

A drenagem sustentável é essencial para controlar cheias urbanas

ISBN: 978-65-89429-20-3



9 786589 429203

DRENAGEM SUSTENTÁVEL – SÃO JOSÉ DOS CAMPOS MANUAL DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL



ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS APLICADAS À
DRENAGEM SUSTENTÁVEL PARA O MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

MANUAL DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
Laboratório de Hidráulica

ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO DE
TECNOLOGIAS APLICADAS À DRENAGEM
SUSTENTÁVEL PARA O MUNICÍPIO
DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

**MANUAL DE DRENAGEM
SUSTENTÁVEL**

Agosto de 2024



Fundação
Centro Tecnológico
de Hidráulica



EQUIPE TÉCNICA

Prefeitura do Município de São José dos Campos

Nome	Função
Anderson Farias	Prefeito

Secretaria de Urbanismo e Sustentabilidade

Nome	Função
Eng. Marcelo Pereira Manara	Secretário de Urbanismo e Sustentabilidade
Eng. Oswaldo Vieira de Paula Júnior	Diretor de Planejamento Urbano
Eng. Juarez Domingues de Vasconcelos	Diretor de Gestão Ambiental

Apoio técnico

Nome
Eng. Carina Ferreira Chaves
Eng. Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi
Eng. Gabriela de Nadai
Eng. Guilherme Diniz Santini
Eng. Juliana Regina Campos Faria
Eng. Pedro Salgado de Araújo
Eng. Robson Rodrigues Leite
Eng. Rodrigo Romanini Matsukura

Empreendimento: Ações para o controle da poluição difusa e o manejo sustentável das águas pluviais no município de São José dos Campos

Financiamento: FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos

Contrato Fehidro – PSJC: 212/2021

Contrato PSJC – FCTH: 428/2022

Convênio USP nº 1014756



PREFEITURA
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

EQUIPE TÉCNICA

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Nome	Função
Prof. Dr. José Carlos Bernardino	Coordenador do projeto
Prof. Dr. José Carlos Mierzwa	Vice-coordenador

Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

Nome	Função
Prof. Dr. José Rodolfo Scarati Martins	Diretor-presidente
Prof. Dr. Renato Carlos Zambon	Diretor técnico-científico
Profa. Dra. Amarilis Lucia C. F. Gallardo	Diretora administrativa-financeira
Lais Ferrer Amorim de Oliveira	Coordenadora técnica do estudo
Camila Brandão Nogueira Borges	Coordenadora administrativa do estudo
Stephanie Gonzaga	Arquiteta e urbanista
Juliana Alencar	Consultora do estudo
Fábio Ferreira Nogueira	Engenheiro ambiental pleno
Fernando Garcia	Engenheiro ambiental
João Francisco Nogueira Spejorin	Estagiário
Luann Silva Calixto	Estagiário

Projeto gráfico: Mayara Menezes do Moinho

Diagramação: Rafael Valença

Revisão de texto: Simone Oliveira

Foto da capa: Unsplash/Pete Nowicki

Emissão: São Paulo, 7 de agosto de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Estudos especializados para o desenvolvimento de tecnologias aplicadas à drenagem sustentável para o município de São José dos Campos [livro eletrônico]. -- São Paulo : FCTH, 2024.
PDF

Vários autores.
Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-89429-20-3

1. Água - Abastecimento 2. Água - Abastecimento - São José dos Campos (SP) 3. Drenagem 4. Engenharia hidráulica 5. Sustentabilidade.

24-227373

CDD-627

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia hidráulica 627

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380



Fundação
Centro Tecnológico
de Hidráulica



Sumário

Apresentação	19
Introdução	21
1. Estado da arte da drenagem urbana sustentável	25
1.1 Saneamento básico e drenagem urbana.....	26
1.2 A urbanização e as águas	29
1.2.1 Quantidade das águas pluviais.....	33
1.2.2 Quantidade dos sedimentos	34
1.2.3 Qualidade das águas	34
1.3 Evolução da drenagem e diferentes termos do manejo sustentável de águas pluviais	37
2. Drenagem e manejo de águas pluviais no município de São José dos Campos	48
2.1 Hidrografia de São José dos Campos	50
2.2 O plano diretor de drenagem de manejo sustentável de águas pluviais.....	52
2.3 Regulação e normas aplicáveis ao manejo de águas pluviais	55
2.3.1 Regulação de quantidade das águas pluviais urbanas.....	58
2.4 Manual de estratégias sustentáveis.....	60
2.4.1 Estratégia 74.....	61
2.4.2 Estratégia 76	61
2.4.3 Estratégia 77	62
2.4.4 Estratégia 78.....	62
2.4.5 Estratégia 79.....	63
2.4.6 Estratégia 80	63
2.4.7 Estratégia 81	64

2.4.8	Estratégia 82	64
2.4.9	Estratégia 83	64
2.4.10	Estratégia 84.....	64
3.	Bases adotadas para o planejamento da gestão de águas pluviais em São José dos Campos.....	65
3.1	Escalas de projeto.....	65
3.1.1	Escala de lote.....	67
3.1.2	Escala de bairro	68
3.1.3	Escala de vale-várzea.....	69
3.1.4	Escala de bacia hidrográfica	70
3.2	Critérios urbanísticos.....	71
3.2.1	A identificação de áreas	71
3.2.2	Sistema viário e mobilidade.....	72
3.2.3	Índices de impermeabilização	72
3.3	Critérios da paisagem.....	74
4.	Componentes do sistema de drenagem sustentável.....	75
4.1	Medidas não estruturais.....	76
4.2	Medidas estruturais	76
4.2.1	Condução	77
4.2.2	Detenção.....	77
4.2.3	Infiltração.....	77
4.2.4	Retenção.....	78
5.	Análise de viabilidade econômica das infraestruturas de drenagem sustentável	79
5.1	Relação custo-benefício.....	83
6.	Aplicação da drenagem sustentável.....	85

6.1	Áreas especiais para drenagem sustentável.....	85
6.2	Microdrenagem.....	86
6.2.1	Tipologias de medidas estruturais sustentáveis.....	87
6.2.2	Guia de projeto para medidas estruturais sustentáveis.....	102
6.3	Macrodrenagem	150
6.3.1	Tipologias de medidas estruturais sustentáveis.....	150
6.3.2	Guia de projeto para medidas estruturais sustentáveis.....	158
7.	Vegetação na drenagem sustentável.....	171
7.1	Critérios de seleção de espécies vegetais	172
7.1.1	Espécies nativas e não invasoras	172
7.1.2	Espécies resistentes	173
7.1.3	Espécies adequadas aos dispositivos de drenagem sustentável	173
7.1.4	Alta biodiversidade	173
7.1.5	Incremento da fauna.....	174
7.1.6	Raízes das espécies	174
7.1.7	Estética	174
7.2	Espécies recomendadas para plantio em tecnologias de drenagem sustentável em São José dos Campos	175
8.	Conclusão.....	193
9.	Bibliografia	195
	Glossário.....	203
	Anexo.....	209

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	Área de Controle de Impermeabilização
Adasa	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
BMP	<i>Best Management Practices</i> (melhores práticas de gestão)
Cesp	Companhia Energética de São Paulo
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPA	Concreto Poroso Asfáltico
Dae	Departamento de Água e Energia Elétrica
Daia	Departamento de Avaliação do Impacto Ambiental
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
E. coli	<i>Escherichia coli</i>
EPA	Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental)

DRENAGEM SUSTENTÁVEL PARA O MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica	PMMAeC	Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica e do Cerrado de São José dos Campos
IDF	Intensidade-Duração-Frequência	PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)	PMSJC	Prefeitura Municipal de São José dos Campos
IV	Infraestrutura Verde	PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo
LID	<i>Low Impact Development</i> (desenvolvimento de baixo impacto)	Prosab	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
LPUOS	Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo	QCE	Vazão de controle do deságue em lote
MES	Manual de Estratégias Sustentáveis	QRL	Vazão máxima de descarga do dispositivo
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras	Sbn	Soluções baseadas na Natureza
NRCS	National Resources Conservation Service	SJC	São José dos Campos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano
ONU	Organização das Nações Unidas	Sponge City	Cidade-esponja
PDDMAP/ SJC	Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São José dos Campos	SST	Sólidos Suspensos Totais
PDDI	Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado	SUDS	<i>Sustainable Urban Drainage Systems</i> (sistemas de drenagem urbana sustentável)
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano	Tr	Período de retorno
Pead	Polietileno de Alta Densidade	UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
PGT	Polo Gerador de Tráfego	UPVC	<i>Unplasticized Polyvinyl Chloride</i> (cloreto de polivinil não plastificado)
		VDE	Volume útil mínimo de retenção

WEF World Economic Forum (Fórum Econômico Mundial)

WSUD *Water Sensitive Urban Design*
(desenho urbano sensível à água)

Lista de figuras

- Figura 1** Fluxograma de notas técnicas associadas a cada produto desenvolvido durante o projeto
- Figura 2** Serviços, infraestruturas e instalações operacionais do saneamento básico
- Figura 3** Diferenças do balanço hídrico pré e pós-urbanização
- Figura 4** Tipos de poluição
- Figura 5** Fases do desenvolvimento da gestão de águas urbanas
- Figura 6** Diferentes terminologias da drenagem e do manejo sustentáveis das águas pluviais
- Figura 7** Recuperação do canal Catharijnesingel em Utreque, nos Países Baixos
- Figura 8** Revitalização do Rio Cheonggyecheon, em Seul, na Coreia do Sul
- Figura 9** Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis, em Niterói, no Rio de Janeiro

- Figura 10** Jardim de chuva no *campus* da Universidade de São Paulo (USP), em São Paulo
- Figura 11** Mapa da hidrografia do Município de São José dos Campos
- Figura 12** Medidas estruturais e não estruturais elaboradas no PDDMAP – Etapa 1
- Figura 13** Método para elaboração de anteprojetos de drenagem sustentável e infraestrutura verde
- Figura 14** Diagrama das escalas de projeto
- Figura 15** Diagrama da escala de lote
- Figura 16** Diagrama da escala de bairro
- Figura 17** Diagrama da escala de vale-várzea
- Figura 18** Diagrama da escala de bacia hidrográfica
- Figura 19** Representação esquemática de jardim de chuva com sistema fechado
- Figura 20** Representação esquemática de jardim de chuva com sistema aberto
- Figura 21** Representação esquemática de biovaleta
- Figura 22** Representação esquemática de telhado verde extensivo
- Figura 23** Representação esquemática de telhado verde intensivo
- Figura 24** Representação esquemática de pavimento permeável do tipo asfalto poroso (via à esquerda) e bloco de concreto (via à direita)
- Figura 25** Representação esquemática de bacia de retenção com cobertura vegetada
- Figura 26** Representação esquemática de bacia de retenção com superfície impermeável
- Figura 27** Representação esquemática de trincheira de infiltração
- Figura 28** Representação esquemática de retenção em lote aberto
- Figura 29** Corte esquemático de biorretenção aberta do tipo jardim de chuva
- Figura 30** Corte esquemático de biorretenção fechada ligada à rede de microdrenagem
- Figura 31** Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético)
- Figura 32** Corte esquemático de biovaleta fechada
- Figura 33** Corte esquemático de biovaleta aberta
- Figura 34** Corte esquemático de telhado verde extensivo

- Figura 35** Corte esquemático de pavimento permeável do tipo asfalto poroso (via à esquerda) e bloco intertravado (via à direita)
- Figura 36** Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético)
- Figura 37** Corte esquemático de bacia de detenção com cobertura vegetada
- Figura 38** Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo poço
- Figura 39** Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo trincheira
- Figura 40** Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo bacia
- Figura 41** Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de um sistema de infiltração (exemplo hipotético)
- Figura 42** Corte esquemático de reservatório de detenção em lote aberto
- Figura 43** Exemplo de canais sustentáveis
- Figura 44** Exemplo de parque linear simplificado
- Figura 45** Exemplo de parque linear complexo
- Figura 46** Reservatório *in line* de retenção (Aricanduva 2, em São Paulo)
- Figura 47** Reservatório *off line* de detenção (Inhumas, em São Paulo)
- Figura 48** Exemplo de reservatório multiuso aberto
- Figura 49** Exemplo de reservatório multiuso fechado (Watersquare Benthemplein, em Roterdã, nos Países Baixos)
- Figura 50** Araçá-rosa
- Figura 51** Cafezinho-do-mato
- Figura 52** Chá-mate
- Figura 53** Gabiroba
- Figura 54** Louro-branco
- Figura 55** Manacá da serra
- Figura 56** Palmito-juçara
- Figura 57** Samambaiaçu
- Figura 58** Tarumã

Figura 59 Bromélia porto-seguro

Figura 60 Capim roxo-do-brejo

Figura 61 Clúsia

Figura 62 Carqueja

Figura 63 Falso-íris

Figura 64 Filodendro ondulado

Figura 65 Guaimbê

Figura 66 Helicônia papagaio

Figura 67 Lantana arbustiva

Figura 68 Maranta-araruta

Figura 69 Maranta cinza

Figura 70 Maranta-zebrina

Figura 71 Orelha-de-onça

Figura 72 Triális

Figura 73 Brilhantina

Figura 74 Dinheiro-em-penca

Figura 75 Grama amendoim

Lista de tabelas

- Tabela 1** Origem e principais impactos de poluentes sobre corpos hídricos
- Tabela 2** Principais legislações de São José dos Campos que contribuíram para o desenvolvimento do PDDMAP
- Tabela 3** Peso dos benefícios por cada R\$ 1,00 investido
- Tabela 4** Atividades que devem ser quantificadas e sua periodicidade
- Tabela 5** Tabela-resumo sobre biorretenções
- Tabela 6** Tabela-resumo sobre biovaletas
- Tabela 7** Tabela-resumo sobre telhados verdes
- Tabela 8** Tabela-resumo sobre pavimentos permeáveis
- Tabela 9** Tabela-resumo sobre bacias de retenção
- Tabela 10** Tabela-resumo sobre facilitadores de infiltração
- Tabela 11** Tabela-resumo sobre reservatórios de retenção no lote
- Tabela 12** Tabela-resumo sobre canais sustentáveis

Tabela 13 Tabela-resumo sobre parques lineares

Tabela 14 Tabela-resumo sobre reservatórios multiuso

Tabela 15 Espécies arbóreas recomendadas

Tabela 16 Espécies arbustivas, herbáceas e forrações

Apresentação

Este produto integra a documentação dos Estudos Especializados para Desenvolvimento de Tecnologias Aplicadas à Drenagem Sustentável para o Município de São José dos Campos, desenvolvidos pelo Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e com a colaboração da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), por meio do contrato nº 428/2022.

O objetivo deste estudo é contribuir para a elaboração da segunda etapa do Plano Diretor de Drenagem de Manejo Sustentável de Águas Pluviais (PDDMAP) do Município de São José dos Campos. Essa contribuição será feita por meio da pesquisa sobre a aplicação de tecnologias de drenagem sustentável no controle quantitativo e qualitativo das águas pluviais, investigando seus impactos em bacias de referência e correlacionando os resultados com o tipo de ocupação local. Dessa forma, será possível desenvolver um manual de referência para as diretrizes de manejo sustentável das águas pluviais, aumentando o conhecimento sobre essas tecnologias e suas aplicações no município.

O estudo foi dividido em cinco produtos principais (**Figura 1**), e cada um deles é composto por notas técnicas que detalham as atividades desenvolvidas. Este documento integra o Produto 2 e apresenta temas tangenciais relativos à drenagem sustentável e ao controle da poluição difusa.

Este Manual foi estruturado em uma sequência de sete capítulos que descrevem critérios, diretrizes e metodologias a serem adotadas nos projetos de drenagem sustentável para o Município de São José dos Campos.

O primeiro capítulo oferece uma contextualização da drenagem urbana, abordando

os efeitos da urbanização e das mudanças climáticas, além da evolução dos sistemas de drenagem até as Soluções baseadas na Natureza (SbN). Em seguida, são apresentados os avanços da drenagem e do manejo de águas pluviais no Município de São José dos Campos, incluindo os objetivos gerais e os critérios adotados no presente estudo.

Os capítulos subsequentes aprofundam-se em aspectos específicos da drenagem sustentável, abordando microdrenagem, macrodrenagem e diretrizes para o planejamento, o dimensionamento e a manutenção dessas técnicas de drenagem.

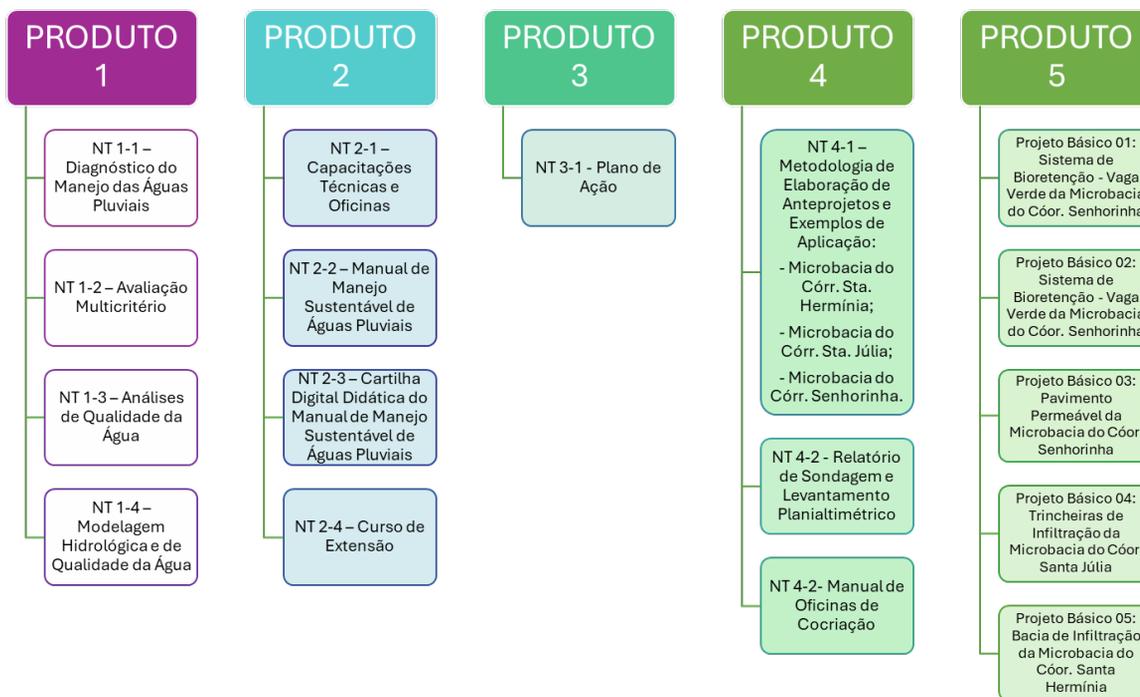


FIGURA 1 Fluxograma de notas técnicas associadas a cada produto desenvolvido durante o projeto

Introdução

O processo de urbanização modifica as características do ambiente natural e desencadeia mudanças significativas no ciclo hidrológico. A alta impermeabilização do solo, a antropização das bacias hidrográficas e a redução da cobertura vegetal desregulam os processos naturais de captação, infiltração, evapotranspiração e tratamento das águas pluviais (Zölch *et al.*, 2017). Essa condição gera impactos no sistema de drenagem, incluindo o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, uma maior vazão de pico e a deterioração da qualidade das águas urbanas (Tucci, 2012).

Inicialmente, os sistemas de águas pluviais das cidades foram planejados com a lógica do rápido escoamento, a fim de liberar as áreas ocupadas pelas águas excedentes e da poluição. Nesse modelo, a água, que, em um contexto natural, trafegava lentamente e interagia com os elementos do terreno, passa a ser conduzida por estruturas artificiais, como galerias e canais. Isso resulta em vazões de pico mais elevadas e

na degradação dos córregos, além do afastamento da população desses elementos da paisagem (Porto, 1995).

Com cidades cada vez maiores, mais impermeabilizadas e de conurbação urbana, essa abordagem revela uma ação limitada e dá lugar a técnicas que objetivam um manejo sustentável das águas. Sob influência do desenvolvimento sustentável, conceitos como Infraestrutura Verde (IV) e Soluções baseadas na Natureza (SbN) têm apresentado novas estratégias para a gestão de águas pluviais (Pauleit *et al.*, 2017).

O enfoque tradicional da drenagem, que visava basicamente o rápido escoamento e o controle de inundações, evolui para soluções alternativas de manejo das águas pluviais com objetivos múltiplos, como o aumento da capacidade de infiltração, da evapotranspiração e do armazenamento das águas superficiais; a mitigação dos efeitos da urbanização sobre as águas pluviais; a melhora da qualidade da água; e a redução da carga de poluentes (Fletcher, 2015).

O manejo sustentável das águas pluviais atua no controle qualitativo por meio da adoção de ações de gestão e da implantação de dispositivos dispersos espacialmente na bacia hidrográfica. O conjunto dessas medidas evita que as águas do escoamento superficial sejam direcionadas à macrodrenagem, promovendo, assim, o

aumento do tempo de concentração delas na bacia; promove processos de infiltração; reduz o volume total do hidrograma de cheia; e tenta recuperar a capacidade de reciclagem dos córregos. O emprego de tais medidas reduz a dependência de grandes estruturas hidráulicas, como reservatórios e canalizações de ampliação da capacidade hidráulica dos cursos d'água (Rahman *et al.*, 2023; Porto, 1995).

Além dos benefícios ecológicos associados à gestão de águas urbanas e à mitigação da poluição, a drenagem sustentável atua em aspectos socioculturais e econômicos. A integração de áreas naturais e verdes com novas técnicas de drenagem contribui para o incremento da qualidade urbana, para valores estéticos e culturais e para mais oportunidades recreativas (Kim e Song, 2019). No âmbito econômico, Mendes e Santos (2021) revelam que a adoção de técnicas sustentáveis pode apresentar uma redução de custos em comparação com a adoção das infraestruturas convencionais.

Adicionalmente, deve-se considerar desafios futuros, como as mudanças climáticas, que têm potencial para amplificar ainda mais os impactos quantitativos sobre as águas urbanas. As projeções indicam o aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos associados à precipitação, abrangendo não apenas episódios

de chuvas e tempestades como também longos períodos de seca (IPCC, 2022). Diante desse cenário, o manejo sustentável das águas pluviais pode auxiliar na resiliência das cidades, visando a diminuição de sua vulnerabilidade aos impactos desses eventos (Marengo *et al.*, 2017).

Nesse contexto, este Manual tem como objetivo complementar as orientações presentes na Etapa 1 – Drenagem urbana, do PDDMAP de São José dos Campos, acrescentando conceitos, diretrizes e critérios de dimensionamento de estruturas relacionadas às SbN com foco na drenagem sustentável. Ambos os documentos visam orientar sobre o manejo das águas pluviais do município e devem ser lidos e consultados para a realização de intervenções no sistema de drenagem.

Estado da arte da drenagem urbana sustentável

Considerando as perspectivas atuais que têm moldado o debate sobre cidades verdes e infraestruturas sustentáveis, este Manual se inicia explorando as interações entre saneamento básico e drenagem urbana. Para isso, é necessário observar conceitos fundamentais para a compreensão do manejo de águas pluviais, como ciclo hidrológico, impactos quantitativos da urbanização exacerbada e os efeitos das mudanças climáticas.

Nesse sentido, são abordados temas que vão desde a evolução do debate da drenagem urbana até as novas visões sobre a gestão integrada das águas urbanas. Apresentam-se, ainda, as diversas terminologias relacionadas à drenagem não convencional e definições que estão sendo difundidas internacionalmente.

1.1 SANEAMENTO BÁSICO E DRENAGEM URBANA

Sob o ponto de vista da legislação e do planejamento urbano, a drenagem urbana é parte integrante do saneamento básico. A Lei nº 11.445/2007 e as alterações apresentadas na Lei nº 14.026/2020 estabelecem diretrizes nacionais para o saneamento básico, a fim de garantir o acesso universal aos serviços sanitários e à preservação do meio ambiente. Considera-se saneamento básico um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável;
- b) esgotamento sanitário;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- d) drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Dando ênfase ao estudo da drenagem sustentável, considera-se a definição de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas apontadas na Lei nº 14.026/2020:

Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento

de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2020, artigo 3).

O desempenho dos serviços de saneamento básico está interligado, com cada um de seus componentes impactando diretamente os demais. A gestão inadequada em uma área pode comprometer a eficiência do sistema como um todo (**Figura 2**). De acordo com a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa, 2018), a interface entre esses serviços pode ser resumida como indicado a seguir:

- Serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: resíduos sólidos descartados inadequadamente podem causar obstruções e entupimentos na rede de drenagem. Isso resulta em problemas de ordem quantitativa, como o aumento do volume de escoamento e de alagamentos, bem como problemas qualitativos, como a poluição dos corpos d'água. Além disso, a presença de resíduos sólidos pode contribuir para o assoreamento dos cursos d'água e promover a proliferação de doenças hidrovírias.
- Esgotamento sanitário: o lançamento inadequado de efluentes no sistema

de drenagem acarreta a poluição e a degradação dos corpos d'água. Já a sobrecarga da drenagem nos sistemas de esgoto e de tratamento pode levar a falhas no gerenciamento dos efluentes.

- Abastecimento de água: a drenagem e o manejo de águas pluviais desempenham um papel importante na quantidade e na qualidade da água disponível. Áreas impermeabilizadas e um sistema de drenagem que não permite infiltração podem reduzir a vazão dos corpos d'água e diminuir as cargas de aquíferos. Além disso, a poluição presente no escoamento superficial pode contaminar o lençol freático, o solo e os mananciais.

Assim, a Lei nº 14.026/2020 ressalta a integralidade dos quatro serviços para atender as necessidades da população, aumentar a eficácia das ações e os resultados e garantir a saúde pública, a conservação dos recursos naturais e a proteção do meio ambiente.



FIGURA 2 Serviços, infraestruturas e instalações operacionais do saneamento básico (FCTH, 2024)

Aponta-se ainda na Lei nº 14.026/2020 a importância da integração das infraestruturas e dos serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos, destacando-se a necessidade de garantir a disponibilidade de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais nas áreas urbanas, o que inclui tratamento, limpeza e fiscalização preventiva das redes. Tais serviços devem ser adequados para assegurar a saúde pública, proteger o meio ambiente e garantir a segurança do patrimônio público e privado.

Nesse contexto, o presente Manual explora como os princípios da drenagem sustentável podem garantir uma gestão integrada que aborda aspectos quantitativos e qualitativos das águas urbanas. Em alinhamento com as metas do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do Município de São José dos Campos, o documento propõe critérios e diretrizes para a implementação de microdrenagem e macrodrenagem sustentáveis.

1.2 A URBANIZAÇÃO E AS ÁGUAS

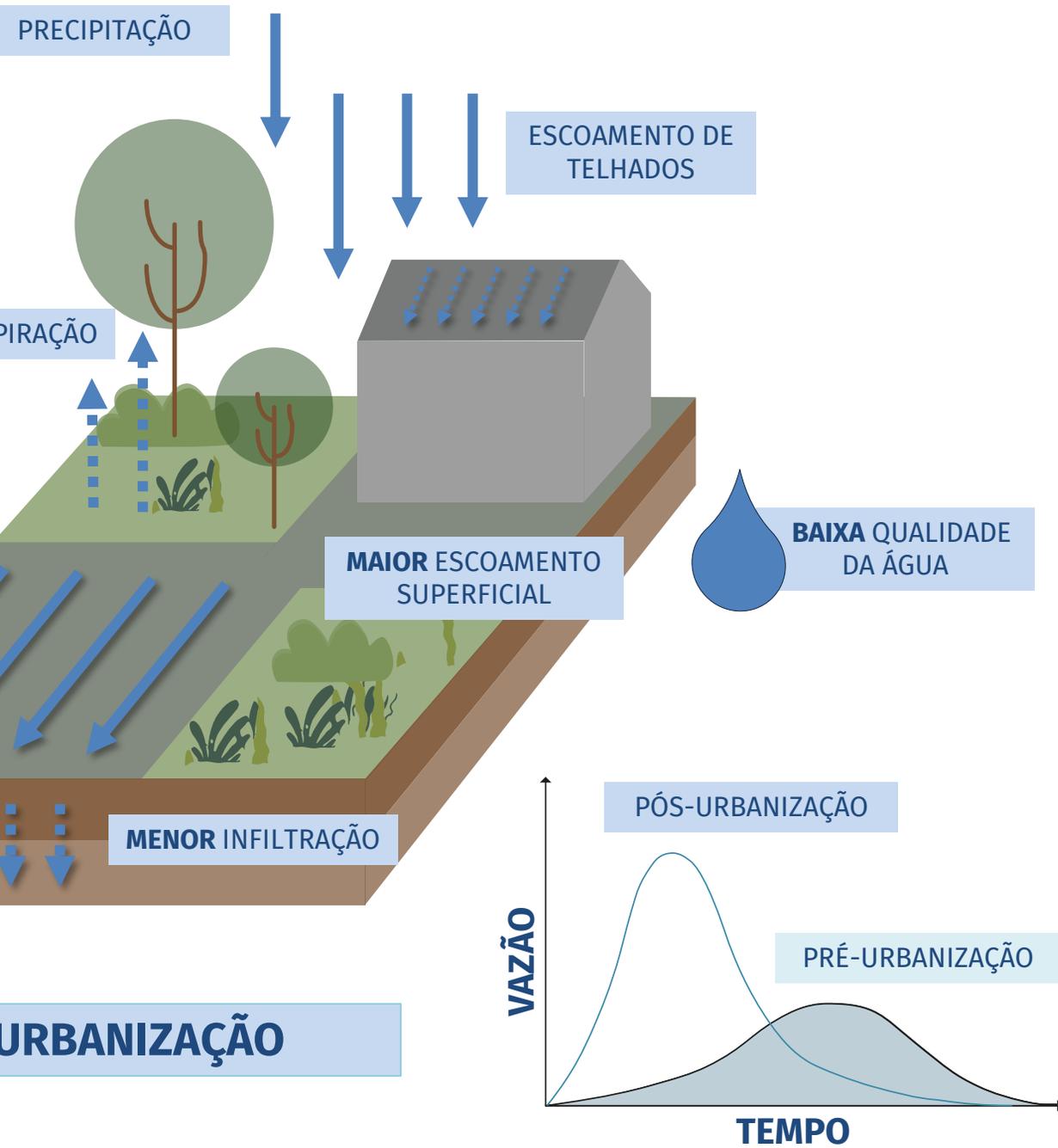
As intervenções antrópicas na paisagem natural durante o processo de urbanização geram grandes impactos sobre o sistema hídrico. Como características desse processo de urbanização não planejado, destacam-se: o crescimento da densidade populacional,

o aumento da impermeabilização do solo, a ocupação de áreas de inundação e de mananciais, a canalização e a cobertura de corpos hídricos e a redução da cobertura vegetal. Esse padrão de desenvolvimento urbano modifica drasticamente o ambiente natural e, conseqüentemente, o balanço hídrico, conforme ilustrado na **Figura 3**.

Na dinâmica do ciclo hidrológico em áreas urbanizadas e impermeabilizadas, ganha protagonismo a desregulação do processo natural de captação, infiltração, evapotranspiração e tratamento das águas. A ocupação das áreas de várzea e dos leitos de rios, além do processo de cortes e aterros, pode colaborar para o aumento de áreas de risco.



FIGURA 3 Diferenças do balanço hídrico pré e pós-urbanização (FCTH, 2024)



A urbanização modifica os seguintes aspectos hidrológicos:

- **Escoamento superficial e vazão de pico:** volume de águas pluviais excedentes que não infiltram no solo e escoam na superfície, acumulando-se naturalmente em depressões e áreas alagáveis. Com a impermeabilização do solo e a baixa infiltração, esse volume aumenta e escoam com mais velocidade. As vazões atingem seu pico (vazão máxima) em um curto período em relação ao início da chuva. Essa situação força o sistema de drenagem a funcionar próximo ao limite de sua capacidade hidráulica. Altas velocidades potencializam o transporte de sedimentos e a capacidade de arraste de sólidos grosseiros, aumentando a probabilidade de falhas do sistema, que resultam em alagamentos em pontos da microdrenagem, inundações na macrodrenagem, entre outros problemas (Yazaki, Montenegro e Costa 2018);
- **Infiltração:** há uma redução da capacidade de infiltração do solo e, consequentemente, diminui-se a alimentação de águas subterrâneas em aquíferos e lençóis freáticos. Isso se reflete também na redução da alimentação de

corpos d'água, reduzindo a vazão em tempo (*Ibid.*);

- **Evapotranspiração:** é o processo natural de transferência de água para a atmosfera, resultante da soma entre a evaporação das águas de superfícies naturais e da transpiração da vegetação. Com a redução de áreas naturais e de cobertura vegetal, há um desequilíbrio nesse fenômeno e, como resultado, uma diminuição da umidade do ar e o aumento da temperatura (*Ibid.*);
- **Cargas poluidoras:** podem ser pontuais ou difusas (de lavagem), sendo estas últimas dependentes do ciclo hidrológico. Com a lavagem de superfícies impermeabilizadas, como vias, pisos e telhados, são carreadas massas de poluentes para o sistema de drenagem e os corpos hídricos, prejudicando o controle de inundações e a qualidade da água (Porto, 1995).

Nesse âmbito, Tucci, Barros e Porto (1995) apontam que a urbanização pode interferir sobre a quantidade das águas e sedimentos e sobre a qualidade das águas, o que deixa as cidades mais vulneráveis a riscos como inundações, assoreamentos, processos erosivos, deslizamentos e poluição das águas de abastecimento.

1.2.1 QUANTIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Com relação à quantidade da água, destacam-se as inundações no período chuvoso e a baixa vazão dos corpos hídricos no período seco (Zhang e Schaap, 2019; Kim *et al.*, 2017). Ambos são os problemas de ordem ambiental que afetam aspectos econômicos e sociais.

Classificadas como um dos principais riscos globais pelo Fórum Econômico Mundial (World Economic Forum, 2022), as inundações têm um impacto profundo na dinâmica urbana, já que provocam danos nas habitações, nos sistemas viários e em outras infraestruturas urbanas, gerando problemas de gestão pública (Silva, Alencar e Almeida, 2020). Também acarretam problemas para a saúde pública, pois propiciam o surgimento e a disseminação de doenças de veiculação hídrica, principalmente nas estações chuvosas (Canholi, 2005).

As inundações podem ocorrer pelo excesso de águas pluviais que não foram drenadas e se acomodam em cotas mais baixas e em várzeas próximas a margens de rios. Além disso, como já mencionado, com a redução da capacidade de infiltração e de evapotranspiração, o volume de escoamento superficial e a vazão de pico aumentam. Essas condições geradas pela

urbanização produzem inundações mais frequentes nos pontos a jusante da bacia hidrográfica (Tucci, 2012).

De acordo com Silva e outros autores (2024), as inundações são categorizadas em dois tipos principais:

- **Inundações ribeirinhas:** são resultantes do alto volume de precipitação que não consegue ser drenado, acumulando-se nas várzeas e margens dos rios. É, portanto, um processo natural que ocorre devido ao clima local e tende a se manifestar mais comumente em bacias de médio e grande porte. Em geral, devido à inexistência de regulamentação de áreas inundáveis, esse tipo de inundação afeta a população que ocupa áreas de risco.
- **Inundações devido à urbanização ou à drenagem urbana:** decorrem do aumento da velocidade e do volume de escoamento das águas pluviais, provocado pelo sistema de drenagem convencional e pela impermeabilização do solo, que direcionam grandes quantidades de água para pontos a jusante. Não é um processo natural, mas um resultado das intervenções na paisagem e do processo de urbanização, sendo essas inundações mais presentes em bacias urbanas de pequeno porte.

1.2.2 QUANTIDADE DOS SEDIMENTOS

Acerca da quantidade de sedimentos, aponta-se que a urbanização sem planejamento em geral potencializa o processo de erosão superficial e o assoreamento dos corpos d'água (Tucci, Barros e Porto, 1995). O aumento da quantidade de sedimentos acarreta a redução da capacidade hidráulica de corpos hídricos e da drenagem urbana. Isso afeta o volume dos reservatórios e aumenta a poluição das águas (Yazaki, Montenegro e Costa, 2018).

Sabe-se que a erosão de natureza hídrica do solo está relacionada primeiramente aos impactos da chuva sobre o solo exposto e, em um segundo momento, ao escoamento de águas pluviais que carregam esse mesmo solo (Tucci, Barros e Porto, 1995). O aumento da velocidade das águas fluviais, combinado com margens sem vegetação ciliar, contribui para o processo erosivo do leito de rios e córregos (Yazaki, Montenegro e Costa 2018).

O aumento do assoreamento, por sua vez, é proveniente da contribuição de sedimentos do processo erosivo somados aos sedimentos residuais da construção civil. Ademais, considera-se ainda o descarte indevido ou não coletado de resíduos sólidos sobre a bacia. Essa prática contribui ainda mais para a degradação e o assoreamento hídricos, uma vez que o material residual é

carreado pelas águas pluviais e se deposita ao longo dos corpos hídricos (*Ibid.*)

1.2.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS

O impacto da urbanização sobre a qualidade das águas está atrelado à poluição e à contaminação de corpos d'água. A carga poluidora conduzida até os corpos hídricos pode ser classificada em dois tipos: poluição pontual e poluição difusa (Silva, 2017; Porto, 1995). Cargas poluidoras pontuais apresentam vazão e concentração no tempo e espaço, e cargas poluidoras difusas variam sua vazão e concentração no tempo e espaço em função de diversos fatores (**Figura 4**).



FIGURA 4 Tipos de poluição (FCTH, 2024)

A poluição pontual é caracterizada por sua carga, que pode ser identificada e rastreada. Como exemplo, temos o esgoto doméstico e os efluentes industriais lançados diretamente em canais, córregos e rios. Podem também corresponder a remanescentes de tratamento que são depositados em corpos d'água (*Ibid.*). Essas cargas pontuais apresentam grande quantidade de matéria orgânica e, se não interrompidas ou tratadas, podem gerar a degradação ambiental das águas (Andrade, 2010).

Os impactos das fontes pontuais de poluição podem ser observados mais facilmente no período seco, pois elas se tornam

as principais cargas afluentes. No período úmido, além das fontes pontuais, tem-se uma maior carga difusa presente nos corpos d'água, decorrente da lavagem de superfícies (Magalhães, 2022).

A poluição difusa é intermitente, não tem origem identificada e está distribuída pela bacia. Podem ser cargas poluidoras depositadas na superfície da bacia, no período sem chuva, e que são lavadas e carreadas pelas águas pluviais, sendo direcionadas para a rede de drenagem junto com a poluição atmosférica (Porto 1995; Novotny e Olem, 1994).

Também existe contribuição difusa não relacionada a eventos de chuva, mas a atividades antrópicas de difícil caracterização espaçotemporal, como lançamentos irregulares de esgoto doméstico, lavagem de sítios de construção civil, entre outras. Tais cargas aportam ao sistema de drenagem compondo a vazão de base dos rios e córregos.

Falhas no sistema de saneamento também geram cargas de difícil identificação e quantificação em período sem chuvas, porém com características diferentes das demais poluições difusas citadas. Esse tipo de carga tem um impacto significativo na qualidade

da vazão de base dos corpos d'água, demandando uma abordagem específica para sua mitigação.

A poluição difusa tem diversas fontes que variam de acordo com o uso e a ocupação do solo. Pode-se exemplificar, nas áreas urbanas, a presença de deposição atmosférica, poluentes emitidos por veículos, sedimentos da construção civil, entre outros (*Ibid.*). A **Tabela 1** apresenta os poluentes ligados a cargas difusas (de lavagem ou não), suas principais origens e seus impactos sobre os corpos hídricos.

TABELA 1 Origem e principais impactos de poluentes sobre corpos hídricos (FCTH, 2024)

Poluente	Origem	Impacto
Carga orgânica biodegradável	Efluentes domésticos; vegetação morta	Reduz o oxigênio dissolvido
Nitrogênio e fósforo	Sistemas sépticos inadequados; efluentes domésticos; desmatamento; fertilizantes	Reduz o oxigênio dissolvido; eutrofização
Sedimentos	Obras de construção civil; áreas de terreno exposto; processos erosivos; abrasão pelo tráfego veicular	Aumento da turbidez; associa-se a outros poluentes
Organismos patogênicos	Sistemas sépticos inadequados; efluentes domésticos	Riscos à saúde humana pelo consumo e uso recreativo
Metais pesados	Processos industriais; mineração; queima de combustíveis; tráfego veicular	Toxicidade da água e do sedimento; bioacumulação que afeta a cadeia alimentar
Óleos e graxas	Tráfego veicular; processos industriais; efluentes domésticos	Reduz o oxigênio dissolvido; associa-se a outros poluentes
Carga orgânica não biodegradável	Controle de pragas na agricultura; processos industriais; lavagem de solos contaminados	Toxicidade da água e do sedimento; bioacumulação que afeta a cadeia alimentar

No âmbito das cargas carregadas pela lavagem das superfícies, também pode-se observar sua relação com o saneamento básico, uma vez que as atividades de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos são formas de controlar a destinação da carga gerada no ambiente urbano, para que ela não alcance os rios e lagos urbanos.

Um exemplo dessa relação foi retratado por Hong e outros autores (2021), que tratou dos impactos das águas de lavagem drenadas em eventos chuvosos na qualidade da água dos corpos d'água urbanos, especialmente em relação à contaminação por *Escherichia coli* (E. coli) em águas de uso recreacional. Nesse exemplo, pode-se observar a relação da ineficiência da coleta e do tratamento de esgoto domésticos, o que ocasiona a presença desses microrganismos no sistema de drenagem. Durante os eventos de precipitação, eles alcançam lagos recreacionais, causando danos à saúde pública.

1.3 EVOLUÇÃO DA DRENAGEM E DIFERENTES TERMOS DO MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS

Como observado, a urbanização exerce impacto sobre a gestão das águas pluviais, demandando a introdução de técnicas para seu controle. Em resposta a essa necessidade, os sistemas de drenagem e saneamento têm acompanhado a evolução das sociedades urbanas ao longo da história (Christofidis, Assumpção e Kligerman, 2020).

De acordo com Tucci (2012), pode-se dividir em quatro fases o desenvolvimento da gestão de águas urbanas e da drenagem no panorama internacional, conforme ilustrado na **Figura 5**.



FIGURA 5 Fases do desenvolvimento da gestão de águas urbanas (Tucci, 2012)

Até o início do século XX, havia a primeira fase, denominada pré-higienista, durante a qual não havia tratamento de efluentes, sendo estes lançados nos corpos d'água. Na segunda fase, a higienista, iniciam-se as canalizações para o transporte de efluentes e águas pluviais para mais longe das áreas urbanas. A terceira fase, corretiva, entre 1970 e 1990, visava o tratamento dos esgotos e o amortecimento das águas pluviais. Após 1990, a quarta fase, a do desenvolvimento sustentável, estabelece foco na conservação ambiental por meio do tratamento das águas

do escoamento superficial, da infiltração e da integração com áreas verdes.

Durante essa última fase, surgiram diversas abordagens inovadoras para a drenagem, conhecidas como técnicas de drenagem não convencional. Entre essas abordagens, estão práticas e conceitos como *Best Management Practices* (BMP), *Low Impact Development* (LID), *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) e cidades-esponja (Fletcher, 2015).

Best Management Practices (BMP)	Conjunto de práticas ou abordagens destinadas a prevenir a poluição, especialmente no âmbito do manejo de águas pluviais.
Low Impact Development (LID)	Manejo de águas pluviais que busca mimetizar os processos naturais do ciclo hidrológico pré-urbanização.
Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)	Almeja restaurar os sistemas naturais de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas, priorizando a sustentabilidade.
Water Sensitive Urban Design (WSUD)	Série de métodos de elaboração de projetos urbanos que busca minimizar os impactos hidrológicos da urbanização.
Cidades-esponja	Cidades planejadas com auxílio do LID e de IV para se tornarem resilientes dentro do contexto de eventos climáticos extremos. Dessa forma, por meio da retenção, atenuação e adaptação de determinada precipitação, as cidades têm maior eficiência e capacidade.
Infraestrutura Verde (IV)	Rede interconectada de áreas naturais e espaços abertos que procura a conservação de ecossistemas, a fim de promover melhor qualidade de água e ar no ambiente.
Soluções baseadas na Natureza (SbN)	Conjunto de soluções urbanas que proporcionam conservação da natureza por meio de ações de restauração e gerenciamento de ecossistemas, abordando desafios sociais e promovendo bem-estar humano e biodiversidade.

FIGURA 6 Diferentes terminologias da drenagem e do manejo sustentáveis das águas pluviais (Fletcher, 2015; Matsler *et al.*, 2021; Christofidis, Assumpção e Kligerman, 2020)

De forma geral, todas essas abordagens compartilham o princípio comum de integrar infraestruturas verdes em áreas urbanas (Rahman *et al.*, 2023). São conceitos que adotam medidas de controle na fonte com práticas e técnicas de drenagem o mais próximas possível da fonte de escoamento. Assim, de modo descentralizado ao longo da bacia hidrográfica, busca-se aumentar a capacidade de infiltração, evapotranspiração e armazenamento das águas superficiais, reduzindo os impactos da vazão máxima e da poluição difusa (Fletcher, 2015).

Vale ressaltar que as tecnologias de drenagem sustentável não se limitam apenas ao tratamento quantitativo e qualitativo das águas urbanas. Há também a abordagem de outros benefícios e necessidades, como a promoção de áreas de lazer, a melhoria da qualidade dos solos e do ar, a conservação de ecossistemas, o controle climático, entre outros (Mendes e Santos, 2022). Da **Figura 7** à **Figura 10**, é possível observar exemplos de integração em diferentes escalas das técnicas de drenagem sustentáveis à paisagem urbana.

FIGURA 7 Recuperação do canal Catharijnesingel em Utreque, nos Países Baixos





FIGURA 8 Revitalização do Rio Cheonggyecheon, em Seul, na Coreia do Sul





FIGURA 9 Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis, em Niterói, no Rio de Janeiro





FIGURA 10 Jardim de chuva no *campus* da Universidade de São Paulo (USP), em São Paulo





É nesse aspecto que Christofidis, Assumpção e Kligerman (2020) consideram, a partir de 2018, a formação de uma nova fase na evolução da drenagem, focada explicitamente nas soluções sustentáveis. Constrói-se, assim, uma nova relação entre as cidades e as águas advinda da visão de gestão das águas das SbN, que englobam abordagens baseadas em ecossistemas e podem ser definidas como ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados. As SbN abordam desafios sociais de modo eficaz e adaptativo e, simultaneamente, proporcionam bem-estar humano e benefícios para a biodiversidade (Cohen-Shacham *et al.*, 2016).

Em suma, a drenagem sustentável representa a abordagem mais atual na gestão das águas pluviais, refletindo a necessidade de conciliar os efeitos da urbanização e das mudanças climáticas com a preservação ambiental. Embora esses conceitos já estejam amplamente difundidos internacionalmente, ainda estão em processo de introdução no Brasil. Mendes e Santos (2022) apontam a necessidade de mudança de paradigmas no contexto da gestão de águas pluviais no Brasil, buscando a introdução de sistemas de drenagem alternativos que garantam maior resiliência e sensibilidade às águas.

2

Drenagem e manejo de águas pluviais no município de São José dos Campos

Este capítulo explora o contexto geral da hidrografia de São José dos Campos, proporcionando uma visão detalhada dos principais corpos d'água e sub-bacias que moldam o ambiente urbano do município. São abordados também os objetivos e resultados do PDDMAP de São José dos Campos, divididos em Etapa 1 e Etapa 2. Além disso, busca-se apresentar um panorama geral das normas e estratégias previstas no município quanto à drenagem e ao manejo de águas pluviais.

2.1 HIDROGRAFIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Localizado no interior do Estado de São Paulo, o Município de São José dos Campos faz parte da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, que é o principal curso d'água da cidade, segue na direção nordeste e divide o território em duas partes.

A margem esquerda do Rio Paraíba do Sul concentra a maior parte da área rural do município e recebe os rios e córregos da Serra da Mantiqueira, que têm maior volume de água. A margem direita, por sua vez, tem menor volume de água e recebe rios e córregos da Serra do Mar. É ocupada principalmente pela área urbana, que abrange a maior parte do sistema de drenagem do município (Ruziska; Suguio, 2008).

Destacam-se ainda na hidrografia de São José dos Campos os rios Jaguari, Buquira e do Peixe, todos afluentes da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul. Os rios Buquira e do Peixe desempenham um papel significativo como afluentes do Rio Jaguari, ocupando uma extensa porção da região norte do município. No Rio Jaguari encontra-se a barragem Jaguari, construída pela Companhia Energética de São Paulo (Cesp). O reservatório Jaguari apresenta uma área de 96 km² e capacidade de 1.350 bilhões de m³ (*Ibid.*).

O município conta com mais de 300 mananciais e uma rede hidrográfica de aproximadamente 3.050 km. São 25 sub-bacias hidrográficas, das quais 13 estão inseridas ou parcialmente inseridas na mancha urbana (**Figura 11**). A maior parte dessas sub-bacias são áreas prioritárias para intervenções de drenagem e, devido à condição dos rios urbanos, estes também enfrentam desafios associados a inundações e à poluição.

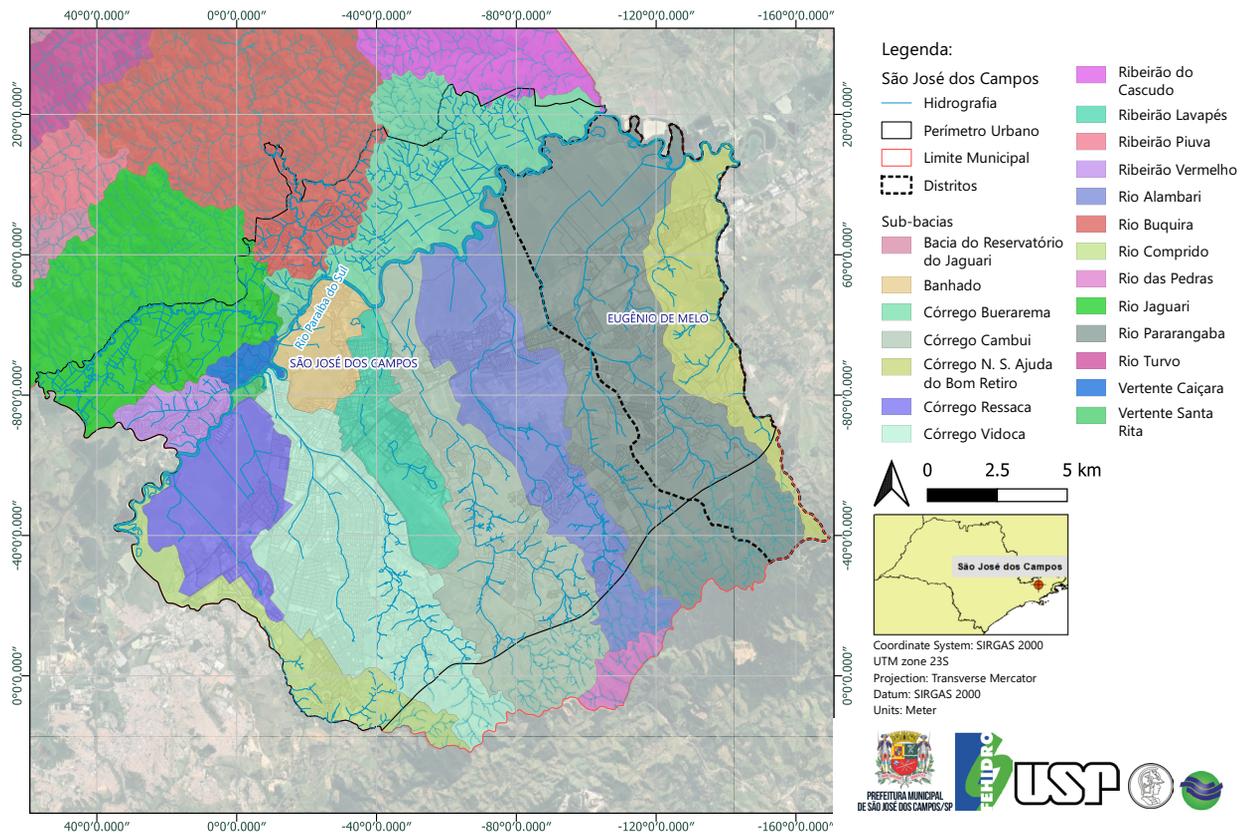


FIGURA 11 Mapa da hidrografia do Município de São José dos Campos (adaptado de Geosanja)

Cabe ressaltar a relevância dos afluentes situados na margem direita do Rio Paraíba do Sul, cujas nascentes originam-se em sua maioria nas divisas de São José dos Campos com os municípios de Jambuí e Jacareí. Destacam-se entre esses afluentes

os córregos Vidoca, Senhorinha, Lavapés e Cambuí, e os rios Comprido e Pararangaba. Essa rede fluvial é importante tanto para o meio ambiente quanto para a economia da cidade, apoiando os setores industrial e agropecuário.

2.2 O PLANO DIRETOR DE DRENAGEM DE MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS

As ações realizadas pela Prefeitura de São José dos Campos objetivando a melhoria no manejo de águas pluviais no município iniciaram-se em 2014, com a elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem Urbana, e seguiu evoluindo com planos setoriais. Em 2018, foi publicado o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI), instituído por meio da Lei nº 612, de 30 de novembro de 2018. Esse documento integrou e consolidou diversos elementos dessas políticas, estabelecendo objetivos e diretrizes para o desenvolvimento urbano sustentável do município na década.

O PDDMAP vem como produto das diretrizes e objetivos do PDDI e é composto de duas etapas: Etapa 1 – Drenagem urbana e Etapa 2 – Manejo sustentável.

A Etapa 1 teve como objetivo criar mecanismos de gestão de infraestrutura urbana, tendo como base a tendência de ocupação e a distribuição pluviométrica em termos temporais e espaciais dentro dos limites do município. Dessa forma, essa etapa consolidou os principais mecanismos e instrumentos de planejamento e gestão dos sistemas de drenagem urbana locais.

Esse instrumento de planejamento busca orientar a ocupação do solo, contemplando o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações; o estabelecimento de medidas de intervenções necessárias para prevenção e mitigação dos impactos identificados; e o planejamento das ações mitigadoras de inundações a curto, médio e longo prazos.

Os estudos hidráulico-hidrológicos desenvolvidos na Etapa 1 estabeleceram um novo regramento de ordenamento territorial, com a determinação das áreas suscetíveis a inundação, fornecendo um planejamento de obras de intervenção de macrodrenagem, em especial reservatórios de amortecimento de cheias, canalizações e travessias (**Figura 12**).

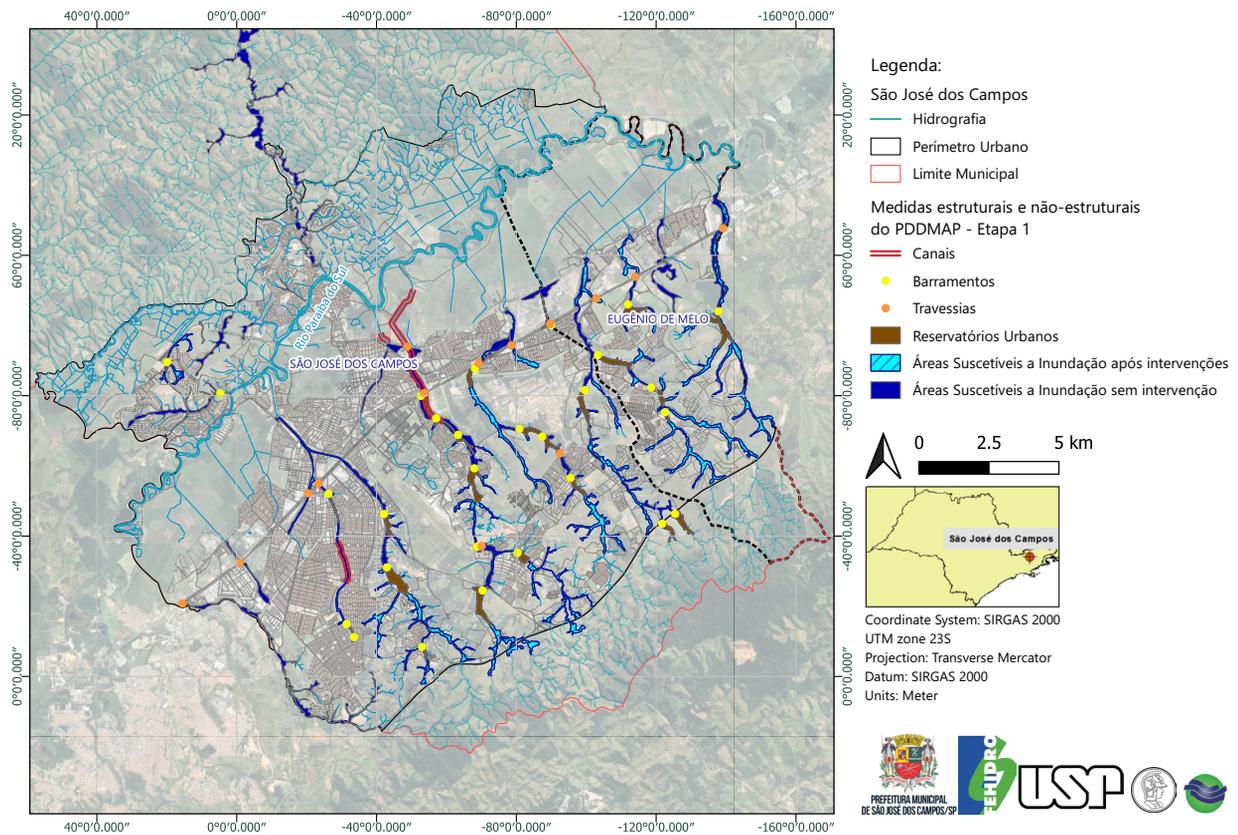


FIGURA 12 Medidas estruturais e não estruturais elaboradas no PDDMAP – Etapa 1 (adaptado de PMSJC, 2021)

Em adição, a Etapa 2 visa ampliar o conhecimento local sobre a aplicação de técnicas compensatórias voltadas para o controle da qualidade do escoamento superficial ao longo da bacia hidrográfica. O foco dessa etapa foi o planejamento e monitoramento de tecnologias de drenagem sustentável inovadoras, que proporcionem o controle de quantidade e qualidade das águas pluviais, através da infiltração da água no solo e da redução da poluição difusa.

Para tanto, foram conduzidos estudos de monitoramento da qualidade da água, de modelagem hidrológica e de cargas, em conjunto com análises urbanas de microbacias, a fim de identificar medidas de controle na fonte adequadas ao contexto de São José dos Campos. Desse modo, a metodologia desenvolvida na Etapa 2 inclui a avaliação da área disponível, carga de lavagem e área demandada. Os dados obtidos são utilizados

para orientar o planejamento e as intervenções nas bacias hidrográficas urbanas.

A Etapa 2 também apresenta um método estruturado para a elaboração de anteprojetos de drenagem sustentável e infraestrutura verde, que objetiva auxiliar o desenvolvimento urbano sustentável do município e subsidiar políticas públicas nesse âmbito.

Esse método é subdividido em três etapas distintas: a caracterização urbana e a síntese de áreas críticas; a identificação de critérios básicos para implantação de medidas estruturais; e o desenvolvimento de diretrizes de anteprojeto (Figura 13).

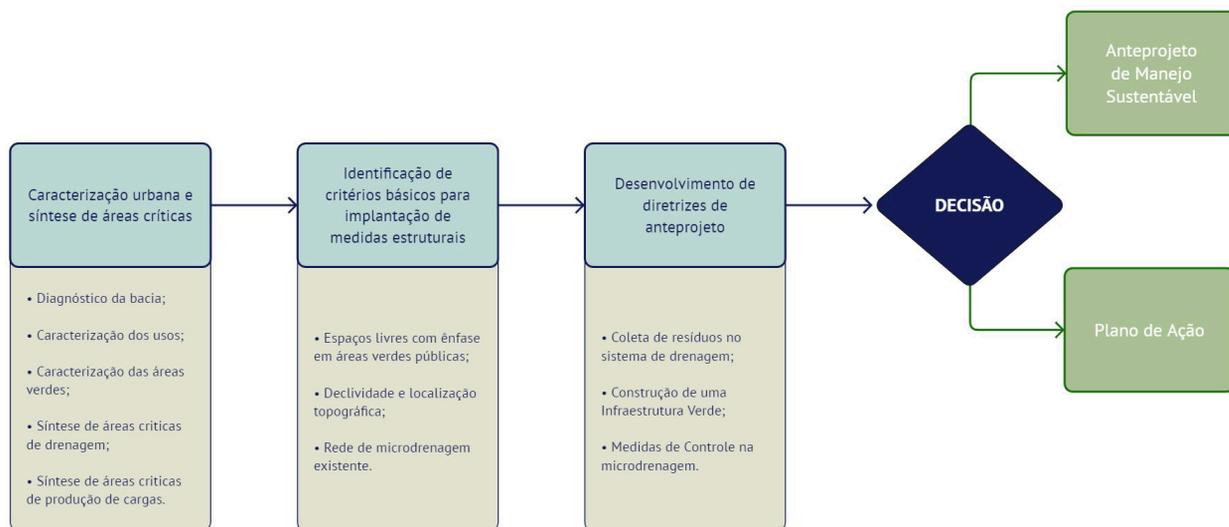


FIGURA 13 Método para elaboração de anteprojetos de drenagem sustentável e infraestrutura verde (FCTH, 2024)

O direcionamento desse anteprojeto é aplicável em todo o perímetro urbano do Município de São José dos Campos, permitindo a integração de tecnologias de drenagem sustentável ao sistema convencional existente. As diretrizes estabelecidas indicam quais medidas estruturais e não estruturais devem ser priorizadas, sendo esse um pré-requisito para a construção de um plano de ação para o manejo das águas pluviais. A metodologia detalhada pode ser consultada no Produto 4, e o Plano de Ação está disponível no Produto 3 dos Estudos Especializados para Desenvolvimento de Tecnologias Aplicadas à Drenagem Sustentável para o Município de São José dos Campos.

Este Manual, por sua vez, complementa o exposto na Etapa 1 – Drenagem urbana do PDDMAP do município, principalmente em relação a orientações técnicas para projetos selecionados de um conjunto de medidas de controle na fonte, com foco na qualidade das águas pluviais.

2.3 REGULAÇÃO E NORMAS APLICÁVEIS AO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Em 2015, a Organização das Nações Unidas elaborou a Agenda 2030, com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O Objetivo 11 trata de cidades e comunidades sustentáveis e, para alcançá-lo, é fundamental adotar políticas e planos para um uso eficiente dos recursos naturais (ONU, 2024).

O levantamento de documentos relacionados teve início com uma análise da legislação federal, estadual e municipal de São José dos Campos vinculada direta ou indiretamente à drenagem e ao manejo de águas pluviais.

No âmbito federal, destaca-se a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que aprimora as condições estruturais do saneamento básico, conforme descrito no item 2.1. Já na esfera estadual, o Estado de São Paulo estabelece normas para a contenção de enchentes e a destinação de águas pluviais na Lei nº 12.526, de 2 de janeiro de 2007. No item 2.1 da Etapa 1 do PDDMAP apresentam-se algumas leis municipais que disciplinam questões que abordam a drenagem e o manejo de águas pluviais. A **Tabela 2**, a seguir, complementa os documentos já mencionados nessa etapa 1.

TABELA 2 Principais legislações de São José dos Campos que contribuíram para o desenvolvimento do PDDMAP

Ano	Documento	Conteúdo
2008	<i>Contrato de Programa nº 157/2008</i>	Trata da análise dos serviços de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário prestados pela Sabesp de 2008 a 2038.
2012	<i>Plano Municipal de Saneamento Básico</i>	O objetivo principal é assegurar com qualidade o abastecimento de água potável; a coleta e o tratamento de esgoto; e a coleta e a destinação adequadas de resíduos sólidos em todo o município de São José dos Campos (PMSJC, 2012).
2015	<i>Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos</i>	Consolida as diretrizes para a gestão e o manejo correto dos resíduos sólidos do município, em consonância com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, instituído em 2010. Abrange o planejamento e a limpeza da região urbana, bem como a varrição, a coleta, o transporte, o transbordo e o tratamento dos diferentes tipos de resíduos sólidos, tais como orgânicos, recicláveis, de poda e capina, especiais, hospitalares e de construção civil. Além disso, busca o reaproveitamento ou a destinação final ambientalmente correta desses resíduos, em prol de uma gestão mais sustentável (PMSJC, 2015).
2016	<i>Sistematização de Informações sobre a Arborização Urbana</i>	Ferramenta de planejamento urbano que visa trazer diretrizes para implantar, monitorar, conservar e expandir a arborização no município (PMSJC, 2016). Seus objetivos são: quantificar as coberturas arbóreas da cidade; diagnosticar quantidade e qualidade das árvores já plantadas; mapear áreas que necessitam de maior arborização, estabelecendo metas de plantio; e realizar o manejo e a manutenção geral das árvores já existentes e das que serão plantadas. Sua atuação se dá por meio do plantio de mudas em Áreas de Preservação Permanentes (APP) e do trabalho de educação ambiental nas escolas situadas no entorno de nascentes.
2016	<i>Lei complementar nº 576/2016 – Política Municipal de Mobilidade Urbana</i>	Seus objetivos centrais são: favorecer a integração entre os transportes público e privado; estimular o uso de transporte coletivo e não motorizado; e proporcionar condições de mobilidade para toda a população, especialmente para a residente em áreas desprovidas de infraestrutura (PMSJC, 2016). A busca pelo desenvolvimento sustentável socioeconômico e ambiental também é um aspecto importante dessa política municipal.
2017	<i>Plano Municipal de Redução de Risco</i>	Seu objetivo consiste em avaliar as áreas consideradas de risco, que incluem regiões com perigo de escorregamento ou suscetíveis à inundação (PMSJC, 2017). O plano é dividido em diagnóstico, proposição de medidas, estimativa de custos e critérios de priorização e compatibilização com outros programas do governo.
2018	<i>Lei complementar nº 612/2018 – Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de São José dos Campos (PDDI)</i>	Estabelece os objetivos da política de desenvolvimento urbano, rural, social, ambiental e econômico. Esse plano é a base para os agentes públicos e privados desenvolverem a cidade com equilíbrio social e territorial. Determina que o município deve promover políticas que desenvolvam a cidade de forma ambientalmente equilibrada, economicamente viável e socialmente justa (PMSJC, 2018). Estabelece diretrizes de desenvolvimento da cidade pensando na função social da propriedade no município.

Ano	Documento	Conteúdo
2019	<i>Lei complementar nº 623/2019 – Lei de Zoneamento e de Uso e Ocupação do Solo</i>	Tem como objetivo ordenar o crescimento urbano e rural do município (PMSJC, 2019). Estabelece diretrizes e normas para o uso do solo, determinando as áreas destinadas para habitação, comércio, indústria, entre outras atividades. Além disso, a Lei de Zoneamento estabelece parâmetros para a construção de novos imóveis, como altura máxima, recuo obrigatório e coeficiente de aproveitamento.
2019	<i>Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica e do Cerrado de São José dos Campos (PMMAeC)</i>	Seu objetivo principal é conservar e proteger os fragmentos e remanescentes de vegetação nativa dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, bem como recuperar áreas degradadas no município (PMSJC, 2019). Também apresenta um diagnóstico das áreas de vegetação remanescentes, além de planos e programas já existentes na região. Traz diretrizes alinhadas às normas ambientais vigentes, como a Lei nº 11.428/2006 (Lei da Mata Atlântica), o Decreto nº 6.660/2008 e a Lei nº 13.550/2009 (Lei de Proteção do Cerrado).
2020	<i>Revitalização de Nascentes</i>	A Lei nº 10.108/2020 autoriza o Município de São José dos Campos a instituir o programa de revitalização de nascentes, com o objetivo de proteger e conservar as que estão localizadas em áreas públicas urbanas, em parceria com a comunidade local, instituições e empresas.
2020	<i>Lei complementar nº 633/2020</i>	Dispõe sobre construção, ampliação, regularização, instalação e transformação de atividade de empreendimentos classificados ou não como Polo Gerador de Tráfego (PGT). Foi regulamentada pelo Decreto nº 19.665/2024, que disciplina as vagas de estacionamento, os acessos, as vias de circulação interna, a área de manobra e a acumulação de veículos.
2021	<i>Decreto nº 18.966/2021 – Etapa 1 do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (PDDMAP)</i>	Teve como objetivo criar um mecanismo de gestão de infraestrutura urbana a partir da tendência temporal e espacial de ocupação e distribuição pluviométricas.
2022	<i>Lei complementar nº 651/2022 – Código de Edificação</i>	Disciplina a construção, a ampliação, a regularização, a transformação, a reclassificação de atividade, a reconstrução, a reforma, o <i>retrofit</i> , a demolição e a instalação de equipamentos dentro dos limites do imóvel, orientando e determinando os processos de sua aprovação e fiscalização. O Anexo 1 do Decreto nº 19.032/2022 regulamenta essa lei complementar quanto à adoção de estratégias sustentáveis no licenciamento da atividade edilícia. Esse documento estabelece 87 estratégias sustentáveis divididas em seis categorias: qualidade do ambiente edificado e urbano, envoltória, materiais e métodos construtivos, eficiência energética, gestão da água e certificações.

Destacam-se, assim, três documentos que estão relacionadas à drenagem urbana e devem ser considerados para o manejo sustentável de águas pluviais:

- Lei Complementar nº 623: estabelece normas de parcelamento, uso e ocupação do solo (LPUOS).
- Decreto nº 18.326/2019: regulamenta o Título 2 da Lei Complementar nº 623.
- Decreto nº 18.966/2021: Etapa 1 do PDDMAP.

De acordo com esses documentos e os objetivos da Etapa 2 do PDDMAP, este Manual apresenta as principais normas para a drenagem sustentável adotadas no Município de São José dos Campos e dá novas diretrizes em relação ao controle qualitativo das águas pluviais, por meio da utilização de tecnologias de drenagem sustentável.

2.3.1 REGULAÇÃO DE QUANTIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Em vista do cumprimento das estratégias do PDDI, a Lei Complementar nº 632/2019 define 16 objetivos em suas disposições gerais, dos quais enfatiza-se no artigo 11, inciso 3: “Promover a qualificação ambiental, em especial a melhoria da retenção e

infiltração da água, a melhoria do microclima e a ampliação da vegetação” (São José dos Campos, 2019).

Já o artigo 254 do capítulo 2 da Lei Complementar nº 632/2019, que trata da macrodrenagem e da drenagem urbana, expõe:

O órgão municipal competente estabelecerá as diretrizes de macrodrenagem e drenagem urbana, visando estabelecer o melhor encaminhamento das águas pluviais, as medidas para compensar a redução da capacidade de infiltração das águas de chuvas no solo e o aumento do escoamento pluvial em decorrência de obras de terraplenagem, edificações e urbanização (*Ibid.*).

Fica expresso também em parágrafo único do art. 254 que as medidas compensatórias apontadas se referem “a obras de retenção, detenção e retardo do escoamento das águas pluviais, assim como a infiltração destas no lençol subterrâneo, antes do lançamento nos sistemas públicos de drenagem (*Ibid.*).

O Decreto nº 18.326/2019 contribui, na seção 2, com mais considerações para os projetos a serem apresentados à prefeitura quanto à drenagem e à macrodrenagem. No artigo 12, aponta-se: “O projeto deverá dar solução de drenagem de águas pluviais desde o escoamento superficial, dimensionamento da primeira boca-de-lobo, redes

de galerias, canais e obras de arte, até os lançamentos nos álveos” (*Ibid.*).

O caráter quantitativo das definições gerais da Lei Complementar nº 632/2019 e do Decreto nº 18.326/2019 são segmentados em parâmetros variados de uso e ocupação do solo ou de drenagem. Elencam-se a seguir esses critérios:

a) Quanto às áreas permeáveis e impermeáveis:

- Serão exigidos 20% de área permeável se a gleba do loteamento estiver inserida em uma Área de Controle de Impermeabilização (ACI). Essa área permeável poderá estar inclusa em uma área verde, sistema de lazer ou área de preservação permanente (artigo 18 da Lei nº 632/2019).
- Todos os lotes e glebas deverão ter taxa de permeabilidade do solo de acordo com sua respectiva área, respeitando o mínimo de 5% para áreas acima de 175 m² até 5.000 m²; de 15% para áreas acima de 5.000 m² até 10.000 m²; e de 20% para áreas superiores a 10.000 m² (artigo 255 da Lei nº 632/2019).
- Os índices de impermeabilização do solo deverão ser específicos para cada área de uso e capacidade de absorção do solo, podendo ser generalizado

para o maior (artigo 22 do Decreto nº 18.326/2019).

- De acordo com o artigo 24 do Decreto nº 18.326/2019, deverão ser adotados os seguintes índices de impermeabilização C:

- I – Situação C;
- II – Ruas 0,90;
- III – Lotes até 150,00 m² 0,80;
- IV – Lotes até 300,00 m² 0,75;
- V – Demais lotes 0,70;
- VI – Áreas institucionais 0,70;
- VII – Áreas verdes 0,40.

b) Quanto à macrodrenagem e à drenagem urbana:

- Os projetos dos reservatórios de detenção ou retenção devem atender os requisitos que constam no artigo 260 da Lei nº 632/2019.
- Os projetos de drenagem de águas pluviais deverão ser desenvolvidos considerando um tempo de recorrência mínimo de 10 anos e adotando os índices oficiais de precipitação para cada tempo de concentração (artigo 13 do Decreto nº 18.326/2019).
- Os projetos de obras de arte para macrodrenagem deverão adotar tempo de recorrência mínimo de 100 anos, sendo

- previamente licenciados nos seguintes órgãos: Departamento de Água e Energia Elétrica (Daee), Departamento de Avaliação do Impacto Ambiental (Daia) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) (artigo 13, parágrafo único do Decreto nº 18.326/2019).
- Os projetos deverão considerar todas as bacias de contribuição à montante da área. Caso não haja ocupação à montante, deve-se adotar um índice de impermeabilização médio de 75% para essas áreas, salvo se seu uso já estiver definido, assim como o índice correspondente (artigo 14 do Decreto nº 18.326/2019).
 - As áreas drenadas de até 100 hectares deverão adotar, preferencialmente, o dimensionamento das redes por meio da Fórmula Racional. As áreas acima de 100 hectares deverão adotar as fórmulas adequadas para cada finalidade específica (artigo 15 e parágrafo único do Decreto nº 18.326/2019).
 - Para a intensidade da precipitação, devem ser consideradas as equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo para a cidade de Taubaté e a fórmula que constam na subseção 1 do Decreto nº 18.326/2019.
- Para o escoamento superficial, é preciso atender os requisitos que constam na subseção 3 do Decreto nº 18.326/2019.
 - Para as redes de galeria, é preciso atender os requisitos que constam na subseção IV do Decreto nº 18.326/2019.
- c) Quanto ao controle de sedimentos:
- O Decreto nº 18.966/2021 da Etapa 1 do PDDMAP estabelece que a Prefeitura de São José dos Campos é responsável pela contratação anual dos serviços de dragagem, limpeza e desassoreamento. O documento indica também que, para a execução de obras, deverão ser observadas as diretrizes de prevenção ao assoreamento, execução de obras e procedimentos operacionais.

2.4 MANUAL DE ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS

Diante das mudanças climáticas e da busca por uma cidade mais sustentável, o Município de São José dos Campos incluiu ao Código de Edificações o *Manual de Estratégias Sustentáveis*. A proposta do manual é criar um sistema de pontuação de acordo com a adoção das estratégias sustentáveis,

garantindo, assim, a difusão de práticas sustentáveis na construção civil.

O *Manual de Estratégias Sustentáveis* é regulado pelo Anexo 1 do Decreto nº 19.032/2022 e está de acordo com os artigos 49 e 50 da Lei Complementar nº 651/2022 (Código de Edificações). São 87 estratégias sustentáveis divididas em seis categorias: 1) qualidade do ambiente edificado e urbano; 2) envoltória; 3) materiais e métodos construtivos; 4) eficiência energética; 5) gestão da água; e 6) certificações.

Para o presente Manual, com ênfase no manejo sustentável das águas pluviais, destaca-se o tema gestão da água, com dez estratégias em específico, apresentadas a seguir.

2.4.1 ESTRATÉGIA 74

Corresponde à adoção de sistema de aproveitamento de águas pluviais da cobertura.

A captação de águas pluviais possibilita a redução do escoamento superficial e do volume lançado na rede de drenagem pública. Para a adoção dessa estratégia, deve-se prever o sistema de captação, armazenamento e destinação para a água pluvial em consonância com a norma NBR 15527.

Concede-se a essa estratégia o total de 25 pontos.

2.4.2 ESTRATÉGIA 76

Corresponde à adoção de SbN para drenagem sustentável, tal como jardim de chuva ou outro sistema de biorretenção, de modo a permitir a concentração e a infiltração do escoamento superficial. Deve ser instalada em no mínimo 1% da área do terreno.

As SbN direcionadas para o manejo sustentável das águas pluviais possibilitam a redução do escoamento superficial e o controle da poluição difusa. O *Manual* caracteriza as principais tipologias como jardim de chuva, biovaleta, canteiro pluvial e bacia de retenção vegetada.

Esses sistemas deverão obedecer a alguns parâmetros como absorção da água pluvial em menos de 48 horas; lâmina d'água de 5 cm a 15 cm; e teste de infiltração de acordo com a norma NBR 13969 (tanques sépticos). Além disso, o *Manual* estabelece as seguintes diretrizes de instalação:

- Ser instalado a uma distância mínima de 1,20 m do lençol freático.
- Localizar-se, no mínimo, a 3 m de fundações e a 2 m de muros de divisa.
- Contar com vegetação resistente à exposição a períodos de chuva e seca.
- Atentar-se à infraestrutura existente relacionada à rede elétrica, ao saneamento, à telefonia, entre outras.

Quando aplicada essa estratégia em no mínimo 1% da área do terreno, atribui-se a ela o total de 20 pontos.

2.4.3 ESTRATÉGIA 77

Corresponde à adoção de SbN para drenagem sustentável, tal como jardim de chuva ou outro sistema de biorretenção, de modo a permitir a concentração e a infiltração do escoamento superficial. Dessa vez, deve ser instalada em no mínimo 5% da área do terreno.

Essa estratégia apresenta os mesmos parâmetros e diretrizes de instalação da estratégia anterior. Contudo, por se tratar de uma área maior de implantação, atribui-se a essa estratégia o dobro de pontuação.

Quando aplicada em no mínimo 5% da área do terreno, atribui-se a ela o total de 40 pontos.

2.4.4 ESTRATÉGIA 78

Corresponde à implantação de um sistema de biovaleta ou canteiro pluvial na faixa de serviço da calçada defrente ao lote, atendidos os parâmetros de legislação de calçadas vigente.

Nessa estratégia, deve-se atentar para a garantia de acesso das rampas de acessibilidade e de estacionamento. Em adição, no caso de existência de arborização, deve-se considerar o espaço mínimo da árvore, sendo este de 160 cm × 80 cm (comprimento × largura).

Os sistemas deverão obedecer a alguns parâmetros como absorção da água pluvial em menos de 48 horas; lâmina d'água de 5 cm a 15 cm; e teste de infiltração de acordo com a norma NBR 13969 (tanques sépticos). Além disso, o manual estabelece as seguintes diretrizes de instalação:

- Ser instalado a uma distância mínima de 1,20 m do lençol freático.
- Localizar-se, no mínimo, a 3 m de fundações e a 2 m de muros de divisa.
- Contar com vegetação resistente à exposição a períodos de chuva e seca;
- Atentar-se à infraestrutura existente relacionada à rede elétrica, ao saneamento, à telefonia, entre outras.

Concede-se a essa estratégia o total de 15 pontos.

2.4.5 ESTRATÉGIA 79

Corresponde à previsão de sistema de captação e retenção de águas pluviais adicional ao mínimo obrigatório para controle de escoamento superficial. Nesse caso, prever adicional de, no mínimo, 50% da exigência legal.

A estratégia busca a implementação de sistemas de drenagem dentro do lote, além do mínimo obrigatório, com objetivo de reduzir a contribuição de águas pluviais. Como tipologia, sugere-se os reservatórios de retenção, em especial, a bacia de retenção vegetada.

O *Manual* estabelece as seguintes condições para atendimento da estratégia:

- Quando houver obrigatoriedade do sistema de retenção de águas pluviais, deve-se prever o sistema de retenção adicional com volume mínimo de 50% em relação ao obrigatório.
- Quando não houver obrigatoriedade do sistema de retenção de águas pluviais, deve-se prever o sistema de retenção com volume mínimo equivalente a 5% da área permeável do lote multiplicado por 1 m.

Concede-se a essa estratégia o total de 25 pontos.

2.4.6 ESTRATÉGIA 80

Corresponde à utilização de pavimentos permeáveis em pelo menos 60% das áreas externas descobertas pavimentadas.

Os pavimentos permeáveis possibilitam a redução do escoamento superficial, uma vez que parte do volume de águas pluviais é infiltrada. Essa solução é adequada para áreas densamente urbanizadas que apresentam alta impermeabilização e não dispõem de áreas livres com solo natural.

Para a adoção dessa estratégia, deve-se seguir um padrão construtivo de base e sub-base, possibilitando a infiltração total ou parcial. O pavimento deverá ainda estar em consonância com a norma NBR 16416 (pavimentos permeáveis de concreto).

Quando aplicada essa estratégia em 60% das áreas externas descobertas pavimentadas do lote, atribui-se a ela o total de 25 pontos.

Por fim, não deve haver sobreposição dessa estratégia com áreas permeáveis, sejam obrigatórias ou as adicionais.

2.4.7 ESTRATÉGIA 81

Corresponde à utilização de pavimentos permeáveis na calçada defronte o lote, atendidos os parâmetros da legislação de calçadas vigente.

Para a adoção dessa estratégia, deve-se seguir o padrão construtivo de base e sub-base, possibilitando a infiltração total ou parcial. O pavimento deverá estar em consonância com a norma NBR 16416 (pavimentos permeáveis de concreto) e de acordo com as exigências da lei municipal de calçadas.

Atribui-se o total de 10 pontos a essa estratégia quando ela é aplicada, no mínimo, na faixa livre de calçadas.

2.4.8 ESTRATÉGIA 82

Corresponde à adoção de 5% de área permeável sobre a área do terreno além da área permeável legal obrigatória.

Além de uma melhor drenagem, o aumento de áreas verdes possibilita outros benefícios como a melhoria do conforto térmico e da qualidade do ar e da água.

Logo, essa estratégia encoraja o incremento de áreas permeáveis com cobertura vegetal, com plantio de forração, arbustos e árvores. Aqui, não são contabilizados os pavimentos permeáveis.

Concede-se a essa estratégia o total de 5 pontos quando há previsão de 5% da área total do terreno para permeabilidade, adicionalmente ao mínimo exigido pela legislação.

2.4.9 ESTRATÉGIA 83

Corresponde à adoção de 10% de área permeável sobre a área do terreno, além da área permeável legal obrigatória.

Concede-se a essa estratégia o total de 10 pontos quando há previsão de 10% da área total do terreno para permeabilidade, adicionalmente ao mínimo exigido pela legislação.

2.4.10 ESTRATÉGIA 84

Corresponde à adoção de 20% de área permeável sobre a área do terreno além da área permeável legal obrigatória.

Concede-se a essa estratégia o total de 20 pontos quando há previsão de 20% da área total do terreno para permeabilidade, adicionalmente ao mínimo exigido pela legislação.

Bases adotadas para o planejamento da gestão de águas pluviais em São José dos Campos

No desenvolvimento de metodologias, diretrizes e planos para a gestão das águas pluviais, é essencial estabelecer bases que orientem as estratégias a serem adotadas. Este capítulo visa apresentar questões e requisitos fundamentais para o desenvolvimento da Etapa 2, focando especialmente nas escalas de projeto e nos critérios urbanísticos e paisagísticos.

3.1 ESCALAS DE PROJETO

A identificação da escala de projeto é essencial para a gestão e o planejamento da drenagem urbana, uma vez que cada escala apresenta diferentes complexidades e possibilidades de intervenção. No contexto das IV e das SbN, considera-se a soma das soluções de cada escala, a fim de construir uma rede de áreas naturais, verdes e de manejo das águas urbanas para uma maior resiliência frente à urbanização e às mudanças climáticas.

Com o objetivo de reduzir os riscos quantitativos e melhorar a qualidade da rede hídrica, é possível analisar e aplicar medidas específicas adaptadas a cada escala, e isso tanto no planejamento quanto nas técnicas construtivas. No aspecto quantitativo, busca-se reduzir a velocidade e o volume do escoamento superficial por meio de processos como infiltração, retenção e condução, mitigando, por sua vez, os riscos de alagamentos e inundações. No aspecto qualitativo, o foco está na captura e remoção de cargas poluidoras de lavagem, na redução da erosão e da sedimentação, visando melhorar a qualidade das águas superficiais e, conseqüentemente, a reciclagem dos corpos d'água.

Além disso, como indicado anteriormente, a abordagem da drenagem sustentável não se limita apenas à gestão de águas urbanas. Ela desempenha vários benefícios ecológicos,

sociais e econômicos que transformam a relação da cidade com o ambiente natural. Em cada escala, as intervenções de drenagem sustentável promovem integração da paisagem construída com a natural, melhoraram a qualidade urbana e de vida e restauraram o contato da população com as águas urbanas. Essas soluções garantem ainda a multifuncionalidade, permitindo que áreas de drenagem também atuem como corredores verdes de recuperação ecológica e aumento de biodiversidade e de habitats para a fauna e a flora.

Na sequência, serão abordadas quatro escalas de projeto: de lote, de bairro, de vale-várzea e de bacia hidrográfica, conforme ilustra a **Figura 14**. Também será explicitado como as intervenções são aplicadas em cada uma dessas escalas e como se integram para oferecer uma gestão abrangente e eficiente das águas pluviais.

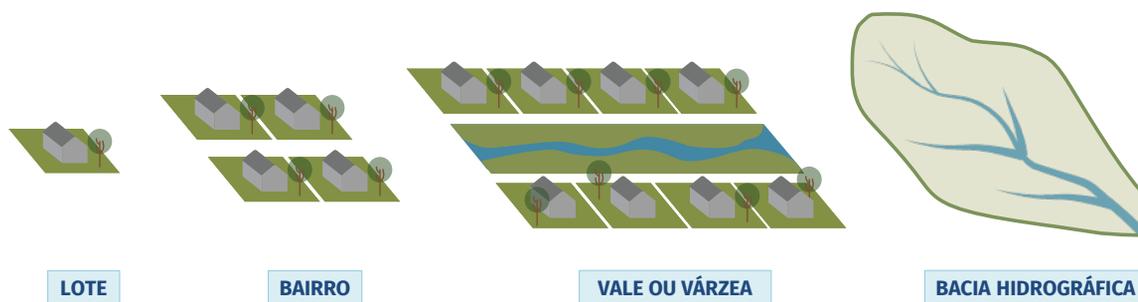


FIGURA 14 Diagrama das escalas de projeto (FCTH, 2024)

3.1.1 ESCALA DE LOTE

Na escala de lote, as soluções são aplicadas na área delimitada pelo loteamento, podendo cada área ter diferentes usos (residencial, comercial, institucional, entre outros), e abrange tanto propriedades públicas quanto privadas (**Figura 15**). São necessários normas e regulamentos que orientem e incentivem a adoção técnicas de drenagem sustentáveis dentro do lote.

Essa escala de intervenção tem um papel importante especialmente onde as áreas livres são escassas ou apresentam grandes complexidades socioambientais. As soluções de drenagem na escala de lote têm uma abordagem descentralizada, com o objetivo de mitigar impactos locais e reduzir problemas que podem ser amplificados em escalas maiores, como o escoamento excessivo e a poluição das águas pluviais. Desse modo, as diretrizes dessa escala se integram às demais escalas de gestão e planejamento.

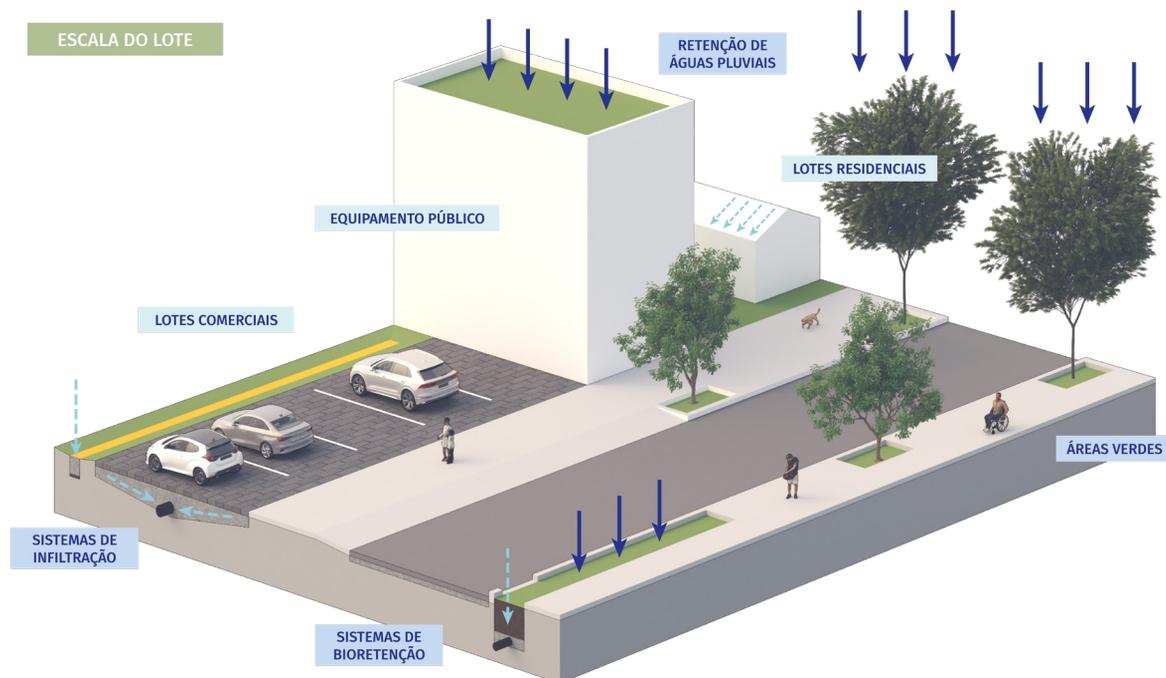


FIGURA 15 Diagrama da escala de lote (FCTH, 2024)

3.1.2 ESCALA DE BAIRRO

Na escala de bairro, a abordagem se concentra em intervenções na microdrenagem e no sistema viário, com foco nas áreas públicas livres. Nessa escala, técnicas de drenagem sustentável são aplicadas em calçadas, praças, parques, áreas verdes e residuais do viário (**Figura 16**). A escala de bairro é de especial interesse para o poder público, que deve garantir a implementação

de medidas adequadas para gerenciar as águas pluviais.

As soluções sustentáveis implementadas na escala de bairro se integram ao sistema convencional de drenagem, a fim de reter, infiltrar e tratar águas pluviais reduzir a velocidade do escoamento superficial. Desse modo, a soma das soluções nas escalas de lote e de bairro aumentam a resiliência do sistema global e são chamadas de soluções resilientes.

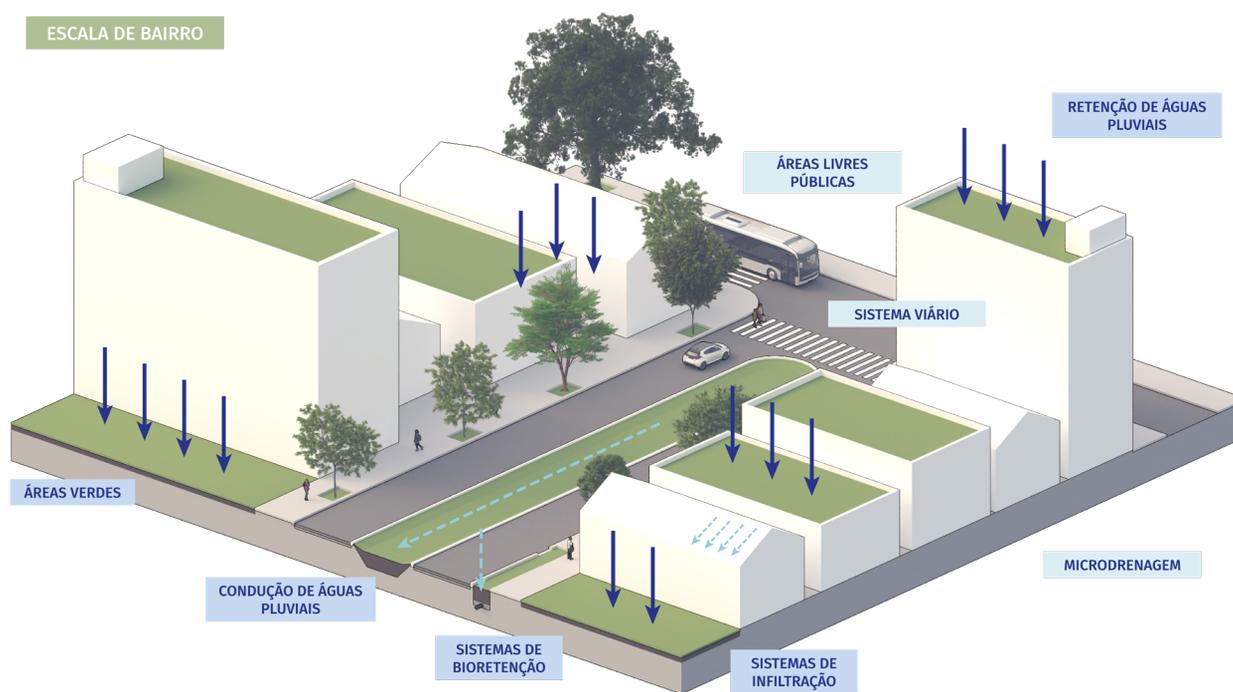


FIGURA 16 Diagrama da escala de bairro (FCTH, 2024)

3.1.3 ESCALA DE VALE-VÂRZEA

A escala de vale-várzea abrange áreas no entorno da rede hidrográfica, sob as quais, além das questões relativas à drenagem, incidem diferentes interesses. São áreas de maior porte e complexidade, cujas intervenções exigem uma abordagem multidisciplinar que trabalhe conjuntamente aspectos hídricos, geotécnicos, urbanísticos e socioambientais. As soluções para essas áreas são denominadas estruturantes, e a interação entre elas e as soluções resilientes das escalas menores é essencial para garantir o funcionamento adequado do sistema de drenagem durante eventos extremos.

Nessa escala, temos tanto intervenções na macrodrenagem como a implementação de parques lineares, canais sustentáveis e reservatórios multiusos. Essas áreas de vale-várzea são fundamentais para a conexão entre a biodiversidade e a conservação dos leitos naturais.

Nessa escala, busca-se a construção de uma rede de corredores ecológicos que atuem tanto na condução das águas quanto como na migração de espécies e na manutenção de habitats naturais. Além disso, essa escala pode integrar benefícios estéticos e recreativos para a comunidade (**Figura 17**).

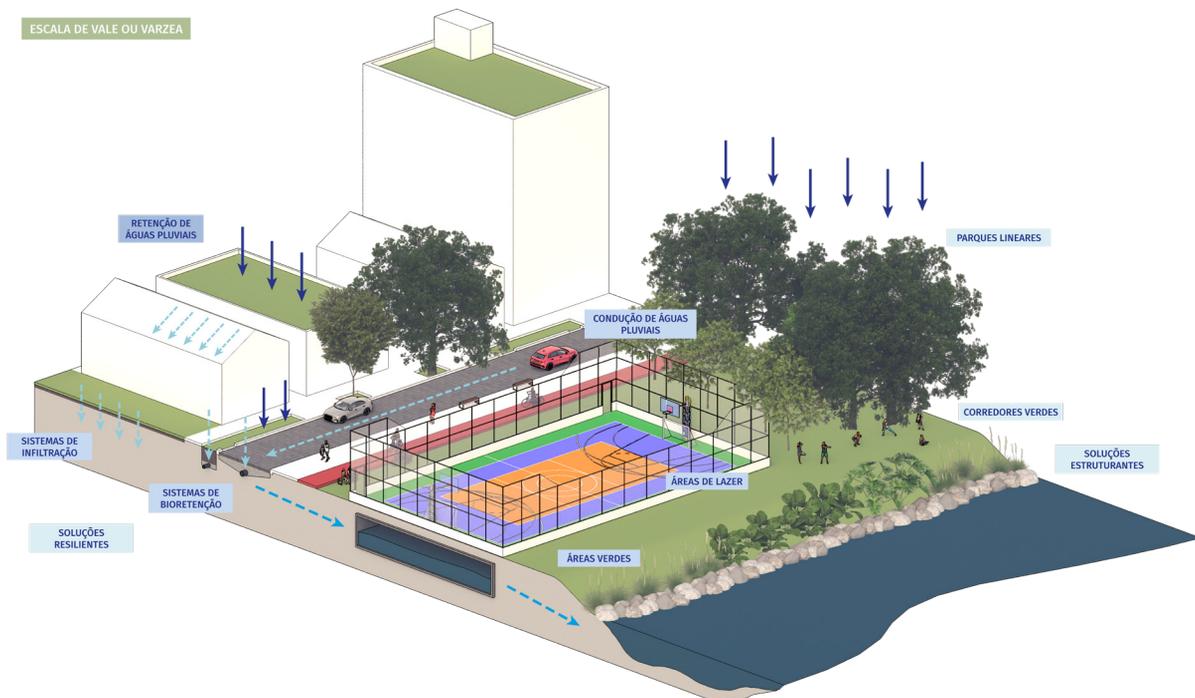


FIGURA 17 Diagrama da escala de vale-várzea (FCTH, 2024)

3.1.4 ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA

Por fim, delimita-se a escala da bacia hidrográfica, que representa a unidade de planejamento e gestão (Mcharg, 1969). Nessa escala, são integradas as intervenções realizadas nas escalas menores, permitindo a priorização e a avaliação do desempenho geral das estratégias de drenagem (**Figura 18**).

Na escala da bacia hidrográfica, a importância das medidas de planejamento e gestão se torna ainda mais evidente devido

à extensão e à complexidade nela envolvidas. As bacias hidrográficas frequentemente abrangem unidades de conservação e corpos hídricos que podem se estender além dos limites de bairros, cidades e áreas regionais.

Assim, nessa escala, faz-se necessário implementar medidas não estruturais atreladas ao planejamento urbano, como diretrizes de uso e ocupação do solo que assegurem a proteção das margens dos corpos d'água e a conservação de áreas verdes.

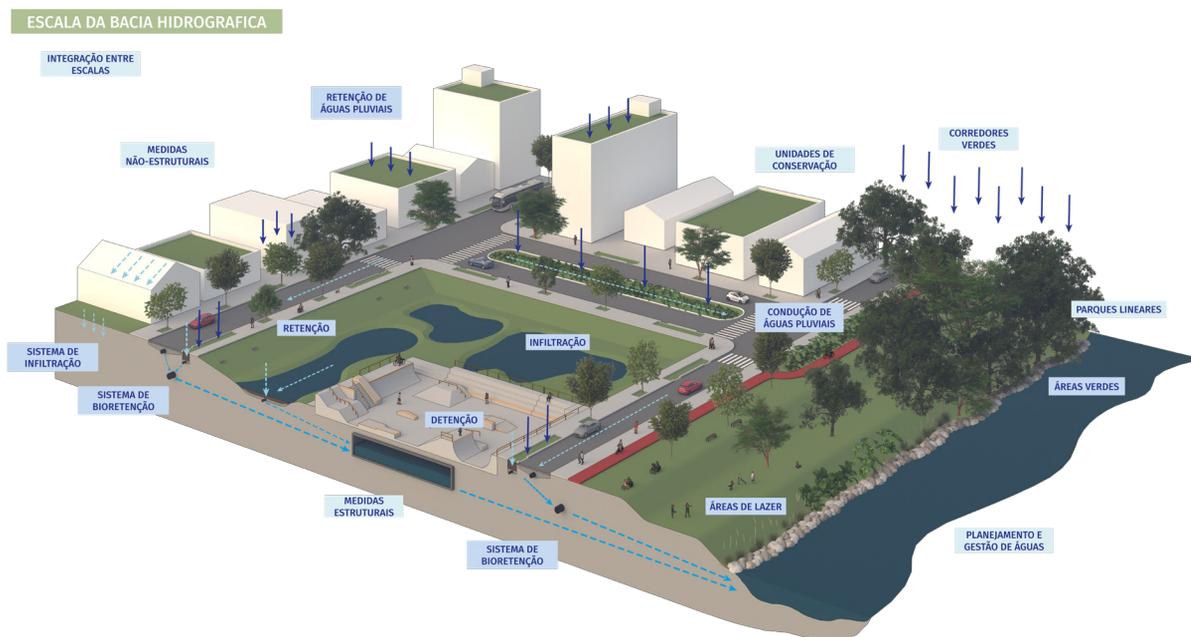


FIGURA 18 Diagrama da escala de bacia hidrográfica (FCTH, 2024)

3.2 CRITÉRIOS URBANÍSTICOS

Tucci (2012) aponta o planejamento urbano com um dos componentes da estrutura de gestão integrada das águas urbanas. Esse instrumento do urbanismo ganha protagonismo no ordenamento de áreas e na regulamentação do uso e da ocupação do solo. Por conseguinte, ele implica questões infraestruturais de abastecimento de água; coleta de esgoto; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Destaca-se ainda que o planejamento urbano interfere diretamente na impermeabilização do solo, o que, por sua vez, afeta a drenagem urbana.

Estabelece-se, então, que o sistema de drenagem deve ser integrado ao planejamento urbano (SMDU, 2012) e considerar aspectos como malha urbana, áreas de expansão, áreas impermeabilizadas, rede viária e de transporte, zoneamento dos usos do solo, entre outros (Pompêo, 2000). Nesse sentido, são apontados a seguir os critérios urbanísticos norteadores do planejamento da drenagem e do manejo de águas pluviais.

3.2.1 A IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS

A definição e a caracterização das áreas que necessitam do manejo de águas pluviais demandam:

- Fazer o diagnóstico urbanístico da bacia hidrográfica, a fim de caracterizar o uso e a ocupação do solo, o zoneamento, as áreas verdes, a mobilidade e os aspectos socioeconômicos.
- Observar a topografia e a hidrografia do local juntamente com a malha urbana existente, identificando pontos críticos, áreas de risco e áreas suscetíveis a inundações e deslizamentos.
- Delimitar áreas impermeáveis, permeáveis e áreas de contribuição.
- Zonar áreas de acordo com o nível de risco e suscetibilidades, delimitando áreas de maior e menor impacto.
- Identificar áreas livres, adequadas e próximas a pontos de acúmulo de poluição difusa e de escoamento superficial para a implantação de dispositivos de drenagem sustentável (como praças, parques e áreas residuais).
- Identificar espaços que comportem reservatórios abertos, sistemas de biorretenção, infiltração, biovaletas e dispositivos de retenção.

- Identificar a existência da rede de microdrenagem convencional.

3.2.2 SISTEMA VIÁRIO E MOBILIDADE

O sistema viário é um elemento relevante do planejamento urbano e da drenagem, pois recebe e direciona parte do volume de precipitação e do escoamento superficial (Pompêo, 2000). Além do caráter quantitativo, as áreas impermeáveis da rede viária contribuem para a qualidade da água pluvial. Em eventos de chuva, toda a poluição difusa depositada nas calhas urbanas é lavada e carregada para os corpos d'água. Essa carga de poluição terá características e concentrações diferentes a depender da classificação viária e do fluxo e volume de automóveis (Novotny, 2002; Porto, 1995; FCTH 2017).

Desse modo, destacam-se os seguintes critérios:

- Identificar a classificação do sistema viário e as condições existentes de drenagem.
- Observar as características das vias, como acessos, dimensionamento, declividades e materiais de suas superfícies.
- Identificar fluxo, volume e tipo predominante de transporte.

- Identificar áreas livres adequadas (como áreas residuais, alamedas, canteiros, rotatórias, entre outros) para a implantação de dispositivos de drenagem sustentável.

3.2.3 ÍNDICES DE IMPERMEABILIZAÇÃO

O aumento de áreas impermeáveis ao longo do tempo, devido ao processo de urbanização, pode resultar em mudanças significativas nas vazões pluviais. Logo, é preciso planejar a drenagem considerando cenários futuros de impermeabilização. Para isso, avaliam-se os índices de impermeabilização atual e são considerados os índices futuros a partir da relação entre área impermeável e densidade demográfica (SMDU, 2012).

Deve-se considerar, portanto, índices propostos em literatura especializada ou as diretrizes apontadas em leis, normas e planos de drenagem do município. Para São José dos Campos, considera-se a Lei Complementar nº 623, de parcelamento, uso e ocupação do solo (LPUOS), e o Decreto nº 18.326/2019. O artigo 14 deste último aponta:

Deverão ser computadas, para fins de projeto, todas as bacias de contribuição à montante da área, considerando as mesmas passíveis de futura ocupação,

caso esse fato ainda não tenha ocorrido, sendo que se deve adotar índice de impermeabilização médio de 75% (setenta e cinco por cento) para essas áreas, salvo se seu uso já estiver definido, assim como o índice correspondente (Prefeitura de São José dos Campos, 2019).

Apontam-se, então, os seguintes quesitos:

- Estimar a área impermeável atual por meio de ferramentas de geoprocessamento.
- Estimar a área impermeável de saturação considerando as diretrizes do artigo 14 do Decreto nº 18.326/2019.
- Identificar a relação entre área impermeável e densidade demográfica.
- Determinar a densidade demográfica de saturação, considerando o índice de urbanização máximo de acordo com a Lei Complementar nº 623 e o Decreto nº 18.326/2019.
- Identificar a projeção da evolução populacional ou de número de domicílios por meio de técnicas de estudos demográficos.
- Identificar a projeção da evolução da área impermeável no tempo.

Como mencionado anteriormente, a integração do planejamento urbano com o planejamento do manejo de águas pluviais é fundamental. Para o contexto de São José dos Campos, consideram-se as seguintes diretrizes:

- Integrar a Etapa 2 do PDDMAP ao PDDI (Lei Complementar nº 612); às diretrizes da Etapa 1 do PDDMAP; às normas relativas à LPUOS (Lei Complementar nº 623) e ao Decreto nº 18.326/2019, que regulamenta a Lei Complementar nº 623; ao Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São José dos Campos; ao Programa de Revitalização de Nascentes; e ao Plano Municipal de Redução de Risco.
- Ter uma visão integrada da bacia hidrográfica, considerando sua escala para o planejamento ou intervenção. Desse modo, toda e qualquer modificação deve ser equitativa, sem transferir impactos para outros pontos da bacia hidrográfica.
- Planejar novas intervenções e a expansão da malha urbana, considerando a LPUOS e considerações das etapas do PDDMAP.
- Direcionar a implantação de grandes equipamentos urbanos e habitações para áreas que ofereçam segurança,

resiliência e fácil acessibilidade, evitando as áreas de risco e suscetíveis a inundações.

- Reduzir as cargas de poluição difusa que alcançam os córregos deve ser uma das metas das medidas adotadas para a drenagem sustentável.
- Reforçar a gestão local de águas pluviais, considerando o controle na fonte durante eventos de chuva. O escoamento pluvial deve ser captado por cada usuário urbano e não deve aumentar o volume de cheia natural. Excepcionalmente, quando isso ocorrer, o acréscimo deve ser amortecido a jusante e custeado pelo projeto em causa.
- Gerenciar, manter e fiscalizar o sistema de drenagem.

3.3 CRITÉRIOS DA PAISAGEM

Interligado ao urbanismo, o estudo da paisagem considera a configuração espacial, ambiental e estética do ambiente natural e construído. O planejamento ecológico da paisagem parte da análise dos ecossistemas urbanos e de seus processos naturais, funções e dinâmicas (Ahern, 2010). Por isso, é possível integrar áreas naturais, espaços públicos e infraestruturas urbanas.

Uma das metodologias de planejamento da paisagem, a partir de uma visão

sustentável, considera a água um de seus principais elementos norteadores, o que torna crucial compreender o ciclo hidrológico e suas relações com o território e com outros elementos da paisagem. Nesse cenário, a bacia hidrográfica é a unidade de planejamento e de projeto da paisagem (Mcharg, 1969), o que deixa evidente o destaque ao manejo de águas pluviais para a paisagem.

Assim, são elencados os seguintes critérios:

Valorizar a água como elemento da paisagem urbana.

Preservar áreas importantes da bacia hidrográfica, como nascentes e várzeas.

Integrar a rede de drenagem às áreas verdes e aos espaços livres.

Aumentar áreas naturais e garantir conexões entre elas, permitindo a construção de redes de infraestrutura verde.

Identificar áreas livres com potencial para o amortecimento e a acomodação do volume de águas pluviais.

Garantir uma melhor qualidade da água.

Promover intervenções hidráulicas em várias escalas (lote, bairro, vale-várzea, microbacias, entre outras).

Promover múltiplos usos para a área de intervenção, atendendo as demandas da população.

Valorizar a paisagem, promovendo, além da função hidráulica, as funções estética e sociocultural.

Componentes do sistema de drenagem sustentável

A drenagem sustentável pode ser caracterizada por um conjunto de abordagens para o controle e gerenciamento das águas pluviais, oferecendo uma alternativa ao sistema tradicional de drenagem (Mendes e Santos, 2021). As medidas de controle na fonte podem integrar tecnologias de drenagem sustentável ao sistema de drenagem convencional (microdrenagem e macrodrenagem), a fim de restaurar condições semelhantes ao balanço hidrológico natural e melhorar a qualidade das águas urbanas.

Ressalta-se que a implementação dessas soluções de controle quantitativas pode ser realizada via medidas não estruturais e estruturais. As medidas não estruturais se fundamentam em ações de gestão e planejamento disseminadas na bacia, como o controle do uso e da ocupação do solo para minimizar escoamento superficial. Por outro lado, as medidas estruturais são planejadas por bacias hidrográficas urbanas e envolvem intervenções físicas, como trincheiras de infiltração, biovaletas e sistemas de biorretenção.

4.1 MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS

As medidas não estruturais são caracterizadas por abordagens que não envolvem a construção de infraestruturas físicas, porém elas atuam por meio da adoção de ações e práticas sociais que geram efeitos na drenagem urbana. As medidas não estruturais são estratégias que abrangem políticas públicas, planejamento urbano, educação ambiental e práticas de gestão e manejo destinadas ao controle e tratamento das águas pluviais junto às fontes de origem. Conforme estudos do Prosab (2009) e da FCTH (2017), destacam-se entre essas soluções as seguintes medidas:

- Integrar os planos setoriais relacionados à gestão de águas urbanas, visando identificar conflitos e soluções possíveis.
- Centralizar o planejamento do saneamento básico (abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas), buscando garantir a gestão integrada desses serviços e levando em conta o planejamento, implementação e manutenção.
- Controlar lançamentos irregulares de esgoto.
- Fazer a manutenção de sistema viário e de drenagem.
- Adotar práticas de varrição, de desobstrução de redes e galerias e de coleta de resíduos sólidos.
- Compatibilizar o planejamento de recursos hídricos com o planejamento urbano e ambiental.
- Adotar medidas sustentáveis e de gestão de águas nos parâmetros urbanísticos, como uso e ocupação do solo, zoneamento urbano, taxa de permeabilidade, vazão de restrição no lote e medidas compensatórias.
- Financiar a implementação de planos por meio de investimentos públicos e privados.
- Permitir a participação pública a partir de uma governança colaborativa.
- Conscientizar a população sobre o manejo de águas por meio da educação ambiental.

4.2 MEDIDAS ESTRUTURAIS

As medidas estruturais referem-se à implantação de dispositivos de drenagem visando o amortecimento das águas de escoamento superficial e o abatimento de cargas de poluição difusa. Essas tecnologias de drenagem sustentável podem ser implantadas

em áreas públicas do espaço urbano como praças, parques e sistema viário, bem como em lotes privados e edificações.

Dessa forma, os diversos componentes do sistema de drenagem visam desempenhar uma ou mais funções hidráulicas, como retenção, retenção, infiltração e condução. Tais funções podem ser realizadas pelos componentes do sistema de forma simultânea, independentemente de sua escala de intervenção. A seguir, são apresentadas cada uma dessas funções, de acordo com estudos da FCTH (2017).

4.2.1 CONDUÇÃO

A condução direciona o escoamento pluvial superficial para outros pontos da bacia hidrográfica, utilizando dispositivos que distribuem o fluxo de água.

Esse traslado das águas deve considerar alguns aspectos para que possa cumprir seu papel sem afetar negativamente outros elementos do sistema – especialmente a velocidade do escoamento, que aumenta as vazões de pico a jusante, causa avarias nos revestimentos das estruturas e eleva o potencial de carreamento de partículas e sólidos grosseiros.

A maior parte dos componentes do sistema de drenagem tem essa função, como

é o caso das sarjetas e dos demais componentes da malha viária na escala de bairro, dos canais (naturais ou artificiais) e das galerias na escala de vale-várzea.

4.2.2 DETENÇÃO

A retenção ocorre pelo armazenamento temporário das águas pluviais, promovendo a redução da velocidade do escoamento superficial e evitando sobrecarregar o sistema de drenagem a jusante.

Na escala de vale-várzea, a estrutura típica para essa função são os reservatórios de retenção (com volume de dezenas de milhares de m³) que, como elementos estruturantes do sistema, podem assumir diferentes formas e cumprir outras funções que não as hídricas, relacionadas a aspectos paisagísticos, urbanísticos e socioculturais.

Nas escalas de lote e de bairro, medidas de controle na fonte também contribuem para o cumprimento da função de retenção (com volume de dezenas de m³), como estruturas de resiliência.

4.2.3 INFILTRAÇÃO

A infiltração das águas pluviais visa deter parte do escoamento, permitindo sua

infiltração local e podendo recarregar aquíferos e lençóis freáticos. Isso contribui para manter o nível de córregos e rios, reduzindo o impacto do escoamento excessivo e da carga de poluentes nos corpos d'água.

Destaca-se que o uso de solos compostos e insumos aumenta a porosidade do sistema, agindo como uma esponja que absorve a água. No entanto, para dispositivos com essa função, deve-se atentar para aspectos importantes de implantação, como declividades, capacidade de infiltração do solo, nível do lençol freático e possibilidade de contaminação das águas subterrâneas.

4.2.4 RETENÇÃO

Nessa função, parte do volume de água armazenado tem uma parcela da carga poluidora do escoamento retida. Isso se dá por meio de processos bioquímicos naturais, que decorrem da vegetação, de microrganismos e das bactérias presentes no solo, e por meio de processos físico-químicos da passagem da água por um meio filtrante. Sendo assim, elementos de retenção também cumprem funções de detenção e infiltração.

Além de contribuir para os aspectos quantitativos e qualitativos das águas pluviais, a retenção também valoriza a paisagem

urbana e pode fornecer habitats para a fauna e a flora.

Embora demande geralmente áreas maiores e planas, pode ser adaptada para terrenos com declive a partir de estruturas escalonadas. Alguns exemplos de tecnologias com essa função são as lagoas de retenção, na escala de vale-várzea, e as células de biorretenção, nas escalas de lote e de bairro.

5

Análise de viabilidade econômica das infraestruturas de drenagem sustentável

A análise de viabilidade econômica para projetos de drenagem sustentável é um processo complexo que envolve a avaliação de diversos fatores econômicos, ambientais e sociais. Diferentemente do setor privado, que executa projetos mesmo sustentáveis buscando benefícios financeiros, o setor público adota uma perspectiva diferente, cujo objetivo é atender as necessidades da sociedade e promover o crescimento econômico (Martland, 2014).

Para analisar a viabilidade econômica de um projeto de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, devem ser levados em consideração os custos envolvidos; os aspectos técnicos, sociais, econômicos e ambientais; e as etapas de planejamento, implantação, operação e manutenção.

Para auxiliar o tomador de decisão (ou gestor público) com relação à viabilidade econômica de um projeto, o presente trabalho adotou a análise custo-benefício, de modo a mensurar se os benefícios ultrapassaram os custos.

A implantação de determinado projeto de manejo e drenagem de águas pluviais pode trazer benefícios de mensuração complicada, como melhorias da paisagem, da qualidade do ar, das águas, entre outros. A análise custo-benefício requer o conhecimento do custo global da obra e a valoração monetária dos benefícios.

Objetivando quantificar monetariamente os benefícios, o presente trabalho usou o critério de peso por real investido em custos para desenvolvimento, implantação e manutenção dos projetos de manejo e drenagem de águas pluviais, conforme demonstra a **Tabela 3**.

TABELA 3 Peso dos benefícios por cada R\$ 1,00 investido (FCTH, 2024)

Benefício	Peso
Redução da ocorrência de inundação	1,4
Melhoria na qualidade da água	1,3
Valorização imobiliária	1,2
Melhoria na qualidade de vida	1,1

Sendo assim, as etapas para análise de viabilidade econômica são:

- Identificação dos custos:
 - Levantamento dos custos da elaboração de projetos básicos e executivos com as informações para a quantificação de insumos e mão de obra. Como base de valor, recomenda-se a utilização dos manuais de custos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), os preços de referência da Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) e pesquisas de mercado.
 - Os custos iniciais de implementação incluem despesas com planejamento, *design*, aquisição de terrenos, licenciamento ambiental, materiais e mão de obra. A base de dados para essa informação será a pesquisa de mercado e os manuais de custos do DNIT.
 - Há insumos que não estão disponíveis nos manuais de custos do DNIT, como valores de espécies adotadas em projeto; nesse caso, deve-se fazer um levantamento de preço de mercado.
- Já para o insumo do valor da tonelada do asfalto permeável, que também não consta na referência mencionada, deve-se adotar o preço de referência disponível no *site* da PMSP.
- Custos de operação e manutenção.

A **Tabela 4** indica alguns itens que devem ser mensurados.

TABELA 4 Atividades que devem ser quantificadas e sua periodicidade (FCTH, 2024)

Atividade de manutenção	Frequência	Descrição
Inspeção visual geral	Mensal	Realizar uma inspeção visual para verificar a presença de obstruções, erosão, sedimentos ou danos estruturais no sistema.
Limpeza de entradas e saídas de água	Mensal	Remover detritos, folhas e qualquer outro material que possa obstruir as entradas e saídas de água (grelhas, bocas-de-lobo etc.).
Verificação de infiltração em biovaletas	Mensal	Inspeccionar o funcionamento das biovaletas, garantindo que a água está infiltrando corretamente e não há pontos de estagnação ou erosão.
Poda de vegetação (quando houver)	Trimestral	Realizar a poda da vegetação para manter o funcionamento adequado e evitar que plantas obstruam o fluxo de água.
Limpeza de pavimentos permeáveis	Trimestral	Usar equipamentos apropriados (vassoura mecânica ou aspirador) para remover detritos e sedimentos que possam entupir as juntas permeáveis.
Desobstrução de drenos subterrâneos	Semestral	Verificar e desobstruir os drenos subterrâneos ou tubulações de escoamento, garantindo o fluxo adequado de água.
Replanteio ou substituição de vegetação	Anual	Substituir plantas mortas ou que não estão adequadas para o tipo de solo e condições climáticas, garantindo a estabilidade e a capacidade de infiltração do sistema.
Monitoramento da capacidade de infiltração	Anual	Avaliar a capacidade de infiltração das áreas verdes, biovaletas e jardins de chuva. Testar a infiltração em diferentes pontos e identificar possíveis falhas.
Reparos de erosão ou danos estruturais	Anual	Inspeccionar e reparar quaisquer danos causados pela erosão ou pela movimentação do solo que possam comprometer a estrutura do sistema de drenagem.
Reforço de barramentos ou estruturas	Bienal	Reforçar e, se necessário, reestruturar barramentos e áreas de retenção para evitar rompimentos e garantir a eficiência do sistema de drenagem.
Reavaliação do projeto hidrológico	Bienal	Revisar o projeto original e verificar se as condições de drenagem e fluxo de água permanecem de acordo com o esperado, considerando mudanças ambientais ou urbanas.

- Benefícios:
 - **Redução da ocorrência de inundações:** a drenagem sustentável pode reduzir a frequência e a severidade das inundações, o que resulta em menores custos associados a danos materiais e infraestruturais.
 - **Economia em tratamentos de água:** a infiltração natural e a melhoria da qualidade da água podem reduzir os custos com o tratamento de águas pluviais.
 - **Valorização imobiliária:** áreas com soluções sustentáveis de drenagem podem ter um aumento no valor imobiliário devido à maior atratividade e melhor gestão ambiental.
 - **Benefícios socioambientais:** incluem a redução de poluentes, a recarga de aquíferos, a preservação de ecossistemas e a melhoria da qualidade do ar, melhora da qualidade de vida. Esses benefícios, apesar de indiretos, podem ter impactos econômicos positivos.

5.1 RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO

A relação custo-benefício compara os benefícios esperados com os custos do projeto. A razão custo-benefício maior que 0 indica que os benefícios superam os custos, sugerindo, portanto, a viabilidade econômica.

A fórmula que determina a relação de custo-benefício para todos os projetos é a Equação 1:

$$X = \frac{B_t}{C_t} \quad \text{(EQUAÇÃO 1)}$$

Em que:

x = relação custo-benefício

B_t = benefícios totais

C_t = custo total

Salienta-se que a análise de viabilidade econômica para projetos de manejo e drenagem sustentável de águas pluviais é um exercício de equilibrar os custos e benefícios, e isso levando em conta não apenas os aspectos financeiros diretos, mas também os impactos ambientais e sociais a curto, médio e longo prazos.

Entende-se que um projeto é viável economicamente se a relação custo-benefício for positiva, ou seja, que $x > 0$.

6

Aplicação da drenagem sustentável

Neste capítulo, serão abordadas a aplicação de drenagem sustentável em suas diferentes escalas de projeto e as possibilidades de tipologia. O foco será nas medidas estruturais, uma vez que as medidas não estruturais são discutidas no item 4.1. As seções a seguir detalham as tipologias de dispositivos estruturais sustentáveis, incluindo guia de projeto para aplicação das infraestruturas.

6.1 ÁREAS ESPECIAIS PARA DRENAGEM SUSTENTÁVEL

As áreas especiais para drenagem sustentável são zonas específicas dentro do território urbano que, devido a suas características físicas, geográficas e hidrológicas, são prioritárias para a implementação de intervenções de drenagem. A determinação dessas áreas é feita a partir de diferentes abordagens, que variam conforme a escala de análise e as particularidades do local.

Na escala de vale-várzea, foi realizado diagnóstico durante a Etapa 1 do PDDMAP, que identificou as áreas suscetíveis à inundação dentro do município. Esse levantamento indicou as intervenções necessárias no sistema de macrodrenagem para mitigar os riscos de inundação e melhorar a gestão das águas pluviais por meio de elementos estruturantes do sistema.

Por outro lado, nas escalas de bairro e de lote, foi proposta uma metodologia de anteprojeto para a determinação das áreas especiais para drenagem sustentável, com foco na microdrenagem. Detalhes dessa metodologia estão apresentados no Anexo 1 deste Manual, com orientações práticas para sua aplicação em qualquer bacia do município.

Essas abordagens, quando integradas, permitem uma gestão eficiente das águas pluviais em diferentes escalas, contribuindo para a sustentabilidade e a resiliência do sistema de drenagem urbano.

6.2 MICRODRENAGEM

Constituem a microdrenagem estruturas de captação e condução de águas pluviais que chegam a elementos viários como ruas, praças e avenidas. Essas águas são provenientes não apenas da precipitação direta,

mas também das captações existentes nas edificações e nos lotes lindeiros. Pode-se entender a microdrenagem como o conjunto de estruturas de entrada no sistema de drenagem das bacias urbanas.

Além das funções de captação e condução, estruturas sustentáveis de microdrenagem estão normalmente conectadas à rede clássica de microdrenagem e realizam funções de infiltração, retenção e retenção. Dessa forma, parte da vazão e da carga do escoamento superficial fica retida a zonas próximas à sua geração, não aportando ao sistema de macrodrenagem.

Os elementos da rede clássica de microdrenagem têm suas diretrizes de dimensionamento apresentadas no item 6.2 da Etapa 1 do PDDMAP. No presente documento, serão abordadas diretrizes para medidas estruturais sustentáveis ligadas à SbN, que promovem o controle na fonte.

Diferentes tipologias de medidas estruturais sustentáveis para microdrenagem desempenham uma ou mais funções no sistema de drenagem nas escalas de lote e de bairro, de acordo com suas características. Essas soluções trazem benefícios no aspecto quantitativo e, principalmente, no qualitativo, visando o aumento da resiliência do sistema de drenagem na escala de bacia, com o somatório de muitas intervenções em

pontos estratégicos nas escalas de bairro e de lote.

Sendo o principal benefício em relação à qualidade da água pluvial, critérios hidrológicos de dimensionamento que favoreçam esse aspecto estimulam a aplicação dessas medidas de forma otimizada.

6.2.1 TIPOLOGIAS DE MEDIDAS ESTRUTURAIS SUSTENTÁVEIS

As técnicas de controle na fonte por meio de medidas estruturais sustentáveis de microdrenagem guardam particularidades e terminologias. Serão apresentadas sete tipologias principais: biorretenções, biovaletas, telhados verdes, pavimentos permeáveis, bacias de detenção, facilitadores de infiltração e reservatórios de detenção no lote.

6.2.1.1 BIORRETENÇÕES

A biorretenção consiste em uma depressão vegetada rasa, projetada para receber e infiltrar o escoamento das águas pluviais. Esse dispositivo usa uma combinação de solo e vegetação apropriados para remover poluentes e reduzir o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.

As biorretenções podem ser empregadas em sistemas fechados, conectados ou não ao sistema convencional de microdrenagem. O segundo tipo, de instalação mais simples, é conhecido como jardim de chuva. Esse sistema, que é aberto, normalmente recebe pequenas contribuições, limitadas à água precipitada sobre a área permeável do próprio jardim e regiões adjacentes, permitindo a comunicação com camadas mais profundas do solo.

Sua principal função dentro do sistema é promover a infiltração e retenção da água. O excedente de escoamento superficial que não consegue infiltrar no dispositivo, em condição de saturação, é direcionado para jusante, podendo seguir superficialmente ou diretamente para a rede de microdrenagem, dependendo do tipo de estrutura, sem causar prejuízos. A **Figura 19** e a **Figura 20** apresentam dois exemplos de biorretenção.



FIGURA 19 Representação esquemática de jardim de chuva com sistema fechado (FCTH, 2024)



FIGURA 20 Representação esquemática de jardim de chuva com sistema aberto (FCTH, 2024)

Suas vantagens são:

- Melhora da qualidade da água, promovendo a remoção de sedimentos, nutrientes (como nitrogênio e fósforo), metais pesados e poluentes orgânicos do escoamento superficial.
- Armazenamento de parte do escoamento e diminuição da velocidade com que ele chega ao sistema de drenagem, aumentando a resiliência deste.
- Recarga de aquíferos em sistemas abertos.
- Integração paisagística.
- Resfriamento do microclima local por meio da evapotranspiração.
- Manutenção de habitats para a fauna e a flora.

Já suas desvantagens são:

- Necessidade de manutenção regular para garantir sua eficácia.
- Dependência das condições de permeabilidade do solo.
- Não indicado em altas declividades, necessitando de escalonamento em patamares.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida na **Tabela 3** do capítulo 5 deste Manual, a cada R\$ 1,00 de custo com biorretenções, o retorno em benefício será de R\$ 2,00. Portanto, a relação custo-benefício é 2, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.2.1.2 BIOVALETAS

Biovaletas são canais vegetados projetados para conduzir e infiltrar o escoamento superficial das chuvas. Essas estruturas são geralmente instaladas ao longo de vias, estacionamentos e áreas urbanizadas, para receber e transportar o escoamento superficial até estruturas a jusante da rede de drenagem. A **Figura 21** apresentam um exemplo de biovaleta.

As biovaletas funcionam como sistemas lineares que, além de direcionar o fluxo de água, promovem a remoção de poluentes,

por meio de processos naturais de filtragem e absorção pelas plantas e pelo solo, bem como a redução da velocidade do escoamento superficial.

Sua principal função é a de condução do escoamento nas escalas de bairro e de lote, apesar de também promover infiltração e retenção, promovendo o aumento da resiliência do sistema. As biovaletas podem apresentar basicamente duas configurações: fechada, com camada drenante e sistema de dreno de fundo, ou aberta, em contato direto com a camada subsuperficial do solo.

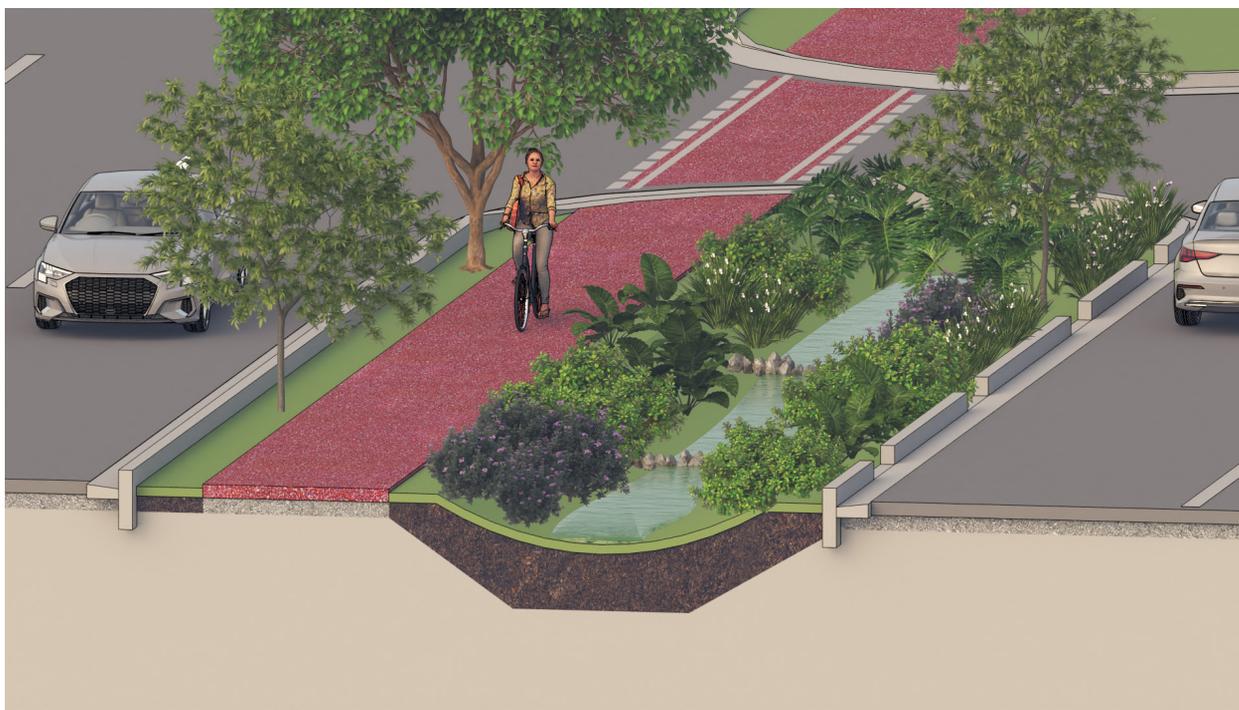


FIGURA 21 Representação esquemática de biovaleta (FCTH, 2024)

Suas vantagens são:

- Melhora da qualidade da água, promovendo a remoção de sedimentos e de metais pesados do escoamento superficial.
- Redução da velocidade do escoamento, aumentando a resiliência do sistema de drenagem.
- Recarga de aquíferos em sistemas abertos.
- Integração paisagística.
- Resfriamento do microclima local por meio da evapotranspiração.
- Manutenção de habitats para a fauna e a flora.
- Preservação de corredores ecológicos.

Já suas desvantagens são:

- Necessidade de espaço significativo ao longo das vias.
- Necessidade de manutenção regular para garantir sua eficácia.
- Dependência das condições de permeabilidade do solo.

- Não indicado em altas declividades, havendo necessidade de estruturas de dissipação de energia.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida na **Tabela 3** do capítulo 5 deste Manual, a cada R\$ 1,00 de custo com biovaletas, o retorno em benefício será de R\$ 2,00. Portanto, a relação custo-benefício é 2, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.2.1.3 TELHADOS VERDES

Também conhecidos como coberturas vegetadas ou tetos vegetados, os telhados verdes são sistemas instalados sobre a laje de cobertura das edificações, compostos por uma camada de solo vegetado e sistemas de drenagem. Esses telhados são projetados para armazenar a água da chuva que incide sobre eles, reduzindo a velocidade com que essa água chega ao sistema de drenagem e contribuindo para o isolamento térmico dos edifícios.

Sua principal função é o armazenamento, podendo também promover melhorias na qualidade da água, dependendo do tipo de vegetação utilizada e da efetividade da manutenção.

Os telhados verdes podem ser extensivos, com uma camada de solo mais fina e vegetação de baixa manutenção, ou intensivos, que suportam uma maior variedade de plantas, incluindo árvores e arbustos, devido às camadas de solo mais espessas. A **Figura 22** e a **Figura 23** apresentam exemplos de telhados verdes extensivo e intensivo, respectivamente.



FIGURA 22 Representação esquemática de telhado verde extensivo (FCTH, 2024)



FIGURA 23 Representação esquemática de telhado verde intensivo (FCTH, 2024)

Suas vantagens são:

- Armazenamento de parte do escoamento e diminuição da velocidade com que ele chega ao sistema de drenagem, aumentando a resiliência deste.
- Melhora do isolamento térmico dos edifícios.
- Manutenção de habitats para a fauna e a flora.

Já suas desvantagens são:

- Custo inicial de instalação relativamente alto.
- Exigência de estrutura adequada do edifício para suportar o peso adicional.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida na **Tabela 3** do capítulo 5 deste Manual, a cada R\$ 1,00 de custo com telhados verdes, o retorno em benefício será de R\$ 2,00. Portanto, a relação custo-benefício é 2, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.2.1.4 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Pavimentos permeáveis são superfícies do sistema de viário que permitem o processo de infiltração da água da chuva para camadas drenantes, reduzindo o escoamento superficial e retendo parte da carga de lavagem. Os tipos mais comuns são compostos por materiais como concreto permeável, asfalto poroso ou blocos de concreto com espaços preenchidos por agregados, o que permite a infiltração da água.

Eles são empregados em vias de tráfego leve, como estacionamentos, vias de pedestres, ciclovias e ruas de baixo movimento.

Podem ser sistemas fechados impermeáveis, com dreno de fundo e conectados à microdrenagem convencional, ou abertos e com infiltração total para camadas mais profundas do solo.

Sua principal função dentro do sistema é promover a infiltração e retenção da água. O excedente de escoamento superficial que não consegue infiltrar no dispositivo, em condição de saturação, é direcionado para jusante, podendo seguir superficialmente ou diretamente para a rede de microdrenagem, dependendo do tipo de estrutura, sem causar prejuízos. A **Figura 24** apresenta dois exemplos de pavimento permeável: o



FIGURA 24 Representação esquemática de pavimento permeável do tipo asfalto poroso (via à esquerda) e bloco de concreto (via à direita) (FCTH, 2024)

lado esquerdo da via com asfalto poroso e o lado direito com bloco de concreto, respectivamente.

Suas vantagens são:

- Melhora da qualidade da água, promovendo a remoção de sedimentos e de metais pesados do escoamento superficial.
- Redução da velocidade do escoamento, aumentando a resiliência do sistema de drenagem.

Já suas desvantagens são:

- Necessidade de manutenção regular para evitar sua colmatação.
- Menos durabilidade se comparado a pavimentos tradicionais em áreas de alto tráfego.
- Não indicado em altas declividades, devido às altas velocidades do escoamento superficial, o que dificulta a infiltração e aumenta a erosão.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida nesse Manual no item 6 na **Tabela 3**, a cada R\$ 1,00 de custo com pavimentos permeáveis, o retorno em benefício será de R\$ 1,70. Portanto, a relação custo-benefício é 1,7, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.2.1.5 BACIAS DE DETENÇÃO

Bacias de retenção são depressões projetadas para armazenar temporariamente volumes de águas pluviais durante eventos de chuva intensa, liberando-os gradualmente para evitar a sobrecarga nos sistemas de drenagem, aumentando, assim, sua resiliência.

Essas bacias não têm como objetivo reter permanentemente a água. Elas agem somente durante os eventos de chuva, podendo ter esse acúmulo temporário, uma vez que não são sistemas *in line* com a hidrografia. As bacias de retenção podem ser facilmente integradas ao paisagismo local, funcionando tanto como elementos de controle de

cheias quanto como espaços recreativos e de apreciação.

Sua principal função é de retenção de parte do escoamento superficial. No entanto, no caso de sua cobertura ser vegetada, ela promove também a função de retenção de poluentes. Caso sua cobertura seja uma superfície impermeável, é realizado apenas o controle quantitativo do escoamento superficial.

Podem estar conectadas tanto à rede de microdrenagem quanto de macrodrenagem, a depender de seu volume e localização. A **Figura 25** e a **Figura 26** apresentam dois exemplos de bacia de retenção, a primeira com cobertura vegetada e a segunda com superfície impermeável, respectivamente.



FIGURA 25 Representação esquemática de bacia de retenção com cobertura vegetada (FCTH, 2024)

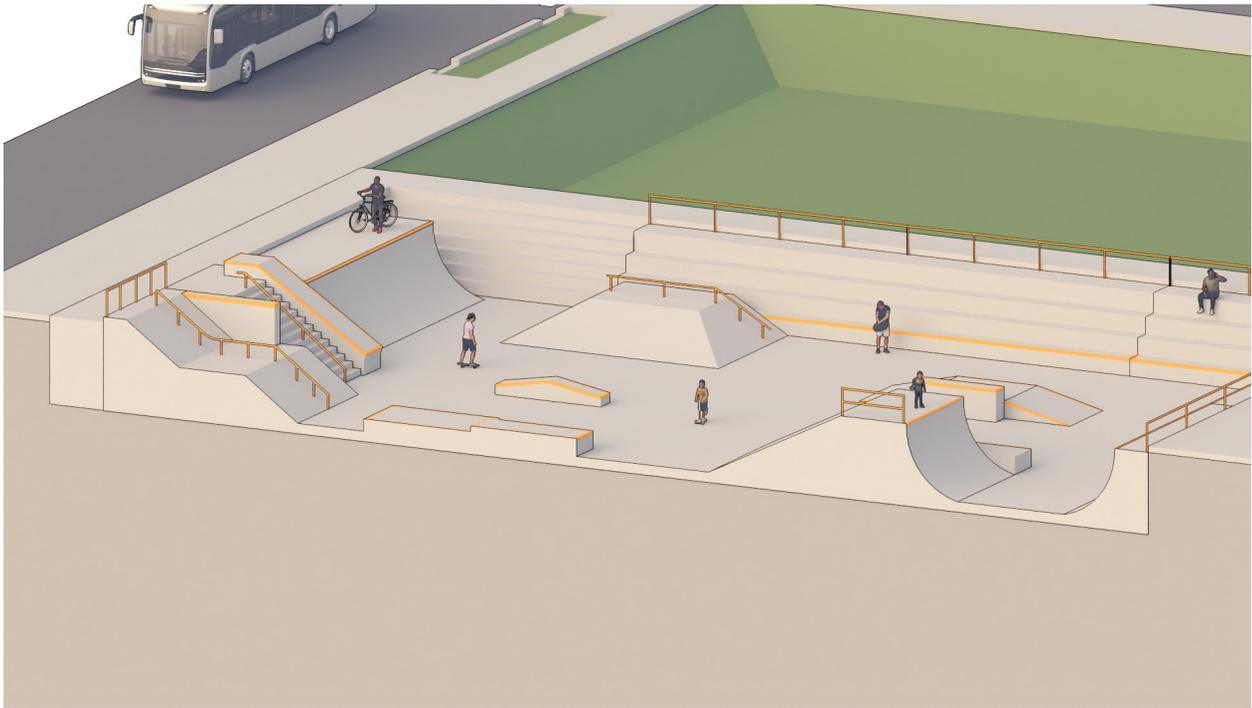


FIGURA 26 Representação esquemática de bacia de retenção com superfície impermeável (FCTH, 2024)

Suas vantagens são:

- Armazenamento de parte do escoamento e redução de sua velocidade, aumentando a resiliência do sistema de drenagem.
- Integração paisagística.
- Melhora da qualidade da água advinda das bacias de retenção com cobertura vegetal, promovendo a remoção de sedimentos e de metais pesados do escoamento superficial.
- Recarga de aquíferos em sistemas abertos.
- Resfriamento do microclima local por meio da evapotranspiração.
- Manutenção de habitats para a fauna e a flora.

Já suas desvantagens são:

- Necessidade de uma área significativa para instalação.
- Necessidade de manutenção para evitar acúmulo de sedimentos, vegetação invasiva e formação de empoçamentos.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida nesse Manual no item 6 na **Tabela 3**, a cada R\$ 1,00 de custo com bacias de retenção, o retorno em benefício será de R\$ 1,70. Portanto, a relação custo-benefício é 1,7, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.2.1.6 FACILITADORES DE INFILTRAÇÃO

Facilitadores de infiltração são escavações preenchidas com material drenante, projetados para aumentar a capacidade de infiltração de águas pluviais pelo solo. Esses dispositivos ajudam a reduzir o escoamento superficial e a reter parte das cargas poluidoras. Entre os facilitadores de infiltração, encontram-se estruturas diversas, com nomenclaturas variadas, como poços, bacias, trincheiras e valas de infiltração, entre outras.

Sua principal função dentro do sistema é promover a infiltração e a retenção da água. O excedente de escoamento superficial que não consegue infiltrar no dispositivo, em condição de saturação, é direcionado para jusante, podendo seguir superficialmente ou diretamente para a rede de microdrenagem, dependendo do tipo de estrutura, sem causar prejuízos. A **Figura 27** apresenta um exemplo de facilitador de infiltração: a trincheira de infiltração.



FIGURA 27 Representação esquemática de trincheira de infiltração (FCTH, 2024)

Suas vantagens são:

- Armazenamento de parte do escoamento e redução de sua velocidade, aumentando a resiliência do sistema de drenagem.
- Melhora da qualidade da água, promovendo a remoção de sedimentos e de metais pesados do escoamento superficial.
- Recarga de aquíferos em sistemas abertos.
- Integração paisagística.

Já suas desvantagens são:

- Exigência de escavações significativas e de cuidados com a localização.
- Necessidade de manutenção regular para garantir sua funcionalidade.
- Não indicado em altas declividades, devido às altas velocidades do escoamento superficial, que dificulta a infiltração e aumenta a erosão.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida nesse Manual no item 6 na **Tabela 3**, a cada R\$ 1,00 de custo com facilitadores de infiltração, o retorno em benefício será de R\$ 1,70. Portanto, a relação custo-benefício é 1,7, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.2.1.7 RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO NO LOTE

Os reservatórios de detenção no lote são pequenas estruturas hidráulicas de reservação projetadas para essa escala, visando armazenar temporariamente as águas pluviais. Podem ser instalados em áreas residenciais, comerciais e em espaços públicos. Contam com algum tipo de barramento que gera uma lâmina d'água permanente.

Existem dispositivos que também promovem a função de detenção no lote por meio do armazenamento de águas pluviais, utilizados em sistemas de reúso de água de chuva. Essas estruturas, cuja função central é o aproveitamento da água armazenada para fins não potáveis, precisam atender a requisitos hidráulicos, estruturais e de qualidade da água, conforme estabelecido na norma NBR 15527 (ABNT, 2019). Essa tipologia não será abordada neste Manual.

Sua principal função dentro do sistema é promover a infiltração e a retenção da água. O excedente de escoamento superficial que não consegue ser armazenado no dispositivo é direcionado para jusante, sem causar prejuízos. Os reservatórios de detenção podem ser do tipo enterrado ou aberto.

Destaca-se a importância da qualidade da vazão de base, especialmente em projetos com espelho d'água permanente. É essencial

controlar a carga de base aportante para evitar a degradação ambiental das áreas adjacentes aos corpos hídricos, planejadas para receber usuários do espaço.

Essa tipologia situa-se em uma zona de transição entre a escala de bairro e de lote e a escala de vale-várzea, de forma que seguem algumas premissas de segurança recomendadas para sistemas de macrodrenagem. Além disso, pode ser integrada a elementos de macrodrenagem, como parques lineares e reservatórios multiuso, ampliando os benefícios de ambos os sistemas.

A **Figura 28** apresenta um exemplo de reservatório de detenção no lote aberto instalado em contexto residencial.

Suas vantagens são:

- Armazenamento de parte do escoamento e redução da velocidade do escoamento, aumentando a resiliência do sistema de drenagem.
- Melhora da qualidade da água, promovendo a remoção de sedimentos e de metais pesados do escoamento superficial.
- Recarga de aquíferos em sistemas abertos.
- Integração paisagística.
- Resfriamento do microclima local por meio da evapotranspiração.



FIGURA 28 Representação esquemática de retenção em lote aberto (FCTH, 2024)

- Manutenção de habitats para a fauna e a flora.

Já suas desvantagens são:

- Capacidade limitada de armazenamento.
- Maior complexidade hidráulica.
- Necessidade de manutenção regular para evitar o acúmulo de sedimentos e garantir sua eficiência.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida nesse Manual no item 6 na **Tabela 3**, a cada R\$ 1,00 de custo com reservatórios de retenção no lote, o retorno em benefício será de R\$ 2,00. Portanto, a relação custo-benefício é 2, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.2.2 GUIA DE PROJETO PARA MEDIDAS ESTRUTURAIS SUSTENTÁVEIS

Este guia oferece detalhes referentes ao planejamento, às diretrizes de dimensionamento e à manutenção dos sete principais tipos de medidas estruturais sustentáveis citados anteriormente: biorretenções, biovaletas, telhados verdes, pavimentos permeáveis, bacias de retenção, facilitadores de infiltração e reservatórios de retenção no lote.

A alocação espacial na escala de bacia desses dispositivos tem sua metodologia de determinação apresentada no Anexo 1. As chamadas áreas tecnicamente viáveis foram calculadas e discutidas com a população.

O guia foi desenvolvido para auxiliar na concepção e implementação dessas infraestruturas, garantindo que sejam projetadas de acordo com as melhores práticas de bioengenharia, otimizando sua operação para realizar sua função principal. Para cada tipo de medida estrutural, o guia abrange conceito, funcionalidade, diretrizes de dimensionamento e orientações para sua operação e manutenção.

Dependendo da tipologia e da área de implantação, devem ser contemplados elementos de inspeção e manutenção preventiva, como poços de visita, tubo de inspeção para tipologias que apresentam camadas de solo, sistemas drenantes e áreas para

manobra de maquinário de maior porte, para tipologias de retenção de volumes maiores, como as bacias de retenção e os reservatórios de retenção.

6.2.2.1 BIORRETENÇÕES

Definição

Trata-se de uma depressão rasa e vegetada, projetada para receber e infiltrar o escoamento das águas pluviais. Essas estruturas podem ser fechadas, com um sistema drenante de fundo conectado à rede de microdrenagem, ou abertas, permitindo a comunicação com camadas mais profundas do solo.

Funcionalidade

Essa medida promove a infiltração e a retenção das águas pluviais, ajudando a remover poluentes e a reduzir o volume de escoamento que chega aos corpos d'água

Configuração

A **Figura 29** e a **Figura 30** apresentam um corte esquemático de um sistema de biorretenção aberto e outro fechado, respectivamente.

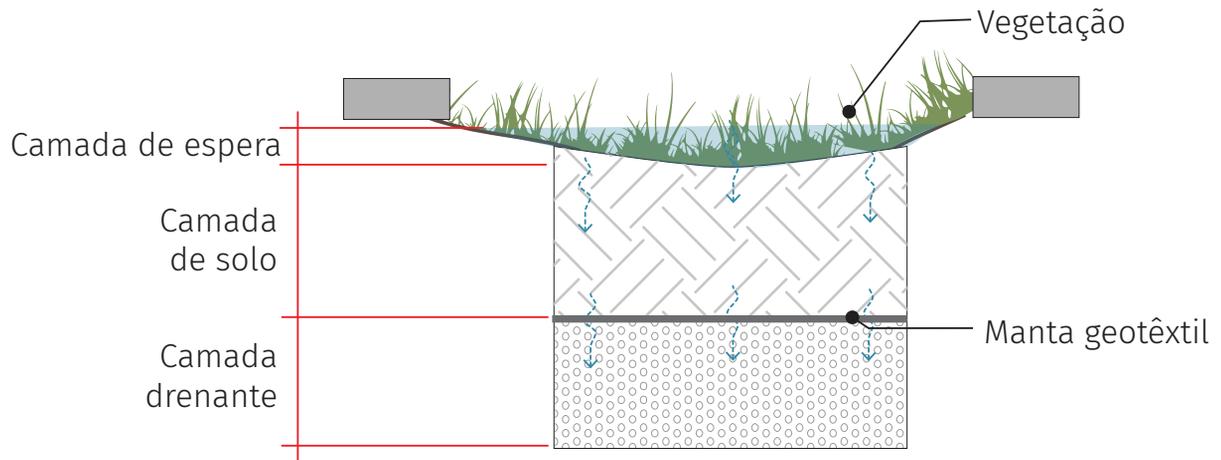


FIGURA 29 Corte esquemático de biorretenção aberta do tipo jardim de chuva (FCTH, 2024)

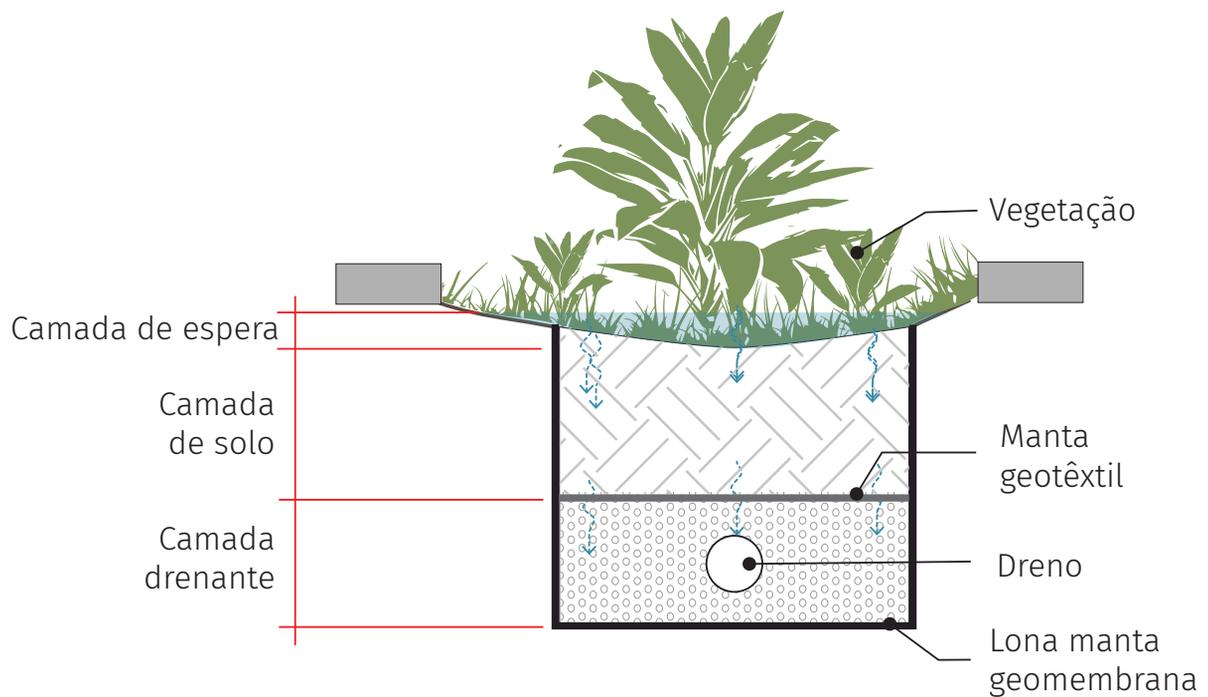


FIGURA 30 Corte esquemático de biorretenção fechada ligada à rede de microdrenagem (FCTH, 2024)

- Camada de espera: entre 15 cm e 30 cm de profundidade, constituída pelo desnível entre a superfície adjacente ao dispositivo e a camada de solo (meio filtrante).
- Camada de solo: com profundidade entre 45 cm e 100 cm, é o meio de menor permeabilidade e de maior poder filtrante, funcionando como substrato para fixação e crescimento da vegetação.
- Manta geotêxtil: malha protetora na zona de transição entre as camadas de solo e drenante.
- Camada drenante: entre 20 cm e 30 cm de profundidade, onde é instalado o tubo do dreno no fundo.
- Geomembrana: lona impermeabilizante que deve ser colocada sobre uma fina camada de areia, para garantir sua integridade estrutural.

As biorretenções conectadas ao sistema de microdrenagem não devem ter profundidade maior que a caixa de passagem do dispositivo de entrada da rede de microdrenagem convencional. A entrada principal deve captar as águas da sarjeta, e entradas complementares podem capturar o escoamento superficial das áreas adjacentes.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

Em geral, a principal variável hidrológica para o dimensionamento de biorretenções é a vazão/o volume de projeto. A abordagem hidrológica desse dimensionamento põe em foco a infiltração e a retenção de poluentes da biorretenção na primeira carga de lavagem.

Dessa forma, com base na literatura e em manuais de drenagem de outros municípios, adota-se para São José dos Campos 2 mm de chuva efetiva como parcela de chuva responsável pela primeira carga de lavagem. A chuva efetiva é a parcela de chuva que se torna de fato escoamento superficial, descontadas as parcelas de infiltração, interceptação e acúmulos em pequenas depressões.

A determinação da chuva de projeto é advinda das características da área de contribuição, fazendo-se necessária a aplicação do método chuva-vazão detalhado no item 2.6.5 do Anexo 2 da Etapa 1 do PDDMAP.

De acordo com as características hidrológicas da bacia e da precipitação, o método calcula uma abstração inicial e um potencial de infiltração (S), considerando a Condição 2 (solos umedecidos) como inicial. Obtendo a parcela de chuva que não se transforma em escoamento superficial, soma-se 2 mm de chuva efetiva a esse valor para obter o acumulado de projeto.

A distribuição temporal da tormenta de projeto segue a intensidade máxima obtida pela equação IDF, considerando uma duração de 10 minutos e Tr 2 anos (1,68 mm/min para o posto de Caçapava, apresentado no item 1.4.2.3 do Anexo 2 da Etapa 1). Dessa forma, distribui-se o acumulado de projeto em intervalos de 1 minuto com no máximo 1,68 mm.

Aplicando esse método para a área de interesse, obtém-se o hidrograma de projeto para a realização do dimensionamento hidráulico da estrutura.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

O dimensionamento hidráulico visa garantir que, no mínimo, o volume gerado pelos 2 mm de chuva efetiva infiltre no sistema. Para isso, deve-se seguir o princípio básico do balanço hídrico do volume de controle, expresso pela Equação da continuidade:

$$Q_{saída} = Q_{entrada} - Q_{infiltração} - \frac{dV}{dt}$$

(EQUAÇÃO 2)

Em que:

- $Q_{saída}$ é a vazão efluente do dispositivo.
- $Q_{entrada}$ é a vazão aportante ao dispositivo.

- $Q_{infiltração}$ é a vazão que passa através do meio de menor condutividade hidráulica no interior do dispositivo (camada de solo – meio filtrante).
- dV/dt é a variação do volume de água armazenado no interior do dispositivo.

A vazão de infiltração é determinada em função de condutividade hidráulica da camada de solo, que é menos permeável que a camada drenante situada logo abaixo dela. Recomenda-se que a representação dessa capacidade, para determinar as características da estrutura, seja feita pelo coeficiente de condutividade hidráulica ou de permeabilidade (k), sempre considerado nas condições de saturação do solo.

Essa condutividade hidráulica pode ser obtida pela correlação com a classificação pedológica do solo para o local, resultado do cruzamento de informações macro (mapa pedológico da região) e micro (perfil do solo local por sondagem).

Como referência para essa estimativa, considera-se o estudo citado no *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal* (Adasa, 2023), que propõe faixas de condutividade hidráulica (taxa de infiltração) para solos classificados como latossolos, classe comum no Município de São José dos Campos – de acordo

com o *Mapa pedológico do Estado de São Paulo* (Rossi, 2017).

- Latossolos – taxa de infiltração típica em superfície: de 10^{-4} m/s a 10^{-7} m/s.
- Taxa de infiltração típica em profundidade de 0,5 m a 2,0 m: de 10^{-6} m/s a 10^{-7} m/s.

Esses valores estão alinhados com experimentos mais robustos apresentados em revisões da literatura (Zhang e Schaap, 2019).

Recomenda-se a utilização de um valor intermediário da faixa recomendada (entre 10^{-5} e 10^{-6}), uma vez que o intuito é aproveitar o próprio solo escavado como meio filtrante, pois seu revolvimento aumenta a permeabilidade. Sondagens são indicadas para auxiliar na determinação desse parâmetro, de acordo com a descrição qualitativa das camadas superiores do solo.

A presença de raízes da vegetação contribui para o aumento dessa condutividade hidráulica. Além disso, outros fatores de segurança de redução da permeabilidade devem ser aplicados no dimensionamento.

Em relação à porosidade do solo, o estudo realizado por Choudhury & Millar (1981), com latossolos amarelos em regiões mais áridas, obteve valores próximos a 40%, com diferença inferior a 1% entre a camada superficial (até 30 cm de profundidade)

e subsuperficial (entre 30 cm e 120 cm de profundidade). Assim, recomenda-se a utilização do valor médio de 40% de porosidade para o solo do Município de São José dos Campos, valor que pode ser aprimorado mediante novos estudos. Em relação à camada drenante, o material recomendado é a brita (tipos 1 ou 2), assumindo uma porosidade média também de 40%, igualmente a favor da segurança.

O objetivo principal será atingido caso a vazão de entrada decorrente dos 2 mm de chuva efetiva seja menor ou igual à soma da vazão infiltrante com a variação do volume armazenado em seu interior. Outras duas verificações hidráulicas precisam ser feitas para garantir uma operação adequada: o sistema deve ser capaz de infiltrar todo o volume superficial de espera em até 24 horas e, para sistemas fechados, garantir o escoamento adequado do dreno de fundo, de modo que este não seja um limitante.

Admitindo uma distribuição uniforme da vazão que chega à área permeável do dispositivo e trabalhando com volumes, para facilitar o entendimento em relação às suas camadas, temos que:

$$V_{\text{afluente}} - V_{\text{infiltrante}} < V_{\text{vazios}} + V_{\text{espera}}$$

(EQUAÇÃO 3)

Em que:

- V_{afluente} é o volume do hidrograma afluente ao dispositivo.
- $V_{\text{infiltrante}}$ é o volume que infiltra e sai pelo dreno do dispositivo.
- V_{vazios} é volume de vazios dos meios filtrante e drenante do sistema.
- V_{espera} é o volume superficial entre o meio filtrante e o topo do sistema.

O volume afluente é a integral no tempo do hidrograma de saída da modelagem hidrológica. O volume infiltrante é o produto da área superficial do dispositivo e da condutividade hidráulica do meio filtrante, multiplicado por um fator de segurança de 0,5, relativo à compactação do solo e colmatagem dos poros.

A condutividade hidráulica considera a condição de saturação do solo. O volume de vazios é a soma dos volumes dos meios filtrante e drenante multiplicada pela média ponderada da porosidade em função do volume de ambos. O volume de espera é o produto da área do dispositivo e da profundidade da camada superficial de espera entre o meio filtrante e o topo do sistema.

As equações a seguir apresentam em linguagem matemática as equações propostas.

$$V_{\text{afluente}} = \sum_1^n Q * \Delta t$$

(EQUAÇÃO 4)

Em que:

- V_{afluente} é o volume do hidrograma afluente ao dispositivo (m^3).
- Q é a vazão em cada intervalo de tempo de 1 a n (m^3/s).
- Δt é o passo de cálculo do hidrograma (s).

$$V_{\text{infiltrante}} = k * A * \Delta T * (h_{MF} + h_{\text{espera}}) / h_{MF} * fs$$

(EQUAÇÃO 5)

Em que:

- $V_{\text{infiltrante}}$ é a volume infiltrante ao dispositivo referente ao hidrograma afluente (m^3).
- k é a condutividade hidráulica do meio filtrante em condição saturada (m/s).
- A é a área superficial do dispositivo (m^2).
- ΔT é a duração do hidrograma (s).
- h_{MF} é a profundidade do meio filtrante (m).
- h_{espera} é a profundidade da camada de espera (m).
- fs é o fator de segurança (igual a 0,5).

$$V_{\text{vazios}} = A * (h_{\text{MF}} + h_{\text{MD}}) * P$$

(EQUAÇÃO 6)

Em que:

- V_{vazios} é o volume de vazios do dispositivo em suas camadas filtrante e drenante (m^3).
- A é a área superficial do dispositivo (m^2).
- h_{MF} é a profundidade do meio filtrante (m).
- h_{MD} é a profundidade do meio drenante (m).
- P é a porosidade média ponderada pelo volume dos meios MF e MD (%).

$$V_{\text{espera}} = A * h_{\text{espera}}$$

(EQUAÇÃO 7)

Em que:

- V_{espera} é o volume de espera do dispositivo em suas camadas filtrante e drenante (m^3).
- A é a área superficial do dispositivo (m^2).
- h_{espera} é a profundidade da camada de espera (m).

A segunda verificação buscar impedir o acúmulo de água na superfície do sistema, evitando a proliferação de vetores em água acumulada, que podem gerar impactos sobre a saúde pública. Para garantir que o sistema

é capaz de infiltrar todo volume superficial de espera em até 24 horas deve atender a seguinte verificação:

$$V_{\text{espera}} < Q_{\text{infiltrante}} * 24h$$

(EQUAÇÃO 8)

Em que:

- V_{espera} é o volume de espera do dispositivo em suas camadas filtrante e drenante (m^3).
- $Q_{\text{infiltrante}}$ é a vazão que infiltra no dispositivo (m^3/s).
- A vazão infiltrante é a divisão do volume infiltrante pela duração do hidrograma ΔT .

A terceira e última verificação é apenas para sistemas de biorretenção fechados, de modo a garantir o escoamento adequado do dreno de fundo, para que este não seja um limitante ao bom funcionamento do sistema. A vazão que passa pelo dreno, tanto para seu interior como de seu interior para a conexão com a microdrenagem, deve ser maior que a vazão infiltrante. Com isso, a verificação deve atender a seguinte equação:

$$Q_{infiltrante} < \text{Mínimo} (Q_{tubo}, Q_{orificios})$$

(EQUAÇÃO 9)

Em que:

- $Q_{infiltrante}$ é o volume de espera do dispositivo em suas camadas filtrante e drenante (m^3).
- Q_{tubo} é a vazão que passa por dentro do tubo (m^3/s).
- $Q_{orificios}$ é a vazão que passa pelos orifícios de entrada do tubo (m^3/s).

Para escoamentos em tubos, a vazão é calculada pela fórmula de Manning, enquanto a vazão através dos orifícios depende da carga sobre eles, da densidade linear de furos no tubo, do diâmetro e do coeficiente de descarga de cada orifício. Considere-se também um fator de segurança de 0,5 para compensar possíveis obstruções dos orifícios ao longo do tempo. As equações a seguir apresentam as fórmulas para a obtenção dessas vazões.

$$Q_{orificios} = C * A_{total} * \sqrt{2 * g * h * f_o}$$

(EQUAÇÃO 10)

Em que:

- $Q_{orificios}$ é a vazão que passa pelos orifícios de entrada do tubo (m^3/s).

- C é o coeficiente de descarga dos orifícios (recomendado: 0,6).
- A_{total} é a área total dos orifícios por onde o escoamento entrará no tubo (m^2).
- g é a aceleração da gravidade (m/s^2).
- h é a profundidade do dispositivo sobre o tubo (m).
- f_o é o fator de obstrução dos orifícios (igual a 0,5).

A área total dos orifícios por onde ocorrerá o escoamento é calculada multiplicando-se a área de cada orifício pelo número total de perfurações. Esse total é obtido como uma matriz de linhas e colunas de orifícios, distribuídos uniformemente na superfície do tubo, com espaçamento constante entre as perfurações. Esse espaçamento geralmente é fornecido pelo fabricante dos tubos perfurados disponíveis no mercado. Assim, para determinar o número total de orifícios, utiliza-se a equação a seguir.

$$A_{total} = A_{orificio} * N_{orificios}$$

(EQUAÇÃO 11)

$$N_{orificios} = (L * \pi D) / E^2$$

(EQUAÇÃO 12)

$$A_{orificio} = \pi * D^2 / 4$$

(EQUAÇÃO 13)

Em que:

- A_{total} é a área total dos orifícios por onde o escoamento entrará no tubo. (m²).
- $A_{orifício}$ é a área de cada orifício (m²).
- $N_{orifício}$ é número total de orifícios (m²).
- L é o comprimento linear do tubo (m).
- D é o diâmetro dos orifícios (m).
- E é o espaçamento entre os orifícios na superfície do tubo.

O comprimento do tubo pode ser considerado igual ao comprimento da biorretenção. Já a vazão do tubo é calculada por uma equação originada da fórmula de Manning:

$$Q_{tubo} = \left(\frac{0,312}{n} \right) * D^{2,67} * I^{0,5}$$

(EQUAÇÃO 14)

Em que:

- Q_{tubo} é a vazão que passa por dentro do tubo (m³/s).
- n é o coeficiente de rugosidade de Manning.
- D é o diâmetro dos orifícios (m).
- I é a declividade do tubo (m/m).

A declividade do tubo não deve passar de 2%, sendo esse o limite máximo recomendado para esse tipo de dispositivo, enquanto

1% é o valor ideal. Tubos poliméricos são geralmente utilizados, e pode-se adotar um valor de 0,01 para a rugosidade de Manning.

Após as verificações, se formar emposamentos prolongados que possam representar riscos à saúde pública, o dispositivo deve garantir sua eficácia em reter a carga de primeira lavagem. Em casos de eventos de chuva mais intensos e volumosos do que a chuva de projeto para a qual o sistema foi dimensionado, o dispositivo permite que o excedente esco superficialmente para a rede de microdrenagem.

Recomenda-se ainda a colocação de seixos com diâmetro entre 7 cm e 12 cm (Department of Environmental Resources, 2009) nas entradas, visando reter sólidos grosseiros e reduzir a velocidade do escoamento, com aproximadamente 20 unidades por entrada.

A seguir, é apresentado um exemplo simplificado de dimensionamento de biorretenção fechada.

Problema

Suponha que, em uma rua designada como área especial para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar uma biorretenção fechada em uma área equivalente à de uma vaga de carro (5 m × 2,5 m). A modelagem hidrológica teve como resultado o hidrograma do escoamento superficial,

conforme apresentado na **Figura 31**, considerando uma chuva efetiva de 2 mm sobre a área de contribuição ao ponto de interesse. Seguindo as diretrizes recomendadas neste Manual, dimensione uma biorretenção conectada à microdrenagem em uma boca-de-lobo cuja caixa de passagem tenha 1 m de profundidade.

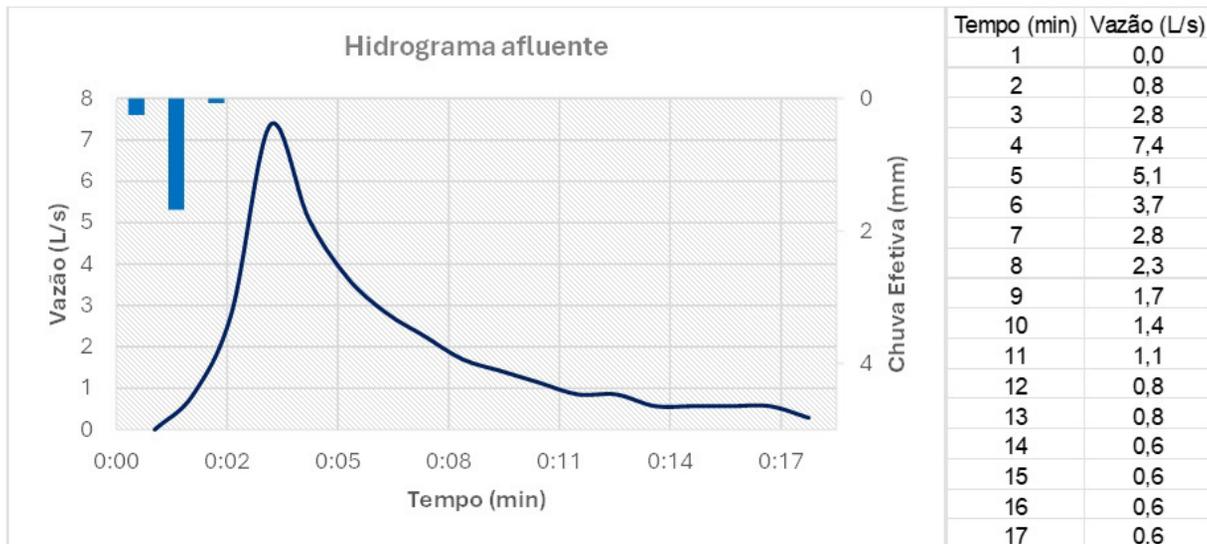


FIGURA 31 Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético) (FCTH, 2024)

Solução

Como a biorretenção está ligada à microdrenagem, sua profundidade máxima é dada pela caixa de passagem da boca-de-lobo de jusante (1 m). Dessa forma, as características e a profundidade propostas para as camadas são:

- Camada de espera = 15 cm de profundidade.
- Camada de solo = 50 cm de profundidade; $5 \cdot 10^{-5}$ de condutividade hidráulica (saturado) e porosidade de 40%.
- Camada de drenante = 30 cm de profundidade e porosidade de 40%.
- O tubo do dreno proposto em uPVC tem 5 m de comprimento, com diâmetro de 50 mm, orifícios de 2 mm de diâmetro e 25 mm de espaçamento entre eles. Sua declividade de fundo é de 1%.

Dessa forma, temos:

$$A = 12,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Duração do hidrograma} = 16 \text{ min}$$

$$\text{Objetivo principal} - \text{Equação (3)}$$

$$\text{Equação (4)}$$

Pelo gráfico do hidrograma afluente –

$$V_{\text{afluente}} = 2 \text{ m}^3$$

$$\text{Equação (5)}$$

$$V_{\text{infiltrante}} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 12,5 \cdot 16 \cdot 60 \cdot (0,5 + 0,15) / 0,5$$

$$* 0,5 = 0,39 \text{ m}^3$$

$$\text{Equação (6)}$$

$$V_{\text{vazios}} = 12,5 \cdot (0,5 + 0,3) \cdot 0,4 = 4 \text{ m}^3$$

$$\text{Equação (7)}$$

$$\text{Vespera} = 12,5 \cdot 0,15 = 1,88 \text{ m}^3$$

$$\text{Equação (3)}$$

$$2 - 0,39 < 4 + 1,88 \Rightarrow 1,61 < 5,88 \text{ (objetivo principal atingido)}$$

Verificação do acúmulo superficial –
Equação (8):

$$1,88 < 0,39 / (16/60) \cdot 24 \Rightarrow 1,88 < 35,1 \text{ (verificação satisfeita)}$$

Verificação do dreno de fundo –
Equação (9):

$$\text{Equação (11)}$$

$$\text{Aorifícios} = \pi \cdot (0,002)^2 / 4 = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{Equação (12)}$$

$$\text{Norifícios} = (5 \cdot \pi \cdot 0,05) / (0,025)^2 = 1257$$

$$\text{Equação (13)}$$

$$\text{Atotal} = 3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 1257 = 0,004 \text{ m}^2$$

$$\text{Equação (10)}$$

$$\text{Qorifícios} = 0,6 \cdot 0,004 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 0,95)^{1/2} \cdot 0,5 = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Equação (14)}$$

$$\text{Qtubo} = (0,312 / 0,01) \cdot (0,05)^{8/3} \cdot 0,01^{1/2} = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Equação (9)}$$

$$0,39 / (16 \cdot 60) < \text{mínimo}(0,003 ; 0,05) \Rightarrow 0,0004 < 0,003 \text{ (verificação satisfeita)}$$

Com o objetivo principal atingido e as duas verificações satisfeitas, as dimensões e características do dispositivo proposto

estão hidraulicamente adequadas às diretrizes deste Manual.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

Normalmente utilizada na avaliação da estabilidade estrutural, a verificação *in loco* da condição do solo por meio de sondagens é recomendável, sendo essa técnica também relevante para estimar a condutividade hidráulica a partir de sua descrição qualitativa.

Além disso, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações contidas no item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.

Operação e manutenção

A manutenção periódica da vegetação e a remoção de sedimentos e resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomenda-se nele ações de limpeza e inspeção mensais e manutenção preventiva com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

O começo da primavera é o momento-chave para manutenções preventivas, uma vez que antecede o ano hidrológico, com início em outubro, quando chuvas mais intensas e frequentes passam a ocorrer. Após tormentas causadoras de algum tipo de falha

observada no sistema, também se recomenda a realização de vistorias extraordinárias.

Ações de limpeza incluem poda da vegetação, remoção de lixo e sedimentos e limpeza do dreno subterrâneo quando existente. Ações de inspeção incluem registros fotográficos gerais da vegetação e de estruturas de entrada, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à remoção de espécies invasoras, ao replantio de espécies danificadas e a reparos estruturais nas fronteiras da escavação. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

TABELA 5 Tabela-resumo sobre biorretenções (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltração e retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: 2 mm de chuva efetiva (primeira carga de lavagem). • Hidráulicas: infiltrar todo o volume dos 2 mm de chuva efetiva; não permitir acúmulo no volume de espera por mais de 24h; e garantir vazão suficiente no dreno de fundo. • Geotécnicas: item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e inspeção mensal. • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano).

6.2.2.2 BIOVALETAS

Definição

Biovaletas são canais vegetados projetados para conduzir e infiltrar o escoamento superficial das chuvas.

Funcionalidade

Essa medida promove a condução do escoamento superficial e sua retenção e infiltração.

Configuração

A **Figura 32** e a **Figura 33** apresentam um corte esquemático do sistema de biovaleta fechada e biovaleta aberta, respectivamente.

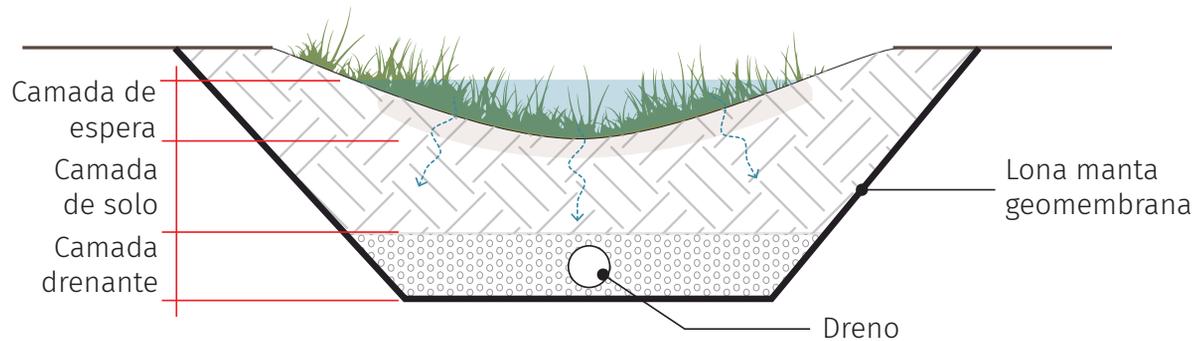


FIGURA 32 Corte esquemático de biovaleta fechada (FCTH, 2024)

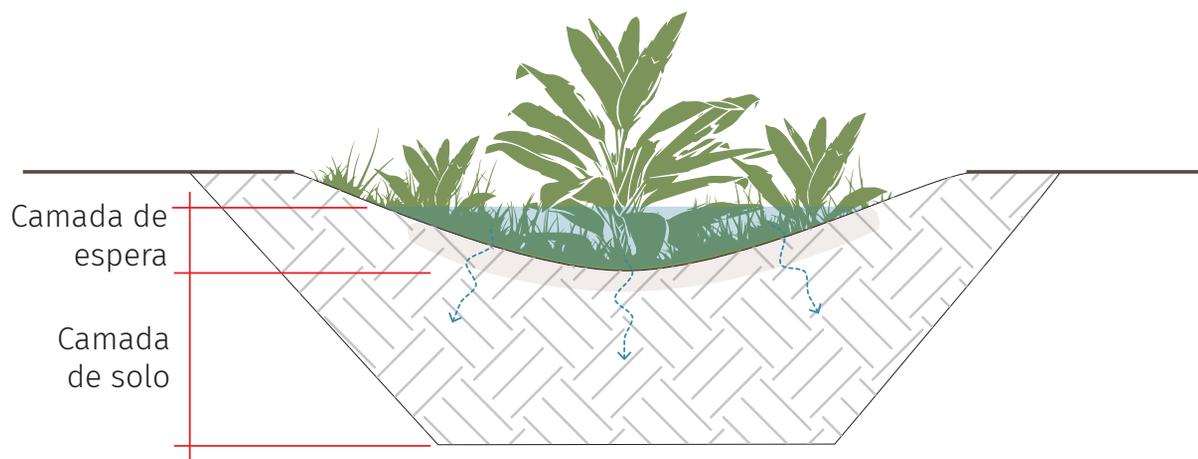


FIGURA 33 Corte esquemático de biovaleta aberta (FCTH, 2024)

- Camada de solo: com profundidade entre 45 cm e 100 cm, funciona como substrato para fixação e crescimento da vegetação.
- Dimensões da seção: considerando uma seção simplificada trapezoidal, a inclinação recomendada do talude é 2H:1V, sendo 1H:1V a inclinação máxima aceitável, com base maior mínima de 1,1 m, base menor mínima de 0,3 m e profundidade mínima de 0,2 m (limites máximos em função do espaço disponível e da vazão a ser atendida).
- Camada drenante: entre 20 cm e 40 cm de profundidade, conforme o diâmetro do tubo. O tubo de drenagem deve ser instalado no fundo, com pelo menos 15 cm de material drenante sobre ele.
- Geomembrana: lona impermeabilizante que deve ser colocada sobre uma fina camada de areia, para garantir sua integridade estrutural.

As biovaletas com sistema drenante de fundo e conectadas ao sistema de microdrenagem não devem ter profundidade maior que a caixa de passagem do dispositivo de entrada da rede de microdrenagem convencional.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

Em geral, a variável hidrológica principal para o dimensionamento das biovaletas é a vazão de projeto. Como a principal função desse dispositivo é a condução do escoamento superficial, a abordagem hidrológica do dimensionamento foca na garantia da capacidade hidráulica do dispositivo para conduzir a vazão de projeto.

Dessa forma, tratando a biovaleta como um elemento de condução da microdrenagem, a diretriz hidrológica a ser seguida é a mesma para os demais elementos da microdrenagem convencional: uma vazão correspondente a uma chuva de Tr 10 anos.

Considerando o exposto no item 6.2.1 da Etapa 1 do PDDMAP e utilizando a Equação IDF de Caçapava, com duração de 10 minutos, temos a intensidade de 2,37 mm/min para uma chuva de Tr 10 anos. O método racional recomendado para determinação da vazão de projeto está detalhado no item 6.2.1.6 do mesmo documento.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

O dimensionamento hidráulico visa escoar a vazão de projeto referente a uma precipitação de Tr 10 anos. Dessa forma, a biovaleta é vista como um canal sustentável

de pequeno porte e dimensionada como tal. Também nela recomenda-se o uso de mantas geotêxtis de reforço para estabilização da vegetação.

No caso de sistemas com dreno de fundo, o dimensionamento da vazão total escoada pelo dispositivo é a soma da água que passa pelo tubo dreno de fundo mais o escoamento superficial sobre a superfície da biovaleta. O cálculo da vazão no tubo dreno é descrito pela Equação (14). Considerando uma borda livre de 5 cm, essa soma precisa ser maior que a vazão de projeto. A seção trapezoidal é a adotada como padrão, mas outras formas também podem ser adotadas mediante um cálculo apropriado.

A infiltração é um dos processos hidráulicos que ocorrem nesse tipo de dispositivo; no entanto, é desconsiderada no dimensionamento hidráulico para simplificação e segurança. Isso garante que uma parte do escoamento superficial escoe ou ocupe os vazios das camadas de solo e material drenante.

A seguir é apresentado um exemplo simplificado de dimensionamento de biovaleta com sistema drenante de fundo.

Problema

Suponha que em determinada via com canteiro central, designada como área especial para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar uma biovaleta com sistema drenante de fundo. A largura máxima possível é de 2,5 m, e a profundidade máxima para deságue a jusante é de 1,3 m.

Da aplicação do método racional para a área de contribuição ao ponto de estudo, a modelagem hidrológica obteve como resultado a vazão de projeto de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Seguindo as diretrizes recomendadas neste Manual, dimensione uma biovaleta que conduzirá o escoamento superficial como parte da rede de microdrenagem sustentável.

Solução

Como a biovaleta proposta é um sistema com dreno de fundo, a soma das vazões da superfície e do tubo drenante deve ser maior que a vazão de projeto – isso em condições de profundidade máxima do escoamento. Dessa forma, as características propostas para a biovaleta são:

- Seção superficial trapezoidal:
 - Profundidade = 0,8 m.
 - Base menor = 0,3 m.

- Inclinação dos taludes = 1,5H:1V.
- Declividade do trecho = 1%.

O tubo dreno proposto é em uPVC e tem diâmetro de 100 mm. Sua declividade é a mesma da superfície e ele é disposto no fundo de uma camada drenante de 25 cm. Dessa forma, temos:

$$Q_{\text{projeto}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vazão superficial – Equação de Chézy-Manning

n de Manning = 0,035 (recomendado para um talude vegetado)

$$I = 0,01 \text{ m/m}$$

Seção proposta: base menor = 0,3 m; profundidade = 0,8 m; e inclinação do talude = 1,5H:1V.

$$\text{Borda livre} = 0,05 \text{ m.}$$

$$A_m = 1,07 \text{ m}^2$$

$$P_m = 3,0 \text{ m}$$

$$R_h = 0,36 \text{ m}$$

Equação (17)

$$Q_{\text{superficial}} = 1,07/0,035 * (0,36)^{2/3} * (0,01)^{1/2} = 1,53 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (desconsiderando a borda livre)}$$

$$V = 1,43 \text{ m/s} \text{ (desconsiderando a borda livre)}$$

Vazão do dreno de fundo:

$$D = 0,05 \text{ m}$$

$$I = 0,01 \text{ m/m}$$

Equação (14)

$$Q_{\text{tubo}} = (0,312/0,01) * (0,1)^{8/3} * 0,01^{1/2} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vazão da biovaleta:

$$Q_{\text{superficial}} + Q_{\text{tubo}} = 1,53 + 0,02 = 1,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

Com $Q_{\text{biovaleta}}$ maior que Q_{projeto} ($1,55 > 1,5$) e a velocidade calculada menor que a máxima recomendada ($1,43 < 2,5$), as condições hidráulicas são atendidas.

Considerando a borda livre de 0,05 m, a profundidade total da biovaleta projetada é de 1,05 m, e sua base maior, de 2,7 m. Essa seção se encaixa no espaço disponível de 3 m de leito maior e 1,3 m de profundidade máxima.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

A manta geotêxtil de reforço é recomendada como estabilizadora tanto da vegetação como do talude. Em caso de escalonamento da declividade por meio de degraus/vertedores, é necessária uma avaliação específica sobre a estabilidade estrutural desses elementos hidráulicos.

Além disso, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações contidas no item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.

Operação e manutenção

A manutenção periódica da vegetação e a remoção de sedimentos e resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomenda-se nele ações de limpeza e inspeção mensais e manutenção preventiva com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

O começo da primavera é o momento-chave para manutenções preventivas, uma vez que antecede o ano hidrológico, com início em outubro, quando chuvas mais intensas e frequentes passam a ocorrer. Após tormentas causadoras de algum tipo de falha observada no sistema, também se recomenda a realização de vistorias extraordinárias.

Ações de limpeza incluem poda da vegetação, remoção de lixo e sedimentos e limpeza do dreno subterrâneo quando existente. Ações de inspeção incluem registros fotográficos gerais da vegetação e de estruturas de entrada, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à remoção de espécies invasoras e à reposição da manta onde houver falhas. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

TABELA 6 Tabela-resumo sobre biovaletas (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Condução do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção.
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: Tr 10 anos. • Hidráulicas: borda livre $\geq 0,05$ m e velocidade máxima de $\leq 2,5$ m/s. • Geotécnicas: uso de manta geotêxtil de reforço (recomendado).
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e inspeção mensal. • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano).

6.2.2.3 TELHADOS VERDES

Definição

São coberturas vegetadas instaladas sobre a laje de edificações e incorporam uma camada de solo vegetado e sistemas de drenagem. Podem ser intensivos ou extensivos.

Funcionalidade

Detenção de parte da água da chuva que incide sobre eles, reduzindo a velocidade com que essa água chega ao sistema de drenagem.

Configuração

A **Figura 34** apresenta um corte esquemático do sistema de telhado verde.

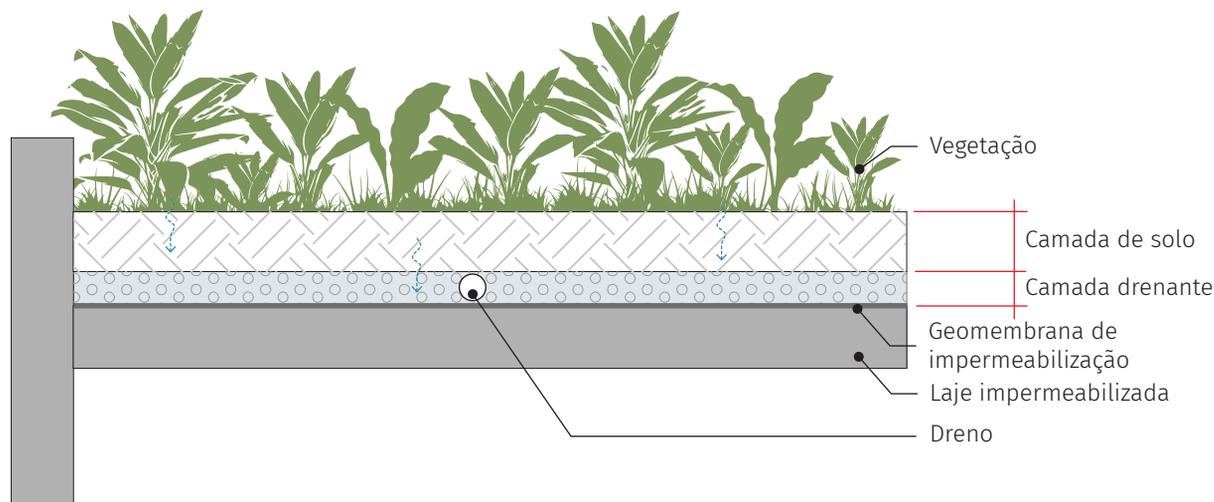


FIGURA 34 Corte esquemático de telhado verde extensivo (FCTH, 2024)

- Camada de solo: entre 10 cm e 50 cm de profundidade, de acordo com o tipo de sistema – o intensivo precisa de uma profundidade maior do que o extensivo.
- Manta geotêxtil: malha protetora na zona de transição entre as camadas de solo e drenante.
- Camada drenante: entre 20 cm e 30 cm de profundidade.
- Geomembrana: lona impermeabilizante que deve ser colocada sobre uma fina camada de areia, para garantir sua integridade estrutural.

Os telhados verdes são projetados normalmente para edificações a serem construídas, mas também é possível instalar tais sistemas em edifícios já construídos, desde que a laje estrutural da cobertura suporte o peso extra das camadas de solo, do material drenante e da água prevista para ser armazenada.

Quanto ao sistema de drenagem convencional para edificações, a norma NBR 10844 (ABNT, 1989) estabelece exigências e critérios para os projetos de drenagem de águas pluviais, visando garantir funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia. O telhado verde deve ser integrado ao sistema convencional de drenagem da cobertura, direcionando tanto as águas drenadas pelo meio filtrante

quanto o excedente da precipitação que não infiltrou, considerando o sistema em estado de saturação.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

De acordo com a norma NBR 10844, o sistema de drenagem de coberturas ou terraços de instalações prediais devem considerar uma precipitação de Tr 5 anos e duração de 5 minutos. Esse contorno hidrológico gera uma vazão de projeto para a qual as superfícies, canaletas e tubulações devem ser dimensionadas, de modo a escoar adequadamente o volume precipitado sobre a cobertura para a microdrenagem no nível do terreno.

O volume armazenado no telhado verde deve reter parte do escoamento e atenuar a velocidade com que a água chega ao sistema de drenagem, sem, com isso, afetar negativamente o desempenho do sistema de drenagem pluvial da cobertura como um todo.

O dimensionamento do volume armazenado deve seguir primeiramente a estrutura de resistência da laje ao sobrepeso causado pelas camadas de solo, drenante e de vegetação crescida. Depois, deve-se dimensionar o volume armazenado no telhado verde como parte do volume útil mínimo

de detenção (VDE) que atende a vazão de controle do deságue em lote (QCE). Tais parâmetros são descritos no item 6.5 da Etapa 1 do PDDMAP, respectivamente nos itens 6.5.4.3 e 6.4.3.3. Esse volume útil mínimo pode ser obtido com a combinação de diferentes tipologias de microdrenagem sustentável que também promovem a detenção do escoamento superficial.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

Do ponto de vista hidráulico, a recomendação para o dimensionamento resume-se a garantir que a vazão pelos extravasores de fundo do sistema seja superior à vazão de infiltração, ditada pela condutividade hidráulica da camada de solo (meio filtrante). Localizados no limite inferior da camada drenante, na fronteira do contêiner que delimita a área vegetada, os extravasores de fundo devem contar com uma grade de proteção, para permitir apenas a passagem da água, e não do material drenante.

Dessa forma, calcula-se a vazão infiltrante de forma simplificada, considerando apenas a precipitação sobre o dispositivo.

$$Q_{infiltrante} = k * A * fs$$

(EQUAÇÃO 15)

Em que:

- $Q_{infiltrante}$ é a vazão infiltrante no dispositivo (m^3/s).
- k é a condutividade hidráulica do meio filtrante em condição saturada (m/s).
- A é a área superficial do dispositivo (m^2).
- fs é o fator de segurança igual a 0,5.

Conhecendo a vazão infiltrante, dimensiona-se a seção do extravasor de fundo, normalmente distribuído em alguns pontos no entorno do sistema. Tal dimensionamento é apresentado no item 6.2.2.5.1 da Etapa 1.

Um exemplo simplificado de dimensionamento hidráulico de telhado verde extensivo pode ser visto a seguir.

Problema

Suponha que o volume útil mínimo para atender a vazão de controle de deságue em lote de um empreendimento é $3 m^3$. No projeto, só será contemplado o telhado verde como tipologia de detenção. A área total da cobertura disponível para implementação do sistema é de $8 m \times 5 m$ ($40 m^2$). Seguindo

as diretrizes recomendadas neste Manual, dimensione um telhado verde que atenderá ao volume útil mínimo indicado.

Solução

Como o telhado verde proposto é um sistema extensivo, suas características e materiais são:

- Largura de 6 m e comprimento de 4 m.
- Camada de solo = 25 cm de profundidade, $2 \cdot 10^{-4}$ de condutividade hidráulica (saturado) e porosidade de 40%.
- Camada drenante = 10 cm de profundidade e porosidade de 40%.
- Seção dos extravasores de fundo retangular:
 - Base = 0,05 m.
 - Altura = 0,05 m.

Dessa forma, temos:

$$VDE = 3 \text{ m}^3$$

Equação (6)

$$V_{\text{vazios}} = 6 * 4 * (0,25 + 0,1) * 0,4 = 3,36 \text{ m}^3$$

Vazão infiltrante

Equação (15)

$$Q_{\text{infiltrante}} = 2 \cdot 10^{-4} * 6 * 4 * 0,5 = 0,0024 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vazão extravasor de fundo

Equação 49 da Etapa 1 (orifício de pequena dimensão)

$$Q_{\text{extravasor}} = 0,61 * 0,05 * 0,05 * (2 * 9,81 * (0,25 + 0,1))^{1/2} = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sendo $Q_{\text{infiltrante}}$ menor que $Q_{\text{extravasor}}$ ($0,0024 < 0,004$), as condições hidráulicas são atendidas com apenas um extravasor. No entanto, recomenda-se a instalação de ao menos dois, para retardar a colmatagem em função da concentração de fluxo. O volume de armazenamento nos vazios dos meios filtrante e drenante é superior ao VDE ($3,36 > 3$), e sua área é inferior à área disponível na cobertura ($24 < 40$).

Operação e manutenção

A manutenção periódica da vegetação e a remoção de sedimentos e resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo.

Os telhados verdes de tipo intensivo apresentam uma operação e uma manutenção específicas dependendo do tipo de plantio realizado, podendo até mesmo contar com sistemas de irrigação.

Já para os telhados verdes extensivos, recomendam-se ações de limpeza e inspeção mensais e manutenção preventiva com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

O começo da primavera é o momento-chave para manutenções preventivas, uma vez

que antecede o ano hidrológico, com início em outubro, quando chuvas mais intensas e frequentes passam a ocorrer. Após tormentas causadoras de algum tipo de falha observada no sistema, também se recomenda a realização de vistorias extraordinárias.

Ações de limpeza incluem poda da vegetação, remoção de lixo e sedimentos e limpeza dos extravasores de fundo. Ações de inspeção incluem checagens da integridade da impermeabilização e da estabilidade estrutural, registros fotográficos gerais da vegetação e de estruturas de saída, além de detalhes de alterações mais evidentes, de

modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à remoção de espécies invasoras, ao replantio de espécies danificadas e a reparos estruturais no contêiner das camadas de solo e drenante. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

TABELA 7 Tabela-resumo sobre telhados verdes (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltração e retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: VDE e QCE (item 6.5 da Etapa 1 do PDDMAP). • Hidráulicas: extravasor de fundo suficiente para a vazão infiltrante.
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e inspeção mensal. • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano).

6.2.2.4 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Definição

São superfícies do sistema de viário que permitem a infiltração da água da chuva para suas camadas drenantes. Os mais comuns são compostos por materiais como concreto permeável, asfalto poroso ou blocos intertravados com espaços preenchidos por agregados que permitem a infiltração da água.

Funcionalidade

Essa medida promove a infiltração e a retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.

Configuração

A **Figura 35** apresenta um corte esquemático do sistema de pavimento permeável.

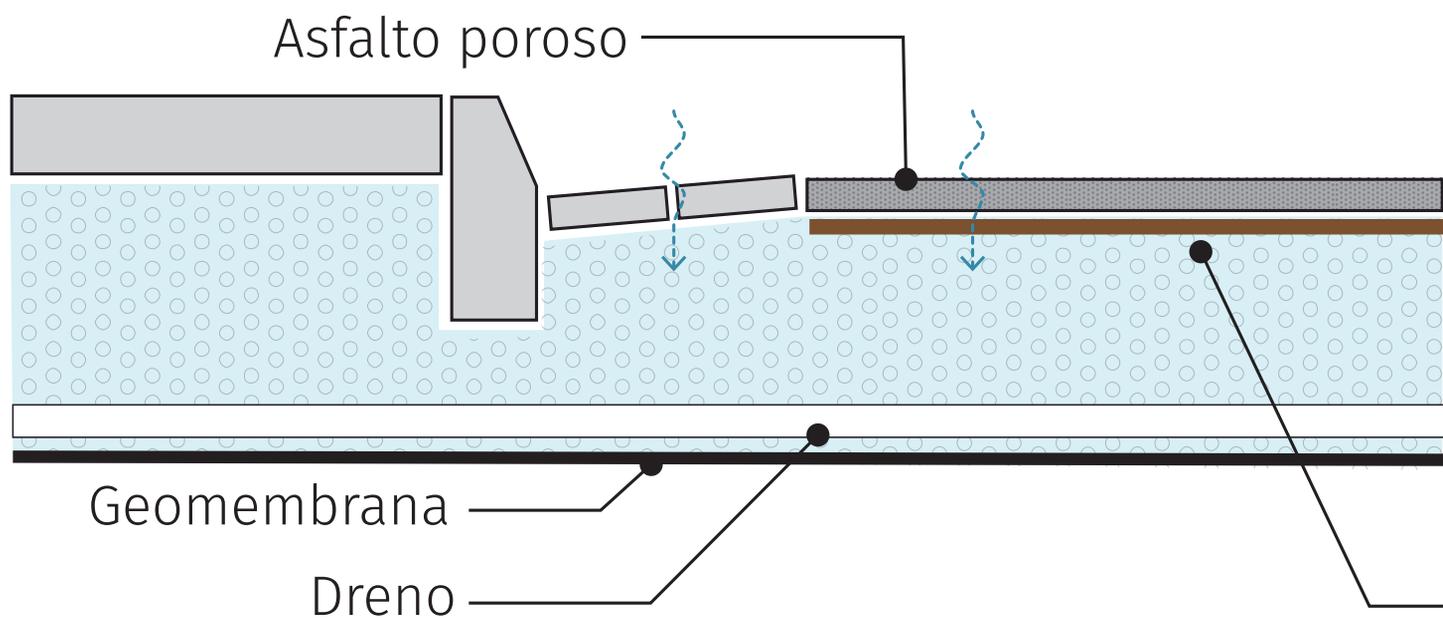
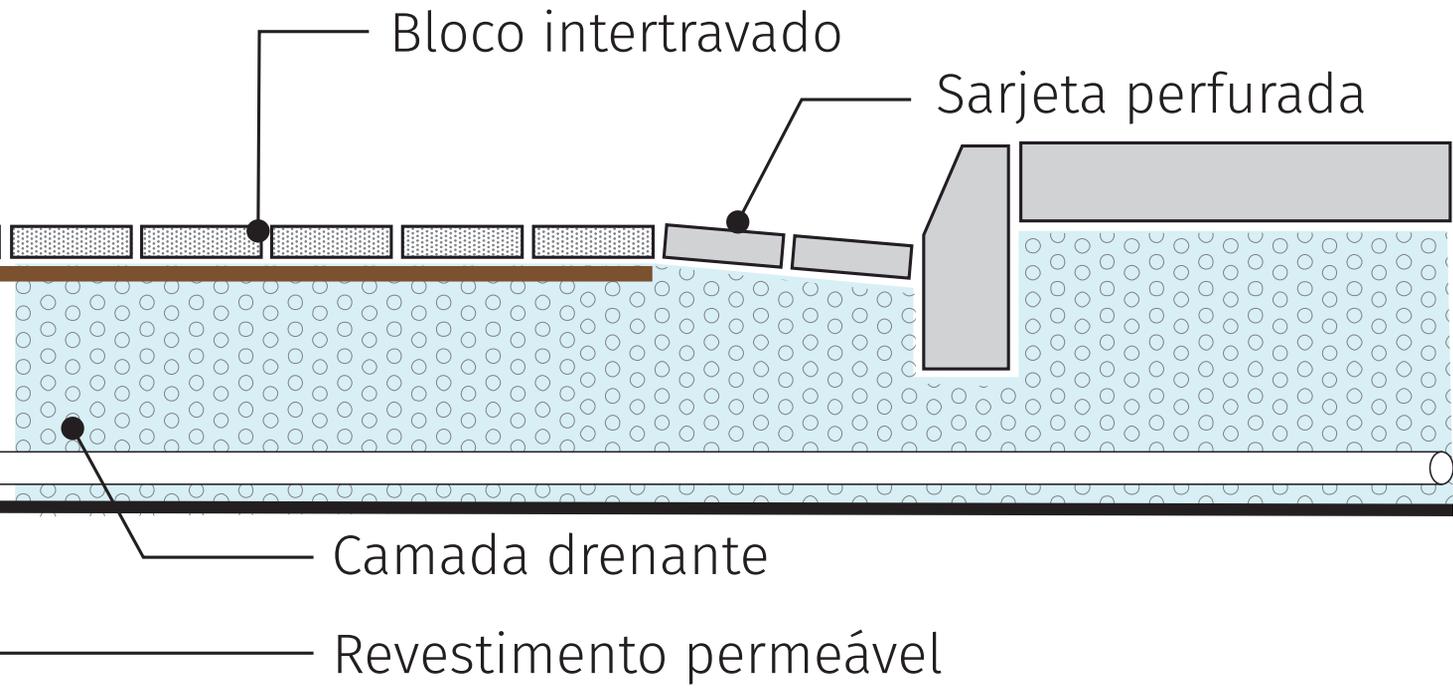


FIGURA 35 Corte esquemático de pavimento permeável do tipo asfalto poroso (via à esquerda) e bloco intertravado (via à direita) (FCTH, 2024)



- Camada de revestimento permeável: entre 60 mm e 100 mm.
- Camada de assentamento: entre 20 mm e 60 mm.
- Camada de armazenamento: entre 20 cm e 30 cm.
- Geomembrana: lona impermeabilizante que deve ser colocada sobre uma fina camada de areia, para garantir sua integridade estrutural.

Os materiais do revestimento permeável e da camada de armazenamento devem estar de acordo a NBR 16416 (ABNT, 2015), que estabelece os requisitos para projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto.

Esses dispositivos podem ser instalados tanto no leito carroçável como na calçada, com sarjetas perfuradas para permitir a infiltração do escoamento que os atinge. Esse arranjo permite direcionar também o escoamento superficial de lotes lindeiros para a rua.

Há sistemas abertos de pavimentos permeáveis, mas é recomendado que eles sejam construídos com sistema fechado impermeável e conectado à microdrenagem. A NBR 16416 determina que não se utilizem sistemas abertos para a faixa de condutividade hidráulica indicada para o solo do

distrito urbano de São José dos Campos (de 10^{-4} m/s a 10^{-7} m/s). Logo, as recomendações feitas a seguir são para sistemas fechados.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

A norma preconiza que a tormenta de projeto seja de Tr 10 anos e duração mínima de 1 hora. A abordagem quantitativa trata o dispositivo como parte da rede de microdrenagem convencional, com foco na condução do escoamento superficial. No entanto, também é possível uma abordagem voltada à qualidade da água, como ocorre com outros dispositivos de infiltração e retenção. Dessa forma, recomenda-se dimensionar dispositivos de pavimento permeável segundo o exposto nas diretrizes de dimensionamento hidrológico do item “Biorretenções”.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

Semelhante ao indicado para a tipologia de biorretenção, o dimensionamento hidráulico para pavimentos permeáveis visa garantir que, no mínimo, o volume gerado por 2 mm de chuva efetiva infiltre no sistema, além de assegurar o desempenho do sistema drenante de fundo. Recomenda-se, portanto, utilizar as diretrizes apresentadas no item

"Biorretenções" para o dimensionamento hidráulico, adaptando-as às camadas específicas dos pavimentos permeáveis.

Sobre a camada de armazenamento, a NBR 16416 especifica o parâmetro Índice de vazios $\geq 32\%$ para a porosidade do material dessa camada. A equação a seguir expressa a relação entre esse índice e a porosidade do material.

$$n = \frac{e}{1+e}$$

(EQUAÇÃO 16)

Em que:

- n é a porosidade do meio.
- e é o índice de vazios.

Um exemplo simplificado de dimensionamento de pavimento permeável fechado é apresentado a seguir.

Problema

Suponha que, em uma rua designada como área especial para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar um sistema de pavimento permeável fechado em uma área de $7,5 \text{ m} \times 20 \text{ m}$. Esse sistema será instalado em uma via local, integrando o passeio e as sarjetas. A modelagem hidrológica resultou no hidrograma de escoamento superficial apresentado pela **Figura 36**, relativo a 2 mm de chuva efetiva sobre a área de contribuição para o ponto de interesse. Seguindo as diretrizes recomendadas neste Manual, dimensione um pavimento permeável conectado à microdrenagem em posto de visita, cuja caixa de passagem tem 1 m de profundidade.

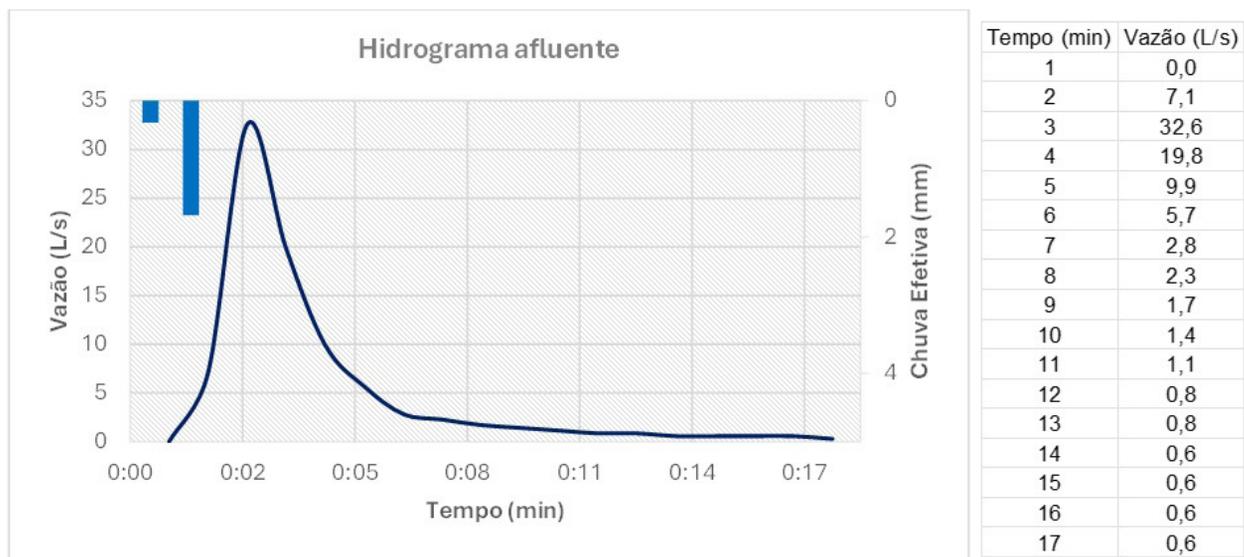


FIGURA 36 Resultados da modelagem hidrológica para o dimensionamento hidráulico de um sistema de infiltração (exemplo hipotético) (FCTH, 2024)

Solução

Com o pavimento permeável ligado à microdrenagem, sua profundidade máxima é dada pela caixa de passagem da boca-de-lobo de jusante (1 m). Dessa forma, a profundidade e a característica propostas para as camadas são:

- Camada de revestimento permeável = 8 cm de profundidade,
- Camada de armazenamento = 20 cm de profundidade, 10^{-3} de condutividade hidráulica (saturado) e índice de vazios de 0,4.

O tudo dreno proposto em uPVC tem 20 m de comprimento, com diâmetro de 100 mm, orifícios com 2 mm de diâmetro e 25 mm de

espaçamento entre eles. Sua declividade de fundo é de 1%. Dessa forma, temos:

$$A = 150 \text{ m}^2$$

$$\text{Duração do hidrograma} = 16 \text{ min}$$

$$\text{Objetivo principal Equação (3)}$$

$$\text{Equação (4)}$$

Pelo gráfico do hidrograma afluente –

$$V_{\text{afluente}} = 5,3 \text{ m}^3$$

$$\text{Equação (5)}$$

$$V_{\text{infiltrante}} = 10^{-3} * 150 * 16 * 60 * 0,2 * 0,5 = 14,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Equação (16)}$$

$$n = 0,4 / (1 + 0,4) = 0,28$$

$$\text{Equação (6)}$$

$$V_{\text{vazios}} = 150 * 0,2 * 0,28 = 8,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Equação (3)}$$

$5,3 - 14,4 < 8,4 \Rightarrow 5,3 < 22,8$ (objetivo principal atingido)

Verificação do dreno de fundo Equação (9):

Equação (11)

$$A_{\text{orifícios}} = \pi * (0,002)^2 / 4 = 3,14 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

Equação (12)

$$N_{\text{orifícios}} = (20 * \pi * 0,05) / (0,025)^2 = 5028$$

Equação (13)

$$A_{\text{total}} = 3,14 * 10^{-6} * 5028 = 0,016 \text{ m}^2$$

Equação (10)

$$Q_{\text{orifícios}} = 0,6 * 0,016 * (2 * 9,81 * 0,95)^{1/2} * 0,5 = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Equação (14)

$$Q_{\text{tubo}} = (0,312 / 0,01) * (0,1)^{8/3} * 0,01^{1/2} = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$$

Equação (9)

$$14,4 / (16 * 60) < \text{mínimo}(0,021; 0,2) \Rightarrow 0,015 < 0,021 \text{ (verificação satisfeita)}$$

Estando o objetivo principal atingido e as duas verificações satisfeitas, as dimensões e características do dispositivo proposto estão hidraulicamente adequadas às diretrizes deste Manual.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

Normalmente utilizada na avaliação da estabilidade estrutural, a verificação *in loco* da condição do solo por meio de sondagens é recomendável, sendo essa técnica também

relevante para estimar a condutividade hidráulica a partir de sua descrição qualitativa e apontar a profundidade do lençol freático. A norma NBR 16416, por sua vez, indica uma distância mínima entre o nível do lençol freático e a base do pavimento permeável.

Além disso, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações contidas no item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.

Operação e manutenção

A manutenção periódica e a remoção de sedimentos e resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomenda-se nele ações de limpeza e inspeção semestrais e manutenção preventiva com frequência anual, preferencialmente no mês de setembro, antes do início da estação chuvosa. Após tormentas causadoras de algum tipo de falha observada no sistema, também se recomenda a realização de visitas extraordinárias.

Ações de limpeza incluem varrição e limpeza do dreno subterrâneo. Ações de inspeção incluem registros fotográficos gerais da vegetação e de estruturas de entrada, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes

ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à limpeza com fluxo de alta pressão e a reparos estruturais para segurança do tráfego. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

TABELA 8 Tabela-resumo sobre pavimentos permeáveis (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltração e retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: 2 mm de chuva efetiva (primeira carga de lavagem). • Hidráulicas: infiltrar todo o volume dos 2 mm de chuva efetiva e garantir vazão suficiente no dreno de fundo. • Geotécnicas: 0,6 m de distância mínima entre a base do dispositivo e o lençol freático. • Item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e inspeção semestral. • Manutenção preventiva anual (em setembro).

6.2.2.5 BACIAS DE DETENÇÃO

Definição

São depressões projetadas para armazenar temporariamente volumes de águas pluviais durante eventos de chuva intensa. Essas bacias não objetivam reter a água permanentemente, mas agir somente durante a precipitação, podendo gerar um acúmulo temporário.

Funcionalidade

Essa medida promove a detenção do escoamento superficial, além de proporcionar infiltração e retenção, especialmente no caso de coberturas permeáveis e vegetadas.

Configuração

A **Figura 37** apresenta um corte esquemático do sistema de bacia de detenção.

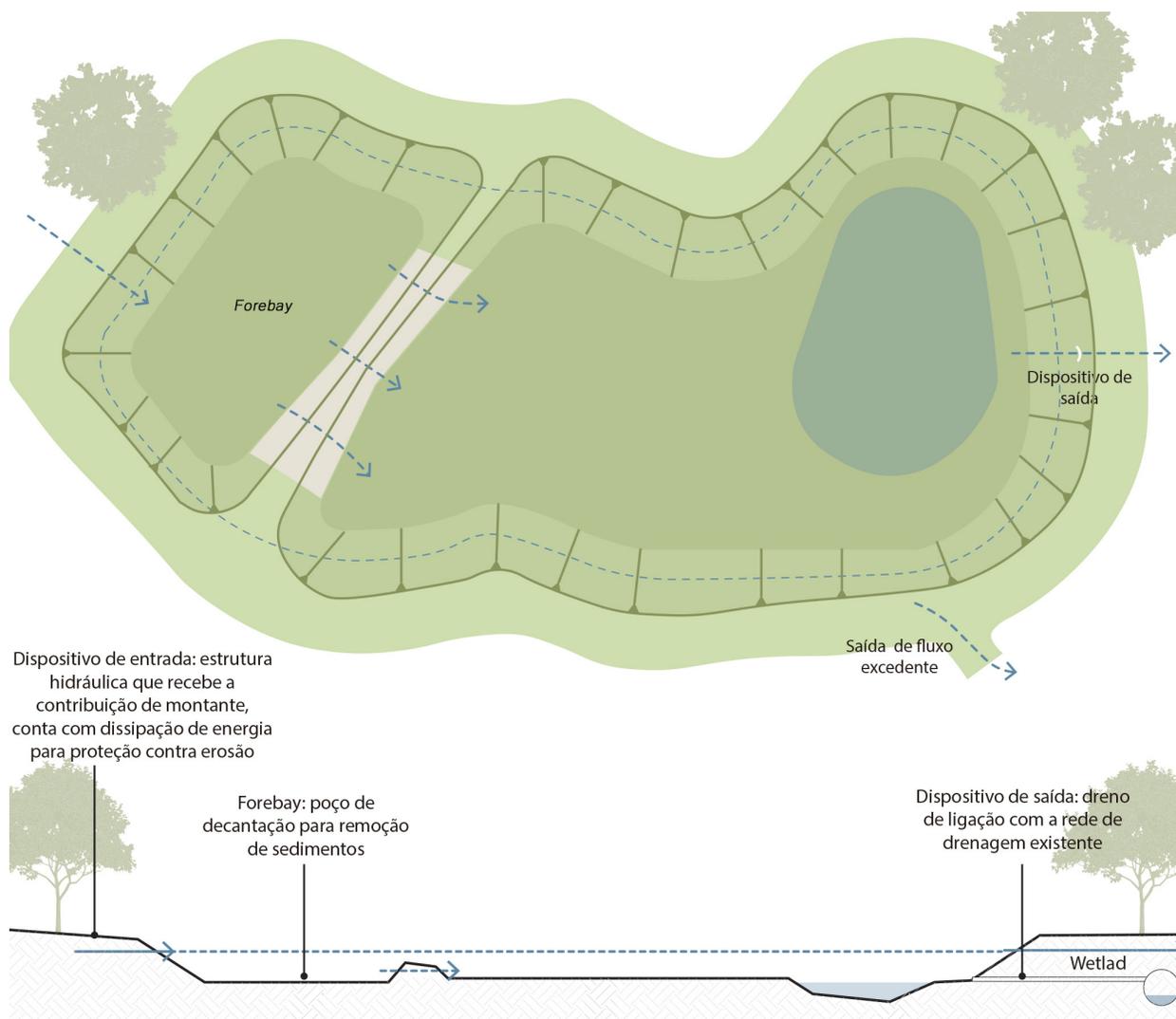


FIGURA 37 Corte esquemático de bacia de retenção com cobertura vegetalada (FCTH, 2024)

- Dispositivo de entrada: estrutura hidráulica que recebe a contribuição de montante e conta com dissipação de energia contra erosão.
- *Forebay*: poço de decantação para a remoção de sedimentos.
- Dispositivo de saída: dreno de ligação com a rede de drenagem.

As bacias de retenção devem estar conectadas ao sistema de drenagem, de modo que sua profundidade máxima esteja alinhada com a geratriz inferior do componente na rede a jusante. A entrada da bacia deve receber as águas da sarjeta e de outras entradas complementares para captar o escoamento superficial das áreas adjacentes – preferencialmente em poucos pontos. Recomenda-se também o uso de mantas geotêxteis de reforço para estabilizar a vegetação e proteger taludes mais íngremes ao redor de seu contorno.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

O volume armazenado na bacia de retenção deve ser dimensionado como parte do Volume Útil Mínimo de Retenção (VDE) para atender a Vazão de Controle do Deságue em Lote (QCE). Tais parâmetros são descritos no item 6.5 da Etapa 1 do PDDMAP, respectivamente

nos itens 6.5.4.3 e 6.4.3.3. Esse volume útil mínimo pode ser obtido com a combinação de diferentes tipologias de microdrenagem sustentável que também promovem a retenção do escoamento superficial.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

Para esse dispositivo, o dimensionamento do sistema de drenagem de fundo considera a abordagem apresentada no item 6.4.5.2 da Etapa 1 do PDDMAP. A Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo (QRL) é calculada em função da área ocupável do lote e do uso do solo da bacia de contribuição a montante.

Dessa forma, para veicular a vazão máxima obtida com carga a montante e máxima profundidade do volume de armazenamento, dimensiona-se a seção do dreno de fundo considerando 5 cm de borda livre de segurança. O cálculo da vazão pode ser feito pelo equacionamento exposto no item 6.2.2.5.1 da Etapa 1.

Considerando a profundidade máxima de armazenamento, é indicado o uso de *forebays* com seixos de diâmetro variando entre 13 cm e 20 cm em todas as entradas. A soma da área dos *forebays* deve corresponder a 10% da área total da bacia de retenção, garantindo a eficiência na captação do escoamento superficial.

Recomendam-se ainda alas de lançamento para o dispositivo de saída, como explicitado no item 6.4.3.6 da Etapa 1.

Um exemplo simplificado de dimensionamento hidráulico de uma bacia de retenção do tipo vegetada é apresentado a seguir.

Problema

Suponha que, em determinada rotatória designada como área especial para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar uma bacia de retenção com sistema drenante de fundo. A rotatória é uma circunferência com 20 m de diâmetro; a profundidade máxima para deságue na rede de drenagem a jusante é de 1,1 m; e a Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo (QRL) é de 0,35 m³/s. Seguindo as diretrizes recomendadas neste Manual, dimensione uma bacia de retenção para um Volume Útil Mínimo de Retenção (VDE) de 20 m³, sabendo que não há outra tipologia prevista para atendimento do VDE.

Solução

Na condição de profundidade máxima da bacia, a vazão do tubo drenante deve ser maior que a QRL. Dessa forma, as características propostas para a bacia são:

Volume em forma de tronco cônico:

- Profundidade = 1 m.
- Diâmetro circunferência da base = 14 m.
- Inclinação taludes = 2H:1V.

O tubo dreno proposto em PEAD tem diâmetro de 500 mm. Considerado um tubo muito curto, sua declividade é de 1%. Dessa forma, temos:

- QRL = 0,35 m³/s
- Vazão dreno de fundo Equação 49 Etapa1 PDDMAP.
- D = 0,3 m
- Cd adotado = 0,6
- $Q_{\text{dreno}} = 0,6 * \pi * D^2 / 4 * (2 * 9,81 * 0,95)^{1/2}$
= 0,19 m³/s

Sendo Q_{dreno} inferior a QRL (0,19 < 0,35), propõe-se para atender as condições hidráulicas a utilização de duas células de D = 0,3 m em paralelo.

Considerando a borda livre de 0,05 m, o volume de armazenamento da bacia é de 21,9 m³, maior que o VDE (20 m³), e seu diâmetro superficial é de 18 m, inferior ao diâmetro da rotatória (20 m) e, portanto, se encaixando no espaço disponível.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

A verificação *in loco* das condições do solo por meio de sondagens é recomendada para avaliar a resistência a escorregamentos e à erosão do solo. A profundidade máxima recomendada para essa tipologia é de 1,5 m, garantindo a segurança do talude sobre o dreno de fundo e mantendo uma distância mínima de 0,6 m do lençol freático. A inclinação recomendada para taludes de solo natural é de 2H:1V.

Para declividades entre 2H:1V e 1H:1V, aconselha-se o uso de mantas geotêxteis de reforço para estabilização do talude e da vegetação. Sistemas com superfícies duras podem assumir geometrias com paredes verticais, desde que sejam acompanhados de avaliações geotécnicas e estruturais específicas para sua implementação.

Além disso, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações contidas no item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.

Operação e manutenção

A manutenção periódica da vegetação e a remoção de sedimentos e resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomenda-se nele ações de limpeza e inspeção mensais e manutenção preventiva

com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

A manutenção periódica da vegetação e a remoção de sedimentos e resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomenda-se nele ações de limpeza e inspeção mensais e manutenção preventiva com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

Ações de limpeza incluem poda da vegetação, remoção de lixo e sedimentos e limpeza do dreno subterrâneo. Ações de inspeção incluem registros fotográficos gerais da vegetação e de estruturas de entrada e saída, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à remoção de espécies invasoras, ao replantio de espécies danificadas e a reparos estruturais nas fronteiras da escavação. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

TABELA 9 Tabela-resumo sobre bacias de retenção (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Detenção do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção, no caso de cobertura permeável e vegetada.
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: VDE e QRL (item 6.4 da Etapa 1 do PDDMAP). • Hidráulicas: garantir vazão suficiente no dreno de fundo. • Geotécnicas: taludes de solo natural de 2H:1V, 1H:1V com manta geotêxtil e paredes verticais mediante estudo específico (item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP).
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e inspeção mensal. • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano).

6.2.2.6 FACILITADORES DE INFILTRAÇÃO

Definição

São escavações preenchidas com material drenante, projetadas para aumentar a capacidade de infiltração pelo solo. Englobam estruturas diversas, com nomenclaturas variadas, como poços, bacias, trincheiras e valas de infiltração, entre outras. Sua principal função é infiltrar e reter as águas pluviais, de modo que o excedente do escoamento superficial não consiga infiltrar-se no dispositivo.

Funcionalidade

Essa medida promove a infiltração e a retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.

Configuração

A **Figura 38**, a **Figura 39** e a **Figura 40** apresentam um corte esquemático dos facilitadores de infiltração poço, trincheira e bacia de infiltração, respectivamente.

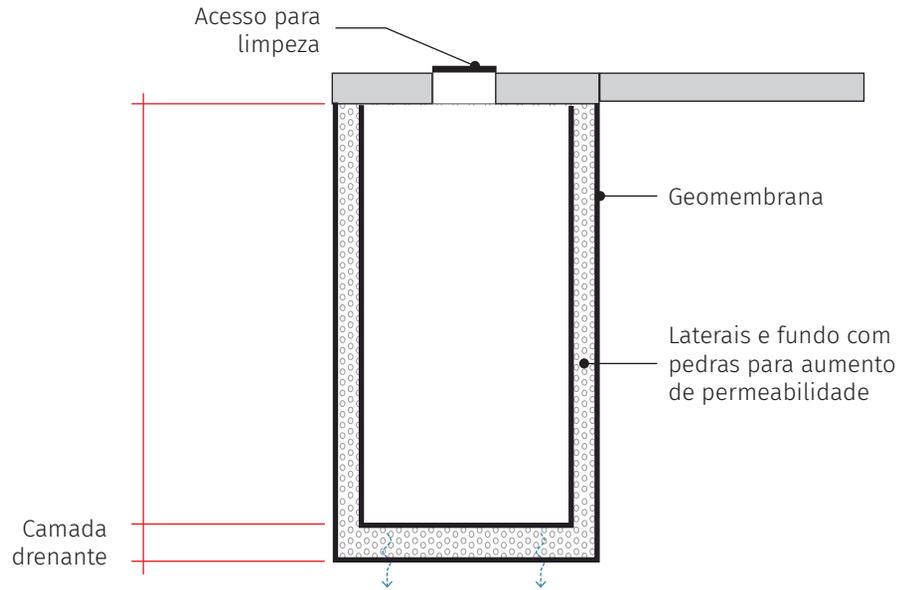


FIGURA 38 Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo poço (FCTH, 2024)

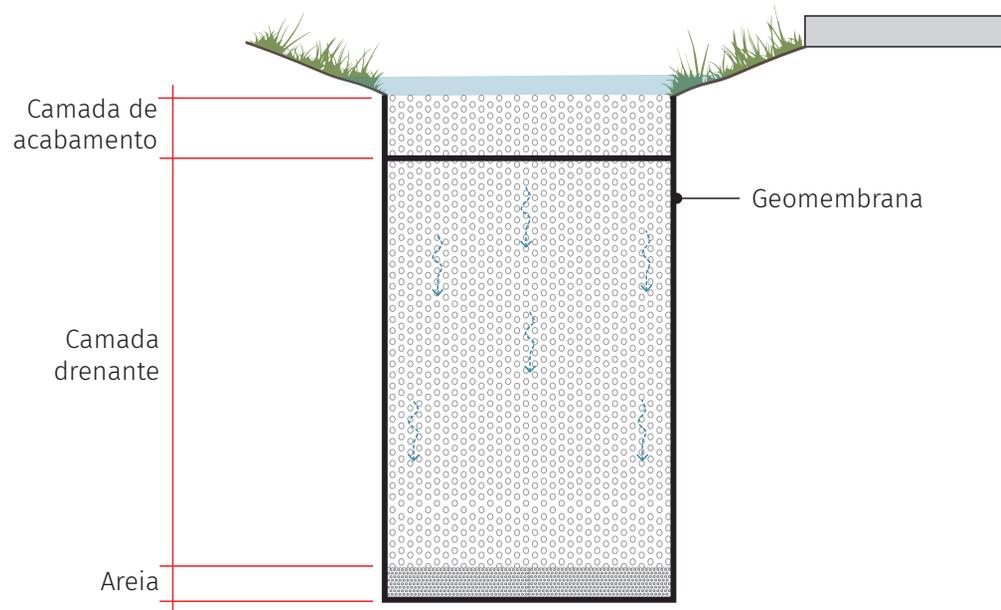


FIGURA 39 Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo trincheira (FCTH, 2024)

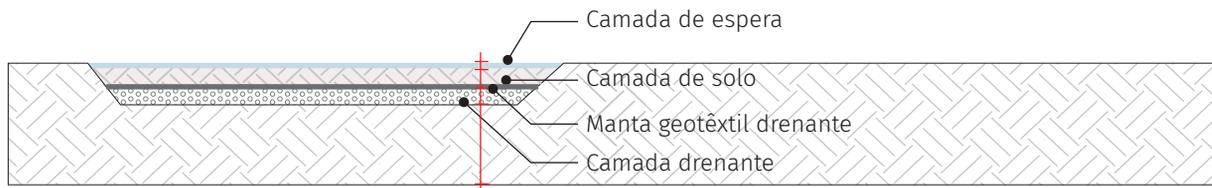


FIGURA 40 Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo bacia (FCTH, 2024)

- Camada de espera: até 15 cm de profundidade.
- Camada drenante: entre 40 cm e 100 cm de profundidade.
- Geomembrana: lona impermeabilizante que deve ser colocada sobre uma fina camada de areia, para garantir sua integridade estrutural.

Os facilitadores de infiltração conectados ao sistema de microdrenagem não devem ter profundidade maior que a caixa de passagem do dispositivo de entrada da rede de microdrenagem convencional. A entrada principal pode captar as águas da sarjeta, e entradas complementares podem capturar o escoamento superficial das áreas adjacentes, de modo a cobrir uma área de contribuição maior quando viável.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

Como as principais funções desse dispositivo são a infiltração e a retenção, seu dimensionamento hidrológico deve seguir o exposto no item “Biorretenções”, técnica cujo objetivo também é a retenção da carga da primeira lavagem. Assim, o volume de escoamento superficial afluente ao dispositivo é calculado com base em 2 mm de chuva efetiva para seu dimensionamento hidráulico.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

Semelhante ao indicado para a tipologia de biorretenção, o dimensionamento hidráulico para facilitadores de infiltração visa garantir que, no mínimo, o volume gerado por 2 mm de chuva efetiva infiltre no sistema, além de assegurar o desempenho do sistema drenante de fundo. Recomenda-se, portanto, utilizar as diretrizes apresentadas no item “Biorretenções” para o dimensionamento

hidráulico, adaptando-as às camadas específicas dos facilitadores de infiltração.

Um exemplo simplificado de dimensionamento de trincheira de infiltração fechada é apresentado a seguir.

Problema

Suponha que, em uma área designada para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar um sistema de trincheira de infiltração fechada em uma área de 1,5 m ×

6 m de uma via local, mantendo-se o funcionamento adequado do viário. A modelagem hidrológica teve como resultado o hidrograma do escoamento superficial, conforme apresentado na **Figura 41**, considerando uma chuva efetiva de 2 mm sobre a área de contribuição ao ponto de interesse. Seguindo as diretrizes recomendadas neste Manual, dimensione uma trincheira de infiltração conectada à microdrenagem em um posto de visita cuja caixa de passagem tenha 1 m de profundidade.

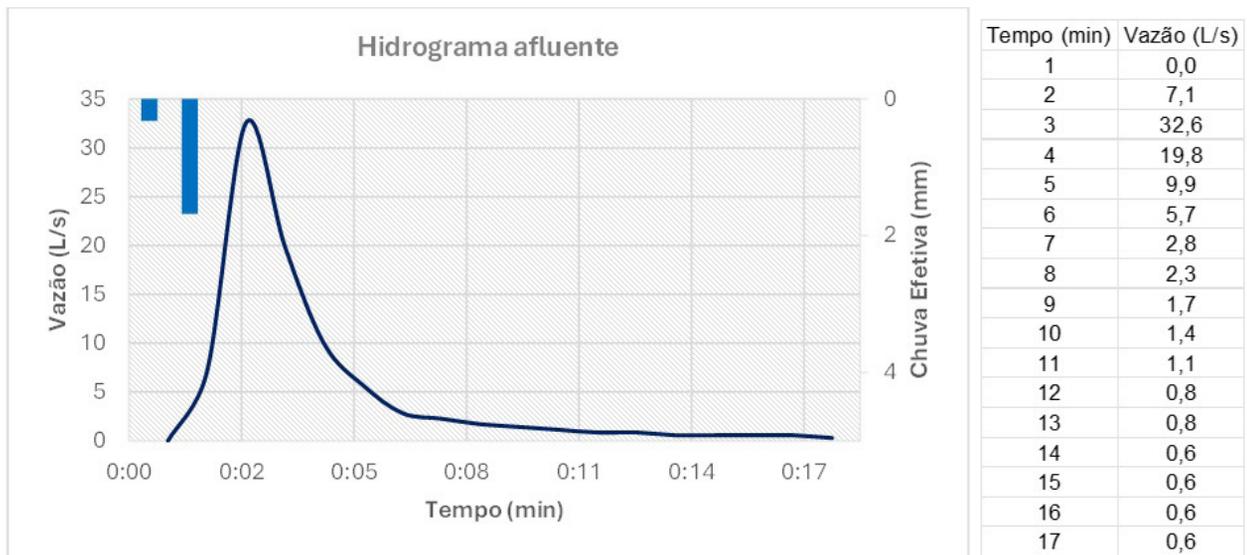


FIGURA 41 Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de um sistema de infiltração (exemplo hipotético) (FCTH, 2024)

Solução

Sendo a trincheira de infiltração ligada à microdrenagem, sua profundidade máxima é dada pela caixa de passagem do posto de visita (1 m). Dessa forma, a profundidade e as características propostas para as camadas são:

- Camada de espera = 10 cm de profundidade.
- Camada drenante = 80 cm de profundidade, 10^{-3} de condutividade hidráulica (saturado) e porosidade de 40%.

O tudo dreno proposto em uPVC tem 6 m de comprimento, com diâmetro de 100 mm, orifícios com 2 mm de diâmetro e 25 mm de espaçamento entre eles. Sua declividade de fundo é de 1%. Dessa forma, temos:

$$A = 9 \text{ m}^2$$

$$\text{Duração do hidrograma} = 16 \text{ min}$$

$$14,4 / (16 * 60) < \text{mínimo}(0,021 ; 0,2) \Rightarrow 0,015$$

< 0,021 (verificação satisfeita)

Objetivo principal Equação (3)

Equação (4)

Pelo gráfico do hidrograma afluente –

$$V_{\text{afluente}} = 5,3 \text{ m}^3$$

Equação (5)

$$V_{\text{infiltrante}} = 10^{-3} * 9 * 16 * 60 * (0,8 + 0,1) / 0,8 * 0,5 = 4,8 \text{ m}^3$$

Equação (6)

$$V_{\text{vazios}} = 9 * 0,8 * 0,4 = 3,89 \text{ m}^3$$

Equação (7)

$$V_{\text{espera}} = 9 * 0,15 = 1,35 \text{ m}^3$$

Equação (3)

$5,3 - 4,8 < 3,89 + 1,35 \Rightarrow 0,5 < 5,24$ (objetivo principal atingido)

Verificação do dreno de fundo Equação (9)

Equação (11)

$$A_{\text{orifícios}} = \pi * (0,002)^2 / 4 = 3,14 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

Equação (12)

$$N_{\text{orifícios}} = (6 * \pi * 0,05) / (0,025)^2 = 1508$$

Equação (13)

$$A_{\text{total}} = 3,14 * 10^{-6} * 1508 = 0,005 \text{ m}^2$$

Equação (10)

$$Q_{\text{orifícios}} = 0,6 * 0,005 * (2 * 9,81 * 0,95)^{1/2} * 0,5 = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

Equação (14)

$$Q_{\text{tubo}} = (0,312 / 0,01) * (0,1)^{8/3} * 0,01^{1/2} = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$$

Equação (9)

$$4,8 / (16 * 60) < \text{mínimo}(0,021 ; 0,2) \Rightarrow 0,005 < 0,021 \text{ (verificação satisfeita)}$$

Com o objetivo principal atingido e as duas verificações satisfeitas, as dimensões e características do dispositivo proposto estão hidráulicamente adequadas às diretrizes deste Manual.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

A verificação *in loco* das condições do solo por meio de sondagens é recomendada para avaliar a estabilidade estrutural. É relevante também para estimar a condutividade hidráulica por meio de sua descrição qualitativa em sistemas abertos.

Além disso, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações contidas no item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.

Operação e manutenção

A remoção de sedimentos e de resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomendam-se nele ações de limpeza e inspeção mensais e manutenção preventiva com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

O começo da primavera é o momento-chave para manutenções preventivas, uma vez que antecede o ano hidrológico, com início em outubro, quando chuvas mais intensas e frequentes passam a ocorrer. Após tormentas causadoras de algum tipo de falha observada no sistema, também se recomenda a realização de vistorias extraordinárias.

Ações de limpeza incluem remoção de lixo e sedimentos e limpeza do dreno subterrâneo quando existente. Ações de inspeção

incluem registros fotográficos gerais das estruturas e do meio filtrante, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem a reparos estruturais nas fronteiras da escavação e a eventuais revolvimento e substituição parcial do meio filtrante. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

TABELA 10 Tabela-resumo sobre facilitadores de infiltração (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltração e retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: 2 mm de chuva efetiva (primeira carga de lavagem). • Hidráulicas: infiltrar todo o volume dos 2 mm de chuva efetiva e garantir vazão suficiente no dreno de fundo. • Geotécnicas: item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e inspeção mensal. • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano).

6.2.2.7 RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO NO LOTE

Definição

Corresponde a uma pequena estrutura hidráulica de reservação projetada para armazenar temporariamente as águas pluviais na escala de lote. Conta com um tipo de barramento que gera uma lâmina d'água permanente.

Funcionalidade

Essa medida promove a detenção do escoamento superficial e, no caso de cobertura permeável e vegetada, ela também realiza a infiltração e a retenção.

Configuração

A **Figura 42** apresenta um corte esquemático do sistema de reservatório de detenção em lote aberto.

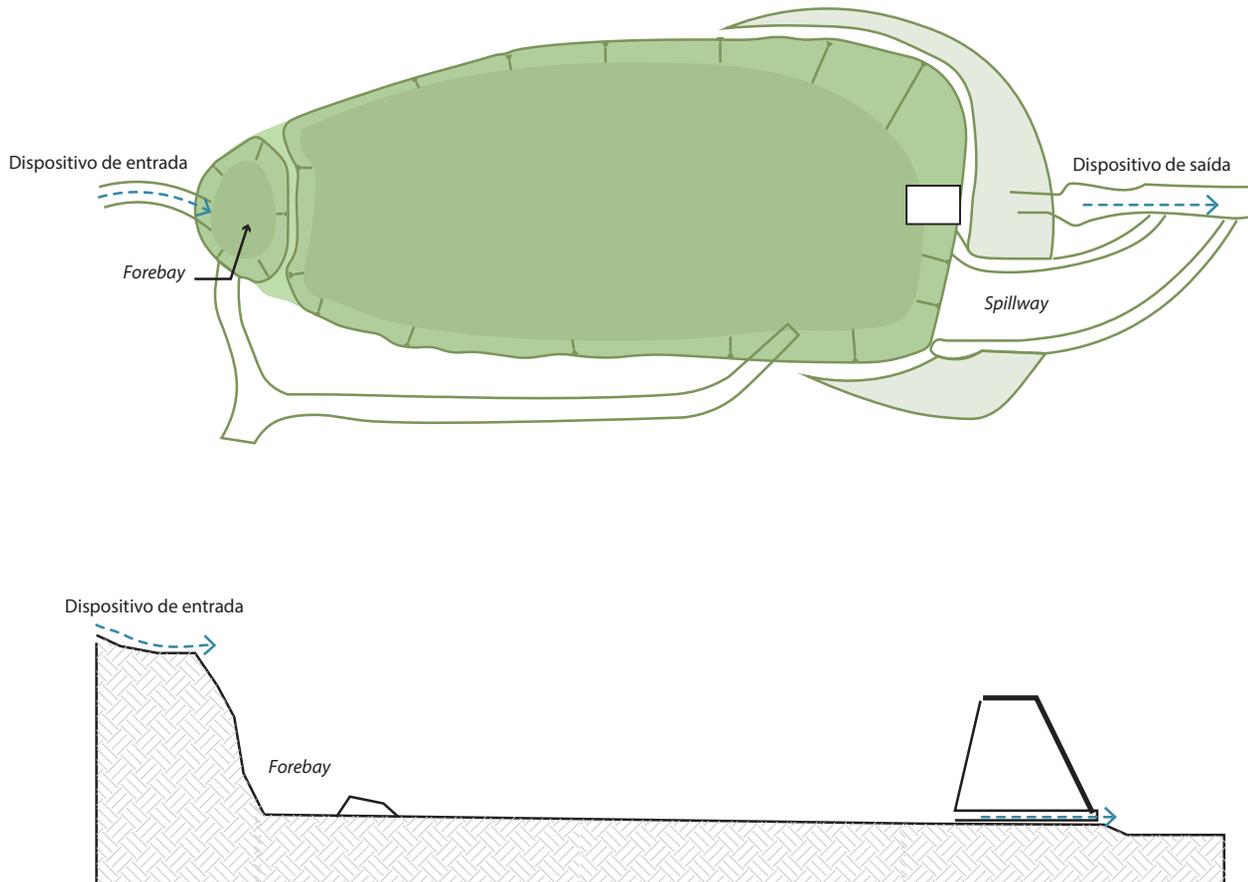


FIGURA 42 Corte esquemático de reservatório de retenção em lote aberto (FCTH, 2024)

- Dispositivo de entrada: estrutura hidráulica que recebe a contribuição de montante e conta com dissipação de energia para proteção contra erosão.
- *Forebay*: poço de decantação para a remoção de sedimentos.
- Dispositivo de saída: dreno de ligação com a rede de drenagem.
- Extravasor: estrutura hidráulica para veicular o excedente de vazão que superar

a profundidade máxima de projeto, preservando, assim, a estrutura do barramento.

Os reservatórios de retenção devem estar conectados ao sistema de drenagem, de modo que sua profundidade máxima esteja alinhada com a geratriz inferior do componente na rede a jusante. A entrada do reservatório deve receber as águas da

sarjeta e de outras entradas complementares para captar o escoamento superficial das áreas adjacentes, preferencialmente concentradas em menos pontos possíveis. Recomenda-se também o uso de mantas geotêxteis de reforço para estabilizar a vegetação e proteger taludes mais íngremes ao redor de seu contorno.

Reservatórios de retenção enterrados, pontuais ou lineares são formas possíveis de aplicação dessa tipologia e devem seguir as mesmas diretrizes de dimensionamento. No entanto, sua integração com o entorno não traz os mesmos benefícios que os sistemas abertos.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

O volume armazenado nos reservatórios de retenção no lote deve ser dimensionado como parte do Volume Útil Mínimo de Retenção (VDE) para atender a Vazão de Controle do Deságue em Lote (QCE). Tais parâmetros são descritos no item 6.5 da Etapa 1 do PDDMAP, respectivamente nos itens 6.5.4.3 e 6.4.3.3. Esse volume útil mínimo pode ser obtido com a combinação de diferentes tipologias de microdrenagem sustentável, que também promovem a retenção do escoamento superficial.

Para garantir a segurança estrutural do barramento, recomenda-se, conforme o Dae (2005), que a vazão de verificação seja baseada em uma precipitação de Tr 100 anos, levando em conta as características dos barramentos dessa tipologia. A mesma referência sugere um método de amortecimento de onda de cheia em reservatório simplificado, que permite calcular a vazão máxima do extravasor a partir do hidrograma afluente de Tr 100 anos. Também é possível utilizar modelos matemáticos especializados e de acesso livre para calcular o amortecimento do reservatório. Considera-se desprezível a infiltração em reservatórios abertos, assumindo um cenário de baixa condutividade hidráulica do solo natural e condição de saturação.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

O dimensionamento do sistema de drenagem de fundo considera esse dispositivo conforme a abordagem apresentada na Etapa 1, no item 6.4.5.2, que trata da Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo (QRL). Esse valor é calculado com base na área ocupada pelo lote e no uso do solo da bacia de contribuição a montante, determinando a vazão a ser conduzida pelo dispositivo de saída.

Dessa forma, dimensiona-se a seção do dreno de fundo para veicular a vazão máxima calculada, considerando a carga a montante como a profundidade da crista do extravasor no volume de armazenamento. O cálculo da vazão pode ser realizado pelo equacionamento exposto no item 6.2.2.5.1 da Etapa 1.

No caso de baixas vazões de base afluentes, que não gerem lâmina d'água, recomenda-se a implantação de uma drenagem de fundo com entrada vertical, posicionada a uma profundidade não superior a 1,2 m, visando à segurança contra afogamentos.

Sugere-se a utilização de *forebays* em todas as entradas, com área total equivalente a 10% da área do reservatório e profundidade máxima especificada. Também é aconselhável construir alas de lançamento para o dispositivo de saída, como explicitado no item 6.4.3.6 da Etapa 1 do PDDMAP.

Para reservatórios de detenção, constrói-se um barramento que mantém um espelho d'água permanente. Para a segurança da estrutura, recomenda-se que o sistema de extravasamento e o dreno de fundo sejam dimensionados para escoar uma vazão de Tr 100 anos, após amortecimento (vazão de extravasamento), garantindo uma borda livre de 0,5 m em relação à profundidade máxima, que não deve exceder 3,5 m.

Além disso, dissipadores de energia a jusante podem ser necessários, dependendo

da configuração da estrutura de saída do reservatório, especialmente do extravasor. Diretrizes para o dimensionamento dessa estrutura estão descritas no guia elaborado pelo Dae (2005).

A seguir, apresenta-se um exemplo simplificado de dimensionamento hidráulico para um reservatório de detenção do tipo vegetado.

Problema

Suponha que, em uma área indicada para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar um reservatório de detenção. A Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo (QRL) calculada é de 0,5 m³/s. Considerando um período de retorno de 100 anos e, também, o amortecimento da onda de cheia relativo ao volume/geometria proposto para o reservatório (volume superior ao VDE), o estudo hidrológico obteve como vazão de extravasão 10,5 m³/s. Seguindo as diretrizes recomendadas neste Manual, dimensione um reservatório de detenção para as condições de contorno expostas.

Solução

Em condições de profundidade máxima do reservatório, a vazão do tubo drenante deve ser maior que a QLR. Dessa forma, as características propostas para o reservatório são:

Geometria do reservatório:

- Profundidade máxima = 3 m.
- Profundidade da crista do vertedor = 1,5 m.

O tubo dreno proposto em PEAD tem diâmetro de 600 mm. Considerado um tubo muito curto, sua declividade é de 1%. Já o extravasor é do tipo vertedor retangular de soleira delgada, com profundidade de 1,5 m e comprimento de crista de 5 m.

Dessa forma, temos:

$$Q_{RL} = 0,5^3/s$$

Vazão dreno de fundo Equação 49 Etapa 1 PDDMAP.

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$C_d \text{ adotado} = 0,6$$

$$Q_{\text{dreno}} = 0,6 * \pi * D^2 / 4 * (2 * 9,81 * 1,5)^{1/2} = 0,92 \text{ m}^3/s$$

$$Q_{\text{extravasão}} = 10,5 \text{ m}^3/s$$

Considerando a borda livre de 0,5 m

Equação 68 Etapa 1 PDDMAP

$$Q_{\text{extravasor}} = 1,838 * 5 * (3 - 0,5 - 1,5)^{3/2} = 9,19 \text{ m}^3/s$$

Sendo Q_{dreno} superior à QRL ($0,92 > 0,5$) e a soma entre $Q_{\text{extravasor}}$ e Q_{dreno} superior à $Q_{\text{extravasão}}$ ($9,19 + 0,92 > 10,5$), as dimensões propostas satisfazem as condições hidráulicas.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

A verificação *in loco* das condições do solo por meio de sondagens é recomendada para avaliar a resistência a escorregamentos e à erosão do solo. A profundidade máxima recomendada para essa tipologia é de 3 m, garantindo a segurança do talude sobre o dreno de fundo. A inclinação recomendada para taludes de solo natural é de 2H:1V.

Para declividades entre 2H:1V e 1H:1V, aconselha-se o uso de mantas geotêxteis de reforço para estabilização do talude e da vegetação. Sistemas com superfícies duras ou enterrados podem assumir geometrias com paredes verticais, desde que sejam acompanhados de avaliações geotécnicas e estruturais específicas para sua implementação.

Além disso, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações contidas no item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP.

Operação e manutenção

A manutenção periódica da vegetação, a remoção de sedimentos e de resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomendam-se nele ações de limpeza e inspeção mensais e manutenção preventiva trimestral (na mudança das estações do ano).

O começo da primavera é o momento-chave para manutenções preventivas, uma vez que antecede o ano hidrológico, com início em outubro, quando chuvas mais intensas e frequentes passam a ocorrer. Após tormentas causadoras de algum tipo de falha observada no sistema, também se recomenda a realização de vistorias extraordinárias.

Ações de limpeza incluem poda da vegetação, remoção de lixo e sedimentos e limpeza do dreno. Ações de inspeção incluem registros fotográficos gerais da vegetação, do dreno e do barramento, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à remoção de espécies invasoras, ao replantio de espécies danificadas e a reparos estruturais no barramento. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

TABELA 11 Tabela-resumo sobre reservatórios de detenção no lote (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Detenção do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção, no caso de cobertura permeável e vegetada
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: VDE e QRL (item 6.4 da Etapa 1 do PDDMAP) • Hidráulicas: garantir vazão suficiente no dreno de fundo. Extravasor + dreno de fundo devem escoar Tr 100 anos amortecido • Geotécnicas: taludes de solo natural de 2H:1V, 1H:1V com manta geotêxtil e paredes verticais mediante estudo específico. Item 6.6 da Etapa 1 do PDDMAP
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e inspeção mensal • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano)

6.3 MACRODRENAGEM

A macrodrenagem sustentável diz respeito à gestão de grandes volumes de águas pluviais na escala de vale-várzea, com o objetivo de prevenir inundações para chuvas de projeto e preservar a qualidade dos corpos hídricos. Essa meta deve ser atingida com as estruturais integradas ao ambiente urbano de forma harmoniosa e sustentável.

Nesse contexto, além de medidas não estruturais, a macrodrenagem sustentável é implementada por meio de medidas estruturais que permitem a condução, a infiltração, a detenção e a retenção das águas pluviais de maneira controlada e eficiente. As soluções aplicadas almejam não apenas a proteção contra eventos extremos, mas também a melhoria da qualidade da água e da oferta de serviços ecossistêmicos.

Na Etapa 1 do PDDMAP, foram determinadas do ponto de vista hidrológico-hidráulico as intervenções necessárias na macrodrenagem do perímetro urbano do Município de São José dos Campos, indicando os tipos de intervenção e as vazões/os volumes correspondentes para cada ponto diagnosticado como deficiente. A metodologia utilizada para o cálculo das vazões e dos volumes é explicada no item 2 do Anexo 2 do documento.

Com a localização e o contorno hidrológico-hidráulico das proposições de

canalizações, travessias e reservatórios, é possível avaliar as possibilidades de medidas estruturais sustentáveis a serem implantadas no sistema de macrodrenagem do município.

6.3.1 TIPOLOGIAS DE MEDIDAS ESTRUTURAIS SUSTENTÁVEIS

As medidas estruturais sustentáveis são soluções de engenharia aplicadas em áreas urbanas e periurbanas, de modo a gerir as águas pluviais de maneira eficiente e ambientalmente responsável. Essas soluções buscam equilibrar o desenvolvimento urbano e a necessidade de preservar os recursos hídricos, reduzindo, assim, a pressão da urbanização sobre os cursos d'água.

Dos tipos de Soluções baseadas na Natureza para o contexto da drenagem na escala de vale-várzea, destacam-se três: 1) canais sustentáveis, 2) parques lineares e 3) reservatórios multiuso.

Além das três citadas, outra tipologia de SbN que pode ser empregada nessa escala são os alagados construídos (ou *wetlands* construídos). No entanto, como sua principal aplicação se dá no tratamento de águas residuárias (esgoto bruto ou pré-tratado), considera vazões e concentrações mais

estáveis do que as do escoamento superficial das águas pluviais (Dotro *et al.*, 2017).

Ademais, aplicações de alagados horizontais construídos no contexto da drenagem urbana carecem de experiências em solo brasileiro (Von Sperling e Sezerino, 2018), experiências essas que permitam a consolidação dessa tecnologia para o tratamento do escoamento superficial da chuva.

6.3.1.1 CANAIS SUSTENTÁVEIS

Canais sustentáveis são estruturas de bioengenharia, projetadas para conduzir águas pluviais através de corredores verdes que

utilizam revestimento vegetado ou uma combinação entre vegetação e estruturas construídas em seus taludes. Tal revestimento, que reproduz a vegetação ciliar dos rios, reduz a velocidade do fluxo e a infiltração e melhora a qualidade da água.

O tipo mais comum desse revestimento são as mantas geotêxtis de reforço para estabilização da vegetação, que são alocadas sobre taludes naturais ou construídos de gabião, *rip rap* ou colchão de areia. A **Figura 43** apresenta exemplos de aplicação dessa tecnologia.



FIGURA 43 Exemplo de canais sustentáveis (FCTH, 2024)

Suas vantagens são:

- Melhora da qualidade da água por meio da infiltração.
- Redução da velocidade do escoamento, o que diminui a erosão.
- Estabilidade dos taludes.
- Integração paisagística.

Já suas desvantagens são:

- Requer um espaço significativo, o que pode ser limitado em áreas densamente urbanizadas, demandando, desse modo, desapropriações.
- Exige uma manutenção contínua da vegetação para garantir seu desempenho.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida neste Manual, no item 6 na **Tabela 3**, a cada R\$ 1,00 de custo com canais sustentáveis, o retorno em benefício será de R\$ 2,00. Portanto, a relação custo-benefício é de 2, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.3.1.2 PARQUES LINEARES

Parques lineares são corredores verdes que seguem o curso de rios ou córregos urbanos, combinando funções recreativas com a gestão de águas pluviais. Eles têm comprimento maior em relação à sua largura e funcionam como os canais sustentáveis, porém agregando outras funções ao ambiente urbano. Contudo, por se tratar de uma área de convívio a ser apropriada pela população, diretrizes específicas de projeto precisam ser consideradas para sua implantação.

É comum que soluções para longos trechos de hidrografia possam combinar canais sustentáveis com parques lineares, de modo a otimizar o espaço urbano na escala de vale-várzea. A **Figura 44** e a **Figura 45** apresentam exemplos de aplicação dessa tipologia: a primeira é uma aplicação mais simplificada, e a segunda, um projeto mais complexo e ousado.



FIGURA 44 Exemplo de parque linear simplificado (FCTH, 2024)



FIGURA 45 Exemplo de parque linear complexo (FCTH, 2024)

Suas vantagens são:

- Multifuncionalidade, oferecendo áreas de lazer e controle de cheias.
- Melhora da qualidade da água por meio da infiltração.
- Redução da velocidade do escoamento, o que diminui a erosão.
- Estabilidade dos taludes.
- Integração paisagística.
- Melhoria da qualidade de vida urbana por meio da criação de espaços verdes acessíveis para deslocamento e prática de atividades físicas.
- Preservação de corredores ecológicos.
- Manutenção de habitats para a fauna e a flora.

Já suas desvantagens são:

- Necessidade de um espaço significativo, o que pode ser limitado em áreas densamente urbanizadas e gerar uma demanda por desapropriações.
- Exige um planejamento e uma integração cuidadosos com o ambiente urbano.
- Podem ser indicadas obras significativas de requalificação de áreas degradadas.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida

neste Manual, no item 6 na **Tabela 3**, a cada R\$ 1,00 de custo com parques lineares, o retorno em benefício será de R\$ 2,00. Portanto, a relação custo-benefício é de 2, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.3.1.3 RESERVATÓRIOS MULTIUSO

Reservatórios multiuso são estruturas que armazenam águas pluviais para múltiplos fins, como amortecimento de cheias, recreação, conservação ambiental e geração de energia elétrica. São construídos para controlar grandes volumes de água durante eventos de chuva intensa, uma vez que a rede de drenagem local se encontra saturada por uma consolidação da urbanização na bacia. Tais reservatórios podem apresentar diferentes características em relação ao fluxo da água que recebem e à sua integração com o ambiente urbano.

Em relação ao fluxo, os reservatórios podem ser *in line* ou *off line*. No primeiro, a água que passa pela rede de drenagem também passa pelo reservatório antes de seguir para jusante. O segundo, por sua vez, recebe as águas pluviais apenas durante eventos de cheia, e elas são encaminhadas por uma estrutura hidráulica de entrada. A **Figura 46** e a **Figura 47** apresentam exemplos dos dois tipos.



FIGURA 46 Reservatório *in line* de retenção (Aricana 2, em São Paulo) (foto: Luciano Piva, PMSP)



FIGURA 47 Reservatório *off line* de detenção (Inhumas, em São Paulo) (foto: Luciano Piva, PMSP)

Existem reservatórios multiuso abertos e fechados. O primeiro tem a água como elemento visível da paisagem, podendo ter espelhos d'água permanentes, revestimento vegetado e equipamentos urbanos. O segundo se encontra enterrado e pode ter sobre sua superfície equipamentos públicos como praças e parques. A **Figura 48** e a **Figura 49** apresentam exemplos desses dois tipos.



FIGURA 48 Exemplo de reservatório multiuso aberto (FCTH, 2024)



FIGURA 49 Exemplo de reservatório multiuso fechado (Watersquare Bentheplein, em Roterdã, nos Países Baixos)

Independentemente do tipo, todo reservatório multiuso precisa de estruturas hidráulicas devidamente dimensionadas para amortecimento da cheia de projeto, além de considerações relacionadas aos demais usos pretendidos.

Por fim, destaca-se a importância da qualidade da vazão de base, especialmente em projetos com espelho d'água permanente. É fundamental controlar a carga de base aportante para evitar a degradação ambiental das áreas adjacentes aos corpos hídricos, planejadas para receber usuários do espaço.

Suas vantagens são:

- Capacidade de controlar grandes volumes de água para o amortecimento de cheias.
- Multifuncionalidade, oferecendo tanto controle de cheias como áreas de lazer.
- No caso de reservatórios multiuso abertos, eles melhoram a qualidade da água por meio da infiltração.
- Integração paisagística.
- Melhoria da qualidade de vida urbana por meio da criação de espaços verdes acessíveis para apreciação da paisagem e prática de atividades físicas.
- Preservação de corredores ecológicos.
- Manutenção de habitats para a fauna e a flora

Já suas desvantagens são:

- Necessidade de grandes áreas, o que pode ser um desafio em áreas urbanas.
- Alto custo de implantação e manutenção.

Considerando seus benefícios socioambientais e por meio da metodologia sugerida neste Manual, no item 6 na **Tabela 3**, a cada R\$ 1,00 de custo com reservatórios multiuso, o retorno em benefício será de R\$ 2,00. Portanto, a relação custo-benefício é de 2, sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

6.3.2 GUIA DE PROJETO PARA MEDIDAS ESTRUTURAIS SUSTENTÁVEIS

Este guia oferece uma abordagem detalhada para o planejamento, as diretrizes de dimensionamento e a manutenção das três medidas estruturais sustentáveis citados no item anterior: canais sustentáveis, parques lineares e reservatórios multiuso.

Esse material foi desenvolvido para auxiliar na concepção e na implementação dessas infraestruturas, garantindo que sejam projetadas conforme as melhores práticas de bioengenharia. Para cada tipo de medida estrutural, o guia apresenta a definição, a funcionalidade, as diretrizes de

dimensionamento e as orientações para operação e manutenção.

6.3.2.1 CANAIS SUSTENTÁVEIS

Definição

Canais sustentáveis são estruturas projetadas para conduzir águas pluviais através de corredores verdes que utilizam revestimento vegetado ou uma combinação entre vegetação e estruturas construídas em seus taludes.

Funcionalidade

Têm como função reduzir a velocidade do escoamento menores quando comparadas com canais de revestimento em concreto, minimizando o impacto erosivo, e promovendo a infiltração e a filtragem natural das águas pluviais em seus taludes marginais, melhorando a qualidade da água dos corpos hídricos maiores.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

Em geral, a principal variável hidrológica para o dimensionamento de canais é a vazão de projeto. Seguindo a recomendação do Daee

(2005) para canalizações, o período de retorno da chuva de projeto, que gera a vazão de projeto por meio da modelagem hidrológica chuva-vazão, deve ser de 50 anos para canais trapezoidais e de 100 anos para canais retangulares. No caso dos canais sustentáveis, mesmo apresentando seção trapezoidal ou mista, recomenda-se o período de retorno de 100 anos para o dimensionamento hidráulico de suas estruturas.

A Etapa 1 do PDDMAP de São José dos Campos realizou a modelagem hidrológica-hidráulica para a zona urbana do município obtendo as vazões de Tr 100 anos para todos os pontos diagnosticados como insuficientes. Considerando o cenário atual de ocupação, esses pontos são locais onde há a necessidade de canalização (item 4.3.1).

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

O dimensionamento hidráulico de canais deve fazer duas verificações básicas para garantir um funcionamento adequado: 1) capacidade hidráulica para veiculação da vazão de projeto e 2) velocidade máxima permitida pelo revestimento. O dimensionamento hidráulico dos canais sustentáveis e dá de forma semelhante à de outros condutos, seguindo a fórmula de Chézy-Manning (item 6.2.2.3.1 da Etapa 1).

$$Q = \frac{A_m}{n} R_h^{2/3} I^{1/2} \quad R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad V = Q/A_m$$

(EQUAÇÃO 17)

Em que:

- Q é a vazão do canal calculada (m³/s).
- A_m é a área molhada (m²).
- n é o coeficiente de rugosidade de Manning.
- R_h é o raio hidráulico (m).
- I é a declividade do trecho (m/m).
- P_m é o perímetro molhado (m).
- V é a velocidade do escoamento (m/s).

Ainda de acordo com o Dae (2005), a capacidade hidráulica do canal deve garantir uma folga de segurança conhecida como borda livre. Em canais abertos, recomenda-se uma borda livre mínima (f) correspondente a 10% da lâmina d'água estimada para a cheia de projeto, mas nunca inferior a 0,4 m (ou seja, $f \geq 10\%$ da profundidade máxima, com $f \geq 0,4$ m como limite mínimo).

O coeficiente de rugosidade de Manning indicado para canais sustentáveis com taludes vegetados é de 0,035 (item 6.1.2.2 da Etapa 1). A velocidade máxima recomendada para esse tipo de revestimento é de 2,5 m/s (Fischenich e Allen, 2000; Muhammad *et al.*, 2016).

A forma do canal, suas dimensões e declividade devem ser avaliadas com base em informações detalhadas sobre o entorno da região de interesse e sua topografia. É possível projetar canais sustentáveis de seção mista, onde a vazão de base escoar no leito menor, que apresenta características distintas do leito maior com margem vegetada. Essa configuração deve considerar diferentes coeficientes de rugosidade, respeitando a velocidade máxima do mais restritivo.

A seguir, apresenta-se um exemplo simplificado de dimensionamento de canal sustentável.

Problema

Suponha que uma modelagem hidrológica obteve uma vazão de pico de 24 m³/s para Tr 100 anos. O trecho em questão tem declividade natural de 0,01 m/m, largura máxima permitida para o leito maior de 12 m e profundidade máxima de 2,5 m. A partir dessas informações, quais seriam as dimensões de um canal sustentável trapezoidal que comporte tal vazão?

Solução

Considerando os seguintes dados de entrada e projeto e as diretrizes de dimensionamento

hidráulico, pela equação de Chézy-Manning (17), temos:

$$Q_{\text{projeto}} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

n de Manning = 0,035 (recomendado para um talude vegetado)

$$l = 0,01 \text{ m/m}$$

Seção proposta – base menor = 2 m; profundidade = 2 m, e inclinação do talude 2H:1V (recomendado)

Borda livre – 10% de 2 m = 0,2 m < mínimo 0,4 m. Portanto, igual a 0,4 m.

Dessa forma, temos:

- $A_m = 12 \text{ m}^2$
- $P_m = 10,94 \text{ m}$
- $R_h = 1,097 \text{ m}$
- $Q_{\text{calc}} = 25,78 \text{ m}^3/\text{s}$ (desconsiderando a borda livre)
- $V = 2,15 \text{ m/s}$ (desconsiderando a borda livre)

Sendo Q_{calc} maior que Q_{projeto} ($25,78 > 24$), e a velocidade calculada menor que a máxima recomendada ($2,15 < 2,5$), as condições hidráulicas são atendidas. Considerando a borda livre de 0,4 m, a profundidade total do canal projetado é de 2,4 m, e sua base maior, de 11,6 m. Logo, essa seção se encaixa no espaço disponível (12 m de leito maior e 2,5 m de profundidade máxima).

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

A verificação *in loco* da condição do solo nos taludes, por meio de sondagens a cada 100 m de canal sustentável, é recomendada para avaliar o abatimento máximo do talude nas margens. De maneira geral, indica-se o uso de inclinação máxima de 1H:1V, sendo a relação 2H:1V a mais recomendada. No entanto, em função do material a ser empregado sob a manta geotêxtil e da área disponível no entorno, inclinações mais íngremes podem ser consideradas mediante um estudo geotécnico específico.

Operação e manutenção

A manutenção periódica da vegetação, a remoção de sedimentos e de resíduos acumulados e o monitoramento da integridade estrutural dos taludes do canal sustentável são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomendam-se que nele sejam feitas visitas bimestrais e manutenção preventiva com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

O começo da primavera é o momento-chave para manutenções preventivas, uma vez que antecede o ano hidrológico, com início em outubro, quando chuvas mais intensas e frequentes passam a ocorrer. Após

tormentas causadoras de algum tipo de falha observada no sistema, também se recomenda a realização de vistorias extraordinárias.

Ações de vistoria incluem registros fotográficos gerais do talude e da vegetação, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à poda da vegetação, à remoção de espécies invasoras, à limpeza de resíduos e à reposição da manta onde houver falhas. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

TABELA 12 Tabela-resumo sobre canais sustentáveis (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Condução em baixas velocidades, controle de erosão e filtragem
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: Tr 100 anos (Etapa 1 do PDDMAP) • Hidráulicas: borda livre $\geq 0,4$ m e velocidade máxima de $\leq 2,5$ m/s • Geotécnicas: inclinação máxima dos taludes 1H:1V (recomendado) ou estudos específicos
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Vistorias bimestrais • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano)

6.3.2.3 PARQUES LINEARES

Definição

Parques lineares são corredores verdes que seguem o curso de rios, córregos ou outros canais de drenagem, combinando áreas recreativas e de lazer com o controle de enchentes e a preservação ambiental.

Funcionalidade

Além de proporcionar espaços recreativos e de convívio para a população, os parques lineares atuam como zonas de infiltração e retenção de águas pluviais, ajudando a reduzir os riscos de enchentes em áreas urbanas.

Diretrizes de dimensionamento

Do ponto de vista de dimensionamento das estruturas que compõe um parque linear, é possível projetá-lo via diferentes abordagens, pois ele apresenta funções múltiplas. A forma mais simplificada de dimensionamento é tratar o parque como um canal sustentável de seção mista, com diferentes revestimentos de acordo com os equipamentos urbanos previstos para ocupar seu leito maior.

Eles só devem ser dimensionados por ferramentas específicas caso contemplem configurações mais ousadas e complexas,

como pequenas depressões com lâmina d'água permanente, estruturas hidráulicas de controle, traçados do leito menor meandros, passarelas sobre o talvegue do leito menor, alocação de diferentes equipamentos urbanos voltados a deslocamento, lazer e qualidade de vida, entre outras.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

Em geral, a principal variável hidrológica para o dimensionamento de canais é a vazão de projeto. Seguindo a recomendação do Daee (2005) para canalizações, o período de retorno da chuva de projeto, que gera a vazão de projeto por meio da modelagem hidrológica chuva-vazão, deve ser de 50 anos para canais trapezoidais e de 100 anos para canais retangulares. No caso dos canais sustentáveis, mesmo apresentando seção trapezoidal ou mista, recomenda-se o período de retorno de 100 anos para o dimensionamento hidráulico de suas estruturas.

Considerando o cenário atual de ocupação, a Etapa 1 do PDDMAP de São José dos Campos fez a modelagem hidrológica obtendo as vazões de Tr 100 anos para todos os pontos onde existe a necessidade de intervenção (item 4.3.1).

Para maximizar o desfrute do parque linear por parte da população, sugere-se

que seu leito menor, de acesso *proibido* ao público, seja capaz de comportar no mínimo tormentas de Tr 2 anos (Canholi, 2015), de forma que suas outras funções só sejam prejudicadas em casos de chuvas de probabilidade inferior.

Para projetos mais complexos e ousados, recomenda-se o uso do hidrograma de projeto, e não apenas a vazão de pico correspondente a Tr 100 anos, para avaliar o impacto da onda de cheia em zonas e estruturas específicas do parque linear no dimensionamento hidráulico.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

O dimensionamento hidráulico simplificado de parques lineares deve ser realizado como o dos canais sustentáveis, ou seja, devem ser conferidas a capacidade hidráulica para veiculação da vazão de projeto e a velocidade máxima permitida pelo revestimento, ambas seguindo também a fórmula de Chézy-Manning.

Para projetos mais complexos e diversificados, recomenda-se o uso de modelos hidrodinâmicos para simular a onda de cheia da vazão de projeto, permitindo verificar o nível máximo de água e a velocidade máxima.

Esses modelos calculam com maior precisão o impacto das diversas estruturas

planejadas para um parque linear, integrando paisagismo com infraestrutura urbana de drenagem, transporte, lazer e qualidade de vida. A construção desses modelos também facilita a criação de cenários para diferentes eventos de tormenta e possibilita análises de qualidade da água.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

A verificação *in loco* das condições do solo por meio de sondagens é recomendada para avaliar o abatimento máximo dos taludes no parque linear. Projetos mais simples podem seguir as recomendações de inclinação máxima de taludes dos canais sustentáveis. Já projetos mais complexos precisam de estudo geotécnico específico, pois podem apresentar combinações de taludes em seções adjacentes e com diferentes inclinações e materiais – como é o caso do talude de concreto combinado com gabião.

Operação e manutenção

A manutenção periódica da vegetação, a remoção de sedimentos e de resíduos acumulados e o monitoramento da integridade estrutural dos taludes e das estruturas hidráulicas do parque linear são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo

a longo prazo. Dessa forma, recomendam-se nele ações de inspeção bimestrais e manutenção preventiva com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

O começo da primavera é o momento-chave para manutenções preventivas, uma vez que antecede o ano hidrológico, com início em outubro, quando chuvas mais intensas e frequentes passam a ocorrer. Após tormentas causadoras de algum tipo de falha observada no sistema, também se recomenda a realização de vistorias extraordinárias.

Ações de vistoria incluem registros fotográficos gerais das estruturas e da vegetação, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas

procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à poda da vegetação, à remoção de espécies invasoras, à limpeza de resíduos e de sedimentos em caso de depressões com espelho d'água permanente e à reposição da manta onde houver falhas. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Os equipamentos públicos situados no leito maior do corpo d'água também devem passar por manutenções periódicas gerais como qualquer outro equipamento público da cidade.

TABELA 13 Tabela-resumo sobre parques lineares (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Condução em baixas velocidades, controle de erosão e filtragem, combinando áreas de lazer e deslocamento com controle de cheias
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: Tr 100 anos (Etapa 1 do PDDMAP) • Hidráulicas: borda livre $\geq 0,4$ m e velocidade máxima de $\leq 2,5$ m/s • Geotécnicas: inclinação máxima dos taludes 1H:1V (recomendado) ou estudos específicos
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Vistorias bimestrais • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano)

6.3.2.4 RESERVATÓRIOS MULTIUSO

Definição

São estruturas projetadas para armazenar grandes volumes de água para múltiplos fins, como controle de enchentes, abastecimento de água, recreação e conservação ambiental.

Funcionalidade

Esses reservatórios ajudam a controlar o fluxo de águas pluviais, armazenando-as durante eventos de chuvas intensas e liberando-as gradualmente para evitar enchentes. Além disso, os reservatórios multiuso podem ser utilizados para atividades recreativas e de conservação da fauna e da flora.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidrológicos

Em geral, a principal variável hidrológica para o dimensionamento de reservatórios é o volume de amortecimento. A Etapa 1 do PDDMAP de São José dos Campos realizou a modelagem hidrológica-hidráulica para a zona urbana do município obtendo os volumes para todos os pontos diagnosticados como insuficientes. Considerando o cenário atual de ocupação, esses pontos são 28

locais onde há a necessidade de reservação (item 4.3.1).

No item 5.1.1.2 são apresentados os volumes de armazenamento necessários para cada ponto diagnosticado.

O item 2.7 no Anexo 2 da Etapa 1 apresenta a metodologia para calcular o volume de armazenamento para amortecimento dos picos de cheia.

A recomendação para otimizar o espaço dos parques lineares também vale para os reservatórios multiuso abertos, de modo que os equipamentos públicos sejam capazes de comportar no mínimo tormentas de Tr 2 anos.

Diretrizes de dimensionamento – aspectos hidráulicos

O dimensionamento hidráulico de um reservatório está vinculado a suas estruturas de fluxo do escoamento. Suas características e dimensões dependem das vazões aportantes esperadas. No entanto, conhecendo o volume a ser armazenado, diversas condicionantes locais influenciam a determinação precisa da área e da profundidade do reservatório.

Locais em planta e cotas de geratrizes inferiores da hidrografia ou de estruturas hidráulicas já existentes precisam ser consideradas na alocação das estruturas hidráulicas do reservatório projetado.

Do ponto de vista hidráulico, reservatórios multiuso do tipo enterrado apresentam menos dificuldades, porém, o desafio geotécnico/estrutural torna-se central. Nesse caso, dimensionam-se as estruturas hidráulicas de entrada e saída do escoamento e sua comunicação com a hidrografia local, seja por gravidade, seja por bombeamento.

Para reservatórios multiuso abertos, com integração direta com seu contorno, o desafio hidráulico fica mais complexo. Para verificar a passagem da onda de cheia ao longo das estruturas propostas, recomenda-se o uso de modelagem hidrodinâmica, como indicado no dimensionamento dos parques lineares.

Para reservatórios multifuncionais abertos com projetos variados, dependentes de condicionantes locais, recomendam-se estudos específicos que contemplem os equipamentos públicos no reservatório multiuso e seus impactos no desempenho hidráulico de amortecimento de cheias.

De modo a selecionar os equipamentos públicos e orientar a população usuária do espaço, os estudos devem indicar os níveis d'água atingidos durante eventos de cheia de Tr 25 e de Tr 100 anos. Para espelhos d'água permanentes, são recomendadas profundidades mínimas de 1 m, no intuito de prevenir a proliferação de plantas aquáticas (Canholi, 2015).

Outra consideração hidráulica importante está relacionada à utilização de maciços de terra de travessias do viário sobre a hidrografia, como barragem para a construção de reservatórios multiuso. Esse é um ponto de atenção porque os bueiros sob o talude não foram projetados para operar sob pressão.

Em relação à borda livre a ser considerada no projeto, há muitas discussões sobre essa medida de segurança, especialmente no contexto de barramentos de terra cujo principal objetivo é a reservação de água (Pereira e Studart, 2023). Diferentemente das aplicações em drenagem, que visam aumentar a proteção contra o risco de inundação (extravasamento da calha projetada para águas pluviais), em reservatórios de acumulação com maciço de terra, a borda livre exerce um papel de proteção estrutural, já que o galgamento da barragem poderia causar seu colapso, resultando em impactos catastróficos a jusante.

O Dae (2005) recomenda uma borda livre de pelo menos 0,5 m entre a crista e o nível máximo atingido pela passagem da tormenta de projeto para barramentos de pequeno porte (com profundidade máxima de 5 m e largura máxima da crista de 200 m).

A Etapa 1 do PDDMAP oferece diretrizes de dimensionamento hidráulico em seu item 6.2.2, apresentando especificamente orientações sobre dispositivos de controle

de fluxo no subitem 6.2.2.5. Mais informações sobre o dimensionamento dessas estruturas hidráulicas também são encontradas no *Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas*, do Daee (2005).

Diretrizes de dimensionamento – aspectos geotécnicos

A verificação *in loco* das condições do solo sobre o qual pretende-se implantar o reservatório multiuso é imprescindível, seja este enterrado ou aberto. Pela complexidade desse tipo de obra, seu dimensionamento geotécnico demanda um estudo específico para determinar seus tipos de materiais e revestimentos e a inclinação dos taludes.

Operação e manutenção

A manutenção periódica da vegetação, a remoção de sedimentos e de resíduos acumulados e o monitoramento da integridade estrutural dos taludes e das estruturas hidráulicas do reservatório multiuso são essenciais para garantir o desempenho do dispositivo a longo prazo. Dessa forma, recomendam-se nele ações de inspeção bimestrais e manutenção preventiva com frequência trimestral (na mudança das estações do ano).

O começo da primavera é o momento-chave para manutenções preventivas, uma vez que antecede o ano hidrológico, com início em outubro, quando chuvas mais intensas e frequentes passam a ocorrer. Após tormentas causadoras de algum tipo de falha observada no sistema, também se recomenda a realização de vistorias extraordinárias.

Os equipamentos públicos situados nas zonas secas do reservatório também devem passar por manutenções periódicas gerais como qualquer equipamento público da cidade.

Ações de vistoria incluem registros fotográficos gerais do reservatório e de suas estruturas, além de detalhes de alterações mais evidentes, de modo a indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

As ações de manutenção preventiva correspondem à poda da vegetação, à remoção de espécies invasoras, à limpeza de resíduos e de sedimentos em caso de espelho d'água permanente e à reposição da manta onde houver falhas. A Etapa 1, em seu item 6.7, oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Recomenda-se, ainda, a implementação de estruturas de proteção como alambrados, para evitar o acesso indesejado de crianças

e animais em determinados perímetros, e de *guard-rails* ou barreiras do tipo New Jersey nas fronteiras com o viário. Também devem ser previstos acessos permanentes ao fundo do reservatório, por meio de rampas (ou túneis no caso do tipo enterrado) projetadas para permitir a ação de caminhões pesados e de escavadeiras.

TABELA 14 Tabela-resumo sobre reservatórios multiuso (FCTH, 2024)

Tipologia	Biorretenção
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Armazenamento de parte do escoamento superficial, combinando áreas de lazer e deslocamento com controle de cheias
Diretrizes de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrológicas: volume a ser armazenado (Item 5.1.1.1.2 da Etapa 1 do PDDMAP) • Hidráulicas: borda livre $\geq 0,5$ • Geotécnicas: estudos específicos
Operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Vistorias bimestrais • Manutenção preventiva trimestral (a cada mudança de estação do ano)

Vegetação na drenagem sustentável

As áreas verdes desempenham um papel fundamental em diversos aspectos ambientais, sociais e econômicos. É amplamente conhecida a importância da vegetação para a qualidade do ar, a promoção da biodiversidade, o habitat da fauna e uma grande variedade de outras funções ecológicas. Além disso, pode-se apontar os benefícios sociais, estéticos e recreativos das áreas verdes. Neste Manual, ressalta-se principalmente a contribuição da vegetação para os sistemas de drenagem, atuando na restauração do ciclo hidrológico e na qualidade das águas urbanas.

Inicialmente, pode-se destacar que, com a implementação de infraestruturas verdes e a aplicação de tecnologias de drenagem sustentável, a vegetação pode auxiliar na redução do volume de águas pluviais, bem como no retardo do pico de vazão. De acordo com Muerdter, Wong e Lefevre (2018), a vegetação assume, assim, diferentes processos hidrológicos:

- **Interceptação vegetal:** a vegetação coleta e armazena parte da precipitação por meio de sua porção aérea. Além disso, a cobertura vegetal protege o solo da exposição aos processos erosivos superficiais causados pelas chuvas.
- **Escoamento superficial:** auxilia no retardo do escoamento superficial por meio de sua cobertura vegetal.
- **Infiltração:** as raízes da vegetação contribuem para aumentar a infiltração do solo. Desse modo, há uma redução do volume de escoamento superficial e, também, a recarga das águas subterâneas.
- **Evapotranspiração:** parte da água é lançada para a atmosfera pelo processo de transpiração das plantas. Vale destacar que a evapotranspiração depende de várias características das plantas, como área foliar, arquitetura radicular, densidade, entre outros (Skorobogatov, 2020).

Além dos processos descritos anteriormente, destacam-se os benefícios da vegetação para a qualidade das águas pluviais. A interação entre solo, plantas e microrganismos pode reter diversos poluentes, como sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio (N), fósforo (P), metais pesados, óleos e graxas, entre outros. Nesse processo, a filtragem da

água de escoamento superficial é realizada, configurando, portanto, um mecanismo de fitorremediação (Dagenais, Brisson e Fletcher, 2018; Muerdter, Wong e Lefevre, 2018). A fitorremediação é um processo natural que utiliza plantas, microbiota e rizosfera na despoluição das águas e é classificada de acordo com o destino dos contaminantes.

7.1 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS

A seleção adequada das espécies vegetais é essencial para garantir a eficácia dos processos de fitorremediação e biorretenção. Deve-se considerar também questões importantes nesse contexto, como biodiversidade, estética, adaptação vegetal, disponibilidade das espécies, entre outras.

São apresentados a seguir os principais critérios para a seleção de espécies voltadas às tecnologias de drenagem sustentável, a fim de auxiliar gestores e profissionais especializados no processo de decisão.

7.1.1 ESPÉCIES NATIVAS E NÃO INVASORAS

Recomenda-se priorizar o uso de espécies nativas, uma vez que são mais apropriadas às

características locais de implantação, como bioma, insolação, clima e solo. Em geral, as nativas não são invasoras e demandam menor manutenção (EPA, 2023).

Ademais, a vegetação nativa garante alimento, habitat e possibilidade de dispersão da fauna nativa, gerando equilíbrio ambiental. Deve-se frisar, portanto, a importância da reprodução de espécies nativas nos viveiros públicos, para garantir a disponibilidade e a variedade de mudas.

7.1.2 ESPÉCIES RESISTENTES

Deve-se selecionar as espécies de acordo com seu nível de resistência e adaptação, com base nos seguintes parâmetros (EPA, 2023):

- Deve ser adequada às condições de água, vento e insolação presentes no local de plantio;
- Com relação a esse local, considerar o entorno, o habitat natural da planta (terrestre, aquático), a profundidade de plantio, o tipo de solo que ela exige, entre outros elementos;
- Ser adaptável aos períodos de seca e chuvosos;
- Evitar o uso de fertilizantes e pesticidas;
- Não demandar manutenções excessivas.

7.1.3 ESPÉCIES ADEQUADAS AOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Para a seleção de espécies, é necessário compreender o tipo de dispositivo a ser implantado, tendo em vista que cada infraestrutura conta com diferentes detalhes construtivos, funções hidráulicas, disponibilidade de água e recebimento de cargas poluidoras, de modo que tais características delimitam os tipos de espécies, seus portes e suas quantidades.

7.1.4 ALTA BIODIVERSIDADE

Uma boa variedade de espécies é importante para a implantação de infraestruturas verdes. Hunt e outros autores (2015) consideram essa uma estratégia que aumenta a possibilidade de sucesso do sistema, já que as espécies irão se adaptar naturalmente a condições mais úmidas ou secas. Payne e outros autores (2015), por sua vez, apontam que essa variedade permite às espécies um processo de autoseleção.

Em suma, uma maior diversidade de espécies permite que o sistema seja mais resiliente às diferenças climáticas ao longo do ano e ao surgimento de pragas e doenças.

A quantidade específica de espécies necessária para garantir uma alta biodiversidade pode variar de acordo com o tipo de sistema e a área disponível para plantio. Em geral, a diversidade é considerada alta quando há equilíbrio entre a quantidade de espécies e sua capacidade de interação.

7.1.5 INCREMENTO DA FAUNA

A adoção de espécies vegetais que aumentem a diversidade da fauna é essencial. Deve-se buscar uma vegetação com florada para atrair polinizadores diversos, bem como para garantir hábitat para as faunas aquática, terrestre e anfíbia. São práticas permitem aumentar a disposição de serviços ecossistêmicos (EPA, 2023).

7.1.6 RAÍZES DAS ESPÉCIES

Parte da seleção adequada de espécies provém da característica e da estrutura de suas raízes. Existe uma relação entre o desempenho da biofiltração e o comprimento, a profundidade e o volume de raízes das plantas (Payne, 2015; Skorobogatov, 2020). Espécies que apresentam estrutura radicular extensa e profunda têm uma capacidade maior de

permeiar o solo e são mais adequadas para a biorretenção (Hunt, 2015).

Evidentemente, a escolha dessa vegetação de raiz robusta leva em consideração que elas não podem ser muito agressivas e colocar em risco a estrutura construtiva e o entorno imediato. Quanto à fitorremediação, de acordo com Pinheiro (2017), é importante selecionar espécies que não transfiram os poluentes para seus tecidos aéreos. Assim, toda a fitorremediação ocorre na zona radicular, reduzindo a contaminação de outras partes da planta.

7.1.7 ESTÉTICA

A seleção deve considerar um apelo estético e cênico que valorize a paisagem do entorno. Deve-se adotar uma vegetação que permita a composição de volumes, texturas e cores diversas e complementares. É importante que a vegetação selecionada tenha um bom nível de aceitação por parte da população local (EPA, 2023).

7.2 ESPÉCIES RECOMENDADAS PARA PLANTIO EM TECNOLOGIAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

A partir dos critérios elencados anteriormente, este Manual traz uma seleção de espécies vegetais recomendadas para intervenções em infraestrutura verde e drenagem sustentável em São José dos Campos. De modo conciso, levantou-se uma listagem de espécies que introduz as possibilidades de vegetação adequada para projetos de drenagem sustentável.

Ressalta-se, porém, a necessidade contínua de pesquisas e atualizações dessa seleção por parte de biólogos, arquitetos paisagistas, engenheiros agrônomos e engenheiros florestais, para a constante catalogação, revisão e enriquecimento dessa vegetação.

A seleção das espécies foi embasada em documentos do Município de São José dos Campos referentes a áreas verdes e à vegetação, incluindo o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica e Cerrado (PMMAeC), a Sistematização de Informações sobre Arborização Urbana e o Atlas Ambiental de São José dos Campos.

Adicionalmente, foram considerados estudos sobre vegetação, em especial sobre a composição florística da cidade (Silva,

1989), sobre vegetação no tratamento de águas urbanas (Pinheiro, 2017) e sobre drenagem sustentável, estes últimos elaborados pela FCTH.

A partir da análise desses documentos e dos critérios de seleção estabelecidos, foram observados os seguintes pontos essenciais para a escolha das espécies:

- **Espécies nativas e não invasoras:** prioriza-se a seleção de espécies nativas da Mata Atlântica e do Cerrado, biomas contidos em São José dos Campos.
- **Compatibilidade com sistemas de biorretenção:** seleção de espécies que atendam aos requisitos específicos dos sistemas de biorretenção.
- **Porte:** considera-se o porte adequado das espécies para áreas urbanas como calçadas, praças e parques, bem como o comportamento das raízes em relação à profundidade dos berços usados em dispositivos de drenagem sustentável.
- **Resistência e manutenção:** prioriza-se espécies que sejam resistentes a períodos secos e chuvosos e que demandem pouca manutenção, facilitando a gestão e a conservação das áreas verdes urbanas.
- **Aspectos paisagísticos:** considera-se a variedade de características como

floração, porte, cores e texturas, no intuito de promover composições paisagísticas diversas e contribuir com a estética urbana.

Portanto, este Manual oferece recomendações de vegetação abrangendo espécies arbóreas, arbustivas, herbáceas e forrações. No que diz respeito às espécies arbóreas, devem ser observadas as diretrizes estabelecidas na Sistematização de Informações sobre Arborização Urbana do município. A lista de espécies arbóreas apresentada neste documento visa complementar as opções existentes com espécies nativas, a fim de contribuir para incremento de biodiversidade

e promover construção de infraestrutura verde nas áreas urbanas.

A lista de espécies arbustivas, herbáceas e forrações apresenta plantas nativas destacadas por suas características adequadas para dispositivos de drenagem sustentável. Muitas delas já são empregadas com base em estudos sobre biorretenção, mostrando-se eficazes na captação e na retenção de nutrientes, matéria orgânica, óleos, graxas, entre outros.

Na **Tabela 15** e na **Tabela 16** são elencadas as espécies recomendadas. As imagens, por sua vez, são acompanhadas de legendas apresentando informações sobre cada uma delas.

TABELA 15 Espécies arbóreas recomendadas

Nome popular	Nome científico	Porte (m)
Araçá-rosa	<i>Psidium cattleianum</i>	De 3 a 6
Cafezinho-do-mato	<i>Picramnia glazioviana</i>	De 2 a 8
Chá-mate	<i>Ilex paraguariensis</i>	De 6 a 8
Gabirola	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	De 6 a 12
Louro-branco	<i>Cordia superba</i>	20
Manacá da serra	<i>Tibouchina mutabilis</i>	De 5 a 10
Palmito-juçara	<i>Euterpe edulis</i>	De 5 a 12
Samambaiaçu	<i>Cyathea corcovadensis</i>	5
Tarumã	<i>Vitex megapotamica</i>	De 5 a 15



FIGURA 50 Araçá-rosa. Nome científico: *Psidium cattleianum*. Família: Angiospermae-Myrtaceae. É um arbusto/árvore perene com folhas ovais e flores brancas ou rosadas. Planta nativa do Brasil (Reflora, 2024)



FIGURA 51 Cafezinho-do-mato. Nome científico: *Picramnia glazioviana*. Família: Angiospermae – Picramniaceae. É um arbusto/árvore perene com folhas simples e alternadas e com pequenas flores esverdeadas. Planta nativa da Mata Atlântica (Reflora, 2024)



FIGURA 52 Chá-mate (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Ilex paraguariensis*. Família: Angiospermae – Aquifoliaceae. É um arbusto/árvore perene com folhas ovais e serrilhadas e com pequenas flores brancas. Planta nativa da Mata Atlântica (Reflora, 2024)



FIGURA 53 Gabiroba (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Campomanesia xanthocarpa*. Família: Angiospermae – Myrtaceae. É uma árvore perene com folhas ovais e flores brancas, seguidas por frutos amarelos. Planta nativa do Brasil (Reflora, 2024)



FIGURA 54 Louro-branco (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Cordia silvestres*. Família: Angiospermae – Cordiaceae. É uma árvore perene com folhas grandes e ovais e flores pequenas, brancas e amareladas. Planta nativa da Mata Atlântica (Reflora, 2024)



FIGURA 55 Manacá da serra (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Pleroma mutabile*. Família: Angiospermae – Melastomataceae. É um arbusto perene com folhas pequenas e ovaladas e flores tubulares de cor variada, geralmente rosas ou roxas. Planta nativa da Mata Atlântica (Reflora, 2024)



FIGURA 56 Palmito-juçara (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Euterpe edulis*. Família: Angiospermae – Arecaceae. É uma palmeira perene com folhas pinadas e frutos pequenos e comestíveis. Planta nativa da Mata Atlântica (Reflora, 2024)



FIGURA 57 Samambaiçu (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Cyathea corcovadensis*. Família: Angiospermae – Cyathea. É uma samambaia arborescente com folhas largas e divididas, formando uma copa exuberante. Planta nativa da Mata Atlântica (Reflora, 2024)



FIGURA 58 Taramã (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Vitex megapotamica*. Família: Angiospermae – Lamiaceae. É um arbusto/árvore perene com folhas compostas e flores pequenas, roxas ou lilases, agrupadas em cachos. Planta nativa do Brasil (Reflora, 2024)

TABELA 16 Espécies arbustivas, herbáceas e forrações

Nome popular	Nome científico	Porte (m)
Bromélia porto-seguro	<i>Aechmea blanchetiana</i>	De 0,6 a 0,9
Capim roxo-do-brejo	<i>Paspalum parvifolium</i>	De 0,06 a 0,4
Clúsia	<i>Clusia fluminensis</i>	De 0,5 a 6
Carqueja	<i>Baccharis trimera</i>	De 0,15 a 1
Falso-íris	<i>Neomarica caerulea</i>	1,4
Filodendro ondulado	<i>Philodendron bipinnatifidum</i>	De 0,5 a 2
Guaimbê	<i>Philodendron bipinnatifidum</i>	De 0,5 a 2
Helicônia papagaio	<i>Heliconia psittacorum</i>	De 0,5 a 1
Lantana arbustiva	<i>Lantana câmara</i>	De 1 a 3
Maranta-araruta	<i>Maranta arundinacea</i>	1
Maranta cinza	<i>Ctenanthe setosa</i>	De 0,5 a 1
Maranta-zebrina	<i>Calathea zebrina</i>	De 0,3 a 0,5
Orelha-de-onça	<i>Pleroma heteromallum</i>	De 0,6 a 1,7
Triális	<i>Galphimia brasiliensis</i>	De 0,5 a 1
Brilhantina	<i>Pilea microphylla</i>	-
Dinheiro-em-penca	<i>Pilea nummulariifolia</i>	-
Gramma amendoim	<i>Arachis repens</i>	-

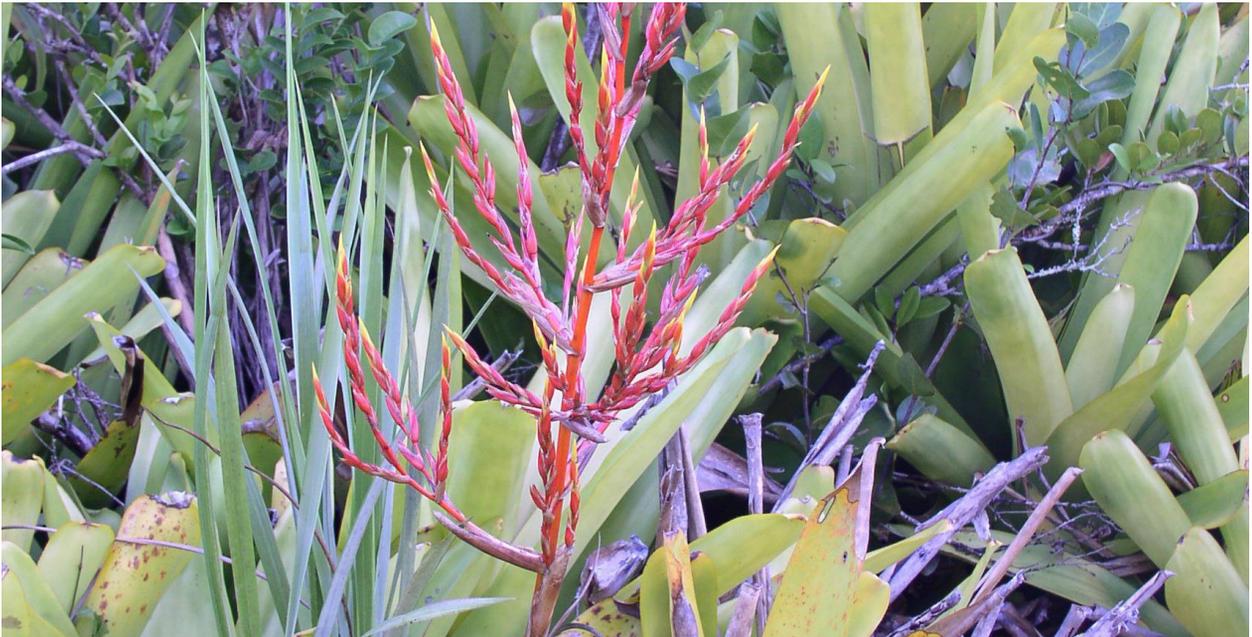


FIGURA 59 Bromélia porto-seguro (Reflora, 2024). Nome científico: *Aechmea blanchetiana*. Família: Angiospermae – Bromeliaceae. É uma herbácea epífita, rizomatosa e perene. É uma planta nativa de Mata Atlântica que exige um cultivo a pleno sol ou à meia-sombra (Lorenzi, 2008)



FIGURA 60 Capim roxo-do-brejo (Gbif, 2024). Nome científico: *Trichantheicum parvifolium*

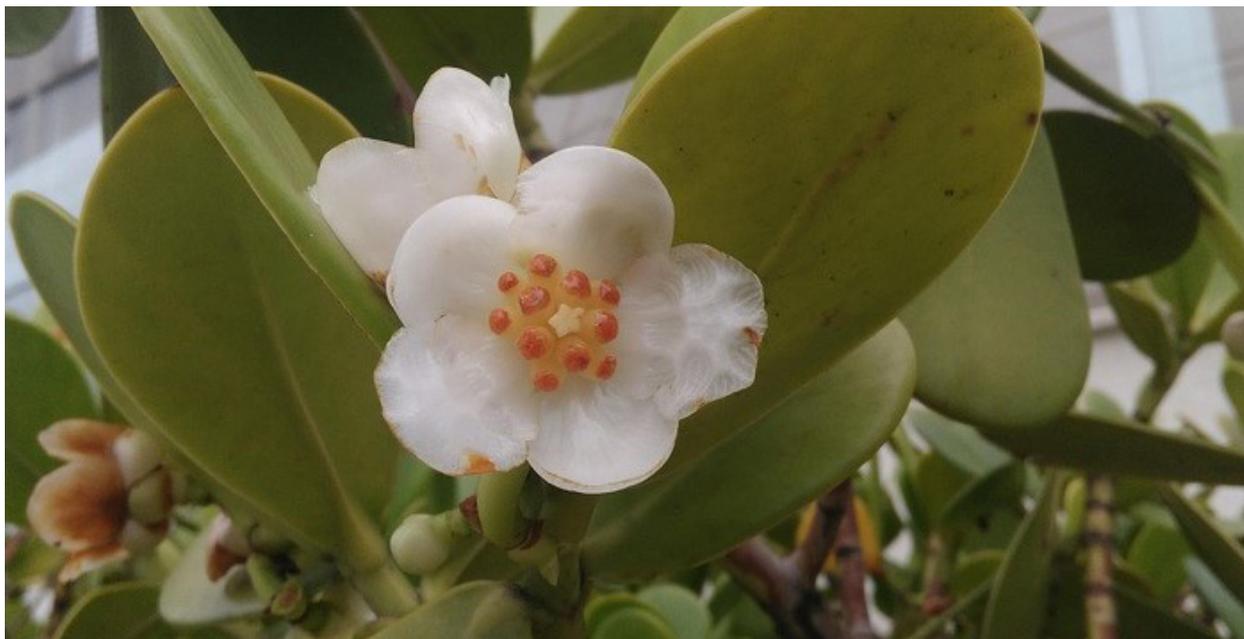


FIGURA 61 Clúsia (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Clusia fluminensis*. Família: Angiospermae – Clusiaceae. É uma árvore pequena de restingas, ramificada e com flores brancas. É uma planta nativa da Mata Atlântica (dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro) e que exige um cultivo a pleno sol ou à meia-sombra (Lorenzi, 2008)



FIGURA 62 Carqueja (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Baccharis timera*



FIGURA 63 Falso-íris (Reflora, 2024). Nome científico: *Neomarica caerulea*. Família: Angiosperma – Iridaceae. É uma herbácea rizomatosa, perene e floríferas. Planta nativa de Mata Atlântica do sudeste brasileiro. Demanda um cultivo a pleno sol ou à meia-sombra (Lorenzi, 2014). Apresenta um potencial de biorretenção de óleos, graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd e SDT (Pinheiro, 2017)



FIGURA 64 Filodendro ondulado (Reflora, 2024). Nome científico: *Philodendron undulatum*. Família: Angiosperma – Araceae. É um arbusto robusto com rizoma e folhas onduladas. Planta nativa da Mata Atlântica brasileira. Exige um cultivo à meia-sombra ou sob sombra (Lorenzi, 2008)



FIGURA 65 Guaimbê (Reflora, 2024). Nome científico: *Philodendron bipinnatifidum*. Família: Angiosperma – Araceae. É um arbusto escandente, robusto e com rizoma e folhas grandes. Planta nativa da Mata Atlântica presente no sudeste brasileiro. Exige um cultivo a pleno sol ou à meia-sombra (Lorenzi, 2008)



FIGURA 66 Helicônia papagaio (Flora Digital UFSC, 2024). Nome científico: *Heliconia psittacorum*. Família: Angiosperma – Heliconiaceae. É uma herbácea rizomatosa, entouceirada, com florescimento vermelho e amarelo. Nativa do Brasil. Demanda um cultivo a pleno sol (Lorenzi, 2014). Apresenta um potencial de biorretenção de óleos, graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu, Cd e sólidos dissolvidos totais (Pinheiro, 2017)



FIGURA 67 *Lantana arbustiva* (Reflora, 2024). Nome científico: *Lantana câmara*. Família: Angiosperma – Verbenaceae. É um arbusto perene, ramificado e lenhoso. Planta nativa do Brasil. Demanda um cultivo a pleno sol (Lorenzi, 2008). Apresenta uma floração pequena com diversas cores (rosa, laranja, amarela, vermelha, branca e violeta). Seu potencial florífero atrai borboletas e beija-flores (Horto Botânico – UFRJ)



FIGURA 68 *Maranta-araruta* (Nparks, 2024). Nome científico: *Maranta arundinacea*. É uma erva rosulada, não ramificada, que cresce até 1 m de altura. Exige um cultivo à meia-sombra (Reflora, 2024)

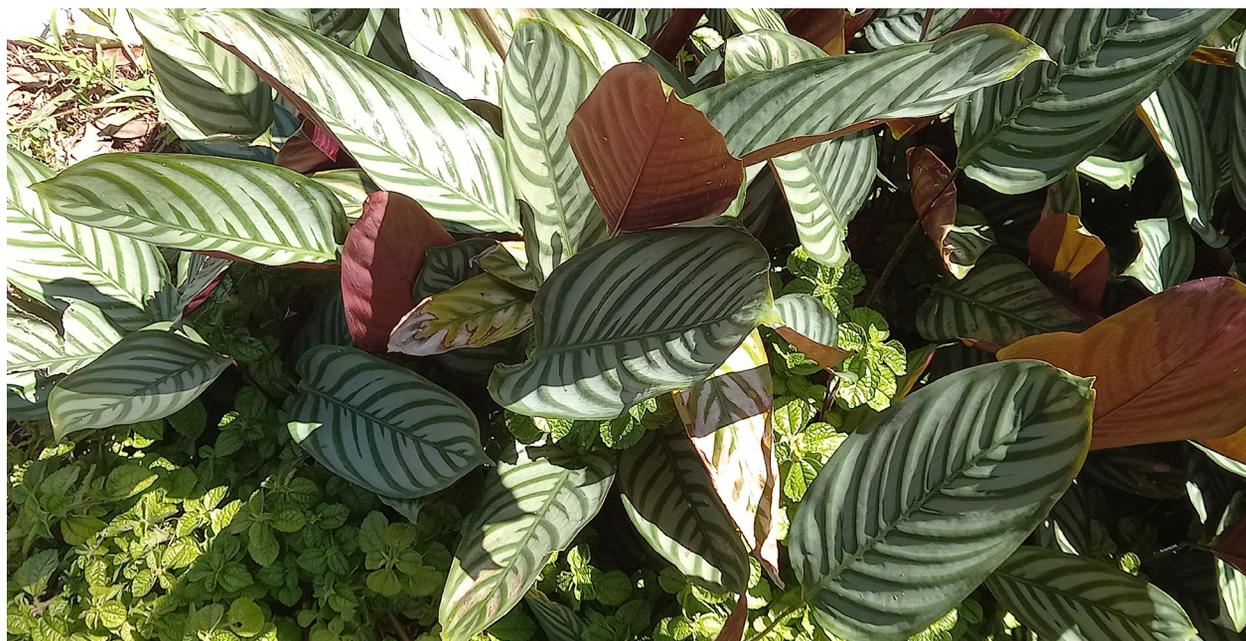


FIGURA 69 Maranta cinza (FCTH, 2024). Nome científico: *Ctenanthe setosa*. Família: Angiosperma – Marantaceae. É uma herbácea rizomatosa nativa de Mata Atlântica. Demanda um cultivo à meia-sombra (Lorenzi, 2008)

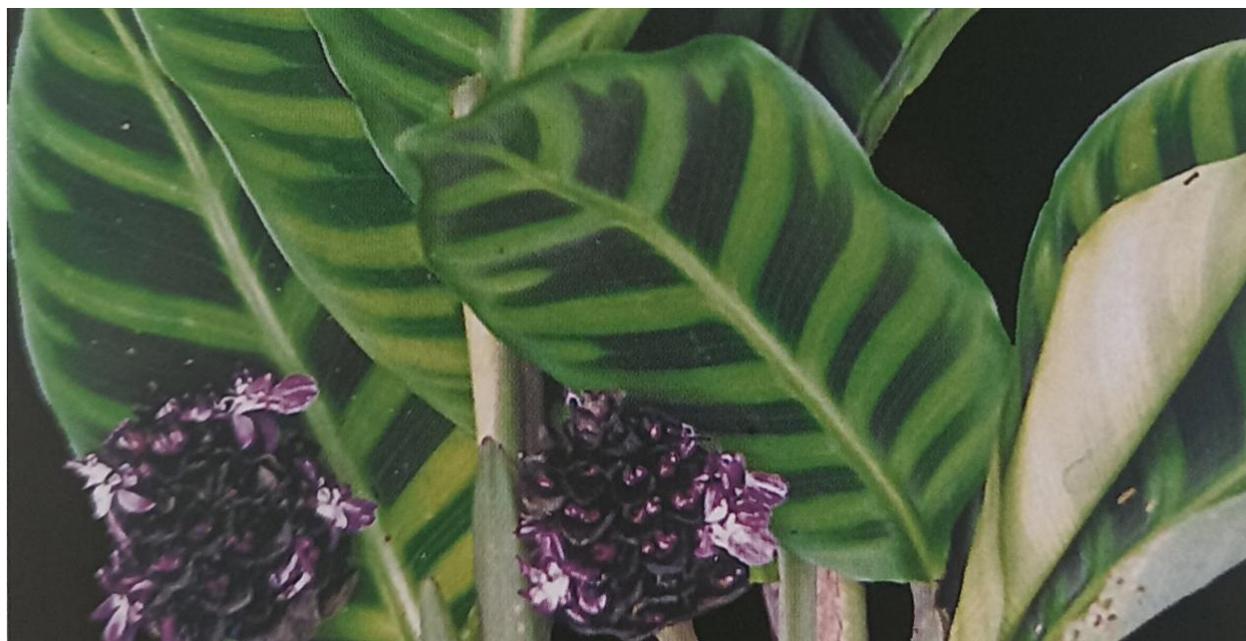


FIGURA 70 Maranta-zebrina (Reflora, 2024). Nome científico: *Calathea zebrina* Família: Angiosperma – Marantaceae. É uma herbácea perene de folhas grandes. Planta nativa do Brasil. Exige um cultivo à sombra ou à meia-sombra (Lorenzi, 2008)



FIGURA 71 Orelha-de-onça (Socfindo Conservation, 2024). Nome científico: *Pleroma heteromallum*. Família: Angiospermas – Melastomataceae. É um arbusto com ramos quadrangulares, canaliculados e estrigosos. Sua floração é com pétalas roxas (Reflora, 2024)



FIGURA 72 Triális (FCTH, 2022). Nome científico: *Galphimia brasiliensis*. Família: Angiosperma – Malpighiaceae. É um arbusto lenhoso, muito ramificado, de ramagem aberta. Apresenta uma floração amarela durante quase todo o ano. Planta nativa da Mata Atlântica e de área de transição para o Cerrado. Demanda um cultivo a sol pleno (Lorenzi, 2008)



FIGURA 73 Brilhantina (Reflora, 2024). Nome científico: *Pilea microphylla*. Família: Angiospermae – Urticaceae. É uma herbácea perene, muito ramificada. Nativa da América tropical. Demanda um cultivo a sol pleno (Lorenzi, 2008)



FIGURA 74 Dinheiro-em-penca (Nparks, 2024). Nome científico: *Pilea nummulariifolia*. Família: Angiosperma – Urticaceae. É uma herbácea reptante, perene, com ramagem delicada e folhagem ornamental. Nativa da América tropical. Exige um cultivo à meia-sombra (Lorenzi, 2008)



FIGURA 75 Grama amendoim (Gbif, 2024). Nome científico: *Arachis repens*. Família: Angiospermae – Fabaceae-Faboideae. É uma herbácea reptante, perene e com flores amarelas. Nativa do Brasil. Exige um cultivo a pleno sol (Lorenzi, 2008)

Conclusão

A drenagem sustentável é a abordagem mais atual na gestão das águas pluviais, refletindo a necessidade de conciliar os efeitos da urbanização e das mudanças climáticas com a preservação ambiental.

Nesse contexto, este Manual objetivou disseminar o conhecimento acerca de conceitos, diretrizes e critérios de dimensionamento de estruturas relacionadas à drenagem sustentável e, também, complementar as orientações da Etapa 1 do PDDMAP de São José dos Campos.

Aqui foram definidas as bases para o planejamento da gestão das águas pluviais do Município de São José dos Campos, definindo como princípios:

- Valorizar a água como elemento da paisagem urbana, preservando áreas de manancial e várzeas, buscando sempre integrar a rede de drenagem às áreas verdes e aos espaços livres.
- Fomentar o aumento de áreas naturais e garantir conexões entre elas, permitindo, assim, a construção de redes de infraestrutura verde.

- Valorizar a paisagem, promovendo, além da função hidráulica, as funções estéticas e socioculturais.
- Garantir uma melhor qualidade da água, adotando medidas de drenagem sustentável que reduzam as cargas de poluição pontual e difusa que alcançam os córregos.
- Identificar áreas livres com potencial para amortecimento e acomodação do volume de águas pluviais.
- Deve-se ter uma visão integrada da bacia hidrográfica, considerando-a como escala para o planejamento ou a intervenção. Desse modo, toda e qualquer modificação deve ser equitativa, sem transferir impactos para outros pontos da bacia hidrográfica.
- Promover intervenções hidráulicas em várias escalas (lote, bairro, vale-várzea, microbacias, entre outras).
- Promover múltiplos usos para a área de intervenção, atendendo às demandas da população.
- Planejar novas intervenções e a expansão da malha urbana, considerando a LPUOS e as etapas do PDDMAP.
- Direcionar a implantação de grandes equipamentos urbanos e de habitações para áreas que ofereçam segurança, resiliência e fácil acessibilidade,

evitando as áreas de risco e suscetíveis a inundações.

- Reforçar a gestão local de águas pluviais, considerando o controle na fonte durante os eventos de chuva. Desse modo, o escoamento pluvial deve ser captado por cada usuário urbano e não deve aumentar o volume de cheia natural. Excepcionalmente, quando isso ocorrer, o acréscimo deve ser amortecido a jusante e custeado pelo projeto em causa.
- Gerenciar, manter e fiscalizar o sistema de drenagem.

Com a aplicação dos princípios, critérios, metodologias e diretrizes aqui descritos, o Município de São José dos Campos espera ampliar o conhecimento local para a aplicação de técnicas compensatórias, técnicas essas que priorizem o controle do escoamento superficial na fonte ao longo da bacia hidrográfica, implantando as SBN para o controle da quantidade e da qualidade das águas pluviais, proporcionado o controle da poluição difusa e da infiltração dessas águas no solo.

Bibliografia

ADASA. *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal*. Brasília, DF: Adasa; Unesco, 2023.

AHERN, J. Planning and design for sustainable and resilient cities: theories, strategies, and best practices for green infrastructure. *In*: J. Novotny, J. Ahern e P. Brown, *Water Centric Sustainable Communities: Planning, Retrofitting, and Building the Next Urban Environment*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010, p. 135-176.

AMORIM, L. F. Hydrological Modeling Using Distributed Rainfall Data to Represent the Flow in Urban Watersheds. *RBRH*, v. 27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220060>. Acesso em: 30 jul. 2024.

ANDREOLI, C. V. (coord.). *Lodo de fossa séptica: Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final*. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). v. 6.

Rio de Janeiro: Finep, 2009. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_6.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15527: aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis.* Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16416: pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos.* Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.* Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.* Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, entre outras disposições. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: Brasília, DF, 16 jul. 2020.

CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes.* 2. ed. ampl. rev. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

CHOUDHURY, E.; MILLAR, A. Características físicas-hídricas de três latossolos irrigados do Projeto Bebedouro. *In: Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Pesquisa em Irrigação no Trópico Semiárido: Solo, Água, Planta. Boletim de Pesquisa, Petrolina, v. 4, 1981, p. 1-14.*

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPCÃO, R. D.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde em debate, v. 43, p. 94-108, 2019.*

COHEN-SHACHAM, E. et al. *Nature-based solutions to address global societal challenges.* Gland: IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources), 2016.

DAGENAIS, D.; BRISSON, J.; FLETCHER, T. D. The Role of Plants in Bioretention Systems: Does the Science Underpin Current Guidance? *Ecological Engineering, v. 120, p. 532-545, 2018.*

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES. *Bioretention Manual*. Maryland: Environmental Services Division, 2009.

DOTRO, G. *et al. Treatment Wetlands*. Londres: IWA Publishing, 2017.

FCTH. *Desenvolvimento de metodologia e projeto piloto de revitalização de bacia urbana, replicável para as demais bacias da região metropolitana (bacia do córrego Jaguaré)*. São Paulo: FCTH, 2017.

FCTH; CTG. *Desenvolvimento de uma metodologia de gestão integrada de riscos associados às emergências em barragens*. São Paulo: Aneel, 2015.

FISCHENICH, J.; ALLEN, H. *Stream Management (Final Report)*. Water Operations Technical Support Program. Vicksburg: U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2000. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA376384.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

FLETCHER, T. D. SUDS, LID, BMPS, WSUD and more – The Evolution and Application of Terminology Surrounding Urban Drainage. *Urban Water Journal*, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015.

GOMES, L. P. (coord.). *Resíduos sólidos: estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras*. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). v. 3. Rio de Janeiro: Finep, 2009. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_3.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

GONÇALVES, R. F. (coord.). *Uso racional de água e energia: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). v. 5. Rio de Janeiro: Finep, 2009. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_5.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

HONG, Y. *et al.* Impact of Escherichia coli from Stormwater Drainage on Recreational Water Quality: An Integrated Monitoring and Modelling of Urban Catchment, Pipes and Lakes. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 2245-2259, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10629-y>. Acesso em: 30 jul. 2024.

HUNT, W. F. *Plant Selection for Bioretention Systems and Stormwater Treatment Practices*. Singapura: Springer, 2014.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. In: PÖRTNER H.-O. *et al.* (eds.). *Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; Nova York: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

KIM, Y. *et al.* Fail-safe and safe-to-fail adaptation: decision-making for urban flooding under climate change. *Climatic Change*, v. 145, 2017, p. 397-412.

KIM, Y.; SONG, S.-K. The Multifunctional Benefits of Green Infrastructure in Community Development: An Analytical Review Based on 447 Cases. *Sustainability*, Basileia, MDPI, v. 11, n. 14, p. 3917, 2019.

LIBOS, M.; ROTUNNO FILHO, O.; ZEILHOFER, P. Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em geoprocessamento. *Revista brasileira de recursos hídricos*, v. 8, n. 4, p. 113-135, 2003.

LORENZI, H. *Plantas ornamentais no Brasil*. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2008.

MAGALHÃES, A. A. *The dynamic of seasonal nonpoint pollution in complex watersheds*. São Paulo: EP-USP, 2022.

MARENGO, J. *et al.* An Integrated Framework to Analyze Local Decision Making and Adaptation to Sea Level Rise in Coastal Regions in Selsey (UK), Broward County (USA), and Santos (Brazil). *American Journal of Climate Change*, v. 6, n. 2, p. 403-424, 2017. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=77255>. Acesso em: 31 jul. 2024.

MATSLER, A. M. A 'green' chameleon: Exploring the many disciplinary definitions, goals, and forms of "green infrastructure". *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, v. 214, 2021.

MCHARG, I. *Design with nature*. Nova York: American Museum of Natural History, 1969.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. D. Infraestruturas sustentáveis no Brasil: oportunidades para o saneamento e políticas urbanas. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, v. 25, n. 1, p. 27-38, 2021.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R. *Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o Brasil adotar?* Rio de Janeiro: Ipea, 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11420/1/TD_2791.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

MOTA, F. S. B. M.; VON SPERLING, M. (coord.). *Esgoto: nutrientes de esgoto sanitário* –

MUERDTER, C. P.; WONG, C. K.; LEFEVRE, G. H. Emerging Investigator Series: The Role of Vegetation in Bioretention for Stormwater Treatment in the Built Environment: Pollutant Removal, Hydrologic Function, and Ancillary Benefits. *Environmental Science: Water Research & Technology*, v. 4, p. 592-612, 2018.

MUHAMMAD, M. *et al.* Suitability of bioengineering channels in erosion control: Application to urban stormwater drainage systems. *Advances as Applications in Fluid Mechanics*, v. 19, n. 4, p. 765-785, 2016.

NOVOTNY, V. *Water quality: diffuse pollution and watershed management.* Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

NOVOTNY, V.; OLEM, H. *Water quality: Prevention, identification and management of diffuse pollution.* Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

PÁDUA, V. L. (coord.). *Água: remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano.* Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). v. 1. Rio de Janeiro: Finep, 2009. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_1.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

PAULEIT, S. *et al.* Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green. In: KABISCH, N. *et al.* (Ed.). *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice.* Springer Open, 2017, p. 29-49. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56091-5_3. Acesso em: 15 out. 2024.

PAYNE, E. *et al.* *Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems – Summary Report: Cities as Water Supply Catchments – Sustainable Technologies.* Melbourne: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, 2015.

PEREIRA, R.; STUDART, T. C. Segurança de barragens e borda livre: uma revisão sistemática das abordagens sob diferentes perspectivas e finalidades. *XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.* Sergipe: ABRHidro, 2023.

PINHEIRO, M. B. *Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: identificação de critérios para seleção de espécies.* Dissertação (mestrado em Paisagem e Ambiente) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PMSJC (Prefeitura do Município de São José dos Campos). *Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais.* São José dos Campos: PMSJC, 2021.

POLETO, C. SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*): uma contextualização histórica. *Revista Thema*, v. 8, n. 1, p. 5-30, 2011.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, p. 15-23, 2000. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a_2d24cc-c39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

PORTO, M. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C.; PORTO, R.; BARROS, M. *Drenagem urbana.* Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995, p. 387-414.

RAHMAN, M. A. et al. (2023). A Comparative Analysis of Urban Management. *Sci Rep*, v. 13, n. 1451, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28629-6>. Acesso em: 2 ago. 2024.

RIGHETTO, A. M. (coord.). *Manejo de águas pluviais urbanas.* Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). v. 4. Rio de Janeiro: Finep, 2009. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-efinanciamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf. Acesso em: 5 ago. 2024.

ROSSI, M. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado.* São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

RUZISKA, A. A.; SUGUIO, K. Impactos ambientais sobre os recursos hídricos para abastecimento público em São José dos Campos. *Revista Universidade de Guarulhos*, v. 7, n. 1, p. 5-30, 2008.

SÃO PAULO (Município). Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. *Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas.* São Paulo: DAEE, 2005. Disponível em: http://www.dae.sp.gov.br/site/wp-content/uploads/2024/05/GuiaPratico_Dae_2005.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

SÃO PAULO (Município). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana*. v. 1. São Paulo: SMDU, 2012. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

SILVA, A. F. *Composição florística e estrutura fitossociológica do estrato arbóreo da Reserva Florestal Professor Augusto Ruschi, São Jose dos Campos, SP*. Tese (doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

SILVA, D. F. et al. Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, Porto Alegre, v. 21, 2024. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/864/140>. Acesso em: 15 out. 2024.

SILVA, J. C. A. *Bacias hidrográficas urbanizadas: renaturalização, revitalização e recuperação: um estudo da bacia do Jaguaré*. Tese (doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SILVA, L. B.; ALENCAR, M. H.; DE ALMEIDA, A. T. Multidimensional flood risk management under climate changes: Bibliometric analysis, trends and strategic guidelines for decision-making in urban dynamics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 50, 2020.

SKOROBOGATOV, A. The Impact of Media, Plants and their interactions on Bioretention Performance: A Review. *Science of the Total Environment*, v. 715, p. 136.918, 2020.

TUCCI, C. M. (2012). *Gestão da drenagem urbana*. Brasília, DF: Cepal/Ipea, 2012. Disponível em: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/38004/LCBRSR274_pt.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

TUCCI, C. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. L. *Drenagem urbana*. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Bioretention Design Handbook: Designing Holistic Bioretention for Performance and Longevity*. EPA, 2023. utilização e remoção. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). v. 2. Rio de Janeiro: Finep, 2009. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/>

apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_2.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. Dimensionamento de *wetlands* construídos no Brasil: documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. *Boletim Wetlands Brasil*, edição especial, dez. 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. *The Global Risks Report 2022: insight report*. 17. ed. World Economic Forum, 2022. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

ZHANG, Y.; SCHAAP, M. Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: a review. *Journal of Hydrology*, v. 575, p. 1011-1030, 2019.

ZÖLCH, T. *et al.* Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. *Environmental Research*, v. 157, p. 135-144, 2017.

Glossário

Alagado construído (*wetland*)

Sistemas semiaquáticos utilizados para remoção de cargas poluidoras por meio da vegetação presente, otimizando processos naturais de transformação da matéria orgânica e a reciclagem de nutrientes.

Alagamento

Acúmulo de água nas vias da cidade decorrente da deficiência ou inexistência do sistema de microdrenagem.

Bacia de detenção

Depressões projetadas para armazenar temporariamente volumes de águas pluviais durante eventos de chuva intensa.

Best Management Practices (BMP) ou Melhores Práticas de Manejo

Conjunto de técnicas, métodos e abordagens desenvolvidos para minimizar o impacto ambiental, especialmente no contexto da gestão de recursos hídricos, como águas pluviais, solos e poluentes.

Bioengenharia

Área do conhecimento que utiliza ferramentas, métodos e princípios de engenharia para o desenvolvimento de soluções que compatibilizam sistemas orgânicos e inorgânicos, de maneira otimizada, para a realização de suas funções. Outros termos correlatos são engenharia biológica ou engenharia ecológica.

Biorretenção

Depressão vegetada rasa, projetada para receber e infiltrar o escoamento das águas pluviais.

Biovaleta

Canais vegetados projetados para conduzir e infiltrar o escoamento superficial das chuvas.

Canais sustentáveis

Estruturas de bioengenharia no sistema de macrodrenagem. projetadas para

conduzir águas pluviais através de corredores verdes que utilizam revestimento vegetado ou uma combinação entre vegetação e estruturas construídas em seus taludes.

Chuva de projeto

Determinação do volume de chuva e de sua distribuição temporal e espacial, sobre uma bacia hidrográfica, necessária para desenvolvimento de um projeto de drenagem. A essa chuva associa-se um determinado risco hidrológico, comumente chamado de período de retorno.

Chuva excedente

Parcela da precipitação que se transforma em escoamento superficial após a interceptação inicial e a infiltração.

Cidades-esponja

Cidades projetadas para absorver, reter, filtrar e reutilizar a água da chuva de maneira eficiente, imitando a função de uma esponja. Corresponde à adoção de uma estratégia sustentável para minimizar enchentes, melhorar a qualidade da água e recarregar os lençóis freáticos.

Dano

Definição da severidade ou intensidade da lesão resultante de um acidente

ou evento adverso. Os danos causados por desastres classificam-se em: danos humanos, materiais, econômicos e ambientais¹.

Escoamento superficial direto

Parcela da água precipitada que não infiltra no solo e que escoam superficialmente até alcançar os corpos de água. O mesmo que *runoff* em inglês.

Facilitador de infiltração

Escavações preenchidas com material drenante e projetadas para aumentar a capacidade do solo de infiltrar águas pluviais.

Forebay

Bacia para sedimentação e/ou tomada d'água na entrada de estruturas de retenção.

Inundação

Transbordamento de água da calha de rios, lagos e reservatórios provocado por chuva intensa e em áreas não habitualmente submersas.

Low Impact Development (LID), sigla em inglês para Desenvolvimento de Baixo Impacto

Planejamento e desenvolvimento urbano que busca minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente, principalmente no caso de impactos relacionados à gestão de águas pluviais.

Macro drenagem

Conjunto de elementos hidráulicos estruturantes, naturais e/ou construídos necessários para gerir grandes volumes de águas pluviais (dezenas de milhares de m³ ou mais), com o objetivo de prevenir inundações e preservar a qualidade dos corpos hídricos em harmonia com as demais infraestruturas urbanas. Ele é conectado ao sistema de microdrenagem, recebendo suas contribuições ao longo da bacia.

Micro drenagem

Conjunto de elementos hidráulicos, naturais e/ou construídos, necessário para captar e conduzir o escoamento superficial (milhares de m³ ou menos) e escoar até a macrodrenagem, explorando o potencial para infiltração, retenção e

1. BRASIL. **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. Brasília: Ministérios do Planejamento e Orçamento, 1998.

retenção da bacia em harmonia com as demais infraestruturas urbanas.

Parque linear

Corredores verdes que seguem o curso de rios ou córregos urbanos, combinando funções recreativas com a gestão de águas pluviais. Seu comprimento é significativamente maior que sua largura.

Pavimento permeável

Superfícies do sistema viário que permitem o processo de infiltração da água da chuva para suas camadas drenantes.

Período de retorno

É o período médio (em anos) em que um evento natural pode ocorrer, com base nos registros históricos de chuva existentes. Seu inverso corresponde à probabilidade de o evento ocorrer a cada ano. Por exemplo, uma chuva de 100 anos ocorre em média uma vez a cada 100 anos. A cada ano a probabilidade de o evento ocorrer é 1/100.

Pôlder

Obra hidráulica empregada para proteger áreas baixas marginais de canais, em geral composto por dique, reservatório de armazenamento, rede de dutos e bombas.

Reservatório de armazenamento

Estrutura com barramento que acumula temporariamente parte da cheia com a função de amortecer as vazões e reduzir os riscos de inundações a jusante, de maneira harmônica e integrada aos demais sistemas urbanos. Podem assumir variadas formas e volumes.

Risco

Produto da probabilidade de ocorrência de um evento e seu perigo associado, que é o potencial de danos causados. No contexto de planejamento de drenagem urbana, está vinculado à possibilidade de ocorrência de eventos de chuva, expressa pelo período de retorno.

Soluções baseadas na Natureza (SbN)

Ações voltadas para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, abordando desafios sociais como mudanças climáticas, segurança alimentar e hídrica, ou desastres naturais. Essas iniciativas devem ser eficazes, adaptativas e capazes de promover o bem-estar humano, além de gerar benefícios para a biodiversidade (Cohen-Shacham *et al.*, 2016).

Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)*, sigla em inglês para **Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana*

São sistemas projetados para gerenciar e controlar o escoamento de águas pluviais em áreas urbanas de forma mais sustentável e ecológica. O objetivo principal dos SUDS é mitigar os impactos negativos da urbanização sobre o ciclo da água, como enchentes, poluição hídrica e degradação dos ecossistemas aquáticos.

Telhado verde

Sistemas instalados sobre a cobertura de edificações que incorporam camada de solo vegetado e sistemas de drenagem. Também conhecidos como coberturas vegetadas ou tetos vegetados.

Water Sensitive Urban Design (WSUD)*, sigla em inglês para **Design Urbano Sensível à Água*

Metodologia de planejamento e desenvolvimento urbano que integra a gestão sustentável da água no design e na construção de cidades. O principal objetivo é minimizar os impactos negativos do desenvolvimento urbano no ciclo natural da água, ao mesmo tempo em que aproveita a água da chuva como um recurso valioso. Essa abordagem combina infraestrutura verde e técnicas de drenagem para

melhorar a resiliência das cidades frente às mudanças climáticas e ao crescimento populacional.

Anexo

