, com valores adicionados brutos industriais absolutos que superam R\$ 3 bilhões. O município de Araras também merece destaque. Embora não seja um polo na região metropolitana, Araras, assim como Limeira, Piracicaba e Rio Claro, tem mais de 50% do valor adicionado bruto em serviços e é relevante para o Estado como um município industrial, com valores adicionais brutos industriais absolutos superiores a R\$ 1 bilhão.

Portanto, com base nesses dados, é possível perceber a diversidade dos setores econômicos que compõem a dinâmica da Região Metropolitana de Piracicaba. Conforme já mencionado, a RMP é notável pela variedade de atividades econômicas nos setores alimentício, automobilístico, cerâmico, metal mecânico, sucroenergético, agroindustrial, entre outros.

3.3 Caracterização ambiental da RMP

A esfera ambiental da RMP (Região Metropolitana de Piracicaba-SP) inclui as Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHI) do PCJ e Mogi-Guaçu, a Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí, Botucatu e Tejuipá, bem como a Bacia Hidrográfica do Corumbataí.

Os municípios integrantes da RMP estão incluídos na Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos do Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI – PCJ) e na Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos do rio Mogi-Guaçu (**Tabela 5**).

Tabela 5 - Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos (UGRHI)

Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos (UGRHI)	Divisão das Bacias Hidrográficas	Municípios da Região Metropolitana de Piracicaba (RMP)
Piracicaba Capivari Jundiaí P.C.J	Piracicaba	Águas de São Pedro Capivari Charqueada Cordeirópolis Itacemópolis Limeira Piracicaba Rio das Pedras Saltinho Santa Maria da Serra São Pedro
	Capivari	Capivari Elias Fausto Mombuca Rafard Rio das Pedras
	Corumbataí	Analândia Charqueada Cordeirópolis Corumbataí Ipeúna Piracicaba Rio Claro Santa Gertrudes
Mogi-Guaçu	Alto-Mogi	Araras Conchal Leme Santa Cruz da Conceição
	Baixo-Mogi	Pirassununga

As Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHI) no Estado de São Paulo são categorizadas como agropecuárias, de conservação, em processo de industrialização e industrializadas. Conforme o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Grande (PIRH Grande) para o período de 2018 a 2028, a cultura da cana-de-açúcar prevalece com 46% de predominância, especialmente na sub-bacia SB5 – Baixo Mogi. Nas outras sub-bacias (Peixe, Jaguari, Alto Mogi e Médio Mogi). A principal atividade é a agropecuária, representando 20%. A Disponibilidade Hídrica Natural de 23 m³/s. No que se refere ao tratamento de esgoto, apresenta uma taxa média.

Segundo o Relatório de Situação da Bacia do Mogi-Guaçu (2021), a análise do indicador de disponibilidade de água per capita por habitante por ano (vazão média em relação à população total) na UGRHI 09 revela uma diminuição constante de 2016 a 2020, com uma redução de aproximadamente 2,87% na disponibilidade per capita de águas superficiais. Este declínio gradual na disponibilidade hídrica na Bacia do rio Mogi pode ser atribuído a uma combinação de fatores, incluindo o crescimento populacional na UGRHI 09 e os impactos das mudanças climáticas, que resultaram em índices anuais de precipitação abaixo das médias históricas.

Já a UGRHI 5 - PCJ está classificada como industrializada apresentando, segundo o Relatório de Situação das Bacias do PCJ 2022. É importante ressaltar que parte da área dos municípios que compõem a RMP fazem parte da Área de Proteção Ambiental [APA] do Corumbataí-Botucatu-Tejupá - perímetro do Corumbataí. A APA do Corumbataí-Botucatu-Tejupá – perímetro Corumbataí abrange os municípios de São Carlos, Analândia, Brotas, Itirapina, Corumbataí, Ipeúna, Rio Claro, Dois Córregos, Torrinha, Mineiros do Tietê, Barra Bonita, Santa Maria da Serra, São Pedro, Charqueada e São Manuel, dos quais são integrantes da RMP os municípios de Analândia, Charqueada Corumbataí, Ipeúna, Rio Claro, Santa Maria da Serra e São Pedro. No Perímetro Corumbataí, o relevo das cuestas forma uma de grande importância ambiental e paisagem exuberante. Dentre os principais trechos de escarpa, destacam-se a "Serra do Itaqueri" e a "Serra de São Pedro". Paredões rochosos exibem as camadas sobrepostas da

Bacia Sedimentar do Paraná, criando patamares que, junto com os morros, evidenciam o lento processo de erosão das cuestas.

As encostas das cuestas e morros são cobertas por vegetação nativa, que inclui extensões interioranas da Mata Atlântica nas escarpas, cerrados e cerradões no reverso das cuestas, e matas de galerias ao longo dos cursos d'água, com inúmeras cachoeiras resultantes dos desníveis abruptos do relevo (CBH-PCJ, 2022).

A Área de Proteção Ambiental (APA) de Piracicaba - Juqueri-Mirim (área II) abrange os municípios de Analândia, Corumbataí, Itirapina, Ipeúna e Rio Claro, situando-se nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba e Juqueri-Mirim. Essa APA inclui parte da sub-bacia do rio Corumbataí e se sobrepõe parcialmente ao Perímetro Corumbataí da APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá, reforçando a proteção ambiental da área.

Assim como a APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá, a APA de Piracicaba - Juqueri-Mirim (área II) preserva os atributos naturais e paisagísticos das cuestas, morros testemunhos e planaltos reversos do Planalto Ocidental Paulista (**Figura 13**).

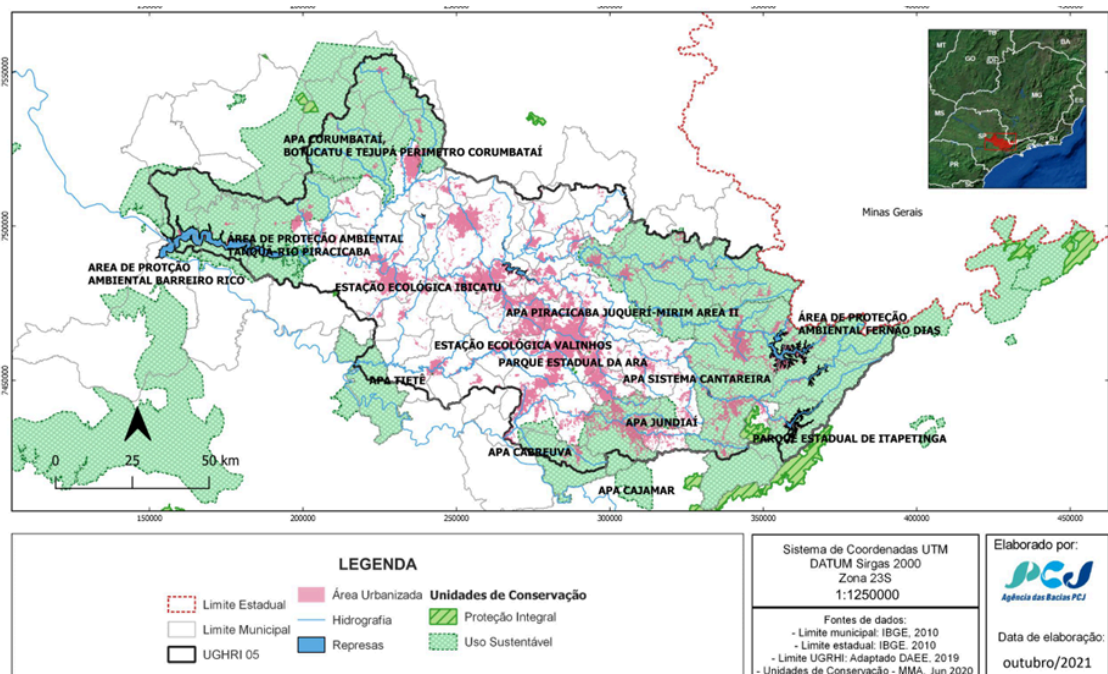
A Área de Proteção Ambiental (APA) de Piracicaba - Juqueri-Mirim tem como objetivo principal assegurar a qualidade e a quantidade de água destinada ao abastecimento público das cidades situadas na bacia do rio Corumbataí, como Rio Claro e Piracicaba, localizadas a jusante. Devido à sobreposição de perímetros, os estudos para sua regulamentação foram realizados em conjunto com a APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá, especificamente no Perímetro Corumbataí, conforme ilustrado no mapa (CBH-PCJ, 2022).

A bacia do rio Corumbataí desempenha um papel crucial como manancial para os municípios de Piracicaba, Analândia, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina, Rio Claro e Santa Gertrudes. Portanto, a preservação dessa bacia é de interesse comum para diversos municípios da Região Metropolitana de Piracicaba (RMP).

Está prevista a construção de uma barragem no rio Corumbataí, na região de Ipeúna, com capacidade para acumular mais de 1,7 bilhão de litros. O objetivo da barragem é garantir a segurança hídrica da região, preparando-a para eventos

extremos, como longos períodos de estiagem (CBH-PCJ, 2022).

Figura 13 - Unidades de Conservação inseridas nas bacias PCJ



Fonte: RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (2022)

3.4 Situação da disponibilidade hídrica da RMP (UGRHI 5 e 9)

3.4.1 Bacias do PCJ (UGHRI 5)

Consoante ao Relatório de Situação das Bacias do PCJ (2022), ocorreu uma redução contínua na disponibilidade hídrica per capita, passando de 980,96 m³ por habitante por ano em 2016 para 944,33 m³ por habitante por ano em 2021, caracterizando uma situação crítica. Isso é baseado no Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo, adotando como referência o limite estabelecido pela ONU (UNESCO, 2003) de 1.500 m³ por habitante por ano para a disponibilidade per capita de água, revela uma tendência de queda. Essa diminuição representa uma redução de aproximadamente 4% ao longo de um período de cinco anos.

Enquanto entre 2019 e 2020 a redução na disponibilidade foi de cerca de 10 m³ por habitante por ano, nos dois últimos anos a redução foi um pouco menor, na ordem de 7,2 m³/s.

Tabela 6 - Valores de Referência de disponibilidade per capita da UGRHI 5

Disponibilidade <i>per capita</i> - Vazão média em relação à população total	
> 2.500 m³/hab.ano	Atenção
entre 1.500 e 2.500 m³/hab.ano	Boa
< 1.500 m³/hab.ano	Crítica

Fonte: RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (2022)

Segundo o **Tabela 7**, consoante a UGRHI 5 (Piracicaba, Capivari, Jundiaí - PCJ) o mesmo não apresenta a disponibilidade subterrânea per capita, mas aponta um comprometimento contínuo da reserva explotável. A análise dos dados brutos do indicador revela que essa reserva diminuiu ao todo 36,63 m³ entre 2017 e 2021, sugerindo uma demanda crescente ao longo dos anos. Embora contribuam para a disponibilidade de água, os mananciais subterrâneos são difíceis de avaliar em relação à sua vazão real disponível (CBH-PCJ, 2022).

Tabela 7 - Disponibilidade das Águas da UGRHI 5

Disponibilidade das águas					
Parâmetros	2017	2018	2019	2020	2021
Disponibilidade <i>per capita</i> – Vazão média em relação à população total (m³/hab.ano)	 980,96	 971,08	 961,29	 951,57	 944,33

Fonte: RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (2022)

Diante do cenário hidrometeorológico desafiador nas Bacias PCJ, marcado por precipitações abaixo das médias históricas e com projeções de continuidade dessa tendência, os Comitês PCJ implementaram, em junho de 2021, a "Operação de Estiagem PCJ - 2021". Essa iniciativa envolveu a criação do Grupo de Trabalho (GT-Estiagem 2021), no âmbito da Câmara Técnica de Planejamento (CT-PL). O GT-Estiagem 2021 teve como objetivo principal a implementação da "Operação de Estiagem PCJ - 2021" nas Bacias PCJ. Essa operação consistiu

em um conjunto de ações coordenadas, coletivas e integradas, visando o planejamento e o enfrentamento de possíveis problemas decorrentes da escassez de recursos hídricos durante o período de estiagem de 2021, afetando os usuários de recursos hídricos das Bacias PCJ (CBH-PCJ, 2022).

3.4.2 CBH-MOGI (UGRHI 9)

Os dados do banco de dados CRHI/SIMA 2021, referentes ao ano base de 2020, indicam que a vazão média de longo período na UGRHI 9 é de aproximadamente 199 m³/s. É importante ressaltar que o cálculo da "Qmédia" utiliza a metodologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e, na prática, considera a UGRHI 09 como uma única região hidrográfica, desconsiderando as particularidades de disponibilidade e população de cada sub-bacia. Essa abordagem metodológica requer cautela na interpretação dos resultados, pois pode apresentar uma visão distorcida, na qual grande parte da disponibilidade hídrica superficial da UGRHI 09 e dos municípios seria destinada exclusivamente ao consumo humano (CBH-MOGI, 2021).

Embora seja importante reconhecer as limitações metodológicas, o parâmetro adotado pelas Nações Unidas e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) oferece uma base valiosa para a comparação da situação hídrica entre diferentes regiões e países. A análise do indicador de disponibilidade de água per capita por habitante por ano (vazão média em relação à população total) na UGRHI 09 revela uma tendência de declínio contínuo, com uma redução de 2,87% na disponibilidade per capita de águas superficiais no período de 2016 a 2020 (CBH-MOGI, 2021).

A redução gradual da disponibilidade hídrica na Bacia do rio Mogi pode ser atribuída ao crescimento populacional na UGRHI 09, somado aos impactos das mudanças climáticas e à ocorrência de precipitações anuais abaixo das médias históricas. Apesar disso, a situação é classificada como "boa" em relação aos valores de referência adotados neste relatório, que foram adaptados do Quadro Mundial estabelecido pela ONU (UNESCO, 2003). Isso se deve ao fato de que a média se mantém acima do valor de referência (≥ 2.500 m³/hab.ano). Contudo, é importante notar que a UGRHI 09 figura entre as menores disponibilidades hídricas do Estado, ocupando a 9ª posição (CBH-MOGI, 2021).

Tabela 8 - Disponibilidade per capita da UGRHI 09 (m³/hab.ano)

Parâmetros	Período				
	2016	2017	2018	2019	2020
Disponibilidade <i>per capita</i> - Vazão média em relação à população total (m³/hab.ano)	4.110,61	4.080,83	4.051,18	4.021,69	3.992,32

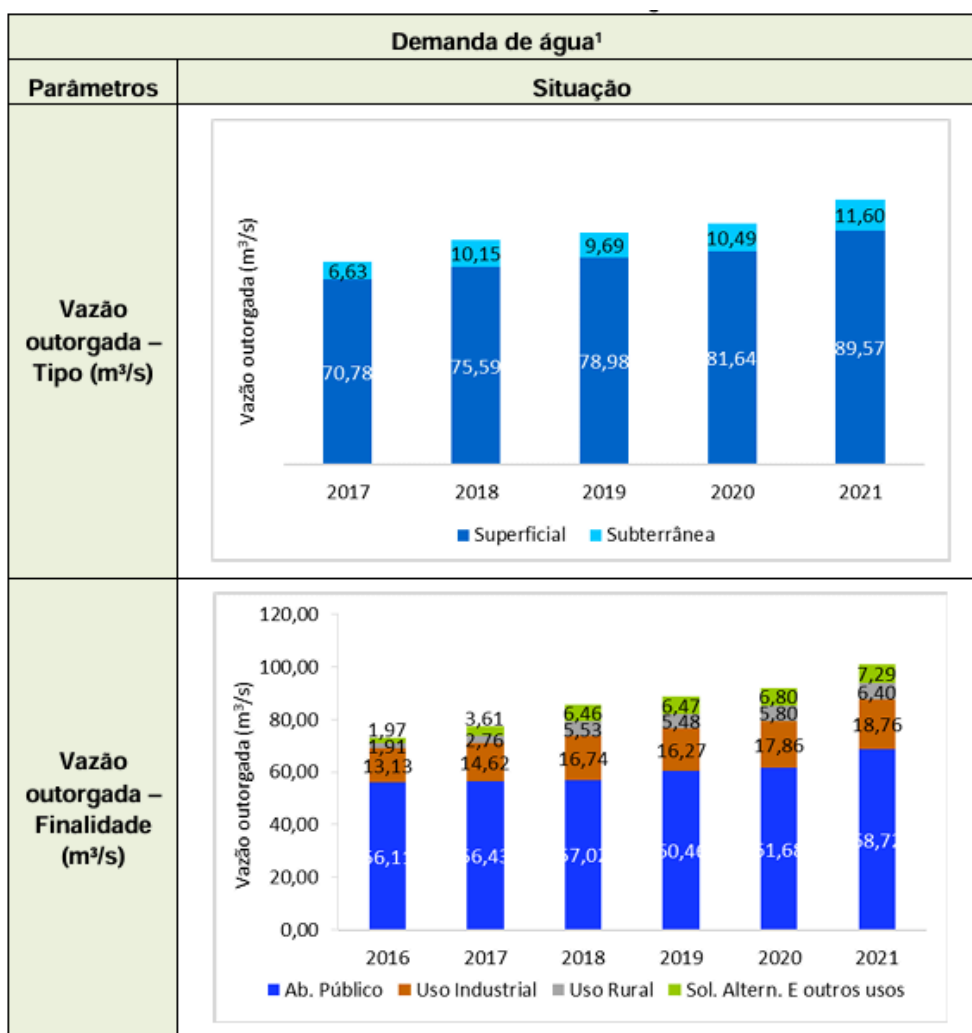
Fonte: COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU (2021)

3.5 Demanda de uso da água nas UGRHIS (5 e 9)

3.5.1 Bacias do PCJ - (UGRHI 5)

O Relatório de Situação das Bacias do PCJ (2022) destaca que, a partir de 2017, a metodologia de dados de demanda foi padronizada com a utilizada pelo DAEE. Essa padronização incluiu a uniformização das finalidades de uso, abrangendo categorias como "abastecimento público", "uso rural", "uso industrial", "soluções alternativas e outros usos". Apenas os dados a partir de 2013 foram adaptados a essa metodologia, o que implica que dados anteriores a esse ano podem apresentar discrepâncias na base de dados e, portanto, não são considerados na análise do Relatório de Situação. A análise dos indicadores de demanda de água revela que as vazões outorgadas para uso de águas superficiais continuam a predominar na UGRHI 05. Em contraste com 2019, quando houve uma redução na vazão subterrânea outorgada em relação ao total outorgado, em 2020 houve um aumento significativo, atingindo o maior nível (10,49 m³/s) na série de dados (**Gráfico 1**).

Gráfico 1 - Demanda de Água



Fonte: RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (2022)

É importante notar que os dados apresentados no Gráfico 1 incorporam, conforme a metodologia do Relatório de Situação, as vazões da transposição do Sistema Cantareira no cálculo da demanda total, superficial e urbana de água. Contudo, é relevante destacar que outras análises realizadas nas Bacias PCJ, como a determinação da demanda do Plano das Bacias PCJ 2010-2020, excluem esses valores, da ordem de 31 m³/s, da demanda de água das Bacias PCJ. Além disso, observam-se variações significativas nos valores em comparação com outros estudos realizados nas Bacias PCJ. Pontue-se, ademais, que em 2017 passaram a vigorar novas regras para operação do Sistema Cantareira, de forma que a vazão máxima que pode ser transposta passou a variar com as condições de armazenamento dos reservatórios.

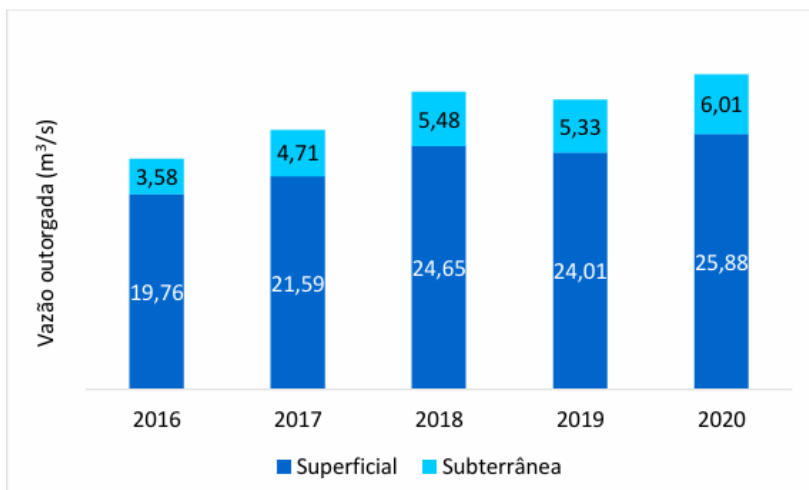
De acordo com o Relatório de Situação das Bacias do PCJ (2022), a análise setorial revela que o abastecimento público voltou a apresentar um crescimento mais significativo, cerca de 11,5%, passando de 61,6 m³/s em 2020 para 68,7 m³/s em 2021. Nos demais setores, o uso rural destacou-se com um crescimento mais expressivo, de 10,5% em relação ao ano anterior. Também merece destaque o aumento de 7% nas soluções alternativas e outros usos, em comparação com a demanda de 2020. Esses setores superaram a demanda industrial, que teve um crescimento de 5% em relação a 2020, ano em que havia crescido quase 10% em relação a 2019. Essa situação demonstra um crescimento elevado nos diversos usos na UGRHI 05, apesar da baixa disponibilidade hídrica.

3.5.2 CBH-MOGI (UGRHI 9)

A demanda total na UGRHI 9, conforme este relatório, é calculada com base na vazão total outorgada pelo DAEE, abrangendo águas superficiais e subterrâneas para todos os tipos de uso. Essa totalidade considera também as outorgas de municípios em UGRHIs adjacentes, desde que estejam na área de abrangência da UGRHI em questão (CBH MOGI, 2021).

A análise da vazão total outorgada de 31,89 m³/s, proveniente do banco de dados da Coordenadoria de Recursos Hídricos (CRHi), demonstra que em 2020 houve uma predominância de água superficial (81,15%) em relação à demanda por água subterrânea (18,84%). Observa-se um aumento contínuo na demanda por águas superficiais e subterrâneas, passando de 23,35 m³/s em 2016 para 31,89 m³/s em 2020, o que representa um crescimento de 37% (CBH MOGI, 2021).

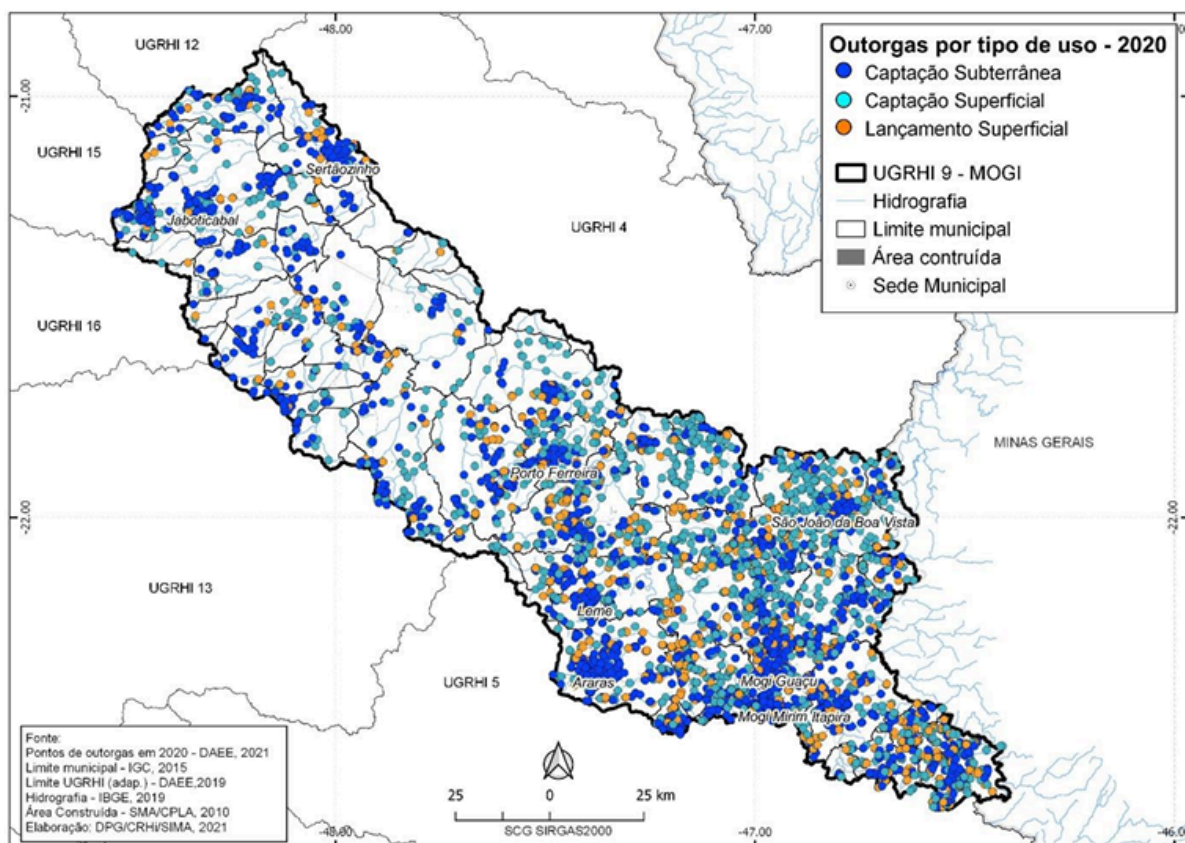
Gráfico 2 - Gráfico de vazões superficiais e subterrâneas em relação a vazão total outorgada.



Fonte: COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU (2021)

A distribuição das outorgas de captação na UGRHI 09 revela uma concentração significativa nas sub-bacias SB1 - Peixe, SB2 - Jaguari Mirim e SB3 - Alto Mogi. Nessas áreas, observa-se uma convergência de fatores, incluindo uma alta densidade populacional, baixa disponibilidade hídrica por pessoa, demanda elevada e um número considerável de barragens outorgadas (CBH MOGI, 2021).

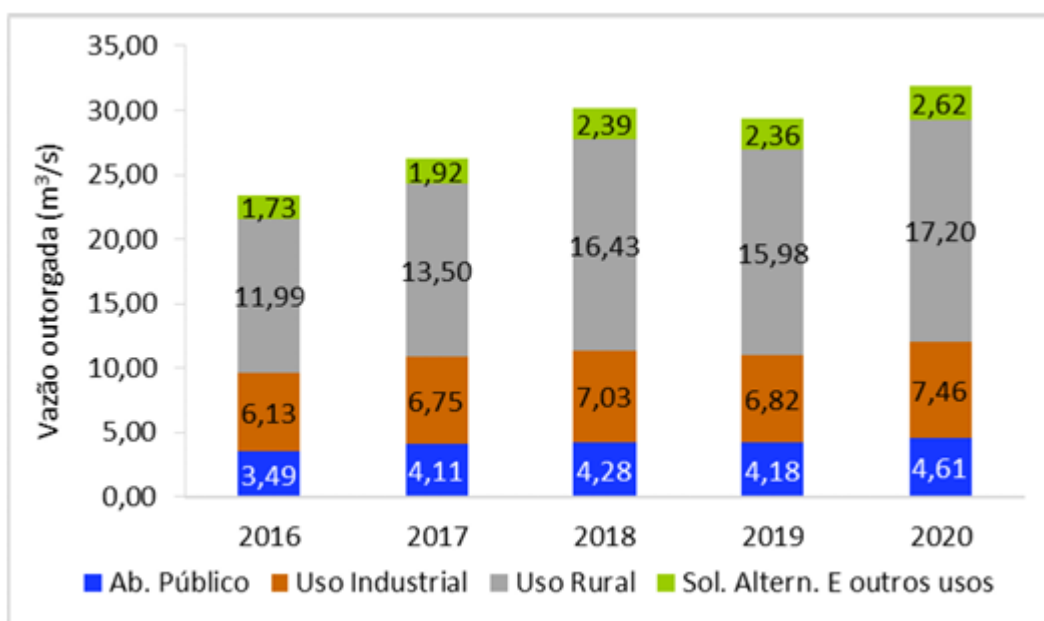
Figura 14 - Captações superficiais, subterrâneas e lançamentos na UGRHI 09



Fonte: COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU (2021)

O uso predominante da água na UGRHi 09 é destinado ao setor rural, conforme mostrado no **Gráfico 3**. Esse indicador aumentou de 11,99 m³/s para 17,20 m³/s entre 2016 e 2020, evidenciando uma tendência de crescimento, principalmente devido ao aumento da demanda para irrigação de culturas agrícolas.

Gráfico 3 - Gráfico vazão outorgada x finalidade de uso na UGRHI 09



Fonte: COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU (2021)

Em 2020, o setor rural foi responsável por 53,94% (17,20 m³/s) da demanda total de água na UGRHi 09, destacando-se nas sub-bacias SB3 – Alto Mogi, SB2 – Jaguari Mirim e SB4 – Médio Mogi, que representaram 33%, 32% e 21%, respectivamente, da demanda rural. Os municípios Mogi Guaçu, Aguaí, São João da Boa Vista, Pirassununga, Descalvado, Motuca, Rincão, Leme e Espírito Santo do Pinhal tiveram demanda superior a 0,50 m³/s, com Mogi Guaçu, São João da Boa Vista, Leme e Pirassununga sendo os maiores demandantes.

O setor industrial foi o segundo maior usuário, representando 23,39% (7,46 m³/s) da demanda total. A demanda industrial foi mais significativa na sub-bacia SB5 – Baixo Mogi, com 61% do total, sendo Sertãozinho o município com maior demanda (2,60 m³/s). Araras (0,54 m³/s) e Pirassununga (0,53 m³/s) também se destacaram no uso industrial (CBH MOGI, 2021).

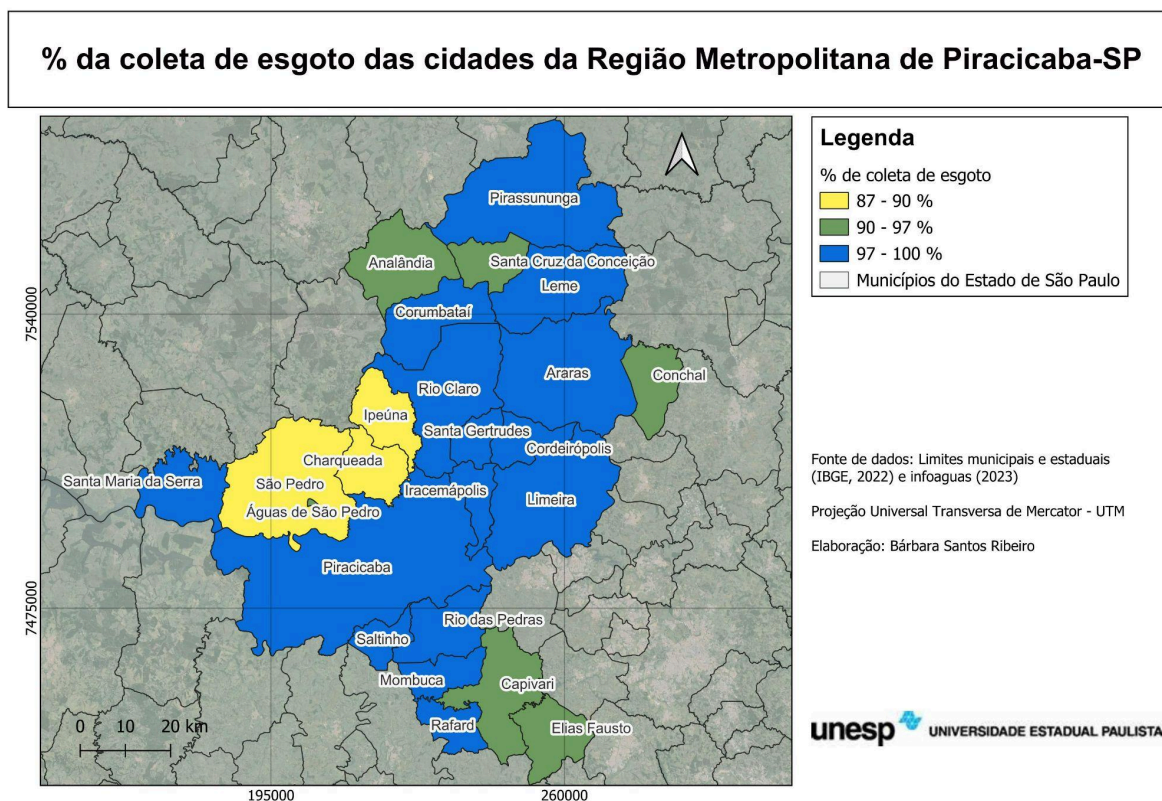
O abastecimento público, representando 14,45% (4,61 m³/s) da demanda total, foi o terceiro maior usuário. Entre 2016 e 2020, houve um aumento de 32% na demanda para abastecimento público, passando de 3,49 m³/s para 4,61 m³/s. Vale ressaltar que as demandas refletem as vazões outorgadas, e a análise fica prejudicada para municípios cujos usos para abastecimento público ainda não foram outorgados (CBH MOGI, 2021).

Observa-se um aumento expressivo na demanda por soluções alternativas e usos diversos na UGRHI 09, com um crescimento de 52% entre 2016 e 2020, passando de 1,73 m³/s para 2,62 m³/s. Essa demanda representa 8,05% do total outorgado, que é de 31,89 m³/s. O uso de água para essas finalidades concentra-se predominantemente na sub-bacia SB3 – Alto Mogi, onde corresponde a 57% da demanda outorgada para essa categoria (CBH MOGI, 2021).

3.6 Saneamento da Região Metropolitana de Piracicaba-SP

De acordo com o **Figura 15**, os dados de coleta de esgoto mostram uma boa performance geral nas cidades analisadas, com a maioria apresentando índices elevados de coleta.

Figura 15 - % de coleta de esgoto nas cidades da RMP em 2023



Fonte: ELABORADO PELA AUTORA

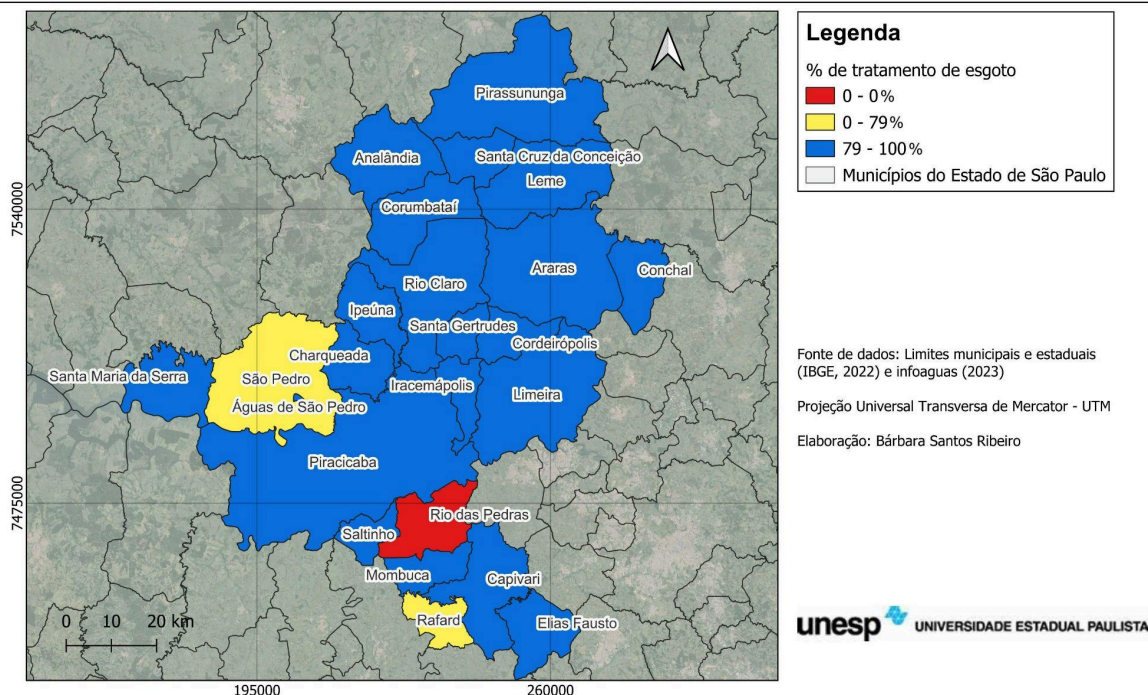
As cidades da faixa de cor verde registraram taxas acima de 96%, refletindo em uma boa gestão de esgoto. Esse cenário é importante para a proteção da saúde pública e a preservação dos recursos hídricos, uma vez que a coleta eficiente impede a contaminação dos corpos d'água por efluentes não tratados.

Além disso, todas as cidades analisadas apresentaram taxas de coleta superiores a 86%, com a maioria alcançando 100%. Isso demonstra um avanço na infraestrutura de saneamento na região. No entanto, é importante que as cidades mantenham investimentos contínuos em infraestrutura e melhorias na coleta, assegurando que as ações de coleta estejam alinhadas ao tratamento adequado. Dessa forma, poderão garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e a qualidade da água na região.

Referente a **Figura 16**, os dados indicam que a maioria das cidades analisadas possui 100% de tratamento de esgoto, refletindo um cenário positivo para a qualidade da água e a gestão dos recursos hídricos.

Figura 16 - % de tratamento de esgoto nas cidades da RMP em 2023

% tratamento de esgoto nas cidades da Região Metropolitana de Piracicaba-SP



Fonte: ELABORADO PELA AUTORA

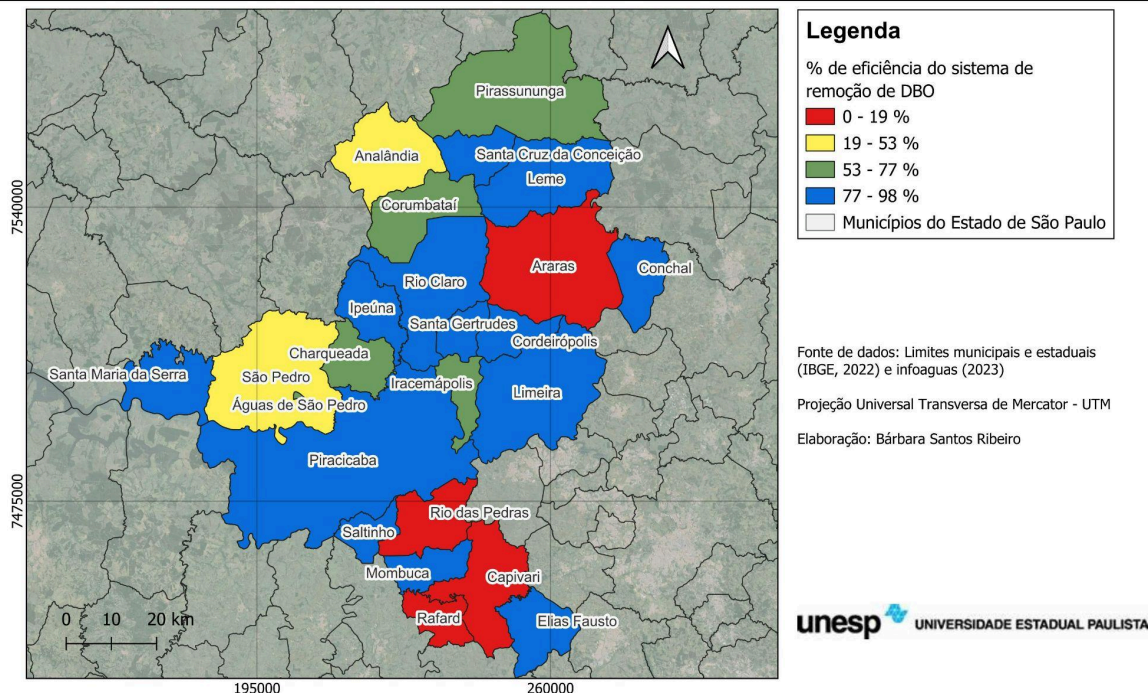
No entanto, algumas exceções merecem atenção, como Rafard, com apenas 10% de tratamento, São Pedro, com 79%, e, especialmente, Rio das Pedras, que não realiza nenhum tratamento (0%). Nessas localidades, a alta carga poluente liberada diretamente nos corpos hídricos aumenta significativamente a pegada hídrica cinza, comprometendo a qualidade da água e exigindo grandes volumes para diluição dos poluentes.

Diante desse cenário, é fundamental que as cidades com baixos índices de tratamento implementem medidas para ampliar e modernizar suas estações de tratamento de esgoto. O aprimoramento da infraestrutura de saneamento reduziria os impactos ambientais e contribuiria para a sustentabilidade dos recursos hídricos. Além disso, a adoção da pegada hídrica cinza como indicador de gestão pode auxiliar no monitoramento da qualidade da água e no desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes para o controle da poluição hídrica. Por fim, é importante ressaltar as porcentagem de cada cidade sobre o parâmetro DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

A **Figura 17**, revela uma variação significativa entre as cidades analisadas, refletindo diferenças na qualidade do esgoto tratado.

Figura 17 - % de eficiência do sistema de remoção de DBO nas cidades da RMP em 2023

% de eficiência do sistema de remoção de DBO nas cidades da Região Metropolitana de Piracicaba-SP



Fonte: ELABORADO PELA AUTORA

Cidades na faixa de coloração azul, indicam uma eficiência no tratamento dos efluentes e, conseqüentemente, menor impacto ambiental. Entretanto, as cidades com os maiores índices de porcentagem de DBO, como as cidades na faixa de coloração vermelha, apresentam preocupações sérias em relação ao impacto hídrico. Esses valores elevados sugerem que o tratamento de esgoto é insuficiente, resultando em um alto nível de poluição nos corpos d'água locais.

Para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e proteger a qualidade da água, é imperativo que os municípios com DBO remanescente elevado implementem ações para melhorar a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto e adotem estratégias para reduzir a carga poluente.

3.7 Metodologia do cálculo da Pegada Hídrica Cinza

Para a compreensão da metodologia de Hoekstra *et al.*, (2011) foi elaborado um fluxograma detalhando o passo a passo da construção do método utilizado pelo autor.

Figura 18 - Fluxograma da metodologia de Hoekstra *et al.*, (2011)



Fonte: ELABORADO PELA AUTORA

O cálculo da pegada hídrica cinza (Hoekstra *et al.*, 2011) determina o volume de água necessário para diluir os poluentes a níveis compatíveis com os padrões de qualidade ambiental, especificamente expressa pela **Equação 1**.

$$PH_{cinza} = \frac{L}{C_{máximo} - C_{natural}} \quad (1)$$

Na equação fornecida, onde:

PHcinza = Pegada hídrica cinza (m³/ano)

L = carga de poluente (Kg/ano)

Cmáx = Concentração máxima permitida do poluente (mg/L)

Cnat = Concentração natural do poluente (mg/L)

Como exemplo da metodologia proposta, o cálculo da pegada hídrica cinza do município de Águas de São Pedro-SP, é dada por:

L = 16.425 kg/ano (Carga anual de DBO gerada por Águas de São Pedro-SP, de acordo com os dados fornecidos pela CETESB (infoáguas); Cmax = 5 mg/L

(Limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos d'água Classe 2) e $C_{nat} = 0 \text{ mg/L}$ (Conforme metodologia de Hoekstra *et al.*, 2011).

Para realizar o cálculo, é necessário fazer a conversão de mg/L para kg/m^3 . Sabemos que $1 \text{ mg/L} = 1 \text{ kg}/1000 \text{ m}^3$. Logo, $C_{max} - C_{nat} = 5 \text{ mg/L} = 0,005 \text{ kg/m}^3$.

Com a aplicação da fórmula, a pegada hídrica cinza de Águas de São Pedro-SP se dá por:

$PH_{cinza} = 0,005 \text{ kg/m}^3 / 16.425 \text{ kg/ano} = 3.285.000 \text{ m}^3/\text{ano}$. Este resultado representa o volume de água necessário para diluir a carga de DBO gerada no município até um nível aceitável segundo a legislação ambiental.

Para o cálculo da pegada hídrica per capita, a fórmula se dá por:

$PH_{cinza} \text{ per capita} = PH_{cinza} / \text{População}$

Onde a PH_{cinza} total se dá pela Pegada hídrica cinza total do município (m^3/ano) e a população é igual ao número de habitantes (população total).

Exemplo com Águas de São Pedro-SP:

PH_{cinza} total: $3.285.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ e a População total: 2.780 habitantes

$PH_{cinza} \text{ per capita} = 3.285.000 / 2.780 \approx 1.181,65 \text{ m}^3/\text{pessoa/ano}$.

A Pegada Hídrica Cinza per capita foi calculada para expressar o impacto ambiental de cada habitante, em termos de volume de água necessário para diluir a carga de poluentes gerada no município. O cálculo foi realizado dividindo-se a Pegada Hídrica Cinza total de Águas de São Pedro pelo número de habitantes do município (população total de 2.780 habitantes, segundo dados mais recentes do IBGE (2022)). O resultado indica que cada habitante de Águas de São Pedro gera, em média, uma pegada hídrica cinza de aproximadamente 1.181,65

m³/pessoa/ano, considerando a carga de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) como poluente indicador.

3.7.1 Poluente considerado no cálculo da PHcinza

O parâmetro considerado neste estudo foi a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) pois é um dos principais poluentes que contribuem para a degradação da qualidade da água.

Quando o esgoto não tratado ou tratado de forma inadequada é lançado em corpos hídricos, a decomposição da matéria orgânica consome o oxigênio dissolvido na água, podendo levar à hipóxia (falta de oxigênio) e à morte de organismos aquáticos. Dessa forma, esse processo pode levar à eutrofização, à formação de zonas mortas e à perda de biodiversidade aquática (Smith *et al.*, 1999).

Corroborando com o exposto acima, Vieira e Sousa (2015) realizaram o cálculo da pegada hídrica de Caraguatatuba-SP e em relação à pegada hídrica cinza, consideraram três poluentes: DBO, Fósforo e Nitrogênio Amoniacal. Porém, com o cálculo desses três parâmetros, o DBO era aquele que exigia uma quantidade maior de água para ser assimilado, sendo então, utilizado como parâmetro principal do estudo. Além de sua representatividade, essa escolha foi estratégica, considerando a disponibilidade e a facilidade de acesso aos dados.

3.7.2 Estimando a concentração máxima permitida do poluente no corpo de água (Cmax)

Neste estudo, que se concentra na região metropolitana de Piracicaba-SP, todos os corpos d'água avaliados são classificados como Classe 2. Portanto, os padrões de qualidade para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) seguiram as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA 357/2005. O limite máximo permitido para a concentração de DBO nos corpos hídricos (cmax) foi definido em 5 mg/L.

3.7.3 Estimando a concentração natural do poluente no corpo de água (Cnat)

De acordo com a metodologia apresentada por Hoekstra *et al.*, (2011),

pode-se considerar que, quando as concentrações naturais não são precisamente conhecidas, mas são tidas como baixas, a concentração natural (Cnat) pode ser assumida como $Cnat = 0$ para fins de simplificação. No entanto, isso pode resultar em uma subestimativa da pegada hídrica cinza, caso a concentração natural (Cnat) não seja realmente igual a zero. No estudo em questão, devido à indisponibilidade de dados sobre a concentração natural de DBO no corpo d'água, foi considerado $Cnat = 0$.

3.7.4 Obtenção de dados para a estimativa da pegada hídrica cinza urbana

Os dados da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) utilizados neste estudo foram retirados da estimativa da Evolução do Saneamento dos Municípios realizada pelo Sistema Infoaguas da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) para o ano de 2023.

Para a realização da estimativa do cálculo da pegada hídrica cinza considerando o parâmetro DBO, além de utilizar os dados de coleta de esgoto, tratamento do esgoto coletado, eficiência da remoção de carga orgânica (DBO) foi realizado, também, os cálculos referente aos valores de DBO contido no esgoto não tratado e não coletado em algumas cidades que não apresentam 100% desses tratamentos.

Para o cálculo da pegada hídrica cinza, adotou-se a carga remanescente de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) como parâmetro representativo da carga orgânica lançada nos corpos hídricos. A carga remanescente foi estimada com base na DBO total, que compreende tanto a fração dissolvida quanto a particulada da matéria orgânica biodegradável presente no esgoto. Esta escolha metodológica se justifica pelo fato de que os coeficientes de geração de esgoto doméstico utilizados são expressos em termos de DBO total, de acordo com os dados da CETESB¹⁴.

Assim, ao aplicar os percentuais de remoção das Estações de Tratamento de Esgoto (quando existentes), obteve-se a carga efetiva de DBO total lançada no meio hídrico, a qual foi utilizada na equação da pegada hídrica cinza. Este procedimento garante que a estimativa reflita a pressão real exercida pela carga orgânica residual sobre os corpos d'água receptores, conforme recomendado por

¹⁴ CETESB. Infoáguas. São Paulo: CETESB, [ca. 2022]. Disponível em: [Infoaguas](#). Acesso em: 16 jun. 2025.

Hoekstra *et al.*, (2011) no contexto de avaliação de impactos ambientais relacionados à qualidade da água.

A estimativa da eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) nos municípios analisados foi baseada em dados secundários disponibilizados pelo sistema InfoÁguas, da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Por meio desse sistema, foram obtidas informações sobre o tipo de tratamento aplicado e os percentuais médios de remoção de carga orgânica associados a cada categoria de ETE (tratamento primário, secundário ou terciário). A partir dessas referências, foi possível estimar a eficiência média de remoção de DBO em cada município, que posteriormente foi utilizada para calcular a carga remanescente de DBO – ou seja, a carga efetivamente lançada nos corpos receptores após o tratamento. No entanto, é importante destacar que essa abordagem possui limitações metodológicas, uma vez que os valores de eficiência são estimativas padronizadas, e não necessariamente refletem o desempenho real das ETEs em funcionamento. Fatores como manutenção inadequada, variações de vazão, sobrecarga hidráulica ou orgânica, e falhas operacionais podem comprometer a eficiência de remoção, o que pode resultar em subestimação da carga poluidora remanescente. Apesar dessas limitações, o uso das médias fornecidas pela CETESB é justificado pela inexistência de dados sistemáticos locais mais precisos, sendo uma prática comum em estudos regionais de avaliação de impactos ambientais relacionados ao esgotamento sanitário.

3.7.4 Limitações da Metodologia

Apesar de ser uma ferramenta valiosa, a metodologia da pegada hídrica apresenta importantes limitações. Primeiramente, sua precisão é altamente dependente da qualidade e disponibilidade de dados de entrada, como cargas de poluentes, concentrações naturais e máximas permitidas, e volumes de água consumidos, os quais frequentemente se mostram incompletos ou inexistentes em muitos contextos. Adicionalmente, a metodologia peca na simplificação da complexidade hídrica, não considerando a variabilidade espacial e temporal dos recursos hídricos, como as mudanças sazonais na disponibilidade ou as nuances

regionais na qualidade da água.

Outro ponto é que a pegada hídrica mede o volume de água consumido ou poluído, mas não interpreta diretamente o impacto ambiental ou social associado a esse uso. Por exemplo, o consumo de água em uma região abundante difere drasticamente em impacto de seu uso em uma área de escassez, o que dificulta a comparação precisa entre diferentes contextos. Essa limitação se estende ao cálculo da pegada hídrica cinza, que assume a diluição dos poluentes até concentrações permitidas, sem considerar a toxicidade real ou a capacidade de autodepuração dos corpos d'água. Por fim, a falta de padronização nas metodologias de cálculo e interpretação, apesar de diretrizes existentes, pode gerar inconsistências e desafios na comparabilidade dos resultados.

IV Resultados e Discussão

A Pegada Hídrica Cinza urbana (PHcinza) foi calculada para as cidades da região metropolitana de Piracicaba-SP, considerando a carga do parâmetro DBO e a população de cada respectiva cidade. Os resultados, apresentados na **Tabela 9**, revelam uma grande variação na PHcinza total e per capita entre as cidades analisadas.

Tabela 9 - Pegada Hídrica Cinza urbana e per capita do ano de 2023 das cidades da região metropolitana de Piracicaba-SP.

Cidade	População (IBGE, 2022)	Pegada hídrica cinza (m³/ano)	Pegada Hídrica per capita (m³/ano/hab)
Águas de São Pedro	2.780	3.285.000	1.181
Analândia	4.589	6.716.000	1.463
Araras	130.866	391.061.000	2.988
Capivari	50.068	158.045.000	3.156
Charqueada	15.535	13.067.000	841,13
Conchal	28.101	15.330.000	545,53
Cordeirópolis	24.514	8.614.000	337,61
Corumbataí	4.195	2.190.000	522,05
Elias Fausto	17.699	8.176.000	461,94

Ipeúna	6.831	3.723.000	545,01
Iracemópolis	21.967	25.842.000	1.176
Leme	98.161	69.715.000	710,21

Continua

Cidade	População (IBGE, 2022)	Pegada hídrica cinza (m³/ano)	Pegada Hídrica per capita (m³/ano/hab)
Limeira	291.869	21.973.000	752,83
Mombuca	3.722	1.095.000	294,19
Piracicaba	423.323	165.783.000	391,62
Pirassununga	73.545	81.760.000	1.111
Rafard	8.965	28.543.000	3.282
Rio Claro	201.418	51.684.000	256,6
Rio das Pedras	31.328	119.574.000	3.816
Saltinho	8.161	438.000	536,69
Santa Cruz da Conceição	4.277	1.971.000	460,83
Santa Gertrudes	23.611	12.994.000	560,33
Santa Maria da Serra	5.243	2.336.000	445,54
São Pedro	38.256	65.043.000	1.700

Fonte: ELABORADO PELA AUTORA

A pegada hídrica cinza representa o volume de água necessário para diluir a carga poluente (DBO) até o limite permitido pela legislação ambiental (CONAMA, 357/2005), que é de 5 mg/L para corpos hídricos de classe 2, compreendendo as UGRHIS 5 e 9. Os resultados mostram que a cidade de Araras apresenta a maior pegada hídrica cinza, com valor de 391.061.000 m³/ano. Isso reflete a alta carga de DBO gerada nessas cidades, possivelmente devido ao maior volume de esgoto e à presença de atividades industriais.

Em comparação, no livro "The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard" de Hoekstra *et al.*, (2011), a Demanda Bioquímica de

Oxigênio (DBO) é mencionada no contexto da pegada hídrica cinza, que se refere ao volume de água necessário para diluir poluentes até que suas concentrações atendam aos padrões de qualidade da água. A DBO é citada como um dos parâmetros de qualidade da água que podem ser considerados ao calcular a pegada hídrica cinza.

O estudo mostrou que a pegada hídrica cinza varia significativamente entre regiões, dependendo da eficiência do tratamento de esgoto e da densidade populacional. Regiões com alta carga de DBO e infraestrutura de saneamento deficiente apresentaram as maiores pegadas hídricas.

Com os resultados obtidos neste estudo, as cidades como Araras e Rafard estão alinhados com as conclusões de Hoekstra *et al.*, (2011) pois ambas apresentam altas cargas de DBO e, conseqüentemente, maiores pegadas hídricas cinza.

Em complemento, Vieira e Sousa Junior (2015) tiveram como objetivo analisar a pegada hídrica cinza do município litorâneo de Caraguatatuba-SP, com a abordagem metodológica empregada no cálculo da Pegada Hídrica de Hoekstra *et al.*, (2011) que é um exemplo típico de um município que enfrenta desafios em relação à qualidade da água devido ao aumento populacional e ao uso crescente dos recursos hídricos. A pegada hídrica cinza, uma das componentes da pegada hídrica, foi um parâmetro importante da análise. Além disso, a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) foi usada como referência para avaliar a qualidade da água, pois ela está diretamente relacionada à carga poluente e à autodepuração dos corpos hídricos.

A pegada hídrica cinza foi calculada com base na carga poluente (incluindo DBO) despejada no ambiente, levando em consideração a necessidade de diluição dos poluentes até atingir padrões aceitáveis para qualidade da água.

O estudo revelou que a pegada hídrica cinza foi a maior componente da pegada hídrica total de Caraguatatuba-SP, representando cerca de 85%. Isso foi principalmente devido à alta carga de DBO gerada pelo lançamento de efluentes não tratados nos corpos hídricos. Dessa forma, este parâmetro foi identificado como o maior fator de contribuição para a pegada hídrica cinza. Isso ocorreu porque a presença de matéria orgânica na água requer uma quantidade significativa de água para diluir os poluentes, de modo a manter a qualidade

ambiental e garantir que os corpos hídricos atendam aos padrões de qualidade para consumo e outros usos.

Posto isto, o estudo do litoral de São Paulo apresenta uma PHcinza de 339.158.663 m³/ano, que é significativamente maior do que a maioria dos valores individuais das cidades analisadas que compõem a RMP.

Porém em relação a cidade de Araras, a pegada hídrica cinza é de 391.061.000 m³/ano. Logo, a pegada hídrica cinza do litoral é 86,75% do valor total de Araras.

Já que a PHcinza do Litoral de São Paulo é de (339.158.663 m³/ano), podemos considerar que: aproximadamente 1,15 vezes menor que a PHcinza de Araras (391.061.000 m³/ano), a cidade com a maior PHcinza neste estudo. 2,05 vezes maior que a PHcinza de Piracicaba (165.783.000 m³/ano), sendo a principal cidade da RMP. 309,78 vezes maior que a PHcinza de Mombuca (1.095.000 m³/ano), a cidade com a menor PHcinza.

Corroborando com o exposto acima, a comparação entre os resultados do estudo do Litoral de São Paulo e os valores obtidos neste estudo mostra que a PHcinza varia significativamente dependendo da escala geográfica, das atividades econômicas e da população da região analisada. Enquanto o litoral de São Paulo apresenta uma PHcinza muito elevada devido à sua grande extensão e atividades econômicas intensivas, as cidades individuais analisadas em nosso estudo têm PHcinza menores, refletindo suas características locais.

Os autores Carvalho e Silveira (2021) realizaram o cálculo da PHcinza e comparou com a vazão do rio Lambari em Poços de Caldas-MG. Sendo um estudo de caso na área urbana do município com a abordagem metodológica empregada no cálculo da Pegada Hídrica de Hoekstra *et al.*, (2011). Pois, o Rio Lambari recebe esgoto doméstico e industrial da área urbana de Poços de Caldas. Portanto, os autores calcularam a PHcinza para os anos de 2016 a 2020, mas para fins comparativos com a PHcinza da RMP, deste estudo, iremos usar como base o ano de 2020. Logo, a pegada hídrica cinza de Poços de Caldas-MG é aproximadamente 408.438.300 m³/ano.

A PHcinza da RMP, é de 1.258.958.000 m³/ano. Esse valor resultante é significativamente maior que a PHcinza de Poços de Caldas-MG.

Ao analisar os municípios de forma individual, nota-se que todos possuem

valores de PHcinza relativamente menores quando comparados a Poços de Caldas-MG. Aqui estão alguns exemplos: Mombuca tem uma PHcinza de 1.095.000 m³/ano, o que é minúsculo em comparação com a de Poços de Caldas-MG. São Pedro possui uma PHcinza de 65.043.000 m³/ano, equivale a 15,92% da pegada hídrica cinza de Poços de Caldas-MG. Saltinho apresenta uma PHcinza de 438.000 m³/ano, equivalente a 0,1072% da pegada hídrica cinza de Poços de Caldas-MG Poços de Caldas-MG.

As diferenças indicam que Poços de Caldas-MG possui um uso de recursos hídricos muito maior para neutralizar poluentes, possivelmente devido a uma combinação de fatores como densidade populacional, atividades industriais, e políticas de gestão de água.

Em um estudo inovador, a equipe do Projeto Huella de Ciudades realizou uma análise abrangente da Pegada Hídrica em três cidades andinas da América Latina: Quito, no Equador, Lima, no Peru, e La Paz, na Bolívia. No ano de 2012, o projeto avaliou tanto a pegada de carbono quanto a pegada hídrica dos governos municipais e das cidades (PROYECTO HUELLA DE CIUDADES, 2014).

A abordagem metodológica empregada no cálculo da Pegada Hídrica das cidades foi baseada na Water Footprint Assessment, conforme detalhado por Hoekstra *et al.*, (2011). Para a determinação da Pegada Hídrica cinza, foi utilizado como parâmetro de qualidade a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

É importante ressaltar que neste e nos estudos mencionados anteriormente, os valores de concentração máxima (C_{max}) do parâmetro DBO nos recursos hídricos é de 5mg/L de acordo com a legislação do (CONAMA 357/2055) para rios de classe 2.

Com isso, as concentrações máximas permitidas para La Paz e Quito foram de 30 mg/L, enquanto para Lima, o limite foi de 15 mg/L. O valor de (C_{max}) deste estudo, é seis vezes inferior ao limite considerado para La Paz e Quito e três vezes menor do que o valor permitido para Lima.

Segundo Empinotti *et al.* (2013), a aplicação da metodologia de Pegada Hídrica pode, paradoxalmente, resultar em uma "penalização" para países com legislações ambientais mais rigorosas. Isso ocorre porque, em muitos casos, um valor elevado de Pegada Hídrica não indica necessariamente um maior consumo ou poluição de recursos hídricos, mas sim as restrições mais severas impostas

pelas leis em relação ao descarte de poluentes na água.

Em todas as três cidades, a água cinza foi o maior contribuinte para a Pegada Hídrica total, representando mais de 95% do valor total. O setor residencial respondeu por mais de 80% do consumo hídrico nessas cidades, atingindo até 96% em Lima (PROYECTO HUELLA DE CIUDADES, 2014).

Em todas as três cidades, a água cinza foi o maior contribuinte para a Pegada Hídrica total, representando mais de 95% do valor total. Em La Paz, a PHcinza equivale a 98% da PHtotal. Ou seja, 204.319.499,3 m³/ano. Na cidade de Lima, a PHcinza equivale a 99% da PHtotal, com o valor de 6.334.473.458,61 m³/ano.

Por fim, Quito apresenta uma PHcinza de 96% da somatória total das componentes. Logo, apresenta um valor de 986.387.345,36 m³/ano.

Em comparação a PHcinza da RMP que é estimada em 1.258.958.000 m³/ano. Com isso, a PHcinza das cidades andinas (La Paz, Lima e Quito) é significativamente maior do que a da Região Metropolitana de Piracicaba (RMP). Embora seja necessário considerar o contexto mais amplo – as cidades andinas estudadas têm uma oferta hídrica limitada, o que afeta o consumo de água pela população –, esses dados indicam a possibilidade de reduzir a geração de água cinza na RMP. Isso pode ser alcançado pela expansão da infraestrutura de tratamento de efluentes (PROYECTO HUELLA DE CIUDADES, 2014).

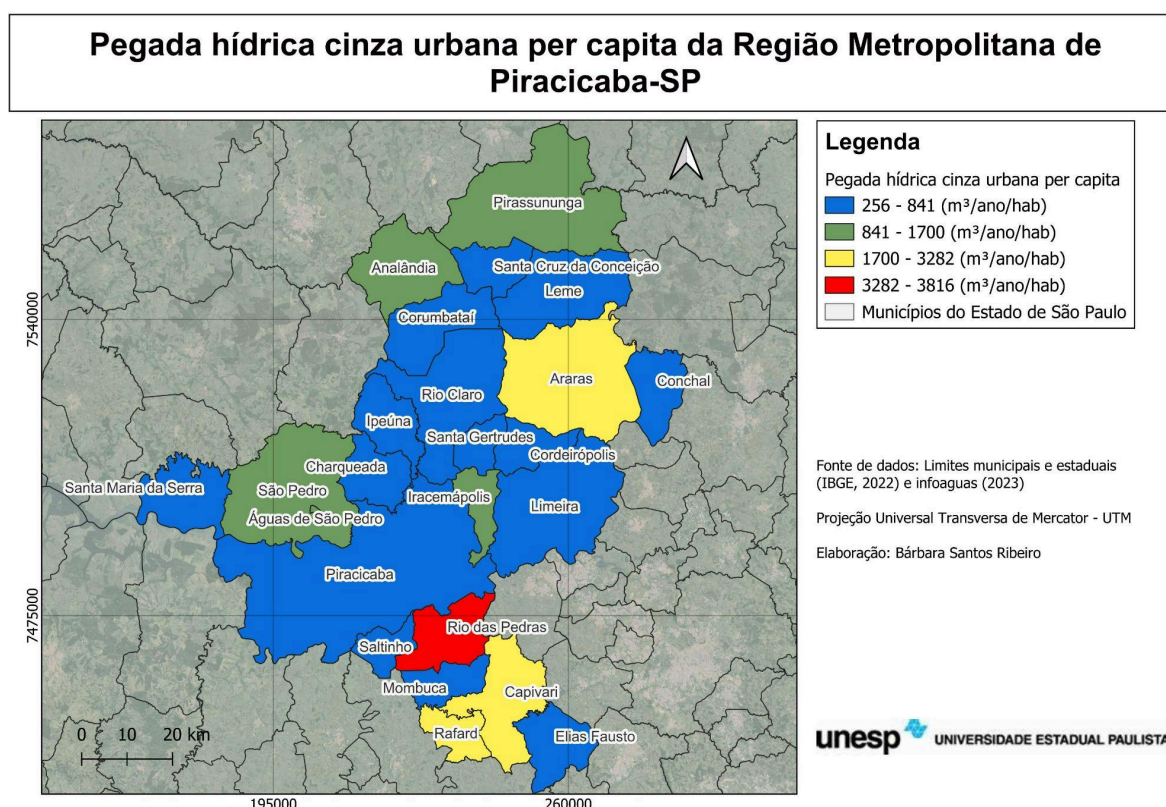
A água cinza, frequentemente, é negligenciada em estudos de pegada hídrica de áreas geográficas devido à escassez de dados sobre a quantidade de poluentes lançados nos corpos d'água. Consequentemente, a literatura científica apresenta poucos trabalhos que abordam a contabilização da pegada hídrica cinza com base em dados de esgotamento sanitário. A maioria dos estudos foca na água cinza como o volume necessário para diluir a poluição gerada por fertilizantes e pesticidas utilizados na agricultura (Aldaya e Hoekstra, 2010; Van Oel *et al.*, 2009).

4.1 Pegada hídrica cinza urbana per capita

De acordo com o **Figura 19**, que destaca variações significativas na PHcinza *per capita* entre as diferentes cidades, evidenciando desigualdades no impacto ambiental associado ao uso da água. Cidades como Rio das Pedras, Capivari, Rafard e Araras apresentam os maiores índices, o que pode estar relacionado à

presença de atividades industriais intensivas, bem como à eficiência dos sistemas de saneamento básico.

Figura 19 - Pegada hídrica per capita da RMP em 2023



Fonte: ELABORADO PELA AUTORA

A **Figura 19**, ilustra a variação da pegada hídrica cinza urbana per capita na Região Metropolitana de Piracicaba (RMP), em São Paulo, utilizando uma escala de cores que evidencia as diferentes demandas de água para diluição de poluentes entre as cidades. Ao analisar as faixas de valores, podemos inferir a distribuição percentual aproximada da pegada hídrica na região. A faixa azul, de 256 a 841 m³/ano/hab, indica os municípios com menor pegada hídrica.

Essas cidades, em tese, apresentam um menor nível de impacto hídrico e, conseqüentemente, menor demanda por água para diluição de poluentes. A próxima faixa, de 841 a 1700 m³/ano/hab, abrange um número maior de cidades.

Essa concentração sugere que uma parcela significativa da RMP possui um nível moderado de impacto hídrico e demanda por água para diluição. A faixa de 1700 a 3282 m³/ano/hab, já em tom amarelo, revela os municípios com pegada hídrica elevada. Essas cidades exigem um volume considerável de água para diluir seus poluentes, indicando áreas com maior intensidade de atividades que geram poluição.

Por fim, a faixa mais escura, de 3282 a 3816 m³/ano/hab, destaca Rio das pedras com a maior pegada hídrica. Essa cidade apresenta um alto nível de impacto hídrico e demanda um volume muito grande de água para diluição, representando área crítica na RMP, onde a gestão da água e o controle da poluição são urgentes. Outro ponto a ser considerado é a relação entre a pegada hídrica cinza e a capacidade hídrica da região. Cidades que apresentam rios com menor vazão podem ter maior dificuldade para diluir poluentes, elevando os índices. Isso significa que a gestão integrada dos recursos hídricos deve levar em conta não apenas o volume de poluentes gerados, mas também a disponibilidade hídrica local. Ações como a revitalização de bacias hidrográficas e a melhora na governança da água são essenciais para garantir a sustentabilidade hídrica da região.

Com isso, a Região Metropolitana de Piracicaba está inserida nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) 5 – Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) e 9 – Mogi Guaçu. Essa divisão é fundamental para entender o contexto hidrológico da região, pois as características dos rios que compõem essas unidades influenciam diretamente a capacidade de diluição dos poluentes e, conseqüentemente, os valores da pegada hídrica cinza das analisadas.

A UGRHI 5 (PCJ) abrange importantes rios, como o Piracicaba, Capivari e Jundiaí, que são impactados pelo despejo de esgotos domésticos, efluentes industriais e contaminantes agrícolas. Essa unidade hídrica é uma das mais críticas do estado de São Paulo em termos de qualidade da água, pois recebe contribuições poluidoras de grandes centros urbanos e pólos industriais.

Além disso, os rios da UGRHI 5 são responsáveis pelo abastecimento de milhões de pessoas, aumentando a pressão sobre seus recursos hídricos. cidades da região como Piracicaba, Rio das Pedras e Capivari são diretamente influenciados

por essa bacia, o que pode explicar os elevados valores de pegada hídrica cinza observados no mapa.

Já a UGRHI 9 (Mogi Guaçu) possui uma dinâmica um pouco diferente, pois abrange rios como o Mogi Guaçu e seus afluentes, que possuem uma vazão relativamente maior em comparação a alguns rios da UGRHI 5. Isso pode contribuir para uma maior capacidade de diluição de poluentes, reduzindo o impacto da pegada hídrica cinza em alguns municípios. No entanto, cidades como Araras e Leme, localizadas nessa bacia, ainda apresentam altos índices de pegada hídrica cinza, o que indica que a carga poluidora excede a capacidade de autodepuração dos corpos d'água locais.

A diferença entre essas duas UGRHIs mostra que a pegada hídrica cinza per capita da Região Metropolitana de Piracicaba não pode ser analisada isoladamente. Fatores como a disponibilidade hídrica, a capacidade de diluição dos rios e as pressões antrópicas devem ser levados em conta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. Em áreas com baixa disponibilidade hídrica, a poluição se torna um problema ainda mais crítico, pois os poluentes permanecem mais concentrados, aumentando os riscos ambientais e de saúde pública.

De acordo com a **Tabela 10**, o tratamento incompleto do esgoto faz com que grandes volumes de matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, sejam lançados nos corpos d'água. De acordo com Von Sperling (1995), quando o tratamento de esgoto não atinge 100% da carga coletada, a poluição residual pode comprometer significativamente a qualidade dos recursos hídricos, resultando em eutrofização, mortandade de peixes e degradação dos ecossistemas aquáticos.

Tabela 10 - Dados do ano de 2023 sobre o tratamento de esgoto e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) das cidades com maior índice de pegada hídrica cinza

Cidade	Coleta de esgoto (%)	Tratamento de esgoto (%)	DBO remanescente (kg/dia)
Araras	100	100	5357
Capivari	96,5	100	2.165
Rio das Pedras	99	0	1.638
Rafard	100	9,89	391

Fonte: ELABORADO PELA AUTORA COM BASE NO INFOÁGUAS¹⁵

A pegada hídrica cinza (PHcinza) está diretamente relacionada à carga poluente lançada e ao volume de água necessário para diluí-la até que os padrões de qualidade sejam atingidos (Hoekstra *et al.*, 2011).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)¹⁶ do Brasil estabelece como meta a universalização da coleta e do tratamento de esgoto até 2033. No entanto, a realidade de São Pedro reflete um problema comum em muitos

¹⁵ CETESB. Infoáguas. São Paulo: CETESB, [ca. 2022]. Disponível em: [Infoaguas](https://infoaguas.cetesb.sp.gov.br/). Acesso em: 16 jun. 2025

¹⁶ Ministério das Cidades. Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2013. Disponível em: [\[Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB - ABES-SP\]](#). Acesso em: 9 jun. 2025.

municípios brasileiros, onde a coleta é relativamente alta, mas o tratamento ainda é deficiente. Segundo Tundisi e Tundisi (2016), a falta de eficiência total no saneamento contribui para a degradação dos corpos d'água e amplia os custos ambientais e sociais do impacto hídrico.

Para a cidade de Araras, os dados indicam que o DBO remanescente é de 5.357 kg/dia, apesar do município apresentar 100% de coleta e tratamento de esgoto. Esse cenário levanta questões sobre a eficiência do sistema de tratamento e a carga poluente residual lançada nos corpos d'água. Se calcularmos a eficiência, o sistema de tratamento está removendo apenas 20% da carga orgânica total, o que é um índice muito baixo para um município com cobertura total de saneamento.

Segundo Von Sperling (1995), estações de tratamento de esgoto (ETEs) eficientes devem remover, em média, 85-95% da DBO, dependendo da tecnologia empregada. Como o índice de Araras está em apenas 20%, a carga orgânica despejada pode comprometer a qualidade dos corpos d'água.

Já dados fornecidos sobre Capivari indicam que, apesar de um sistema de coleta e tratamento de esgoto relativamente elevado, grande parte da carga orgânica ainda permanece nos corpos d'água. Isso indica que apenas 15,3% da carga orgânica total é efetivamente removida pelo sistema de tratamento, um valor extremamente baixo para um município que possui 100% de esgoto tratado. Mesmo com 100% de esgoto tratado, o fato de 85% da carga orgânica permanecer nos corpos d'água sugere problemas estruturais ou operacionais no sistema de tratamento.

Os dados de Rio das Pedras revelam um cenário crítico em relação ao tratamento de esgoto e seus impactos nos recursos hídricos. A cidade apresenta 99% de coleta de esgoto, porém sem nenhum tratamento, resultando em uma carga de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) remanescente de 1.638 kg/dia, equivalente ao DBO potencial. Com 99% de esgoto coletado, mas sem tratamento, toda a carga poluente coletada é despejada diretamente em recurso hídrico, causando sérios impactos ambientais. A ausência de tratamento de esgoto gera uma série de efeitos negativos nos ecossistemas aquáticos e na saúde pública. Conforme Von Sperling (1995), esgotos sem tratamento reduzem drasticamente o oxigênio dissolvido na água, causando mortalidade de peixes e

outros organismos aquáticos.

Referente a cidade de Rafard, os dados indicam uma situação crítica para a qualidade da água. Pois, 100% de coleta de esgoto é um ponto positivo, garantindo que todo o esgoto gerado seja captado. Mas, apenas 9,89% de tratamento da coleta, o que significa que a maior parte do esgoto coletado é despejada sem tratamento adequado, impactando diretamente os corpos d'água. Já o DBO remanescente de 391 kg/dia é um valor extremamente alto, indicando alta carga orgânica no efluente. Esse valor está acima dos limites ambientais recomendados, o que sugere um impacto severo nos recursos hídricos.

Portanto, a pegada hídrica cinza per capita e os dados de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) nas cidades estudadas revelam cenários distintos em relação à coleta e tratamento de esgoto, refletindo diferentes níveis de impacto ambiental e eficiência no gerenciamento de recursos hídricos. A partir desses dados, fica evidente que apenas a coleta de esgoto não é suficiente para reduzir o impacto hídrico, sendo fundamental investir em sistemas de tratamento mais eficientes e estratégias complementares, como tecnologias de reuso e tratamento descentralizado¹⁷. Além disso, políticas públicas voltadas para o saneamento e a educação da população são essenciais para garantir a preservação dos recursos hídricos e a qualidade de vida.

Corroborando com o exposto acima, a estimativa da eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) nos municípios analisados foi baseada em dados secundários disponibilizados pelo sistema InfoÁguas, da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Por meio desse sistema, foram obtidas informações sobre o tipo de tratamento aplicado e os percentuais médios de remoção de carga orgânica associados a cada categoria de ETE (tratamento primário, secundário ou terciário). A partir dessas referências, foi possível estimar a eficiência média de remoção de DBO em cada município, que posteriormente foi utilizada para calcular a carga remanescente de DBO – ou seja, a carga efetivamente lançada nos corpos receptores após o tratamento.

¹⁷ O tratamento descentralizado de esgoto ocorre próximo ao ponto de geração, sem depender de grandes ETEs centralizadas. Ele é ideal para áreas rurais, cidades pequenas ou locais com infraestrutura limitada. Essa abordagem reduz custos com redes de coleta e minimiza impactos ambientais. Além disso, permite o reuso da água tratada e melhora a gestão hídrica.

Na presente dissertação, o cálculo da pegada hídrica cinza foi baseado na carga remanescente de DBO total. A DBO total representa a soma de toda a matéria orgânica biodegradável presente na água, incluindo tanto a fração dissolvida quanto a particulada (sólidos em suspensão). Isso significa que o valor de DBO utilizado considera não apenas a matéria orgânica já dissolvida e disponível para o consumo imediato de oxigênio pelos microrganismos, mas também aquela presente na forma de partículas que, ao longo do tempo, pode se decompor e gerar consumo adicional de oxigênio nos corpos receptores.

Contudo, é importante destacar que essa abordagem possui limitações metodológicas, uma vez que os valores de eficiência são estimativas padronizadas, e não necessariamente refletem o desempenho real das ETEs em funcionamento. Fatores como manutenção inadequada, variações de vazão, sobrecarga hidráulica ou orgânica, e falhas operacionais podem comprometer a eficiência de remoção, o que pode resultar em subestimação da carga poluidora remanescente. Apesar dessas limitações, o uso das médias fornecidas pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) é justificado pela inexistência de dados sistemáticos locais mais precisos, sendo uma prática comum em estudos regionais de avaliação de impactos ambientais relacionados ao esgotamento sanitário.

Embora a pegada hídrica cinza se apresenta como uma ferramenta eficaz para mensurar a pressão antrópica sobre os recursos hídricos, sua aplicação na gestão ambiental requer atenção. Entre suas limitações mais relevantes destacam-se: a simplificação da dinâmica hidrológica e ecológica dos corpos d'água; o foco em um poluente único e nos limites legais, que podem ser descontextualizados da realidade local; e a dependência de dados estimados ou secundários, que comprometem a precisão dos resultados. Além disso, a pegada cinza não mede diretamente o impacto ecológico, nem considera poluentes difusos ou emergentes.

Portanto, a gestão ambiental tem como objetivo principal o planejamento, controle e monitoramento das atividades humanas que afetam o meio ambiente, visando a preservação dos recursos naturais, a mitigação de impactos e a promoção do desenvolvimento sustentável. No contexto dos recursos hídricos, essa gestão envolve o acompanhamento da qualidade da água, o controle das

fontes poluidoras e a garantia do acesso à água em quantidade e qualidade adequadas para as diversas demandas sociais e ecológicas.

Dentro desse cenário, a pegada hídrica cinza se apresenta como uma ferramenta importante para apoiar a tomada de decisão dos gestores ambientais, por exemplo. Por meio da quantificação do volume de água necessário para diluir a carga de poluentes até níveis aceitáveis pela legislação, permitindo que o gestor visualize de forma clara e objetiva a pressão antrópica sobre os corpos hídricos. Essa métrica pode ser utilizada para priorizar investimentos em infraestrutura de saneamento, avaliar o desempenho de políticas de controle da poluição, identificar áreas críticas de vulnerabilidade ambiental e reforçar ações de fiscalização e planejamento territorial. Além disso, ao ser incorporada em processos de gestão integrada dos recursos hídricos, a pegada hídrica cinza pode estimular estratégias de uso mais eficiente da água, favorecendo a sustentabilidade a longo prazo.

Capítulo V: Conclusões

A análise da Pegada Hídrica Cinza (PHcinza) na Região Metropolitana de Piracicaba-SP revelou importantes disparidades entre os municípios em relação à eficiência no saneamento básico, evidenciando o impacto direto das diferenças na coleta e tratamento de esgoto sobre a qualidade dos corpos hídricos locais. Enquanto alguns municípios alcançaram índices elevados de coleta e tratamento, como Araras e Capivari, outros, como Rio das Pedras e Rafard, ainda apresentam cenários críticos de despejo de esgoto sem tratamento, contribuindo significativamente para a degradação ambiental e o aumento da PHcinza na região.

Os resultados evidenciam que, mesmo nos municípios com alta taxa de coleta e tratamento de esgoto, ainda persiste uma quantidade significativa de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) remanescente, indicando que apenas a existência de infraestrutura de saneamento não é suficiente para minimizar completamente os impactos hídricos. Esse fenômeno sugere a necessidade de investimentos em sistemas mais eficientes, reúso de água, bem como o incentivo a soluções descentralizadas, que podem complementar a infraestrutura existente e reduzir a carga poluidora despejada nos cursos d'água.

Diante desse cenário, torna-se essencial a implementação de políticas públicas que incentivem a ampliação e aprimoramento do saneamento básico, aliados a estratégias de gestão integrada dos recursos hídricos. Medidas como a adoção de tecnologias mais eficazes para o tratamento de efluentes, o monitoramento contínuo da qualidade da água e a conscientização da população e setores produtivos são

fundamentais para reduzir a PHcinza e garantir a sustentabilidade hídrica da região.

Por fim, este estudo contribui para a compreensão dos desafios enfrentados na gestão da água em regiões urbanizadas e reforça a importância de investimentos em infraestrutura de saneamento e boas práticas ambientais.

Corroborando com o exposto acima, a pegada hídrica cinza constitui uma ferramenta fundamental para a gestão ambiental. Ao fornecer uma métrica referente ao impacto das atividades antrópicas na qualidade da água, essa abordagem subsidia a formulação de políticas públicas mais eficazes, o aprimoramento dos sistemas de tratamento de efluentes e o desenvolvimento de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos. Dessa forma, a pegada hídrica cinza se consolida como um instrumento essencial para a mitigação dos impactos hídricos e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Com base nas conclusões, recomenda-se que em outros estudos a junção da integração da pegada hídrica com outras métricas ambientais, como a pegada de carbono e a avaliação do ciclo de vida, permite uma análise mais abrangente dos impactos ambientais. Além disso, é essencial adaptar a metodologia para considerar as especificidades de cada região, levando em conta fatores como disponibilidade hídrica, clima e capacidade de autodepuração dos corpos d'água.

Bancos de dados padronizados sobre consumo de água e poluição também são fundamentais para aprimorar a precisão dos cálculos. Visto que, há uma certa dificuldade em acessar dados atualizados e existentes.

Referências bibliográficas

ABERS, R.; KECK, M. **Practical Authority: Agency and Institutional Change in Brazilian Water Politics**. Oxford: Oxford University Press, 2013.

ALEIXO, B.; REZENDE, S.; PENA, J. L.; ZAPATA, G.; HELLER, L. **Human Right in Perspective: inequalities in access to water in a rural community of the Brazilian northeast**. *Ambiente & Sociedade*, v. 19, n. 1, p. 63-84, 2016.

ALESP. **O parlamentar apoiou a criação da Região Metropolitana de Piracicaba**. 2021. Disponível em: <https://horacampinas.com.br/alesp-aprova-a-criacao-da-regiao-metropolitana-de-piracicaba/>. Acesso em: 18 de agosto de 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e de Água das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. Brasília: ANA, SAG, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017: relatório pleno. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos.** Brasília: ANA, p.169, 2017a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2022.** Informe anual. Brasília: ANA, p.105, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023.** Informe Anual. Brasília: ANA, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012.** Brasília: ANA, 2012.

ALLAN, J. A. **Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits.** Ground Water, v.36, p.545-546, 1998.

AMARAL, H. K. **Critérios para participação de usuários e poder público.** Material didático de uso exclusivo do curso de extensão para gestores. Campinas: UNICAMP / Instituto de Economia, 1998.

Argue JR (ed). (2004) **WSUD: basic procedures for ‘source control’ of stormwater – a Handbook for Australian practice.** Adelaide: Urban Water Resources Centre, University of South Australia.

BISWAS, A. K. **Integrated water resources management: A reassessment.** Water International, 29(2), p. 248-256, 2004.

BORSOI, Z. M. F.; TORRES, S. D. A. **A política de recursos hídricos no Brasil.** Revista do BNDES, v.4, n.8, p.143-166, 1997.

CAMELO, S. M. **Modelagem da poluição difusa em sistemas de macrodrenagem de bacias urbanas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, 2019.

CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S. **Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF.** REGA. Vol. 7, n. 2, p. 53-65, Jul./Dez, 2010.

CARNESECA, L. F. **Os desafios de implementação do sistema.** In: THAME, A. C (org). Comitês de bacias hidrográficas: uma revolução conceitual. São Paulo: IQUAL Editora, 2002.

CARVALHO, I. de; SILVEIRA, A. **Cálculo da pegada hídrica cinza e comparação com a vazão disponível no Rio Lambari: estudo de caso na área urbana no município de Poços de Caldas – MG.** In: XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2021. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2021. ISSN 2318-0358.

CAVALCANTI, C. **Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológico-econômica.** Estudos Avançados, v. 26, n. 74, p. 35–50, 2012.

CBH PCJ - **COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ.** Uma história de amor pelas águas. Piracicaba: Modelo, 1998.

CESAR NETO, J. C. **Política de recursos hídricos: instrumento de mudança.** São Paulo: Pioneira: EDUSP, 1988.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município – ICTEM.** São Paulo: CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/infoaguas/>. Acesso em: 4 de janeiro de 2025.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands.** Ecological Economics, v.64, p.109-118, 2007.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprints of nations: Volume 1: Main Report.** Delft: UNESCO-IHE, Value of Water Research Report Series No. 16, 2004.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y.; SAVENIJE, H. H. G.; GAUTAM, R. **The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries.** Ecological Economics, v.60, p.186-203, 2006.

CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. **An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes.** Journal of Environmental Management, v.90, p.1219-1228, 2009.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (PCJ). **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios**

Piracicaba, Capivari e Jundiaí: 2020 a 2035 – Relatório Final. Piracicaba: Comitê PCJ, 2020.

CONTE, I. I.; BOFF, L. A. **The world crisis and food production in Brazil.** Acta Scientiarum: Human and Social Sciences, v.35, n.1, p. 49-59, 2013.

CUNHA, S.; COELHO, M. C. **Política e gestão ambiental.** In: CUNHA, S. & GUERRA, A. (Orgs). A questão ambiental. Diferentes abordagens. 7ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

DRUMMOND, J. A. **A Legislação Ambiental Brasileira de 1934 a 1988: comentários de um cientista ambiental simpático ao conservacionismo.** Ambiente & Sociedade, nº 3-4, p.127-148. 2º semestre 1998 e 1º semestre de 1999.

EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. (orgs.). **Pegada Hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação.** Organização de Pedro Roberto Jacobi e Vanessa Empinotti. – São Paulo: Annablume, PROCAM-USP, IEE-USP; Brasília: CNPq. (Coleção Cidadania e Meio Ambiente), 2012.

ERCIN, A. E.; ALDAYA, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of sugar-containing carbonated beverages.** Water Resources Management, v. 25, p. 721-741, 2011.

FENG, K.; SIU, Y. L.; GUAN, D.; HUBACEK, K. **Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach.** Applied Geography, v.32, p.691-701, 2011.

FERNANDEZ, J. A. B.; MENDIONDO, E. M. **Água Virtual na Gestão de Águas Urbanas Sob Cenários de Adaptação**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19. ABRH: Maceió, 2011. Anais. p. 1-15.

FORGIARINI, F. R.; GIRARD, R. V.; REIS, J. T.; SILVEIRA, A. L. L. da. **Integração entre a educação ambiental e a cobrança pelo uso da água como meio de racionalização do consumo**. REGA. v. 7, n. 1, p. 17-28, 2010.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS. **Caderno de Diagnóstico Região Metropolitana de Piracicaba P15. Secretária de Desenvolvimento Regional do Estado de São Paulo. Apoio técnico e logístico ao planejamento e governança para o desenvolvimento regional**. São Paulo, 2022, p. 01-27. Disponível em: <https://rmp.pdui.sp.gov.br/wp-content/uploads/P15-Diagnostico-Piracicaba.pdf>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2025.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). **Integrated Water Resources Management**. TAC Background Papers No. 4. Global Water Partnership, Stockholm, Sweden, 2000.

GLEESON, T. et al. **Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint**. Nature, v. 488, p. 197-200, 2012.

GOMES, J., de L., BARBIERI, J., C. **Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no estado de São Paulo: um novo modelo de política pública**. Cad. EBAPE.BR 2 (3), 2004.

GRANZIEIRA, M. L. M. **Direito de Águas e Meio Ambiente**. São Paulo: Ícone, p. 136, 1993.

GRISOTTO, L. E. G. **Análise de instrumentos de gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas**. Brasília: PPG/MMA, 2007.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources**. Blackwell Publishing, 2008.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Virtual water trade: **A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**. Value of Water Research Report Series n.11, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, 2002.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint of humanity**. PNAS, v.109, p.3232-3237, 2012.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. **Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment**. Ecological Indicators, v.46, p.214-223, 2014.

HOEKSTRA, A. Y., et al. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. Earthscan, 2011.

IBGE. **Censo Demográfico, 2022.** Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/downloads.html?localidade=BR>. Acesso em: 11 de dezembro de 2023.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2022.** Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IMAFLOA – Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola. **Evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil: setor agropecuário.** São Paulo: Observatório do Clima, 2018. Disponível em: https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_2ed.pdf. Acesso em: 4 de janeiro de 2025.

JALAVA, M. et al. **Diet change and food loss reduction: What is their combined impact on global water use and scarcity?** *Earth's Future*, v. 4, p. 62–78, 2016.

JOHSSON, R. M. F.; KEMPER, K. E. **Institutional and policy analysis of river basin management: the Alto-Tietê River Basin, São Paulo, Brazil.** 10.1596/1813-9450-3650, 2005.

LEME, T., N. **OS MUNICÍPIOS E A POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE.** *Planejamento e políticas públicas*, n. 35, 2010.

LOPES, M. M.; NEVES, F. F. **A cobrança pelo uso da água no Estado de São Paulo: um panorama geral.** *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 11, n. 5, Curitiba, ISSN 2319-2856, 2016.

MARACAJÁ, K. F. B.; SILVA, V. P. R.; NETO, J. D. **Pegada hídrica dos consumidores vegetarianos e não vegetarianos.** Qualit@s Revista Eletrônica, v. 14, n. 1, 2013.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **A global assessment of the water footprint of farm animal products.** Ecosystems, v. 15, p. 401–415, 2012.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery.** 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/plano-nacional-de-recursos-hidricos>.
Acesso em 23 de junho de 2024.

MOLLE, F. **Nirvana concepts, narratives and policy models: Insights from the water sector.** Water Alternatives, v. 1, n. 1, p. 131-156, 2008.

MORIN, E. **A Via para o futuro da humanidade.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

MORRISON, J.; SCHULTE, P.; SCHENCK, R. **Corporate Water Accounting: An Analysis of Methods and Tools for Measuring Water Use and Its Impacts**. Oakland: Pacific Institute; New York: UN Global Compact, 2010.

MUÑOZ, R. H. (Org). **Interfaces da Gestão dos Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas**. MMA/SRH, p 421p, 2000.

NEDER, R. T. **Crise socioambiental**. Estado & sociedade civil no Brasil (1982-98). São Paulo: Annablume/Fapesp, 2002.

OEL, P. R. V; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The external water footprint of the Netherlands: Geographically explicit quantification and impact assessment**. Ecological Economics, v. 69, p. 82-92, 2009.

OLIVEIRA, P. **Os distritos industriais de Araras (SP): análise dos fatores locais e das políticas atrativas municipais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), São Paulo, 2024.

ONDAS Brasil. **Sistemas urbanos de esgotos e drenagem das águas pluviais: poluição difusa e interconexões, 2021**. Disponível em: <https://ondasbrasil.org/wp-content/uploads/2021/08/Sistemas-urbanos-de-esgotos-e-drenagem-das-%C3%A1guas-pluviais-polui%C3%A7%C3%A3o-difusa-e-interconex%C3%B5es.pdf>. Acesso em 9 de fevereiro de 2025.

PAIVA, E.; SOUZA, M. **Impactos da falta de acesso à água potável na saúde pública brasileira**. Revista de Saúde Pública e Saneamento, 2018.

PGDER- Prince George's County Department of Environmental Resources, Maryland. **Low-impact development design strategies- an integrated design approach (Report)**. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D.C. 1999. EPA 841-B-00-003. Disponível em: <https://www.princegeorgescountymd.gov/DocumentCenter/View/86/Low-Impact-DevelopmentDesign-Strategies-PDF>. Acesso: 4 de janeiro de 2025.

PROYECTO HUELLA DE CIUDADES. **Proyecto “Huella de Carbono y Huella Hídrica entre ciudades andinas: La Paz, Quito y Lima”**. Depósito Legal: If74320153203674 ISBN: 978-980-422-028-9, 2014.

PRÜSS-USTÜN, A.; BARTRAM, J.; CLASEN, T. et al. **Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: A retrospective analysis of data from 145 countries**. Tropical Medicine & International Health, v. 19, n. 8, p. 894-905, 2014.

PUGA, B. P. **Governança dos recursos hídricos e eventos climáticos extremos: a crise hídrica de São Paulo**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

QUEIROZ, M. T. A., QUEIROZ, C. A., ALVIM, L. B., SABARÁ, M. G., LEÃO, M. M. D., AMORIM, C. C. de. **Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos**. Gestão & Produção, 26(1), e1149, 2019.

RAN, Y. et al. **Freshwater use in livestock production: to be used for food crops or livestock feed?** Agricult. Syst., v. 155, p. 1–8, 2017.

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um Plano de Manejo Sustentável de águas pluviais aplicado à Baixada Fluminense**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 2010.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. **Manejo de águas pluviais urbanas**. PROSAB 5. Rio de Janeiro: ABES. 396p, 2009.

ROCHA, G. A. **O sistema de gestão das águas de São Paulo. Material didático de uso exclusivo do curso de extensão para gestores**. Campinas: UNICAMP / Instituto de Economia, 1998.

SANTOS, A. C. dos; REIS, A.; MENDIONDO, E. M. **Segurança hídrica no Brasil: situação atual, principais desafios e perspectivas futuras**. Revista DAE, São Paulo, v. 68, n. 225, p. 167-179, set. 2020.

SÃO PAULO (Estado). **Cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/cobrancapelousodaagua>. Acesso em: 22 ago. 2024.

SÃO PAULO (Estado). Lei complementar nº 1.360, de 24 de agosto de 2021. **Cria a Região Metropolitana de Piracicaba e dá providências correlatas**. Disponível em:

<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/2021/lei.complementar-1360-24.08.2021.html>. Acesso em: 15 de jan. 2024.

SCARPINELLA, G. D.; MAUAD, F. F. **A cobrança pelo uso da água no Estado de São Paulo**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

SEPA- Scottish Environment Protection Agency. **Diffuse pollution**. <https://www.sepa.org.uk/regulations/water/diffuse-pollution/>. Acesso: 4 de janeiro de 2025.

SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão participativa das águas**. São Paulo: SMA/CPLEA, p.96, 2004.

SILVA, E. R. **O Curso da Água na História: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. Escola Nacional de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1998.

SILVA, M. B.; HERREROS, M. M. A. G. **A Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Brasil: Evolução e Desafios**. In: EGAN, M.; DA SILVA, J. M. (Org.). Gestão da água e sustentabilidade: desafios atuais e perspectivas futuras. Rio de Janeiro: Garamond, p. 42-65, 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Ministério do Desenvolvimento Regional**. Painel de Informações sobre Saneamento. [SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento — Ministério das Cidades](#) Acesso em: 04 de março de 2025.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. **Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems.** Environmental Pollution, v. 100, n. 1-3, p. 179-196, 1999.

STRASSBURG, B. B. N. et al. **Moment of truth for the Cerrado hotspot.** Nat. Ecol. Evol., v. 1, n. 99, p. 1–3, 2017.

TCHOBANOGLIOUS, G.; STENSEL, H. D.; TSUCHIHASHI, R. et al. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery.** 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das águas pluviais urbanas.** Ministério das Cidades/Global Water Partnership - Brasília: UNESCO, p. 269, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Regulamentação da drenagem urbana no Brasil.** REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina 13 (1), p. 29 - 42, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Urbanização e recursos hídricos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n. 1, p. 67-81, 2008.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Gestão da água no Brasil.** Brasília: Unesco, 2001.

TUNDISI, J. G. **Limnologia e manejo de represas.** São Paulo: FAPESP, 2016.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. Oficina de Textos, 2016.

UNESCO. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2020: água e mudança climática, fatos e dados**. 2020. Disponível em: [Home - UNESCO Digital Library](#). Acesso em: 4 de janeiro de 2025.

UNESCO. **Text of the Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage**. Disponível em: <https://www.unesco.org/en/publications>. 2003. Acesso em: 04 de março de 2025.

UN-HABITAT. **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management**. Nairobi: UN-Habitat, 2008.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects: The 2015 Revision**. Working Paper, n. 241, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015.

VANHAM, D. et al. **The water footprint of the EU for different diets**. Ecological Indicators, v. 32, p. 1-8, Nov. 2013.

VANHAM, D.; BIDOGLIO, G. **A review on the indicator water footprint for the EU28**. Ecological Indicators, 26, 61-75, 2013.

VELÁZQUEZ, E.; MADRID, C.; BELTRÁIN, M. J. **Rethinking the concepts of virtual water and water footprint in relation to the production–consumption**

binomial and the water–energy nexus. Water Resour Manage, 1 n. 25, p. 743–761, out. 2011.

VIEIRA, B.; SOUSA JUNIOR, W. **Contribuições para abordagem municipal da pegada hídrica: estudo de caso no litoral de São Paulo.** Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. XVIII, n. 3, p. 231-252, jul.-set. 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico e ao tratamento de águas residuárias.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future.** Oxford: Oxford University Press, 1987.

WRIGHT H. **Understanding green infrastructures: the development of a contested concept in Environ.** 16(10):1003–1019, 2011.

Yu, Y.; HUBACEK, K.; FENG, K.; GUAN, D. **Assessing regional and global water footprints for the UK.** Ecological Economics, v. 69, p. 1140–1147, 2010.

ZENG J, Huang G, LUO H et al. **First flush of nonpoint source pollution and hydrological effects of LID in a Guangzhou community.** Sci Rep 9:13865, 2019.

ZHAO, X.; CHEN, B.; YANG, Z. F. **National water footprint in an input–output framework: A case study of China 2002.** Ecological Modeling, v. 220, p. 245–253, 2009.