



## **A infraestrutura verde aplicada à drenagem urbana: Estudo de caso do Município de São Paulo**

**Jeane Aparecida Rombi de Godoy**

Coordenadora e Docente do PPGAU-UNIVAG, Várzea Grande-MT

<https://orcid.org/0000-0003-4577-4651>

urbanista.jeane@gmail.com

**Sandra Medina Benini**

Docente do PPGAU-UNIVAG, Várzea Grande-MT

<https://orcid.org/0000-0002-7109-8717>

arquiteta.benini@gmail.com

**Angelo Palmisano**

Coordenador adjunto e Docente do PPGAU-UNIVAG, Várzea Grande/MT.

<https://orcid.org/0000-0003-4139-6366>

angelo.palmisano@univag.edu.br

Recebido: 10 de agosto de 2024

Aceito: 6 de novembro de 2024

Publicado online: 14 de dezembro de 2024

**DOI: 10.17271/23178604123720245260**

<https://doi.org/10.17271/23178604123720245260>

### **Licença**

Copyright (c) 2024 Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes



Este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution 4.0 International License



## **A infraestrutura verde aplicada à drenagem urbana: Estudo de caso do Município de São Paulo**

### **Resumo**

Este estudo tem como objetivo principal avaliar a eficácia da infraestrutura verde na gestão das águas pluviais e na redução de inundações nas bacias hidrográficas do município de São Paulo. A pesquisa justifica-se pela crescente urbanização desordenada, que tem agravado problemas ambientais, como a impermeabilização do solo e o aumento das inundações. A infraestrutura verde surge como uma abordagem promissora para mitigar esses problemas, promovendo a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida nas áreas urbanas. A metodologia adotada envolve a análise de três bacias hidrográficas específicas em São Paulo: Córrego Mandaqui, Córrego Cabuçu de Baixo e Córrego Jacu. Utilizando o estudo de casos múltiplos, a pesquisa avalia as características dessas bacias e as intervenções de infraestrutura verde implementadas, como parques lineares e sistemas de biorretenção. A coleta de dados foi realizada através de pesquisa exploratória e análise qualitativa, permitindo a triangulação das informações e a identificação de padrões e conflitos. Os resultados indicam que a infraestrutura verde tem contribuído significativamente para a redução dos impactos das inundações e para a melhoria da qualidade ambiental nas bacias analisadas, embora desafios relacionados à implementação e gestão ainda persistam, exigindo abordagens mais adaptativas e específicas para cada contexto.

**Palavras-chave:** Infraestrutura Verde. Gestão de Águas Pluviais. Sustentabilidade Urbana.

## **Green infrastructure applied to urban drainage: A Case Study of the Municipality of São Paulo**

### **Abstract**

This study primarily aims to evaluate the effectiveness of green infrastructure in managing stormwater and reducing floods in the watersheds of São Paulo. The research is justified by the increasing unregulated urbanization, which has exacerbated environmental problems such as soil impermeability and rising flood incidents. Green infrastructure emerges as a promising approach to mitigate these issues, promoting environmental sustainability and quality of life in urban areas. The methodology involves analyzing three specific watersheds in São Paulo: Córrego Mandaqui, Córrego Cabuçu de Baixo, and Córrego Jacu. Through multiple case studies, the research assesses the characteristics of these watersheds and the green infrastructure interventions implemented, such as linear parks and bioretention systems. Data collection was conducted through exploratory research and qualitative analysis, allowing for triangulation of information and identification of patterns and conflicts. The results indicate that green infrastructure has significantly contributed to reducing flood impacts and improving environmental quality in the analyzed watersheds, although challenges related to implementation and management persist, requiring more adaptive and context-specific approaches.

**Keywords:** Green Infrastructure. Stormwater Management. Urban Sustainability.

## **Infraestructura verde aplicada al drenaje urbano: Estudio de Caso del Municipio de São Paulo**

### **Resumen**

Este estudio tiene como objetivo principal evaluar la eficacia de la infraestructura verde en la gestión de aguas pluviales y la reducción de inundaciones en las cuencas hidrográficas del municipio de São Paulo. La investigación se justifica por la creciente urbanización desordenada, que ha agravado problemas ambientales como la impermeabilización del suelo y el aumento de las inundaciones. La infraestructura verde surge como un enfoque prometedor para mitigar estos problemas, promoviendo la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida en las áreas urbanas. La metodología adoptada incluye el análisis de tres cuencas hidrográficas específicas en São Paulo: Córrego Mandaqui, Córrego Cabuçu de Baixo y Córrego Jacu. Utilizando el estudio de casos múltiples, la investigación evalúa las características de estas cuencas



y las intervenciones de infraestructura verde implementadas, como parques lineales y sistemas de biorretención. La recolección de datos se realizó a través de investigación exploratoria y análisis cualitativo, lo que permitió la triangulación de la información y la identificación de patrones y conflictos. Los resultados indican que la infraestructura verde ha contribuido significativamente a la reducción de los impactos de las inundaciones y a la mejora de la calidad ambiental en las cuencas analizadas, aunque persisten desafíos relacionados con la implementación y gestión, lo que requiere enfoques más adaptativos y específicos para cada contexto.

**Palabras clave:** Infraestructura Verde. Gestión de Aguas Pluviales. Sostenibilidad Urbana.



## **1 INTRODUÇÃO**

À medida que as cidades crescem e se urbanizam, a necessidade de integrar a natureza ao ambiente urbano torna-se cada vez mais evidente. Esse movimento vai além da criação de espaços esteticamente agradáveis; trata-se de uma resposta às pressões ambientais e sociais enfrentadas pelas metrópoles contemporâneas. A introdução de áreas verdes, como parques lineares em Áreas de Preservação Permanente (APPs), reflete uma tentativa de equilibrar o crescimento urbano com a preservação ambiental, oferecendo não apenas áreas de lazer e recreação, mas também soluções para questões como a melhoria da qualidade do ar, a gestão das águas pluviais e a criação de microclimas mais amenos. No entanto, para que essas iniciativas sejam verdadeiramente eficazes, é importante que sejam acompanhadas por uma mudança de mentalidade, que reconheça o valor multifuncional dessas áreas dentro do planejamento urbano sustentável.

Nesse contexto, a infraestrutura verde surge como uma estratégia fundamental para integrar os benefícios naturais ao planejamento urbano de forma holística e eficiente. Ao conectar diferentes áreas verdes, como parques, corredores ecológicos e APPs, a infraestrutura verde cria uma rede contínua que maximiza os serviços ecossistêmicos, como a filtragem do ar e da água, a regulação climática e a provisão de habitats para a biodiversidade. Além disso, essa abordagem promove a conectividade entre as áreas naturais e as urbanas, facilitando o acesso da população aos espaços verdes e fortalecendo a resiliência das cidades frente às mudanças climáticas. A adoção da infraestrutura verde, portanto, não apenas preserva e valoriza os recursos naturais existentes, mas também redefine a forma como as cidades podem se desenvolver de maneira mais sustentável e integrada com o meio ambiente.

A infraestrutura verde, apesar de ser um conceito novo, não é uma ideia inovadora, pois seus princípios já eram aplicados em práticas e técnicas de planejamento urbano e hidráulico no passado. Benedict e McMahon (2002, p. 8) destacam que "infraestrutura verde é um novo termo, mas não uma nova ideia". Tzoulas (2007) complementa essa abordagem ao explicar que a infraestrutura verde visa melhorar os sistemas de espaços verdes urbanos como uma entidade de planejamento coerente, compreendendo redes naturais, semi-naturais e artificiais de sistemas ecológicos multifuncionais.

A infraestrutura verde deve ser utilizada para subsidiar o planejamento ambiental e o desenho urbano, permitindo processos de requalificação urbana. Madureira (2012, p. 34) descreve a infraestrutura verde como um conceito abrangente e integrador, que pode ser ampliado para incluir corredores ecológicos e outras estruturas ecológicas. Herzog (2010a, p. 4) define a infraestrutura verde como composta



por redes multifuncionais de fragmentos permeáveis e vegetados, interconectados para recompor diversos elementos da paisagem.

Hough (2001, p. 249) explica que a infraestrutura verde serve como uma estrutura organizadora para a forma urbana e o crescimento futuro, um paradigma diferente do planejamento convencional do uso do solo. Herzog (2013, p. 111) reforça que a infraestrutura verde, ou ecológica, tem evoluído rapidamente, fundamentada nos conhecimentos da ecologia da paisagem e da ecologia urbana, compreendendo a cidade como um sistema socioecológico.

Ferreira e Machado (2010, p. 81) afirmam que a infraestrutura verde, quando utilizada em projetos urbanos, insere, conserva ou recupera a "estrutura ecológica" do local da intervenção, integrando o "sistema azul" (circulação da água) com o "sistema verde" (produção de biomassa). Madureira (2012, p. 34) observa que as estratégias de infraestrutura verde metropolitana aproveitam recursos associados a estruturas lineares da paisagem, como sistemas fluviais e infraestruturas viárias, utilizando o termo "infraestrutura verde e azul" para destacar a continuidade dos sistemas fluviais.

Herzog (2010a, p. 160) chama a atenção para o uso da infraestrutura verde em projetos de intervenções urbanas, especialmente no controle da drenagem urbana, contribuindo para a resiliência das cidades frente a eventos climáticos. Franco (2010, p. 141) enfatiza a relevância do planejamento e desenho ambiental, entendendo a infraestrutura verde como uma rede interconectada de áreas verdes e espaços abertos que conservam valores e funções ecológicas, sustentam ar e água limpos e oferecem uma variedade de benefícios para as pessoas. Benedict e McMahon (2002, p. 6) argumentam que os elementos de uma rede de infraestrutura verde precisam ser protegidos a longo prazo, exigindo planejamento e gestão contínuos.

A Compañía de Parques Nacionales de Puerto Rico (2005, p. 64) destaca a importância de integrar a infraestrutura verde ao uso do solo nos municípios. Cormier e Pellegrino (2008, p. 128) propõem que o planejamento da infraestrutura verde deve partir de uma escala regional, conjugada ao planejamento de bacias hidrográficas, e expandir essa rede aplicando sistemas naturais para enfrentar os desafios da infraestrutura urbana existente.

Na escala local, Herzog (2010b, p. 5) explica que as tipologias multifuncionais de infraestrutura verde mantêm ou restabelecem as dinâmicas naturais dos fluxos hídricos e bióticos, melhorando a circulação e o conforto das pessoas e reduzindo o consumo de energia. Entre os inúmeros benefícios da infraestrutura verde, destacam-se a promoção da infiltração, detenção e retenção das águas pluviais, a filtragem de águas de escoamento superficial, a permeabilidade do solo, a provisão de habitat para a biodiversidade, a mitigação das ilhas de calor e a contenção de encostas para evitar deslizamentos.



Herzog (2010b) evidencia que a infraestrutura verde traz benefícios significativos para os projetos urbanísticos, tanto no controle da drenagem urbana quanto na recuperação de áreas degradadas e valorização paisagística do espaço urbano. A adoção da infraestrutura verde em projetos de intervenções urbanas pode representar uma quebra de paradigmas, promovendo a construção de cidades sustentáveis e inteligentes, que oferecem espaços multifuncionais e melhoram a qualidade de vida e ambiental para todos os habitantes.

Devido à relevância da temática, este artigo propõe uma pesquisa empírica no município de São Paulo para analisar os projetos de intervenção urbanística que utilizam tipologias de infraestrutura verde aplicadas à drenagem urbana, visando aferir seus benefícios no gerenciamento das águas pluviais urbanas.

## **2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A busca pelo conhecimento está intrinsecamente ligada ao processo evolutivo da humanidade. Segundo Boente e Braga (2004), o homem, movido pela curiosidade, questionou suas próprias verdades, filosofou, experimentou e descobriu o conhecimento empírico. Estabeleceu regras, desenvolveu a ciência e implementou tecnologias. Este processo contínuo de pesquisa e experimentação nos permitiu evoluir da barbárie para uma compreensão mais profunda do mundo ao nosso redor. A importância da investigação reside em sua capacidade de inspirar a criação de novos métodos e técnicas, fomentando o avanço científico e a reflexão sobre a nossa existência no mundo.

A ciência pode ser definida como a busca incessante pela compreensão dos fenômenos naturais e sociais, perpetuando-se na jornada pelo conhecimento. Morin (2000, p. 14) ressalta a necessidade de compreender o próprio conhecimento como uma preparação para enfrentar os riscos constantes de erro e ilusão, que frequentemente afetam a mente humana. Armandando cada mente com lucidez, o conhecimento do conhecimento se torna uma necessidade vital.

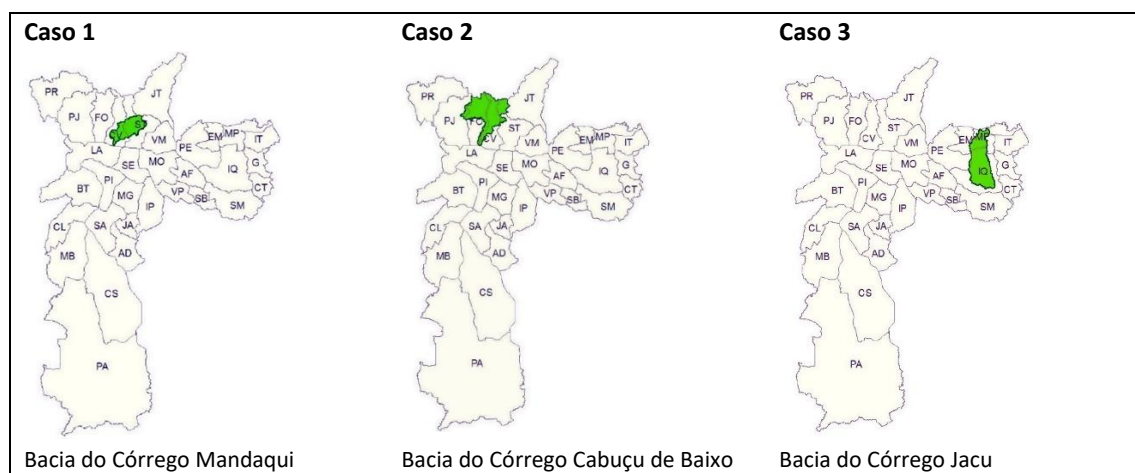
Neste contexto, é dever do pesquisador mergulhar profundamente no saber para emergir novos olhares sobre o objeto de estudo, revelando uma gama de possibilidades no universo da pesquisa. A construção empírica desta pesquisa será delimitada pelas "realidades concretas e históricas" (Demo, 1995), que retratam o contexto institucional do uso e ocupação do solo em fundos de vales das bacias hidrográficas do Município de São Paulo.

Para este estudo, foram selecionadas três bacias hidrográficas do Município de São Paulo como recorte espacial: Bacia do Córrego Cabuçu de Baixo, Bacia do Córrego Jacu, e Bacia do Córrego Mandaqui. Este recorte espacial permite uma análise detalhada

das características específicas de cada bacia e das intervenções urbanas implementadas para gerir os desafios ambientais e urbanísticos presentes nessas áreas.

Estas bacias hidrográficas representam um conjunto diverso de contextos urbanos e ambientais, proporcionando um panorama abrangente para o estudo das dinâmicas de uso e ocupação do solo, bem como das estratégias de planejamento e gestão urbana. A análise destas áreas permitirá uma compreensão mais profunda dos desafios enfrentados e das soluções implementadas, oferecendo reflexões para futuras intervenções urbanas sustentáveis.

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo



Fonte: Disponível em:

[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento\\_urbano/](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento_urbano/)

Acesso em: 9 jun. 2024.

A análise das seis bacias hidrográficas do município de São Paulo será pautada pela cientificidade e delineará os procedimentos metodológicos que nortearam a elaboração deste artigo. O estudo de caso, conforme descrito por Lakatos e Marconi (2001), permite analisar um conjunto de atividades de um grupo social específico, respeitando a “totalidade solidária” dos grupos ao estudar a unidade concreta, evitando a dissociação prematura de seus elementos. Yin (2001) complementa que essa investigação empírica possibilita “investigar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real”. No contexto deste projeto, busca-se compreender como a infraestrutura verde aplicada à drenagem urbana contribuiu para a melhoria da qualidade ambiental na cidade de São Paulo.

Como estratégia de pesquisa, adota-se o estudo de casos múltiplos, que, segundo Yin (2001), permite “seguir a uma lógica de replicação”, onde os casos podem apresentar resultados similares ou contraditórios previstos no “princípio da investigação”. A pesquisa será estruturada em várias etapas. A primeira etapa envolve





uma reflexão teórica sobre a temática proposta, permitindo delinear um posicionamento crítico sobre o processo. Hünhe (1995) destaca que “pensar é ter um posicionamento crítico a respeito de cada uma das possibilidades de saber”.

O estudo de caso selecionará os casos seguindo a “lógica da replicação” (Yin, 2001) dentro de um mesmo contexto institucional da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental. A coleta de dados será baseada em pesquisa exploratória, seguida, por uma análise qualitativa construirá uma matriz de análise que permitirá a triangulação das convergências e conflitos contidos nos projetos de intervenções urbanas analisados.

A análise crítica considerará os benefícios das tipologias de infraestrutura verde como subsídio ao planejamento da paisagem, mediante a criação de cenários prospectivos frente à realidade de cada município pertencente às bacias hidrográficas do Município de São Paulo. Nesse contexto, as observações e análises dos dados e informações serão feitas de modo a fugir da visão naturalizada dos fenômenos, buscando a cientificidade necessária para uma análise crítica da temática.

Considerando a essência do fenômeno em sua configuração particular, a pesquisa busca compreender os benefícios dos projetos de intervenção urbana nas bacias hidrográficas do Município de São Paulo. Os resultados obtidos serão comparados com a literatura nacional e internacional sobre a temática, visando desenvolver uma análise da realidade institucional de cada bacia.

Esta abordagem requer o aprofundamento característico das pesquisas de estudo de caso. Além disso, os dados quantitativos serão incluídos para contextualizar a pesquisa em um âmbito mais amplo, essencial para sua compreensão.

### **3 ESTUDO DE CASOS**

#### **3.1 Caso 1: Bacia do Córrego Mandaqui**

A Bacia Hidrográfica do Córrego Mandaqui está localizada na zona norte do município de São Paulo, abrangendo uma área de 18,6 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 1,2% da área total do município (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016). O Córrego Mandaqui percorre a Avenida Engenheiro Caetano Álvares, enquanto seu principal afluente, o Córrego Lauzane, se estende ao longo da Avenida Direitos Humanos (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a).

A hidrografia da bacia é composta pelos córregos Mandaqui, Lauzane e Tabatinguera, que juntos drenam tanto áreas urbanizadas quanto algumas áreas verdes remanescentes. A extensão do eixo principal, que considera o curso do Córrego Mandaqui até sua foz no Rio Tietê, é de 8,6 km, enquanto a extensão total dos cursos





d'água na bacia é de aproximadamente 63 km (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a).

A topografia da região é variada, com áreas planas e colinas. As elevações variam de 828 metros na cabeceira até 721 metros no exutório. De acordo com a Carta Geotécnica, a área apresenta risco geodésico moderado em algumas partes, especialmente nas planícies aluviais e nas áreas de fundo de vale com baixa declividade (menos de 5%), solos arenosos e argilosos de espessura variável e nível de água raso, que são áreas suscetíveis a inundações (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a).

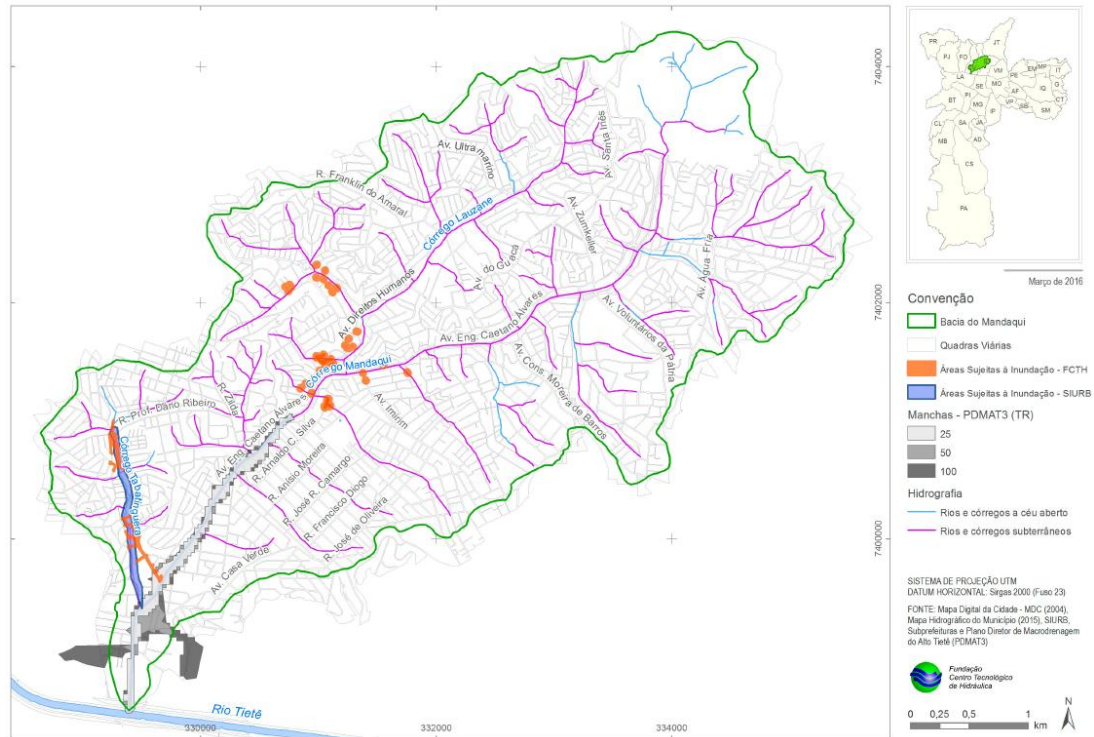
A administração municipal da Bacia do Córrego Mandaqui é feita pelas subprefeituras Casa Verde e Santana/Tucuruvi (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a). A ocupação do solo na bacia é predominantemente residencial, com setores comerciais e industriais dispersos. A presença de áreas verdes é significativa, embora existam regiões densamente ocupadas.

O uso e ocupação do solo registrado na bacia mostra que 66,42% da área é urbanizada, seguida por 20,4% classificadas como "outros usos". Serviços ocupam 2,49%, equipamentos públicos 1,92%, comércio 1,62%, e terrenos vagos uma pequena fração de 0,01% (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a).

A densidade demográfica média é alta, com as áreas mais adensadas localizadas próximas aos principais eixos viários (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a). Há uma presença considerável de pessoas morando em áreas de risco, especialmente nas proximidades das margens dos córregos, onde as inundações são frequentes (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a).

A figura 2 revela que as áreas mais críticas são aquelas sujeitas a inundações frequentes, especialmente ao longo dos cursos d'água principais, como o Córrego Mandaqui e o Córrego Lauzane. Estas áreas de risco, destacadas em laranja e azul claro, mostram a vulnerabilidade da bacia aos eventos de chuvas intensas, que frequentemente resultam em inundações. A presença de rios e córregos subterrâneos também indica a complexidade da infraestrutura de drenagem, que muitas vezes é insuficiente para lidar com o volume de água durante tempestades severas. A urbanização densa nas proximidades dos cursos d'água principais agrava ainda mais os problemas de drenagem, aumentando o escoamento superficial e a velocidade das águas pluviais, contribuindo para a ocorrência de enchentes.

Figura 2 - Diagnóstico das Inundações na Bacia do Córrego Mandaqui



Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a.

Além dos desafios hidrológicos, a bacia enfrenta problemas relacionados ao uso do solo e ocupação urbana. A malha urbana densa, representada pelas quadras viárias, e a falta de áreas verdes adequadas para a infiltração da água, exacerbam as condições de inundações. As manchas cinzas, que indicam zonas de inundação para diferentes tempos de recorrência (25, 50, 100 anos), mostram que áreas extensas da bacia estão em risco. Esses pontos críticos destacam a necessidade urgente de uma gestão integrada de recursos hídricos que combine soluções de infraestrutura verde com melhorias na infraestrutura de drenagem existente. O planejamento urbano deve ser revisto para incluir estratégias que aumentem a permeabilidade do solo e reduzam o escoamento superficial, minimizando assim os impactos das chuvas intensas e melhorando a resiliência da bacia hidrográfica do Córrego Mandaqui.

Para mitigar o problema, o sistema de drenagem urbana na Bacia do Córrego Mandaqui foi planejado para ser implementado em etapas de 25 e 100 anos, com medidas de macro e microdrenagem para controle de enchentes.

Entre as ações previstas estão a construção de reservatórios de armazenamento para captar o escoamento superficial excedente e liberar as vazões de forma controlada, e o reforço das galerias de drenagem para aumentar sua capacidade de escoamento. As intervenções específicas incluem a construção de reservatórios e reforço de galerias no Mandaqui Superior, zonas de inundação planejadas para períodos de retorno de 25 e 10 anos no Mandaqui Médio, e a criação de parques lineares e zonas



de inundação no Lauzane e Tabatinguera (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a).

Projetos de infraestrutura verde, como parques lineares e revitalização de áreas verdes foram previstos para melhorar a capacidade de infiltração e reduzir o escoamento superficial. Essas medidas não apenas ajudam a mitigar os impactos das enchentes, mas também promovem a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida na região. A implementação de parques lineares, em particular, serve para melhorar a infiltração da água no solo, reduzindo a quantidade de escoamento superficial e, conseqüentemente, o risco de inundações. Além disso, a revitalização das áreas verdes contribui para a preservação do meio ambiente e proporciona espaços de lazer para a população local (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016a).

### **3.2 Caso 2: Bacia do Córrego Cabuçu de Baixo**

A Bacia do Córrego Cabuçu de Baixo está localizada na zona norte do município de São Paulo, cobrindo uma área de 42,6 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 2,8% da área total do município (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b). O Córrego Cabuçu de Baixo nasce da confluência de dois tributários importantes, os córregos Bananal e Itaguaçu, e percorre toda a extensão da Avenida Inajar de Souza até desaguar no Rio Tietê (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b).

A hidrografia da bacia é composta pelo córrego Cabuçu de Baixo e seus afluentes, com a extensão do eixo principal sendo de 13,6 km, considerando os cursos dos córregos Canivete e Bananal, e seguindo pelo córrego Cabuçu de Baixo até a foz no Rio Tietê. A extensão total dos cursos d'água na bacia é de aproximadamente 145 km (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b). O relevo varia significativamente: no curso médio e inferior, as diferenças de cota são menores, enquanto no curso superior há uma abrupta elevação no trecho final. As declividades variam, sendo de aproximadamente 0,4% nos trechos dos córregos Bananal e Cabuçu de Baixo, e de 15% no trecho do Córrego Canivete.

A bacia apresenta riscos geodésicos moderados a altos, especialmente em áreas de desagregação mecânica e processos erosivos. A planície aluvial, sujeita a inundações, é restrita a uma faixa estreita ao longo do córrego Cabuçu de Baixo e de alguns de seus afluentes (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b).

Administrativamente, a bacia é gerida por quatro subprefeituras: Santana-Tucuruvi, Casa Verde-Cachoeirinha, Freguesia-Brasilândia e Pirituba, esta última abrangendo apenas uma pequena porção da região oeste da bacia (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b).

O uso e ocupação do solo na bacia é variado, com espaços abertos ocupando 53,80% da área, seguidos por residências horizontais de baixo padrão (13,77%),

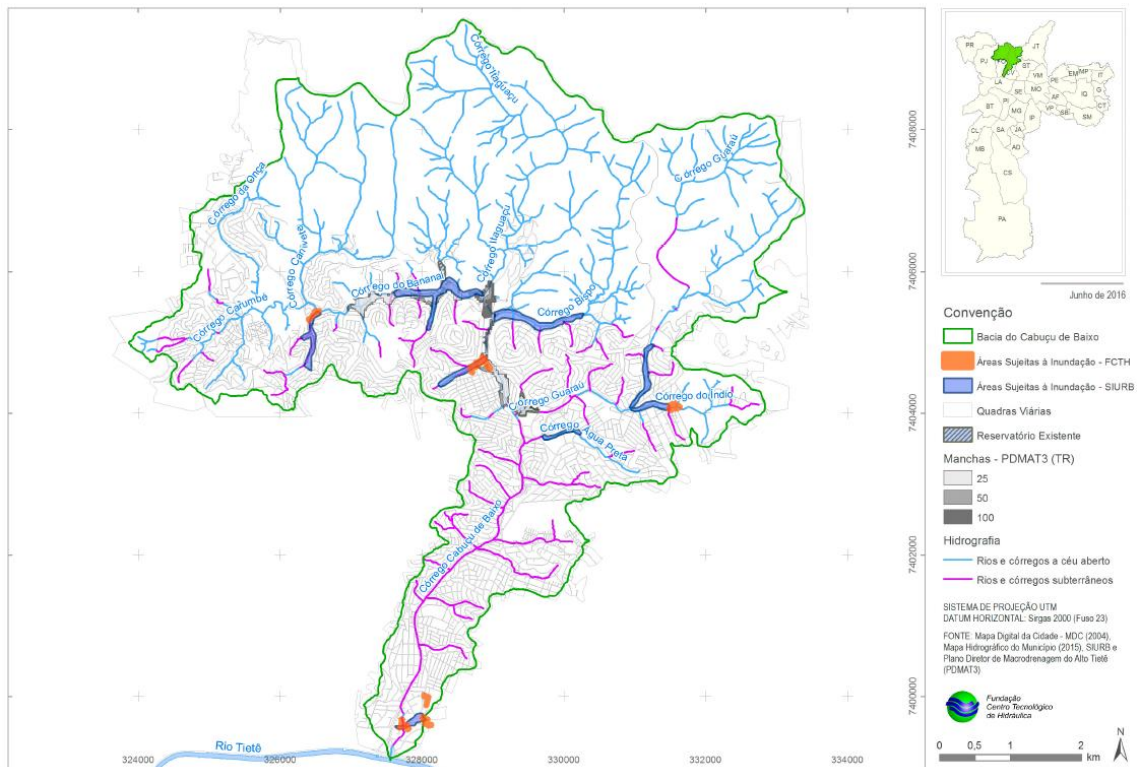


residências horizontais de médio e alto padrão (9,91%), e ruas e estradas (7,11%). Outros usos incluem calçadas e outras infraestruturas (3,69%), residências mistas com comércio e serviços (3,32%), residências verticais de baixo padrão (2,16%), e comércio e serviços (1,60%) (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b).

O maior adensamento demográfico se concentra nas áreas de Vila Medeiros e Jaçanã. Há pessoas morando em áreas de risco, principalmente nas margens dos córregos Bananal e Bispo, onde as inundações são frequentes, especialmente nas regiões centrais da bacia (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b).

A Bacia do Córrego Cabuçu de Baixo, na zona norte de São Paulo, apresenta desafios críticos relacionados à gestão de inundações e ao planejamento urbano. A figura 3 revela várias áreas sujeitas a inundações frequentes, destacadas em laranja e azul claro, principalmente ao longo dos principais cursos d'água como os córregos Bananal, Cabuçu de Baixo, Índio e Carumbé. As regiões demarcadas com manchas cinzas indicam zonas de inundação com diferentes tempos de recorrência (25, 50, 100 anos), evidenciando que grande parte da bacia está em risco de inundações durante eventos de chuvas intensas. A complexidade da infraestrutura de drenagem é ilustrada pela coexistência de rios e córregos subterrâneos, que muitas vezes são insuficientes para lidar com o volume de água durante tempestades severas. A urbanização densa, especialmente nas proximidades dos cursos d'água principais, agrava os problemas de drenagem, aumentando o escoamento superficial e a velocidade das águas pluviais.

Figura 3 - Diagnóstico das Inundações na Bacia do Córrego Cabuçu de Baixo



Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b

Além dos desafios hidrológicos, a bacia enfrenta problemas significativos relacionados ao uso do solo e à ocupação urbana. A malha urbana densa, representada pelas quadras viárias, e a falta de áreas verdes adequadas para a infiltração da água mediante eventuais inundações. A presença de um reservatório existente, destacado em cinza, indica uma tentativa de gestão das águas pluviais, mas pode não ser suficiente para resolver os problemas em toda a bacia. Esses pontos críticos destacam a necessidade urgente de uma gestão integrada de recursos hídricos que combine soluções de infraestrutura verde com melhorias na infraestrutura de drenagem existente. O planejamento urbano deve ser revisto para incluir estratégias que aumentem a permeabilidade do solo e reduzam o escoamento superficial, minimizando assim os impactos das chuvas intensas e melhorando a resiliência da bacia hidrográfica do Córrego Cabuçu de Baixo.

Na tentativa de resolver o problema, o sistema de drenagem urbana foi implementado em duas etapas: a curto prazo (25 anos) e a longo prazo (100 anos), com medidas de macro e microdrenagem para controlar o escoamento superficial. As principais medidas de controle incluem a construção de reservatórios de armazenamento e o escoamento superficial excedente e liberar as vazões de forma controlada, parques lineares que funcionam como reservatórios de armazenamento linear ao longo do canal do córrego, e a ampliação de reservatórios para recuperar parte





do volume útil. Além disso, o reforço de galerias aumenta a capacidade de escoamento das galerias existentes, e a canalização dos córregos melhora a capacidade de escoamento (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b).

As tipologias de infraestrutura verde, como parques lineares e áreas de wetlands, foram previstas para melhorar a gestão das águas pluviais. Essas medidas não apenas ajudam a controlar as enchentes, mas também melhoram a qualidade da água e promovem a sustentabilidade ambiental na bacia do Córrego Cabuçu de Baixo (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016b).

### **3.4 Caso 3: Bacia do Córrego Jacu**

A Bacia do Córrego Jacu está localizada na zona leste de São Paulo e cobre uma área de 37,6 km<sup>2</sup>, o que representa 2,5% da área total do município (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c). O Córrego Jacu percorre a Avenida Jacu Pêssego em quase toda sua extensão, afastando-se dela apenas nas proximidades da foz no Rio Tietê e na cabeceira (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c). A hidrografia da bacia é composta pelo córrego Jacu e seus afluentes, que drenam uma área intensamente urbanizada. A extensão do eixo principal, que inclui o curso do Córrego Jacu até a foz no Rio Tietê, é de 13,5 km, enquanto a extensão total dos cursos d'água na bacia é de aproximadamente 98 km. A topografia varia de áreas planas a levemente onduladas, com elevações de 871 metros na cabeceira a 724 metros no exutório. A ocupação irregular em algumas áreas acarreta riscos geodésicos significativos (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c).

A administração municipal da Bacia do Córrego Jacu é feita pelas subprefeituras de Itaquera e São Miguel, com pequenas áreas próximas à divisa da bacia sob responsabilidade das subprefeituras de Ermelino Matarazzo e Penha (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c). O uso e ocupação do solo na bacia são predominantemente residenciais, mas contendo estabelecimentos comerciais e industriais dispersas. Existem áreas significativas de ocupação irregular e favelas. O uso registrado do solo inclui 21,0% de área para residências horizontais de baixo padrão, 20,6% para espaços abertos, 13,1% para ruas e estradas, 11,2% para residências horizontais de médio e alto padrão, e 7,3% para calçadas e outras infraestruturas. Além disso, áreas comerciais e de serviços ocupam 5,8%, indústrias e armazéns ocupam 5,1%, e equipamentos urbanos compreendem 4,4%. Outras categorias de uso incluem residências verticais de baixo padrão (3,2%) e médio e alto padrão (1,1%), além de áreas mistas de comércio, serviços e indústrias (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c).

A densidade demográfica na bacia é alta, com maiores concentrações de população nas áreas próximas ao centro da bacia. Há um número considerável de



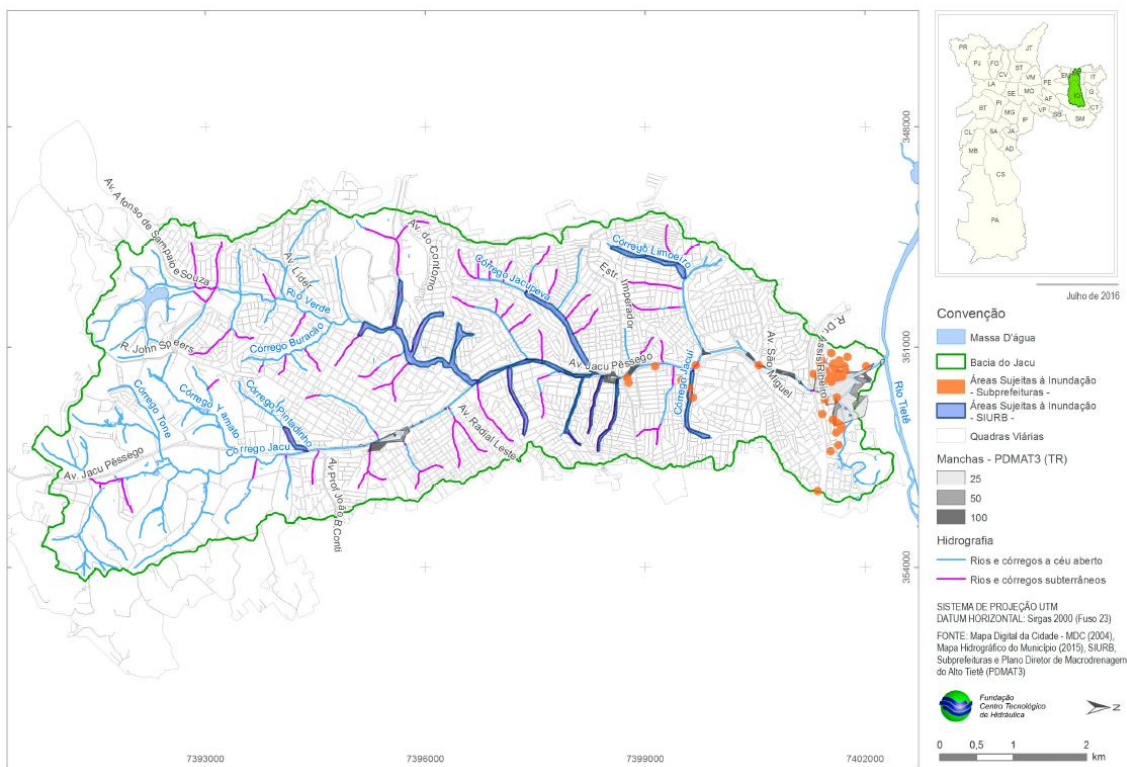
peessoas vivendo em áreas de risco, especialmente em encostas e margens de córregos, o que aumenta a vulnerabilidade a deslizamentos e inundações.

A análise da figura 4 revela áreas significativas sujeitas a inundações frequentes, destacadas em laranja e azul claro, principalmente ao longo dos principais cursos d'água, como os córregos Bananal, Cabuçu de Baixo, Índio e Carumbé. As zonas de inundação são demarcadas por manchas cinzas que indicam diferentes tempos de recorrência (25, 50, 100 anos), evidenciando que grande parte da bacia está em risco de inundações durante eventos de chuvas intensas. A infraestrutura de drenagem é complexa, com uma combinação de rios e córregos subterrâneos que muitas vezes são insuficientes para lidar com o volume de água durante tempestades severas. A urbanização densa, especialmente nas proximidades dos principais cursos d'água, agrava os problemas de drenagem, aumentando o escoamento superficial e a velocidade das águas pluviais.

Além dos desafios hidrológicos, a bacia enfrenta problemas significativos relacionados ao uso do solo e à ocupação urbana. A malha urbana densa, representada pelas quadras viárias, e a falta de áreas verdes adequadas para a infiltração da água no caso de inundações. A presença de um reservatório existente, destacado em cinza, indica uma tentativa de gestão das águas pluviais, mas pode não ser suficiente para resolver os problemas em toda a bacia. Esses pontos críticos destacam a necessidade urgente de uma gestão integrada de recursos hídricos que combine soluções de infraestrutura verde com melhorias na infraestrutura de drenagem existente.



Figura 4 - Diagnóstico das Inundações na Bacia do Córrego Jacu



Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c

O planejamento urbano deve ser revisto para incluir estratégias que aumentem a permeabilidade do solo e reduzam o escoamento superficial, minimizando assim os impactos das chuvas intensas e melhorando a resiliência da bacia hidrográfica do Córrego Cabuçu de Baixo. Para mitigar esses riscos, foram implementadas várias intervenções de drenagem urbana, incluindo reservatórios de retenção e canalizações para controle de enchentes planejadas para horizontes de 25 e 100 anos (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c).

As alternativas de controle do escoamento superficial incluem várias ações estruturais nos córregos Verde e Jacu. Entre as principais medidas de controle estão os reservatórios de armazenamento, que armazenam o escoamento superficial excedente e liberam as vazões de forma controlada através de pequenos orifícios de saída. Parques lineares com função de reservação funcionam como reservatórios lineares no próprio canal do córrego, com estruturas de restrição de seção ao longo do canal para restringir o escoamento. Além disso, diques e pôlderes são usados para controle de cheias em áreas de várzea, onde a água coletada é bombeada para um reservatório após o período de pico de vazão. O reforço de galerias implica na ampliação da capacidade de escoamento das galerias existentes, seja pela substituição ou construção de novas galerias. A canalização dos córregos, com a construção de canais com dimensões



definidas, também aumenta a capacidade de escoamento (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c).

É importante ressaltar que futuros projetos devem considerar estruturas de controle da qualidade da água para cada medida implantada. Projetos de infraestrutura verde, como parques lineares e sistemas de biorretenção, foram implementados para melhorar a qualidade da água e a capacidade de infiltração, contribuindo para uma gestão mais sustentável das águas pluviais na Bacia do Córrego Jacu (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2016c).

## **4 ANÁLISE QUALITATIVA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS DE SÃO PAULO**

### **4.1 Análise Qualitativa das Bacias Hidrográficas Urbanas de São Paulo**

A análise qualitativa das bacias hidrográficas dos córregos Mandaqui, Cabuçu de Baixo e Jacu no município de São Paulo envolve a construção de uma matriz de análise. Esta matriz permite a triangulação das convergências e conflitos nos projetos de intervenções urbanas, levando em consideração a área, riscos geodésicos, problemas de inundação, drenagem urbana e infraestrutura verde.

### **4.2 Matriz de Análise**

A matriz de análise compara os principais aspectos de cada bacia para identificar padrões comuns e divergências que possam impactar a eficácia das intervenções urbanas planejadas ou implementadas.

Quadro 1 – Matriz de análise

<b>Aspectos</b>	<b>Mandaqui</b>	<b>Cabuçu de Baixo</b>	<b>Jacu</b>
<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	18,6	42,6	37,6
<b>Riscos Geodésicos</b>	Moderados	Moderados a altos	Significativos
<b>Problemas de Inundação</b>	Frequentes nas margens	Frequentes nas regiões centrais	Frequentes em encostas e margens
<b>Drenagem Urbana</b>	Reservatórios, reforço de galerias	Reservatórios, parques lineares	Reservatórios, canalizações
<b>Infraestrutura Verde</b>	Parques lineares, revitalização de áreas verdes	Parques lineares, áreas de wetlands	Parques lineares, sistemas de biorretenção

#### **4.2.1 Triangulação das Convergências e Conflitos**

As bacias hidrográficas dos córregos Mandaqui, Cabuçu de Baixo e Jacu, embora distintas em suas características específicas, apresentam várias convergências e conflitos que influenciam a gestão das intervenções urbanas.

#### **4.2.2 Convergências**



Os riscos geodésicos e os problemas de inundação são comuns em todas as bacias analisadas. As bacias apresentam riscos geodésicos que variam de moderados a altos, sendo que a Bacia do Córrego Jacu enfrenta riscos significativos devido à ocupação irregular e alta densidade populacional. Inundações frequentes são observadas em todas as bacias, exigindo intervenções para controle de enchentes e melhorias na infraestrutura de drenagem.

A abordagem de drenagem urbana em todas as bacias inclui a construção de reservatórios de armazenamento e reforço de galerias. Esta estratégia padronizada para a gestão de enchentes urbanas pode ser aplicada de maneira consistente em diferentes contextos dentro da cidade, destacando uma convergência na abordagem técnica adotada.

A implementação de infraestrutura verde é também uma estratégia comum entre as bacias. Parques lineares e sistemas de biorretenção são reconhecidos como soluções eficazes para aumentar a infiltração de água no solo e reduzir o escoamento superficial, promovendo a sustentabilidade ambiental. A inclusão de áreas verdes e a revitalização de áreas já existentes são medidas importantes para melhorar a resiliência das bacias hidrográficas.

#### 4.2.3 Conflitos

A variação significativa nas áreas das bacias implica diferenças na complexidade e na escala das intervenções necessárias. A Bacia do Córrego Cabuçu de Baixo, sendo a maior com 42,6 km<sup>2</sup>, requer intervenções mais extensivas e complexas comparadas à Bacia do Córrego Mandaqui, com 18,6 km<sup>2</sup>, e à Bacia do Córrego Jacu, com 37,6 km<sup>2</sup>. A maior área de Cabuçu de Baixo implica em desafios adicionais na gestão dos recursos hídricos e na implementação de infraestruturas de controle de inundações.

O nível de ocupação irregular é um desafio particular para a Bacia do Córrego Jacu, considerando que o local oferece riscos geodésicos significativos devido à alta densidade populacional e à ocupação irregular. Este problema é menos pronunciado em bacias como Mandaqui e Cabuçu de Baixo, mas ainda requer atenção para a regularização fundiária e a realocação de moradores em áreas de risco.

Diferenças nos problemas de inundação também são observadas. Enquanto algumas bacias, como Mandaqui e Cabuçu de Baixo, têm problemas de inundação concentrados nas margens dos córregos, outras, como Jacu, enfrentam inundações tanto em encostas quanto em áreas residenciais. Isso requer soluções de drenagem adaptadas às características topográficas e de ocupação de cada bacia, destacando a necessidade de abordagens específicas para cada contexto.

#### 4.2.4 Conclusão



A análise qualitativa das bacias hidrográficas dos córregos Mandaqui, Cabuçu de Baixo e Jacu revela uma necessidade compartilhada de melhorias na drenagem urbana e infraestrutura verde para mitigar os riscos geodésicos e problemas de inundação. No entanto, as variações na área, no nível de ocupação irregular e nas características topográficas exigem abordagens específicas para cada bacia. A implementação de soluções de infraestrutura verde, como parques lineares e sistemas de biorretenção, é uma estratégia convergente que pode ser aplicada amplamente, enquanto as diferenças na complexidade das bacias e na distribuição dos problemas de inundação requerem intervenções personalizadas para garantir a eficácia das medidas adotadas.

Quadro 2 - Síntese de Conflitos e Convergências

Aspectos	Convergências	Conflitos
<b>Área</b>	Todas as bacias possuem extensões significativas de áreas urbanas e naturais.	Variação significativa no tamanho das bacias implica em diferentes complexidades e escalas das intervenções necessárias (Cabuçu de Baixo maior que Mandaqui e Jacu).
<b>Riscos Geodésicos</b>	Presença de riscos geodésicos em todas as bacias devido à urbanização e topografia.	Intensidade dos riscos varia, sendo maiores em áreas com relevo mais acidentado (riscos significativos em Jacu devido à ocupação irregular).
<b>Problemas de Inundação</b>	Inundações são comuns em todas as bacias devido à impermeabilização do solo.	Frequência e severidade das inundações variam conforme a infraestrutura existente e gestão (inundações nas margens em Mandaqui, regiões centrais em Cabuçu de Baixo, encostas em Jacu).
<b>Drenagem Urbana</b>	Implementação de sistemas de drenagem é prioridade em todas as bacias, incluindo construção de reservatórios de armazenamento e reforço de galerias.	Métodos e eficácia dos sistemas de drenagem variam de acordo com o planejamento local (parques lineares em Cabuçu de Baixo, canalizações em Jacu).
<b>Infraestrutura Verde</b>	Infraestrutura verde é reconhecida como essencial em todas as bacias para gestão ambiental, incluindo parques lineares e sistemas de biorretenção.	Extensão e tipologia da infraestrutura verde implementada variam entre as bacias (áreas de wetlands em Cabuçu de Baixo, revitalização de áreas verdes em Mandaqui).

Este quadro sintetiza as convergências e conflitos identificados na análise qualitativa das bacias hidrográficas dos córregos Mandaqui, Cabuçu de Baixo e Jacu, destacando os principais pontos de atenção para a gestão de intervenções urbanas nestas áreas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS



A presente pesquisa sobre a aplicação da infraestrutura verde nas bacias hidrográficas urbanas do município de São Paulo evidenciou a importância e os benefícios dessa abordagem para o planejamento e gestão ambiental urbana. Ao analisar três bacias hidrográficas específicas — Mandaqui, Cabuçu de Baixo e Jacu — foi possível identificar padrões e particularidades que destacam a relevância da infraestrutura verde no contexto das cidades contemporâneas.

Os principais benefícios da infraestrutura verde incluem a melhoria da infiltração da água no solo, a redução do escoamento superficial, a mitigação das inundações e a melhoria da qualidade da água. Essas soluções sustentáveis, como parques lineares, sistemas de biorretenção e telhados verdes, promovem uma convivência harmoniosa entre o ambiente construído e os componentes naturais. Além disso, a infraestrutura verde contribui para a biodiversidade urbana, a qualidade do ar e a mitigação das ilhas de calor, aspectos essenciais para a resiliência das cidades frente às mudanças climáticas.

A análise das bacias hidrográficas revelou convergências, como a necessidade universal de intervenções para o controle de enchentes e a implementação de sistemas de drenagem eficientes. A infraestrutura verde pode ser considerada como uma solução eficaz para aumentar a resiliência ambiental e urbana. Contudo, as divergências encontradas, como a variação na área e complexidade das bacias e os diferentes níveis de ocupação irregular, destacam a necessidade de abordagens específicas e adaptadas às características de cada região.

Os desafios enfrentados pelas bacias hidrográficas de São Paulo, como a ocupação irregular, a urbanização desordenada e a deficiência na gestão de águas pluviais, reforçam a importância de uma integração planejada e sistemática da infraestrutura verde. A adoção dessas práticas pode transformar áreas vulneráveis em espaços resilientes e sustentáveis, proporcionando benefícios ambientais, sociais e econômicos para a população.

Desta forma, a pesquisa reafirma a necessidade de promover a infraestrutura verde como uma componente fundamental no planejamento urbano sustentável. A criação de cenários prospectivos deve levar em consideração a especificidade de cada bacia hidrográfica e as realidades municipais, ajustando as tipologias de infraestrutura verde às particularidades locais. Esta abordagem não apenas melhora a gestão das águas pluviais, mas também contribui para a construção de cidades mais saudáveis, inteligentes e sustentáveis, garantindo uma melhor qualidade de vida para as futuras gerações.

A relevância da temática abordada, somada aos resultados obtidos, destaca a importância de continuar investindo em pesquisas e projetos que promovam a infraestrutura verde. Somente assim será possível alcançar um desenvolvimento urbano



que seja verdadeiramente sustentável e capaz de enfrentar os desafios ambientais do século XXI.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. **Green infrastructure**: smart conservation for the 21st Century. Washington, D.C.: Sprawl Watch Clearinghouse, 2002.
- BOENTE, A.; BRAGA, G. P. **Metodologia científica contemporânea**. Rio de Janeiro: Brasport, 2004.
- COMPAÑÍA DE PARQUES NACIONALES DE PUERTO RICO. **Infraestructura verde y nuestros parques**. Puerto Rico: Doris J. Morales Rodríguez, 2005.
- CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Rev. Paisagem e Ambiente**, São Paulo, n. 25, p. 125-142, 2008.
- DEMO, P. **Metodologia científica em ciências sociais**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1995.
- FERREIRA, J. C.; MACHADO, J. R. Infra-estruturas verdes para um futuro urbano sustentável. O contributo da estrutura ecológica e dos corredores verdes. **Rev. LABVERDE**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 68-90, 2010.
- FRANCO, M. de A. R. Infraestrutura verde em São Paulo – o caso do corredor verde Ibirapuera-Villa Lobos. **Rev. LABVERDE**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 134-155, 2010.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Caderno de Bacia Hidrográfica: Córrego Mandaqui**. São Paulo: SIURB/FCTH, 2016a.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA **Caderno de Bacia Hidrográfica: Córrego Cabuçu de Baixo**. São Paulo: SIURB/FCTH, 2016b.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Caderno de Bacia Hidrográfica: Córrego Jacu**. São Paulo: SIURB/FCTH, 2016c.
- HERZOG, C. P. **Cidades para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza**. Rio de Janeiro: Mauad X: Inverde, 2013.
- HERZOG, C. P. Infraestrutura verde e resiliência no paisagismo. **Rev. LABVERDE**, São Paulo, v.1, n. 1, p. 157-161, 2010a.
- HERZOG, C. P. Infra-estrutura verde para cidades mais sustentáveis. Produtos e sistemas relativos à infra-estrutura. **Cadernos Virtuais de Construção Sustentável**. Rio de Janeiro: Secretaria do Ambiente (SEA) do Estado do Rio de Janeiro, 2010b. Disponível em: <http://inverde.wordpress.com/artigos-etes/>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- HOUGH, M. Looking beneath the surface: teaching a landscape ethic. In: JOHNSON, B.; HILL, K. (eds.). **Ecology and design**. Frameworks for Learning. Washington: Island Press. 2001. p. 245-267.
- HÜNHE, N. A. **Metodologia científica**. 6. ed. Rio de Janeiro: Agir, 1995.



LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MADUREIRA, H. Infraestrutura verde na paisagem urbana contemporânea: o desafio da conectividade e a oportunidade da multifuncionalidade. **Revista da Faculdade de Letras – Geografia – Universidade do Porto**, III série, v. I, p. 33-43, 2012.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2000.

TZOULAS, K. *et al.* Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review. **Landscape and Urban Planning**, v. 81, p. 167-178, 2007.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e método**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.