

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), através do contrato 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 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 nove capítulos os quais 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.

Em seguida, são apresentados os avanços da drenagem e 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 a planejamento, dimensionamento e manutenção destas técnicas de drenagem.

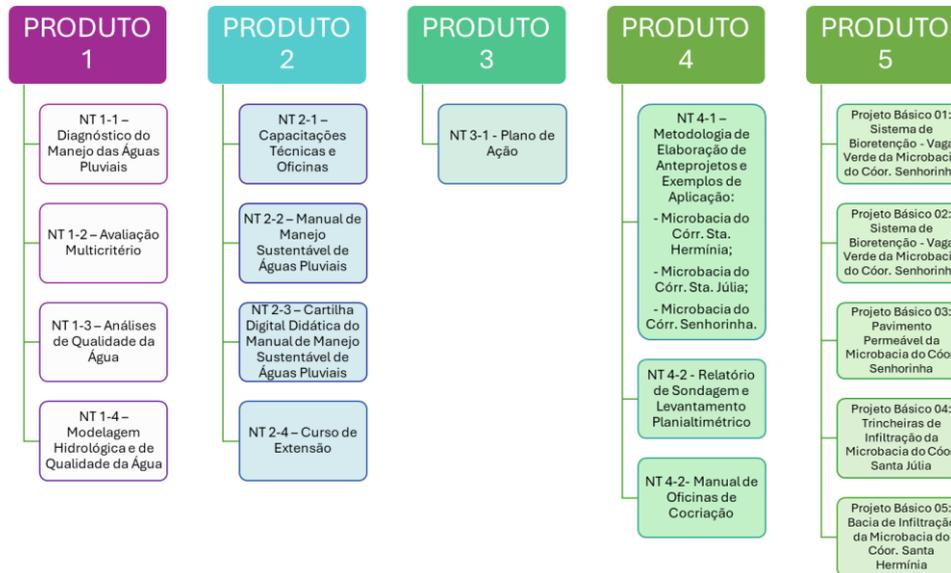


Figura 1 - Fluxograma de Notas Técnicas associas a cada produto desenvolvido durante o projeto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. ESTADO DA ARTE DA DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.....	17
2.1. Saneamento básico e a drenagem urbana	17
2.2. A urbanização e as águas	20
2.2.1. Quantidades das águas pluviais.....	22
2.2.2. Quantidades dos sedimentos.....	23
2.2.3. Qualidade das águas	23
2.3. Evolução da drenagem e diferentes termos do manejo sustentável de água pluviais .	27
3. DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.....	32
3.1. Hidrografia de São José Dos Campos	32
3.2. O Plano Diretor de Drenagem de Manejo Sustentável de Águas Pluviais.....	34
3.3. Regulação e normas aplicáveis ao manejo de águas pluviais.....	37
3.3.1. Regulação de Quantidade das Águas Pluviais Urbanas	42
3.4. Manual de estratégias sustentáveis.....	45
4. BASES ADOTADAS PARA O PLANEJAMENTO DA GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.....	50
4.1.1. Escalas de projeto.....	50
<i>Escala do lote.....</i>	<i>51</i>
<i>Escala de bairro</i>	<i>52</i>
<i>Escala de vale ou várzea</i>	<i>53</i>
<i>Escala da bacia hidrográfica.....</i>	<i>54</i>
4.1.2. Critérios urbanísticos	55
<i>A identificação de áreas.....</i>	<i>56</i>
<i>Sistema viário e Mobilidade.....</i>	<i>56</i>
<i>Índices de impermeabilização.....</i>	<i>57</i>
4.1.3. Critérios da paisagem	59

5. COMPONENTES DO SISTEMA DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL.....	60
5.1. Medidas não-estruturais	60
5.2. Medidas estruturais	61
6. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS INFRAESTRUTURAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL	64
6.1. Relação Benefício/Custo	68
7. APLICAÇÃO DA DRENAGEM SUSTENTÁVEL.....	69
7.1. ÁREAS ESPECIAIS PARA DRENAGEM SUSTENTÁVEL	69
7.2. MICRODRENAGEM.....	70
7.2.1. Tipologias de medidas estruturais sustentáveis	70
<i>Biorretenções.....</i>	<i>71</i>
<i>Biovaletas</i>	<i>73</i>
<i>Telhados Verdes.....</i>	<i>75</i>
<i>Pavimentos Permeáveis.....</i>	<i>77</i>
<i>Bacias de Detenção.....</i>	<i>79</i>
<i>Facilitadores de Infiltração</i>	<i>81</i>
<i>Reservatório de Detenção no Lote.....</i>	<i>83</i>
7.2.2. Guia de projeto de medidas estruturais sustentáveis	86
<i>Biorretenções.....</i>	<i>87</i>
<i>Biovaletas</i>	<i>101</i>
<i>Telhados Verdes.....</i>	<i>107</i>
<i>Pavimentos Permeáveis.....</i>	<i>113</i>
<i>Bacias de Detenção.....</i>	<i>120</i>
<i>Facilitadores de Infiltração</i>	<i>125</i>
<i>Reservatório de Detenção no Lote.....</i>	<i>132</i>
7.3. MACRODRENAGEM SUSTENTÁVEL	139
7.3.1. Tipologias de medidas estruturais sustentáveis	139
<i>Canais Sustentáveis</i>	<i>140</i>
<i>Parques Lineares.....</i>	<i>141</i>

<i>Reservatórios Multiuso</i>	144
7.3.2. Guia de projeto de medidas estruturais sustentáveis	148
<i>Canais Sustentáveis</i>	148
<i>Parques Lineares</i>	153
<i>Reservatórios Multiuso</i>	157
8. VEGETAÇÃO NA DRENAGEM SUSTENTÁVEL	162
8.1. Critérios de seleção de espécies vegetais	163
<i>Espécies nativas e não invasoras</i>	163
<i>Espécies resistentes</i>	163
<i>Espécies adequadas aos dispositivos de drenagem sustentável</i>	164
<i>Alta biodiversidade</i>	164
<i>Incremento da fauna</i>	164
<i>Raízes das espécies</i>	165
<i>Estética</i>	165
8.2. Espécies recomendadas para o plantio em tecnologias de drenagem sustentável em São José dos Campos.....	166
8.2.1. Espécies arbóreas	168
8.2.2. Espécies arbustivas, herbáceas e forrações	172
9. CONCLUSÃO	181
10. EQUIPE TÉCNICA	183
11. REFERENCIAS.....	184
GLOSSÁRIO.....	191
ANEXO	195

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Poluentes, suas principais origens e seus impactos sobre os corpos hídricos.....	26
Tabela 2 - Principais legislações de SJC que contribuíram para o desenvolvimento do PDDMAP	37
Tabela 3 – Peso dos benefícios por R\$1,00 investido	65
Tabela 4 - Atividades que devem ser quantificadas e a sua periodicidade	66
Tabela 5 - Tabela resumo de informações sobre biorretenções	100
Tabela 6 - Tabela resumo de informações sobre biovaletas.....	106
Tabela 7 - Tabela resumo de informações sobre telhados verdes.....	112
Tabela 8 - Tabela resumo de informações sobre pavimentos permeáveis	119
Tabela 9 - Tabela resumo de informações sobre bacias de detenção	124
Tabela 10 - Tabela resumo de informações sobre facilitadores de infiltração.....	131
Tabela 11 - Tabela resumo de informações sobre reservatórios de detenção no lote	138
Tabela 12 - Tabela resumo de informações sobre canais sustentáveis.....	152
Tabela 13 - Tabela resumo de informações sobre parques lineares.....	156
Tabela 14 - Tabela resumo de informações sobre reservatórios multiuso	161
Tabela 15 - Listagem de espécies arbóreas recomendadas.....	168
Tabela 16 - Lista espécies arbustivas, herbáceas e forrações.....	172

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de Notas Técnicas associas a cada produto desenvolvido durante o projeto	3
Figura 2 - Conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais do saneamento básico. Fonte: FCTH,2024.....	19
Figura 3 – Diferenças do balanço hídrico entre período pré e pós-urbanização.	20
Figura 4 – Tipos de Poluição.....	24
Figura 5 - Fases do desenvolvimento da gestão de águas urbanas.	27
Figura 6 – Diferentes terminologias da drenagem e manejo sustentável das águas pluviais.Fonte: Fletcher (2015); Matsler et al. (2021) e Christofidis, Assumpção e Kligerman (2020).....	28
Figura 7 – Recuperação do canal Catharijnesingel, Utrecht, Holanda	29
Figura 8 - Revitalização do Rio Cheong, Seul, Coreia do Sul.	30
Figura 9 - Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis, Niterói, Rio de Janeiro.	30
Figura 10 – Jardim de chuva no Campus USP, São Paulo.....	31
Figura 11 - Mapa da hidrografia do município de São José dos Campos.	33
Figura 12 – Medidas estruturais e não-estruturais elaboradas no PDDMAP – Etapa I.	35
Figura 13 – Método para elaboração de anteprojetos de drenagem sustentável e infraestrutura verde. Fonte: FCTH,2024.....	36
Figura 14 – Diagrama das escalas de projeto	51
Figura 15 - Diagrama da escala de lote.	52
Figura 16 - Diagrama da escala de bairro.	53
Figura 17 - Diagrama da escala de vale ou várzea.	54
Figura 18 - Diagrama da escala de bacia hidrográfica.	55
Figura 19 - Representação esquemática de jardim de chuva com sistema fechado.71	
Figura 20 - Representação esquemática de jardim de chuva com sistema aberto. ..	72
Figura 21 - Representação Esquemática de biovaleta.....	74
Figura 22- Representação esquemática de telhado verde extensivo.....	76

Figura 23- Representação esquemática de telhado verde intensivo.....	76
Figura 24- Representação esquemática de pavimento permeável do tipo asfalto poroso (via a esquerda) e bloco de concreto (via a direita).....	78
Figura 25- Representação esquemática de bacia de detenção com cobertura vegetada.....	80
Figura 26 - Representação esquemática de bacia de detenção com superfície dura.	80
Figura 27 - Representação esquemática de trincheira de infiltração.....	82
Figura 28 - Representação esquemática de detenção no lote aberto.	84
Figura 29 - Corte esquemático de biorretenção aberta, do tipo jardim de chuva	87
Figura 30 - Corte esquemático de biorretenção fechada, ligada à rede de microdrenagem	88
Figura 31 - Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético).....	97
Figura 32 - Corte esquemático de biovaleta fechada	101
Figura 33 - Corte esquemático de biovaleta aberta.....	101
Figura 34 - Corte esquemático de telhado verde extensivo.	107
Figura 35 - Corte esquemático de pavimento permeável do tipo asfalto poroso (via a esquerda) e bloco intertravado (via a direita)	113
Figura 36 - Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético).....	116
Figura 37 - Corte esquemático de bacia de detenção com cobertura vegetada	120
Figura 38 - Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo poço	126
Figura 39 - Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo trincheira	126
Figura 40 - Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo bacia	126
Figura 41 - Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético).....	128
Figura 42 - Corte esquemático de reservatório de detenção no lote aberto.....	132
Figura 43 - Exemplo de canais sustentáveis	141
Figura 44 - Exemplo de parque linear simplificado.....	142

Figura 45 - Exemplo de parque linear ousado.....	143
Figura 46 - Reservatório <i>in-line</i> de Retenção, Aricanduva 2, em São Paulo.....	144
Figura 47 - Reservatório <i>off-line</i> de Detenção, Inhumas, em São Paulo.....	145
Figura 48 - Exemplo de reservatório multiuso aberto.....	145
Figura 49 - Exemplo de reservatório multiuso fechado, Watersquare Bentemplein – Rotterdam, Holanda.	146
Figura 50 - Araçá.....	168
Figura 51 - Cafezinho-do-mato.....	169
Figura 52 - Chá mate.	169
Figura 53 - Gabiroba.	169
Figura 54 - Louro Branco.....	170
Figura 55 - Manacá da Serra.....	170
Figura 56 - Palmito-juçara.	170
Figura 57 - Samambaiçu.	171
Figura 58 - Tarumã.....	171
Figura 59 - Bromélia Porto Seguro.....	173
Figura 60 - Capim Roxo-do-brejo.....	173
Figura 61 - Clúsia.	174
Figura 62 - Carqueja.	174
Figura 63 - Falso-Íris.	175
Figura 64 - Filodendro Ondulado.....	175
Figura 65 - Guaimbê.	176
Figura 66 - Helicônia Papagaio.	176
Figura 67 - Lantana.	176
Figura 68 - Maranta Aruruta.	177
Figura 69 - Maranta Cinza.....	177
Figura 70 - Maranta Zebrina.....	178



Figura 71 - Orelha-de-Onça.	178
Figura 72 - Triális.	179
Figura 73 - Brilhantina.	179
Figura 74 - Dinheiro Em Penca.	180
Figura 75 - Grama Amendoim.	180

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - Área de Controle de Impermeabilização

ADASA - Agencia Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

APP - Áreas de Preservação Permanentes

BMP - *Best Management Practices* (Melhores Práticas de Gestão)

CESP - Companhia Energética de São Paulo

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CPA - Concreto Poroso Asfáltico

DAEE - Departamento de Água e Energia Elétrica

DAIA - Departamento de Avaliação do Impacto Ambiental

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

E. coli - *Escherichia coli*

EPA - *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental)

FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

IDF - Intensidade-Duração-Frequência

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)



IV - Infraestrutura Verde

LID - *Low Impact Development* (Desenvolvimento de Baixo Impacto)

LPUOS - Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo

MES - Manual de Estratégias Sustentáveis

N - Nitrogênio

NBR - Normas Brasileiras Regulamentadoras

NRCS - *National Resources Conservation Service*

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

P - Fósforo

PDDMAP/SJC - Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São José dos Campos

PDDI - Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado

PDDU - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PGT - Pólo Gerador de Tráfego

PMMAeC - Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica e do Cerrado de São José dos Campos

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico



PMSJC - Prefeitura Municipal de São José dos Campos

PMSP - Prefeitura do Município de São Paulo

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

QCE - Vazão de Controle do Deságue em Lote

QRL - Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo

SbN - Soluções Baseadas na Natureza

SJC - São José dos Campos

SMDU - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano

Sponge-city - Cidades esponjas

SST - Sólidos Suspensos Totais

SUDS - *Sustainable Urban Drainage Systems* (Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável)

TR - Período de Retorno

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UPVC - *unplasticized polyvinyl chloride* (cloreto de polivinil não plastificado)

VDE - Volume Útil Mínimo de Detenção

WEF - *World Economic Forum* (Fórum Econômico Mundial)

WSUD - *Water Sensitive Urban Design* (Desenho Urbano Sensível à Água)

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização modifica as características do ambiente natural e desencadeiam mudanças significativas no ciclo hidrológico. A alta impermeabilização do solo, antropização das bacias hidrográficas e redução da cobertura vegetal desregulam os processos naturais de captação, infiltração, evapotranspiração e tratamento das águas pluviais (ZÖLCH, HENZE, KEILHOLZ, & PAULEIT, 2017). Essa condição reflete em um conjunto de impactos no sistema de drenagem, incluindo o aumento do volume e velocidade do escoamento superficial, maior vazão de pico, e degradação 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 interagiu com os elementos do terreno, passa a ser conduzida por estruturas artificiais, como galerias e canais. Resultando assim, em vazões de pico mais elevadas e na degradação dos córregos, além do afastamento da população desses itens da paisagem (PORTO, 1995).

Dentro de um contexto de cidades cada vez maiores, mais impermeabilizadas e de conurbação urbana, essa antiga abordagem revela ação limitada e dá lugar a técnicas que objetivam um manejo sustentável das águas. Sob influências do desenvolvimento sustentável, conceitos como Infraestrutura Verde (IV) e Soluções Baseadas na Natureza (SbN) têm apresentado estratégias para a gestão de águas pluviais (PAULEIT, ZÖLCH, HANSEN, RANDRUP, & KONIJNENDIJK, 2017).

O enfoque tradicional da drenagem, que anteriormente visava exclusivamente o rápido escoamento e controle de inundações, evoluiu para soluções alternativas de manejo das águas pluviais com múltiplos objetivos, como o aumento da capacidade de infiltração, evapotranspiração e armazenamento das águas superficiais. Além disso, as novas práticas de drenagem sustentável visam mitigar os efeitos da urbanização sobre as águas pluviais, enquanto simultaneamente melhora a qualidade da água e reduz a carga de poluentes (FLETCHER, 2015).

O manejo sustentável das águas pluviais atua no controle quali-quantitativo, através

da adoção de ações de gestão e da implantação de dispositivos espacialmente dispersos na bacia hidrográfica. O conjunto dessas medidas evitam que as águas do escoamento superficial sejam direcionadas diretamente a macrodrenagem, promovendo o aumento do tempo de concentração da bacia, processos de infiltração, a redução do volume total do hidrograma de cheia, e tentam 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 de 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 significativamente em aspectos socioculturais e econômicos. A integração de áreas naturais e verdes com novas técnicas de drenagem contribuem para o incremento da qualidade urbana, valores estéticos e culturais, e oportunidades recreativas (KIM & SONG, 2019). No âmbito econômico, Mendes e Santos (2021) apontam que a adoção de técnicas sustentáveis pode apresentar uma redução de custos em comparação com as infraestruturas convencionais.

Adicionalmente, deve-se considerar desafios futuros, como as mudanças climáticas, que tem potencial para amplificar ainda mais os impactos quantitativos sobre as águas urbanas. As projeções indicam o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos associados à precipitação, abrangendo não apenas episódios de chuvas e tempestades, bem como incluem longos períodos de seca (IPCC, 2022). Diante deste cenário o manejo sustentável das águas pluviais pode auxiliar na resiliência das cidades visando a diminuição de sua vulnerabilidade aos impactos destes eventos (MARENGO, et al., 2017).

Neste contexto, este Manual tem como objetivo complementar as orientações presentes na Etapa I – Drenagem Urbana, do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São José dos Campos, acrescentando conceitos, diretrizes e critérios de dimensionamento de estruturas relacionadas às Soluções baseadas na Natureza (SbN) com foco na drenagem sustentável. Ambos os documentos visam orientar técnicos que atuam no manejo das águas pluviais do município e devem ser lidos e consultados para a realização de intervenções no sistema de drenagem.

2. ESTADO DA ARTE DA DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Considerando as perspectivas atuais que têm moldado o debate sobre cidades verdes e infraestruturas sustentáveis, este manual inicia-se explorando as interações entre saneamento e drenagem urbana. Observam-se conceitos fundamentais para a compreensão do manejo de águas pluviais, como ciclo hidrológico, impactos quanti-qualitativos da urbanização exacerbada e os efeitos das mudanças climáticas.

Diante dessas questões, aborda-se a evolução do debate da drenagem urbana até as novas visões sobre a gestão integrada das águas urbanas. Apresentam-se as diversas terminologias relacionadas à drenagem não convencional e definições que estão sendo difundidas internacionalmente.

2.1. SANEAMENTO BÁSICO E A DRENAGEM URBANA

A drenagem urbana é parte integrante do saneamento básico sob o ponto de vista da legislação e do planejamento urbano. A Lei Federal Nº 11.445/07 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 preservação do meio ambiente. Considera-se saneamento básico como 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.

Diante da ênfase do estudo na 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, p. Art.3)

Deve-se compreender que o desempenho dos serviços de saneamento básico está

interligado, com cada componente 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 Adasa (2018) a interface entre estes pode ser resumida do seguinte modo:

- **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 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 hidrovíarias.
- **Esgotamento sanitário:** O lançamento inadequado de efluentes no sistema de drenagem acarreta a poluição e degradação dos corpos d'água. Já a sobrecarga da drenagem nos sistemas de esgoto e 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.

Portanto destaca-se na Lei nº 14.026/2020 a integralidade dos quatro serviços para atender as necessidades da população e aumentar a eficácia das ações e resultados. Além disto estes devem garantir à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente.



Figura 2 - Conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais do saneamento básico.
Fonte: FCTH,2024

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

Neste 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 sustentável.

2.2. A URBANIZAÇÃO E AS ÁGUAS

As intervenções antrópicas durante o processo de urbanização sobre a paisagem natural geram grandes impactos sobre o sistema hídrico. Como características deste processo de urbanização não planejado destacam-se o crescimento da densidade populacional, aumento da impermeabilização do solo, a ocupação de áreas de inundação e de mananciais, canalização e cobertura de corpos hídricos e a redução da cobertura vegetal. Este 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 alguns efeitos se destacam, tal qual: a desregulação do processo natural de captação, infiltração, evapotranspiração e tratamento das águas. A ocupação das áreas de várzeas e dos leitos de rios, além do processo de cortes e aterros, podem colaborar para o aumento de áreas de risco.

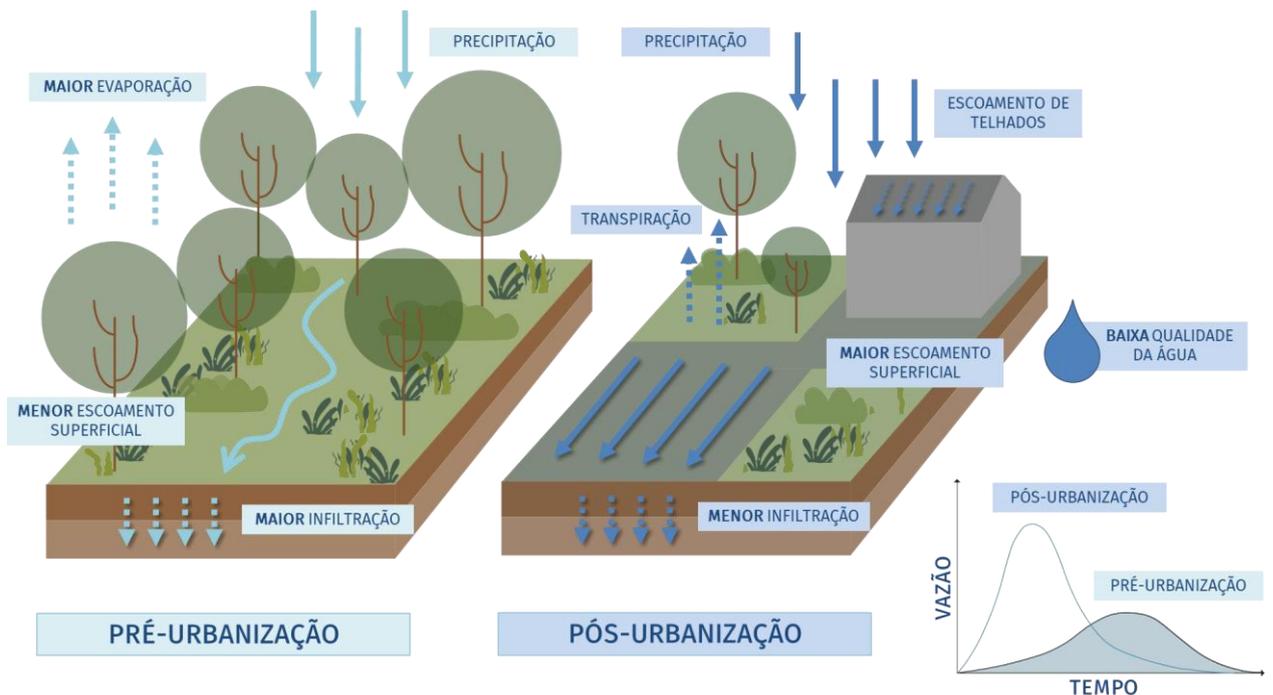


Figura 3 – Diferenças do balanço hídrico entre período pré e pós-urbanização.

Fonte: FCTH, 2024

Por efeito, a urbanização modifica os seguintes aspectos hidrológicos:

- **Escoamento superficial e Vazão de Pico:** Volume de águas pluviais excedentes (que não infiltra no solo e escoam na superfície) que naturalmente se acumulam em depressões e áreas alagáveis. Com a impermeabilização do solo e a baixa infiltração, este volume aumenta, escoando com mais velocidade e as vazões atingem seu pico (vazão máxima) em curto período em relação ao início da chuva. Esta 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, & COSTA, 2018);
- **Infiltração:** Há uma redução da capacidade de infiltração do solo e conseqüentemente 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 (YAZAKI, MONTENEGRO, & COSTA, 2018);
- **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 cobertura vegetal, há um desequilíbrio nesse fenômeno e por resultado uma diminuição da umidade do ar e aumento da temperatura (YAZAKI, MONTENEGRO, & COSTA, 2018);
- **Cargas poluidoras:** Podem ser pontuais ou difusa (de lavagem), sendo a última dependente do ciclo hidrológico. Com a lavagem de superfícies impermeabilizadas como vias, pisos e telhados são carregadas massas de poluentes para o sistema de drenagem e corpos hídricos, prejudicando o controle de inundações e a qualidade da água (PORTO, 1995).

Neste âmbito, (TUCCI, BARROS, & PORTO, Drenagem Urbana, 1995) apontam que a urbanização pode interferir sobre a quantidade das águas e sedimentos e a qualidade das águas. Deixando as cidades mais vulneráveis a riscos como: inundações, assoreamentos, processos erosivos, deslizamentos e poluição das águas de abastecimento.

2.2.1. Quantidades das águas pluviais

Com relação a quantidade de águas, destacam-se dois fenômenos, as inundações no período chuvoso e a baixa vazão dos corpos hídricos no período seco (ZHANG & SCHAAP, Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review., 2019) (KIM, et al., 2017). Ambos os problemas de ordem ambiental que afetam aspectos econômicos e sociais.

As inundações, classificada como um dos principais riscos globais pelo Fórum Econômico Mundial (World Economic Forum, 2022), têm um impacto profundo na dinâmica urbana, provocam danos na habitação, sistema viário e outras infraestruturas urbanas, gerando problemas de gestão pública (DA SILVA, ALENCAR, & DE 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 A. P., 2005).

As inundações podem ocorrer pelo excesso de águas pluviais que não foram drenadas e se acomodam em cotas mais baixas e várzeas próximas as margens do rio. Além disto, com a redução da capacidade de infiltração e de evapotranspiração, o volume de escoamento superficial e vazão de pico aumentam. Essa condição gerada pela urbanização produz inundações mais frequentes nos pontos a jusante da bacia hidrográfica (TUCCI, 2012).

Portanto, de acordo com (SILVA, et al., 2024), as inundações são categorizadas em dois tipos principais, sendo estas:

- 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 a 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 volume de escoamento das águas pluviais, provocado pelo sistema de drenagem convencional e impermeabilização do solo, que direciona grandes quantidade de água para pontos a jusante. Não é

um processo natural, mas sim um resultado das intervenções na paisagem e do processo de urbanização, sendo mais prevalentes em bacias urbanas de pequeno porte.

2.2.2. Quantidades dos sedimentos

Acerca da quantidade de sedimentos, aponta-se que a urbanização sem planejamento, em geral, potencializa o processo de erosão superficial, juntamente com o assoreamento dos corpos d'água (TUCCI, BARROS, & PORTO, 1995). O aumento da quantidade de sedimentos acarreta a redução da capacidade hidráulica de corpos hídricos e da drenagem urbana. E conseqüentemente afeta o volume dos reservatórios, como também aumenta a poluição das águas (YAZAKI, MONTENEGRO, & COSTA, 2018).

Sabe-se que a erosão do solo de natureza hídrica, está relacionada primeiramente aos impactos de chuva sobre solo exposto. E em sequência do escoamento de águas pluviais que carregam este solo (TUCCI, BARROS, & PORTO, 1995). Há também um aumento da velocidade das águas fluviais que, combinados com margens sem vegetação ciliar, contribuem para um processo erosivo do leito de rios e córregos (YAZAKI, MONTENEGRO, & COSTA, 2018).

Por sua vez, o aumento do assoreamento é proveniente da contribuição de sedimentos do processo erosivo, somados aos sedimentos residuais da construção civil. Ademais, considera-se o descarte indevido ou não coletado de resíduos sólido sobre a bacia. Essa prática contribui ainda mais para a degradação e assoreamento hídrico, uma vez que, o material residual é carregado pelas águas pluviais e se deposita ao longo dos corpos hídricos (YAZAKI, MONTENEGRO, & COSTA, 2018).

2.2.3. 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 de poluição: pontual e difusa (DA SILVA J. C., 2017) (PORTO, 1995). Carga pontuais possuem caracterização conhecida (vazão e concentração no tempo e espaço), enquanto as cargas difusas variam sua vazão e concentração no tempo e espaço em função de diversos fatores (Figura 4).

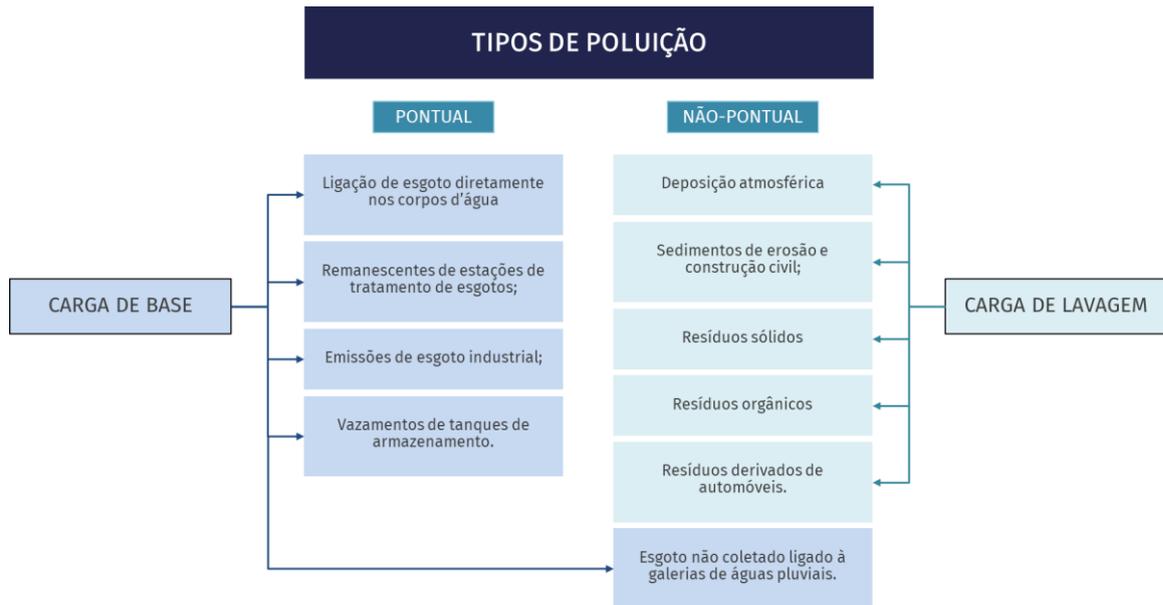


Figura 4 – Tipos de Poluição.
Fonte:FCTH,2024.

A poluição pontual é caracterizada pela 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 ser remanescentes de tratamento que são depositados em corpos d'água (DA SILVA J. C., 2017) (PORTO, 1995). Essas cargas pontuais apresentam grande quantidade de matéria orgânica e, se não interrompidas ou tratadas, podem acarretar a degradação ambiental das águas (DE 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 maior carga difusa contribuindo nos corpos d'água decorrente da lavagem de superfícies (MAGALHÃES, 2022).

A poluição difusa é intermitente, não tem uma origem identificada e está distribuída pela bacia. Podem ser cargas poluidoras depositadas na superfície da bacia, no período sem chuva, que são lavadas e carreadas pelas águas pluviais, sendo direcionadas para a rede de drenagem juntamente com a poluição atmosférica (PORTO, 1995; NOVOTNY & OLEM, Water quality: Prevention, identification and management of diffuse pollution, 1994).

Também existem contribuições difusas não relacionadas à eventos de chuva, mas sim

ligados a atividades antrópicas de difícil caracterização espaço temporal, 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 chuva, 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 possui diversas fontes que variam de acordo com o uso e ocupação do solo. Pode-se exemplificar nas áreas urbanas, a presença de deposição atmosférica, poluente emitidos por veículos, sedimentos da construção civil, entre outros (NOVOTNY & OLEM, Water quality: Prevention, identification and management of diffuse pollution, 1994). 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 – Poluentes, suas principais origens e seus impactos sobre os corpos hídricos

Poluentes	Origem	Impactos
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; associação com 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 afetando a cadeia alimentar
Óleos e graxas	Tráfego veicular; processos industriais; efluentes domésticos	Reduz o oxigênio dissolvido; associação com outros poluentes
Carga orgânica não biodegradável	Controle de pragas na agricultura; processos industriais; lavagem de solos contaminados	Toxicidade da água e do sedimento; bioacumulação afetando a cadeia alimentar

Fonte: Adaptado de (PROSAB, 2009)

No âmbito das cargas carregadas pela lavagem das superfícies também pode-se observar a 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 esta não alcance os rios e lagos urbanos.

Um exemplo desta relação foi retratado por (HONG, et al., 2021). Neste trabalho é retratado os 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) nas águas com uso recreacional.

Neste exemplo pode-se observar a relação da ineficiência da coleta e tratamento de esgoto domésticos, o que ocasiona a presença destes microrganismos no sistema de drenagem, e durante os eventos de precipitação alcança lagos recreacionais causando danos à saúde pública.

2.3. EVOLUÇÃO DA DRENAGEM E DIFERENTES TERMOS DO MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUA PLUVIAIS

Como observado, a urbanização exerce um 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 ao longo da história, a evolução das sociedades urbanas (CHRISTOFIDIS, ASSUMPÇÃO, & 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. A primeira fase até o início do século XX, denominada pré-higienista, que não havia tratamento de efluentes, sendo estes lançados nos corpos d'água. Na segunda fase, higienista, inicia-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-se o tratamento dos esgotos e o amortecimento das águas pluviais. E por fim, a quarta fase após 1990, do Desenvolvimento Sustentável, com foco na conservação ambiental, através do tratamento das águas do escoamento superficial, infiltração, integração com áreas verdes.



Figura 5 - Fases do desenvolvimento da gestão de águas urbanas.

Fonte: (TUCCI, 2012)

Durante essa última fase, surgiram diversas abordagens inovadoras para a drenagem, conhecidas como técnicas de drenagem não convencional. Entre essas abordagens estão as práticas e conceitos como Best Management Practices (BMP), Low Impact Development (LID), Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Water Sensitive Urban Design (WSUD), e o conceito de Cidades-Esponjas (FLETCHER, 2015). Estas terminologias podem ser observadas na Figura 6 a seguir.

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-Esponjas	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 manejo sustentável das águas pluviais. Fonte: Fletcher (2015); Matsler et al. (2021) e 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). Ademais, esses conceitos adotam as medidas de controle na fonte que visam a implantação de práticas e técnicas de drenagem o mais próximo 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 das questões quantitativas e qualitativas das águas urbanas. Há também a abordagem de uma série de outras necessidades e benefícios, como a promoção

de áreas de lazer, a melhoria da qualidade dos solos e do ar, conservação de ecossistemas, controle climático, entre outros (MENDES & SANTOS, 2022). As figuras Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10 apresentam alguns exemplos onde houve a integração entre as técnicas de drenagem sustentáveis e a paisagem urbana em diferentes escalas.



Figura 7 – Recuperação do canal Catharijnesingel, Utrecht, Holanda



Figura 8 - Revitalização do Rio Cheong, Seul, Coreia do Sul.



Figura 9 - Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis, Niterói, Rio de Janeiro.



Figura 10 – Jardim de chuva no Campus USP, São Paulo.

É neste aspecto que Christofidis, Assumpção e Kligerman (2020), consideram uma nova fase na evolução da drenagem, a partir de 2018, focada explicitamente nas soluções sustentáveis. Constrói-se, portanto, uma nova relação entre as cidades e as águas, a partir da visão de gestão das águas das Soluções baseadas na Natureza (SbN). SbN é um conceito guarda-chuva que engloba várias abordagens baseadas em ecossistemas e pode ser definida como:

ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam desafios sociais (Ex.: mudanças climáticas, segurança alimentar e hídrica ou desastres naturais) de modo eficaz e adaptativo, enquanto simultaneamente proporcionam bem-estar humano e benefícios para a biodiversidade (COHEN-SHACHAM, WALTERS, JANZEN, & MAGINNIS, 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 mudanças climáticas com 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.

3. 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 das principais sub-bacias e corpos d'água que moldam o ambiente urbano do município.

Diante disto são abordados os objetivos e resultados do Plano Diretor de Drenagem de Manejo Sustentável de Águas Pluviais de São José dos Campos, divididos em Etapa I e II. Ademais, busca-se apresentar um panorama geral das normas e estratégias previstas no município quanto a drenagem e o manejo de águas pluviais.

3.1. HIDROGRAFIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

O município de São José dos Campos, situado no interior do estado de São Paulo, encontra-se geograficamente inserido na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. O principal curso d'água que atravessa o município é o rio Paraíba do Sul que percorre na direção nordeste e divide o território.

A margem esquerda do Rio Paraíba do Sul possui afluentes da Serra da Mantiqueira e apresentam maior volume d'água. Nesta margem também se concentra a maior parte da zona rural do município. Já a margem direita possui menor volume de afluentes e estes são provenientes da Serra do Mar. A região é majoritariamente ocupada com a zona urbana e abrange maior parte do sistema de drenagem do município (RUZISKA & SUGUIO, 2008).

Na hidrografia de São José dos Campos, destacam-se os rios Jaguari, Buquira e do Peixe, todos configurados como 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, destaca-se a presença da barragem Jaguari construída pela CESP (Companhia Energética de São Paulo). O reservatório Jaguari possui área de 96 km² com capacidade de 1.350 bilhões de m³ (RUZISKA & SUGUIO, 2008).

Cabe ressaltar, adicionalmente, a relevância dos significativos afluentes situados na margem direita, cujas nascentes, em sua maioria, têm origem nas divisas de São José

dos Campos com os municípios de Jambuí e Jacareí. Dentre esses afluentes, destacam-se o Córrego Vidoca, Córrego Senhorinha, Córrego Lavapés, Córrego Cambuí, Rio Comprido e Rio Pararangaba. A maior parte destas sub-bacias configura-se como áreas prioritárias para intervenções de drenagem. Devido à condição de rios urbanos estes enfrentam desafios associados a inundações e poluição.

Sabe-se então que o município conta com mais de 300 mananciais e uma rede hidrográfica de aproximadamente 3.050km. São 25 sub-bacias hidrográficas, das quais 13 estão inseridas ou parcialmente inseridas na mancha urbana (Figura 11). É evidente que essa rede fluvial, além de contribuir do ponto de vista ambiental, possui grande relevância econômica para o município, tanto no setor industrial quanto agropecuário.

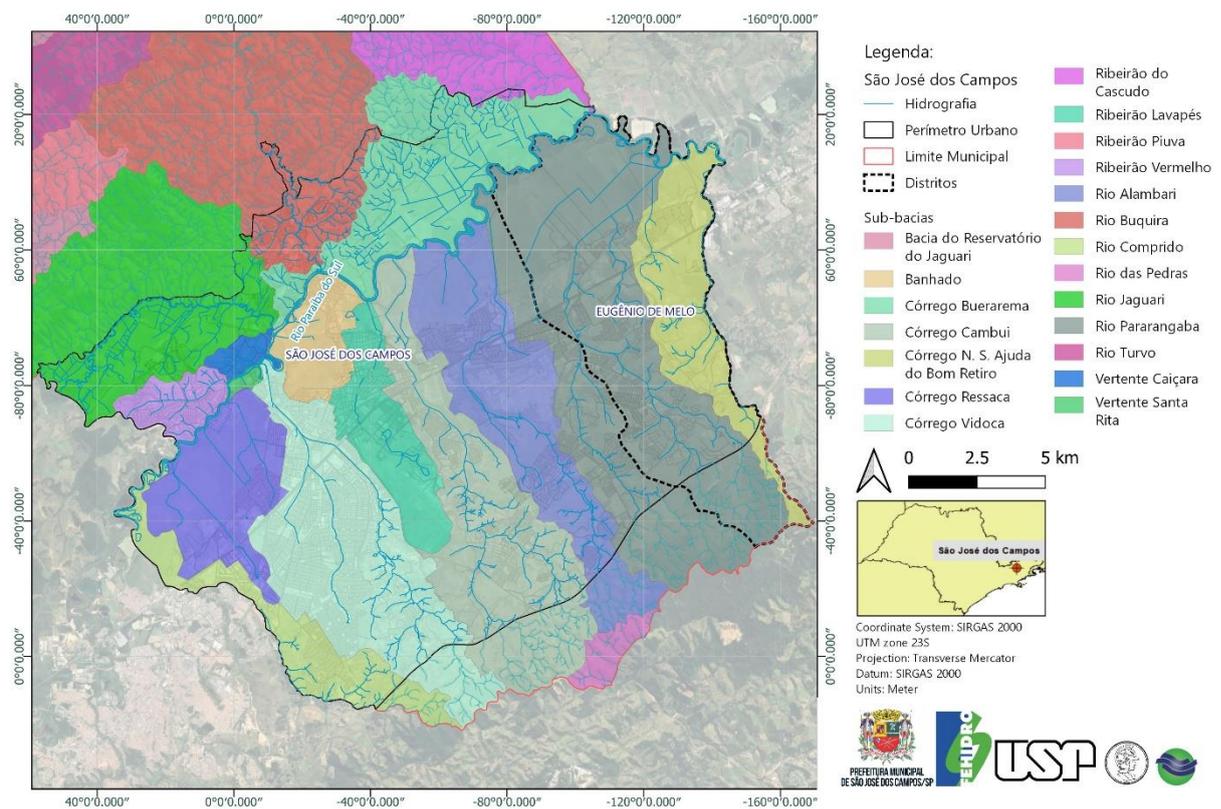


Figura 11 - Mapa da hidrografia do município de São José dos Campos.
 Fonte: Geosanja, adaptado pelo FCTH, 2024.

3.2. 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 na gestão com planos setoriais. Em 2018, foi publicado o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDI), instituído por meio da Lei nº 612, de 30 de novembro de 2018, o qual integrou e consolidou diversos elementos dessas políticas, estabelecendo objetivos e diretrizes para o desenvolvimento urbano sustentável do município nesta década.

O Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais – PDDMAP vem como produto dessas diretrizes e objetivos do PDDI, sendo composto de duas etapas: Etapa I – Drenagem Urbana e Etapa II – Manejo Sustentável.

A Etapa I 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 I 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).

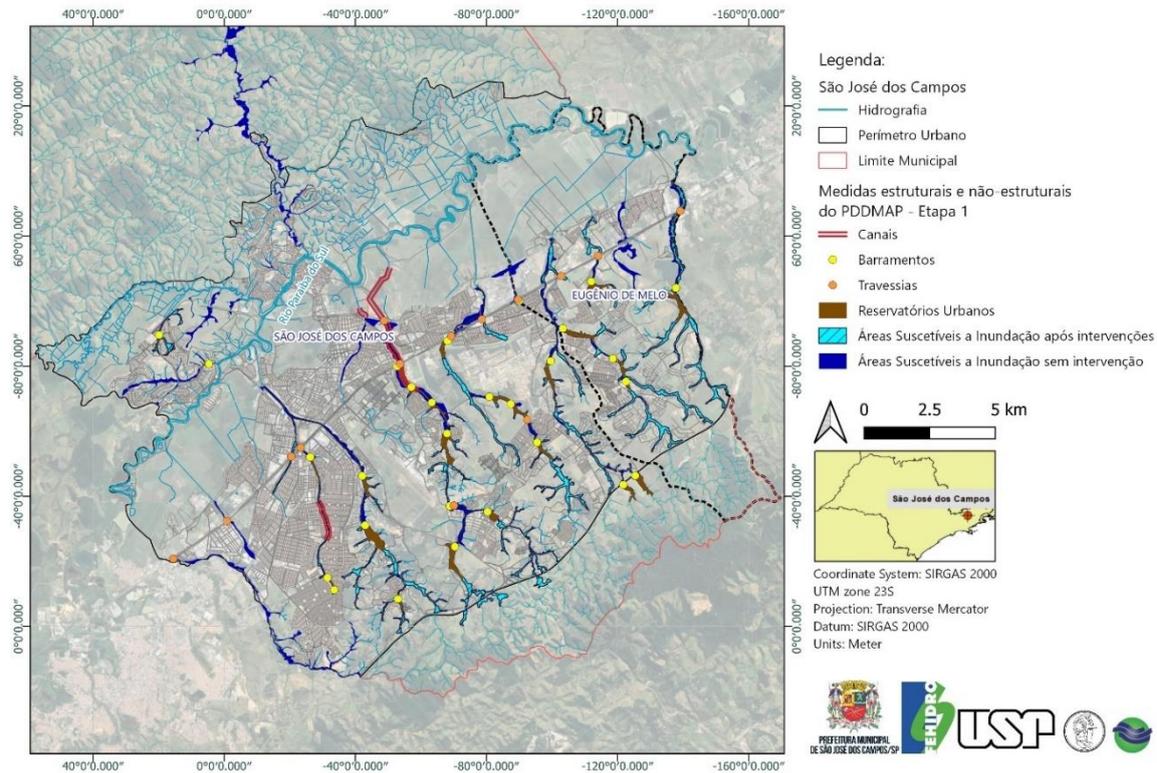


Figura 12 – Medidas estruturais e não-estruturais elaboradas no PDDMAP – Etapa I.
Fonte: adaptado de PMSJC, 2021

Em adição, a Etapa II 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 desta 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, 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. Deste modo, a metodologia desenvolvida na Etapa II inclui a avaliação da área disponível, carga de lavagem e área demandada. Os dados obtidos são utilizados para orientar o planejamento e intervenções nas bacias hidrográficas urbanas.

A Etapa II também apresenta um método estruturado para a elaboração de

anteprojeto de drenagem sustentável e infraestrutura verde, que objetiva auxiliar o desenvolvimento urbano sustentável do município e subsidiar políticas públicas nesse âmbito. Este método é subdividido em três etapas distintas: a caracterização urbana e síntese de áreas críticas; a identificação de critérios básicos para implantação de medidas estruturais; e o desenvolvimento de diretrizes de anteprojeto (Figura 13).

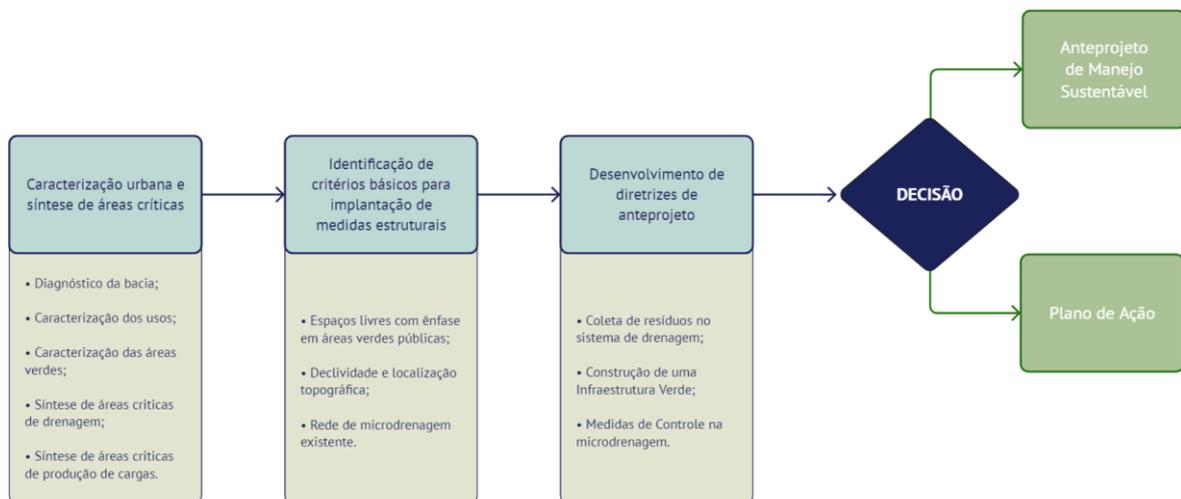


Figura 13 – Método para elaboração de anteprojeto de drenagem sustentável e infraestrutura verde. Fonte: FCTH,2024

O direcionamento deste 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 um pré-requisito para a construção de um plano de ação para o manejo das águas pluviais, no curto, médio e longo prazo. A metodologia detalhada pode ser consultada no Produto 4, enquanto 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.

Portanto, este Manual complementa o exposto na Etapa I – Drenagem Urbana do PDDMAP de São José dos Campos, em relação a orientações técnicas para projetos de um conjunto selecionado de medidas de controle na fonte, com enfoque na qualidade das águas pluviais.

3.3. REGULAÇÃO E NORMAS APLICÁVEIS AO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

A Organização das Nações Unidas, em 2015, elaborou a Agenda 2030 com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O objetivo 11 trata de Cidades e Comunidades Sustentáveis para tanto é fundamental a adoção de políticas e planos para uso eficiente dos recursos naturais. (ONU, 2024)

O levantamento de documentos intervenientes iniciou com uma análise da legislação federal, estadual e municipal de São José dos Campos no que tange questões que estão diretas ou indiretamente vinculada a drenagem e manejo de águas pluviais.

No âmbito federal destaca-se a Lei 14 026 de 15 de julho de 2020 que aprimora as condições estruturais do saneamento básico. Conforme descrita no item 2.1 Saneamento Básico e a Drenagem Urbana

O estado de São Paulo Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais na LEI Nº 12.526, DE 02 DE JANEIRO DE 2007

No item 2.1 da etapa I do Plano Diretor de Manejo de Água Pluviais, apresenta algumas leis municipais que disciplinam sobre questões que abordam drenagem e manejo de águas pluviais, a Tabela 1 complementa os documentos já mencionados na etapa I do PDDMAP

Tabela 2 - Principais legislações de SJC que contribuíram para o desenvolvimento do PDDMAP

Ano	Documento	Conteúdo
2008	Contrato de Programa nº 157/2008	Análise dos serviços de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário prestados pela Sabesp- Vigência 2008 a 2038
2012	Plano Municipal de Saneamento Básico	O objetivo principal é assegurar o abastecimento de água potável, a coleta e tratamento de esgoto e a coleta e destinação adequada de resíduos sólidos em todo o município de São José dos Campos com qualidade (PMSJC, 2012).

Ano	Documento	Conteúdo
2015	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	<ul style="list-style-type: none">- Consolida as diretrizes para a gestão e manejo correto dos resíduos sólidos do município, em consonância com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos instituído em 2010.- Abrange o planejamento e limpeza da região urbana, bem como a varrição, coleta, transporte, transbordo e tratamento dos diferentes tipos de resíduos sólidos, tais como orgânicos, recicláveis, de poda, capina, especiais, hospitalares e de construção civil, o reaproveitamento ou destinação final ambientalmente correta desses resíduos, em busca de uma gestão mais sustentável (PMSJC,2015).
2016	Sistematização de Informações Sobre Arborização Urbana	<ul style="list-style-type: none">- Ferramenta de planejamento urbano que visa trazer diretrizes para implantar, monitorar, conservar e expandir a arborização no município (PMSJC, 2016).- Quantificar as coberturas arbóreas da cidade; diagnosticar quantidade e qualidade das árvores já plantadas; mapear áreas que necessitam maior arborização estabelecendo metas de plantio; e por fim realizar o manejo e manutenção geral das árvores já existentes e das que serão plantadas.- Atuação, por meio do plantio de mudas em Áreas de Preservação Permanentes (APP) e do trabalho de Educação Ambiental nas escolas do entorno das nascentes.
2016	Lei Complementar nº. 576, de 15 de março de 2016 (Política Municipal de Mobilidade Urbana)	<ul style="list-style-type: none">- O objetivo principal é favorecer a integração entre os transportes público e privado, estimular o uso de transporte coletivo e não motorizado, além de proporcionar condições de mobilidade para toda a população, especialmente aquelas em áreas desprovidas

Ano	Documento	Conteúdo
		<p>de infraestrutura (PMSJC, 2016).</p> <ul style="list-style-type: none">- A busca pelo desenvolvimento sustentável socioeconômico e ambiental também é um aspecto importante desta política municipal.
2017	Plano Municipal de Redução de Risco	<ul style="list-style-type: none">- O objetivo principal 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, critérios de priorização e compatibilização com outros programas do governo.
2018	Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de São José dos Campos (PDDI) (Lei Complementar nº 612 de 30 de novembro de 2018)	<ul style="list-style-type: none">- Estabelece os objetivos da política de desenvolvimento urbano, rural, social, ambiental e econômico. Este 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.
2019	Uso e Ocupação Do Solo (Lei Complementar nº 623/2019)	<ul style="list-style-type: none">- 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

Ano	Documento	Conteúdo
		obrigatório e coeficiente de aproveitamento.
2019	Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica e do Cerrado de São José dos Campos (PMMAeC).	<p>- O objetivo principal é a conservação e proteção dos fragmentos e remanescentes de vegetação nativa dos biomas de Mata Atlântica e Cerrado, bem como a recuperação de áreas degradadas no município (PMSJC, 2019).</p> <p>- Apresenta diagnóstico das áreas de vegetação remanescente, além de planos e programas já existentes na região.</p> <p>- Traz diretrizes alinhadas com as normas ambientais vigentes, como a Lei da Mata Atlântica nº 11.428/2006, o Decreto nº 6.660/2008 e a Lei Estadual nº 13.550/2009 de proteção do Cerrado.</p>
2020	Revitalização de Nascentes	<p>- 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 realizar um trabalho de proteção e conservação de nascentes localizadas em áreas públicas urbanas, em parceria com a comunidade local, com instituições e com empresas.</p>
2020	A Lei Complementar nº 633, de 3 de abril de 2020	<p>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, de 14 de junho de 2024, que disciplina as vagas de estacionamento, os acessos, as vias de circulação interna, a área de manobra e a acumulação de veículos e dá outras providências.</p>
2021	Decreto N. 18.966/2021 - Etapa I	<p>Teve como objetivo criar mecanismo de gestão de infraestrutura urbana a partir da tendência de ocupação e</p>

Ano	Documento	Conteúdo
	do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (PDDMAP).	distribuição pluviométrica em termos temporais e espaciais
2022	Lei Complementar nº651/2022, Código de Edificação	<p>Disciplina no Município de São Jose dos Campos toda a construção, ampliação, regularização, transformação, reclassificação de atividade, reconstrução reforma, retrofit, demolição e instalação de equipamentos dentro dos limites do Imóvel, orientando e determinando os processos de sua aprovação e fiscalização.</p> <p>O Anexo I do Decreto n. 1.9032/2022 regulamenta essa lei complementar quanto a 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.</p>

É fundamental que sejam realizadas, anualmente, a revisão das legislações pertinentes ao assunto que forem publicadas após o desenvolvimento deste Plano de Ação.

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

- Lei Complementar N. 623 que estabelece normas de parcelamento, uso e ocupação do solo (LPUOS);
- Decreto N. 18.326/2019 que regulamenta o Título II da Lei Complementar N.623;
- Decreto N. 18.966/2021 - Etapa I do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (PDDMAP).

Diante destes documentos e de acordo com os objetivos da Etapa II do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (PDDMAP), este Manual apresenta 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.

3.3.1. Regulação de Quantidade das Águas Pluviais Urbanas

Em vista do cumprimento das estratégias do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI) a Lei complementar nº632/2019 define nas disposições gerais 16 objetivos. Dentre estes destaca-se para o manejo das águas pluviais urbana o art. 3, inciso XI:

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).

Corroborando em específico para o tema da drenagem o capítulo II da Lei complementar nº632/2019 que trata da Macrodrenagem e da Drenagem Urbana. Onde o art. 254 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 (São José dos Campos, 2019).

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 (São José dos Campos, 2019).

Ademais, o Decreto N. 18.326/2019, contribui na seção II com mais considerações para os projetos a serem apresentados à prefeitura quanto à drenagem e macrodrenagem. Sendo apontado no art. 12:

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 (Prefeitura de São José dos Campos, 2019).

Este caráter quantitativo das definições gerais da Lei complementar nº632/2019 e do Decreto N. 18.326/2019 são destrinchados em variados parâmetros de uso e ocupação do solo ou de drenagem. Destaca-se a seguir estes 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). Esta área permeável poderá estar inclusa em uma área verde, sistema de lazer ou área de preservação permanente (art.18 da Lei nº632/2019).
- 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 175m² até 5.000m², 15% para áreas acima de 5.000m² até 10.000m², e 20% para áreas superiores a 10.000m² (art.255 da Lei nº632/2019).
- 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 (art.22 do Decreto N. 18.326/2019).
- De acordo com o art.24 do Decreto N. 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 drenagem urbana:

- Os projetos dos reservatórios de detenção ou retenção devem atender os

requisitos que constam no art.260 da Lei nº632/2019.

- 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 (art.13 do Decreto N. 18.326/2019).
- Os projetos de obras de arte para macrodrenagem deverão adotar tempo de recorrência mínimo de 100 anos, sendo previamente licenciada 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 (art.13, parágrafo único do Decreto N. 18.326/2019).
- Os projetos deverão considerar todas as bacias de contribuição à montante da área. Ademais, caso não haja ocupação à montante, deve-se adotar índice de impermeabilização médio de 75% para essas áreas, salvo se seu uso já estiver definido, assim como o índice correspondente (art.14 do Decreto N. 18.326/2019).
- As áreas drenadas de até cem hectares deverão adotar, preferencialmente, o dimensionamento das redes através da Fórmula Racional. E as áreas acima de cem hectares deverão adotar as fórmulas adequadas para cada finalidade específica (art.15 e parágrafo único do Decreto N. 18.326/2019).
- Para a intensidade da precipitação deve-se considerar a Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo, para a cidade de Taubaté e a fórmula que constam na Subseção I do Decreto N. 18.326/2019.
- Para o escoamento superficial devem-se atender os requisitos que constam na Subseção III do Decreto N. 18.326/2019.
- Para as redes de galeria devem-se atender os requisitos que constam na Subseção IV do Decreto N. 18.326/2019.

c) Controle de Sedimentos

O Decreto N. 18.966/2021 da Etapa I do PDDMAP estabelece que a Prefeitura de São José dos Campos é responsável pela contratação anual do serviço 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.

3.4. 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 I do Decreto n. 1.9032/2022 e de acordo com os art.49 e 50 da Lei Complementar nº651/2022, o Código de Edificações. São 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.

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

Estratégia 74 - 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 adoção dessa estratégia, deve-se prever o sistema de captação, armazenamento e destinação para a água pluvial em consonância com a norma ABNT NBR 15527.

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

Estratégia 76 - Adoção de Soluções Baseadas na Natureza (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. A ser instalado em no mínimo 1% da área do terreno

As SbN's direcionadas para 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 a 15 cm, teste de infiltração de acordo com a norma ABNT NBR 13969 - Tanques sépticos. Além disto, o manual estabelece as seguintes diretrizes de instalação:

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

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

Estratégia 77 - Adoção de Soluções Baseadas na Natureza (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. A ser instalado em no mínimo 5% da área do terreno

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

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

Estratégia 78 - Implantação de sistema de biovaleta ou canteiro pluvial na faixa de serviço da calçada defronte ao lote, atendidos os parâmetros de legislação de calçadas vigente

Nesta estratégia, permite-se o uso da tipologia de biovaleta ou canteiro pluvial na faixa de serviço da calçada. Portanto, 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 x 80 cm (comprimento x largura).

Os sistemas deverão obedecer a alguns parâmetros como; absorção da água pluvial em menos de 48 horas, lâmina d'água de 5 a 15 cm, teste de infiltração de acordo

com a norma ABNT NBR 13969 - Tanques sépticos. Além disto, o manual estabelece as seguintes diretrizes de instalação:

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

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

Estratégia 79 - Previsão de sistema de captação e retenção de águas pluviais adicional ao mínimo obrigatório para controle de escoamento superficial. 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 de equivalente a 5% da área permeável do lote multiplicado por 1m.

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

Estratégia 80 - 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. Esta solução é adequada para áreas densamente urbanizadas que possuem alta impermeabilização e não dispõem de áreas livres para solo natural.

Para adoção dessa estratégia, deve-se seguir padrão construtivo de base e sub-base possibilitando a infiltração total ou parcial. E o pavimento deverá estar em consonância com a norma ABNT NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto.

Atribui-se o total de 25 pontos, quando aplicada essa estratégia em 60% das áreas externas descobertas pavimentadas do lote. Não deverá haver sobreposição com áreas permeáveis, sejam obrigatórias ou as adicionais.

Estratégia 81 - Utilização de pavimentos permeáveis na calçada defronte o lote, atendidos os parâmetros da legislação de calçadas vigente

Para adoção dessa estratégia, deve-se seguir padrão construtivo de base e sub-base possibilitando a infiltração total ou parcial. O pavimento deverá estar em consonância com a norma ABNT NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto. E estar de acordo com as exigências da Lei Municipal de Calçadas.

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

Estratégia 82 - Adoção de 5% de área permeável sobre a área do terreno além da área permeável legal obrigatória

O aumento de áreas verdes possibilita além de uma melhor drenagem 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. E não são contabilizados os pavimentos permeáveis.

Concede-se a essa estratégia o total de 05 pontos, quando há previsão de 5% da área total do terreno para permeabilidade, adicionalmente ao mínimo exigido pela legislação.

Estratégia 83 - 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.



Estratégia 84 - 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.

4. 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 oriente as estratégias a serem adotadas. Este capítulo visa apresentar questões e critérios fundamentais para o desenvolvimento da Etapa II, focando especialmente nas escalas de projeto, critérios urbanísticos e paisagísticos.

4.1.1. Escalas de projeto

A identificação das escalas de projeto é essencial para a gestão e planejamento da drenagem urbana, uma vez que, cada escala apresenta diferentes complexidades e possibilidades de intervenção. No contexto das Infraestruturas Verdes (IV) e Soluções baseadas na Natureza (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 maior resiliência frente a urbanização e às mudanças climáticas.

Portanto, é possível analisar e aplicar medidas específicas, tanto no planejamento quanto nas técnicas construtivas, adaptadas a cada escala, com o objetivo de reduzir os riscos quantitativos e melhorar a qualidade da rede hídrica. No aspecto quantitativo, busca-se reduzir a velocidade e o volume do escoamento superficial, através 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 a melhoria da qualidade das águas superficiais e conseqüentemente na reciclagem dos corpos d'água.

Além disto, como visto anteriormente a abordagem da drenagem sustentável não se limita apenas na gestão de águas urbanas. São desempenhados 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, melhoram a qualidade urbana e de vida, e restauram o contato da população com as águas urbanas. Ademais, essas soluções garantem a multifuncionalidade, permitindo que áreas de

drenagem também atuam como corredores verdes de recuperação ecológica, aumento de biodiversidade e habitat de fauna e flora.

Na sequência, são abordadas quatro escalas de projeto: lote, bairro, vale ou várzea, e bacia hidrográfica conforme ilustra a Figura 14. São detalhados como as intervenções em cada uma delas são aplicadas e como se integram para oferecer uma gestão abrangente e eficiente das águas pluviais.



Figura 14 – Diagrama das escalas de projeto
Fonte: FCTH, 2024

Escala do lote

Na escala do lote, as soluções são aplicadas na área delimitada pelo loteamento, podendo ser de diferentes usos (residencial, comercial, institucional, entre outros) e abrangendo tanto propriedades públicas quanto privadas (Figura 15). Portanto, faz-se necessário normas e regulamentos que orientem e incentivem a adoção técnicas de drenagem sustentáveis dentro do lote.

Esta escala de intervenção tem importante papel, especialmente onde as áreas livres são escassas ou apresentam grandes complexidades socioambientais. As soluções de drenagem na escala do lote apresentam abordagem descentralizada, com objetivo de mitigar impactos locais e reduzir problemas que podem se amplificar em escalas maiores, como o escoamento excessivo e a poluição das águas pluviais. Deste modo, as diretrizes desta menor escala se integram com as demais escalas de gestão e planejamento.

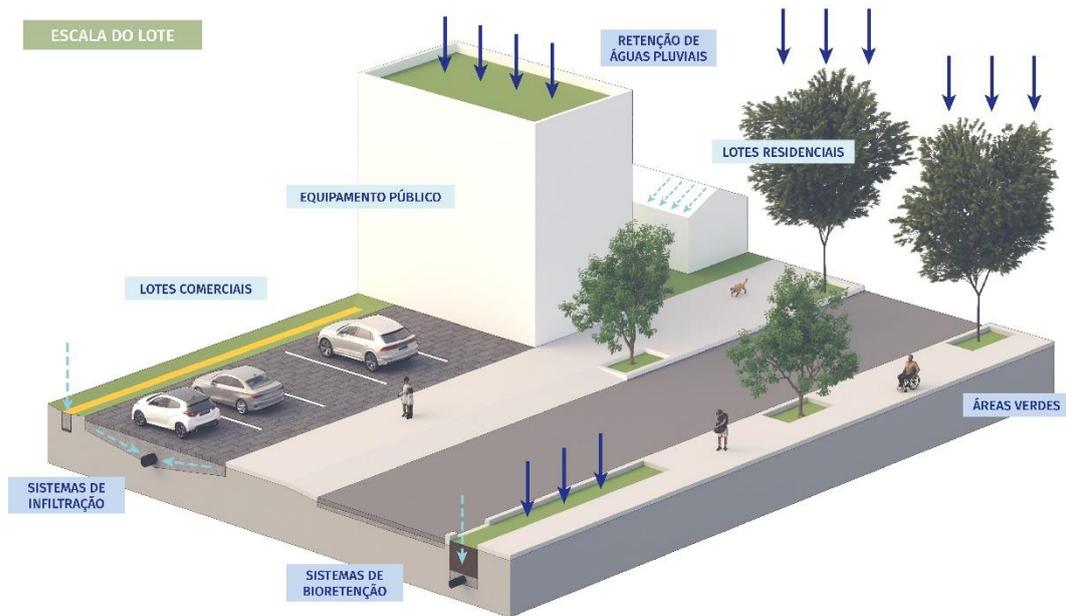


Figura 15 - Diagrama da escala de lote.
Fonte: FCTH,2024.

Escala de bairro

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

As soluções sustentáveis implementadas na escala do bairro se integram ao sistema convencional de drenagem, a fim de reter, infiltrar e tratar águas pluviais, bem como, reduzir a velocidade do escoamento superficial. Deste 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.
Fonte: FCTH,2024.

Escala de vale ou várzea

A escala de vale ou 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 com as soluções resilientes das escalas menores é essencial para garantir o funcionamento adequado do sistema de drenagem durante eventos extremos.

Nesta escala abrange-se intervenções na macrodrenagem como a implementação de parques lineares, canais sustentáveis e reservatórios multiusos. Essas áreas de vale ou várzea são fundamentais para a conexão de biodiversidade e na conservação dos leitos naturais. Nesta escala busca-se a construção de uma rede de corredores ecológicos que atuem tanto na condução das águas quanto como facilitadores da migração de espécies e da manutenção de habitats naturais. Além disto, esta escala pode integrar benefícios estéticos e recreativos para a comunidade (Figura 17).

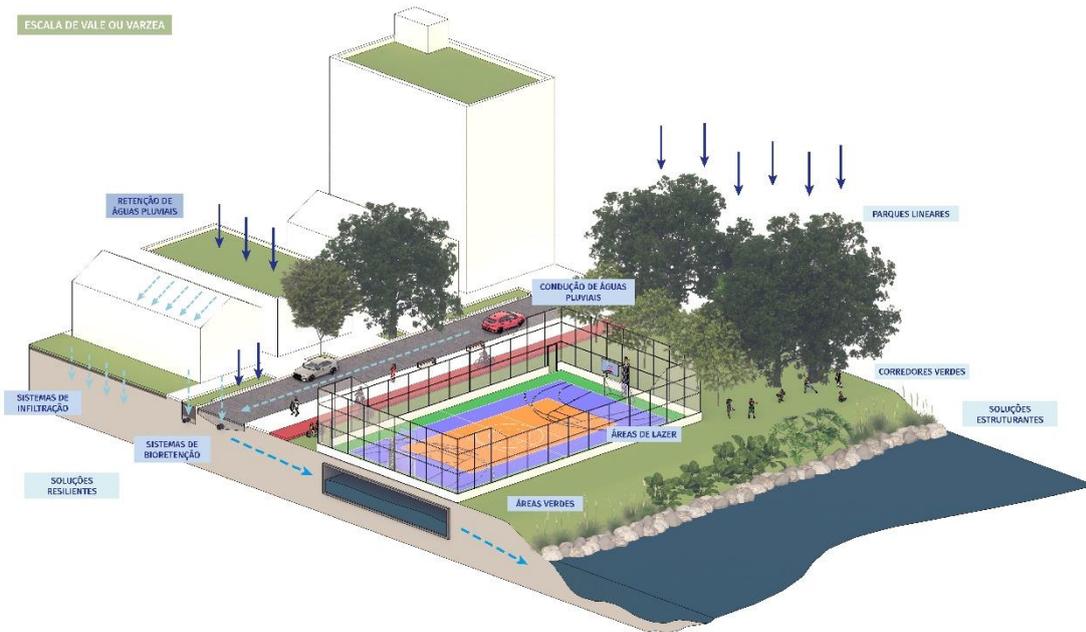


Figura 17 - Diagrama da escala de vale ou várzea.
Fonte: FCTH,2024.

Escala da bacia hidrográfica

Por fim, delimita-se a escala da bacia hidrográfica que representa a unidade de planejamento e gestão (MCHARG, 1969). Nesta 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 envolvidas. As bacias hidrográficas frequentemente abrangem unidades de conservação e corpos hídricos que podem se estender além dos limites de bairros, cidades e regionais. Portanto, nesta 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.

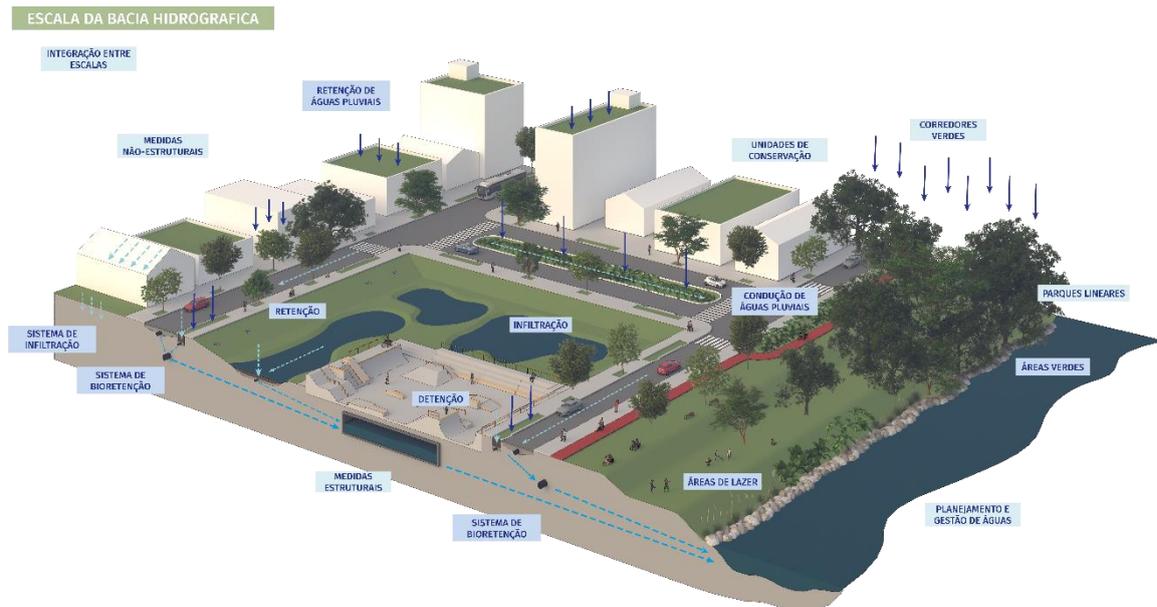


Figura 18 - Diagrama da escala de bacia hidrográfica.
Fonte: FCTH,2024.

4.1.2. Critérios urbanísticos

Tucci (2012) aponta o planejamento urbano com um dos componentes da estrutura de gestão integrada das águas urbanas. Este instrumento do urbanismo desempenha papel fundamental no ordenamento de áreas, na regulamentação do uso e ocupação do solo e, por conseguinte, implica em questões infraestruturais do saneamento básico (abastecimento de água; coleta de esgoto; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas). Em especial, destaca-se que o planejamento urbano interfere diretamente na impermeabilização do solo, 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 a malha urbana, áreas de expansão, área impermeabilizadas, rede viária e de transporte, zoneamento dos usos, entre outros (POMPÊO, 2000). Deste modo, a seguir são apontados os critérios urbanísticos norteadores para o planejamento da drenagem e manejo de águas pluviais:

A identificação de áreas

- Diagnóstico urbanístico da bacia hidrográfica a fim de caracterizar o uso e ocupação do solo, zoneamento, áreas verdes, mobilidade e aspectos socioeconômicos;
- Observar a topografia e 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;
- Zonear áreas, de acordo com o nível de risco e suscetibilidades, delimitando áreas de maior ou menor impacto;
- Identificar áreas livres adequadas para a implantação de dispositivos de drenagem sustentável, como, praças, parques, áreas residuais, que estejam próximas a pontos de acúmulo de poluição e difusa e de escoamento superficial;
- Identificar espaços que comportem reservatórios abertos, sistemas de bioretenção, infiltração, biovaletas, e dispositivos de retenção;
- Identificar a existência da rede de microdrenagem convencional.

Sistema viário e Mobilidade

O sistema viário é um importante elemento do planejamento urbano e da drenagem, pois este 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. Esta carga de poluição terá características e concentrações diferentes a depender da classificação viária e do fluxo e volume de automóveis (NOVOTNY, Water quality: diffuse pollution and watershed management, 2002), (PORTO, 1995) (ÁGUAS CLARAS, FCTH, 2017).

Deste modo, destaca-se os seguintes critérios:

- Identificar a classificação do sistema viário e condições existentes de drenagem;
- Observar características das vias, como, acessos, dimensionamento,

declividades, materiais das superfícies;

- Identificar fluxo, volume e tipo predominante de transporte;
- Identificar áreas livres adequadas para a implantação de dispositivos de drenagem sustentável, como, áreas residuais, alamedas, canteiros, rotatórias, entre outros.

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. Deste modo, faz-se necessário, planejar a drenagem considerando cenários futuros de impermeabilização. Para tal, 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).

Portanto, deve-se considerar 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 N. 623 de parcelamento, uso e ocupação do solo (LPUOS) e o Decreto N. 18.326/2019. Destaca-se então o art. 14 do Decreto N. 18.326/2019 que 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).

Aponta-se então os seguintes quesitos:

- Estimar área impermeável atual, através de ferramentas de geoprocessamento;
- Estimar área impermeável de saturação, considerando o art. 14 do Decreto N. 18.326/2019;
- Identificar 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 N. 623 e o Decreto N. 18.326/2019;
- Identificar projeção da evolução populacional ou de número de domicílios, através de técnicas de estudos demográficos;
- Identificar projeção da evolução da área impermeável no tempo.

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

- A Etapa II do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (PDDMAP) deve se integrar ao Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI) (Lei Complementar N. 612); às diretrizes da Etapa I do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (PDDMAP); às normas relativas a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) (Lei Complementar N. 623) e ao Decreto N. 18.326/2019 que regulamenta a Lei Complementar N.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;
- Deve-se ter uma visão integrada da bacia hidrográfica, considerando esta como escala para o planejamento ou intervenção. Deste modo, toda e qualquer modificação deve ser equitativa, sem transferir impactos para outros pontos da bacia hidrográfica;
- Planejar novas intervenções e 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;
- As medidas adotadas para a drenagem sustentável devem visar reduzir as cargas de poluição difusa que alcançam os córregos;
- Reforçar a gestão local de águas pluviais, considerando o controle na fonte durante eventos de chuva. Deste 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.

4.1.3. 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, suas funções, dinâmicas e processos naturais (AHERN, 2010). Deste modo, 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 como um dos principais elementos norteadores. Sendo, portanto, fundamental compreender o ciclo hidrológico e suas relações com o território e outros elementos da paisagem. E assim, considera a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e projeto da paisagem (MCHARG, 1969).

Fica evidente o destaque do manejo de águas pluviais para a paisagem e aponta-se 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 as áreas verdes e espaços livres;
- Aumentar áreas naturais e garantir conexões entre estas, permitindo assim a construção de redes de infraestrutura verde;
- Identificar áreas livres com potencial para amortecimento e acomodação do volume de águas pluviais;
- Garantir melhor qualidade da água;
- Promover intervenções hidráulicas em várias escalas (lote, bairro, vale ou 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 estéticas e socioculturais.

5. COMPONENTES DO SISTEMA DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

A drenagem sustentável pode ser caracterizada por conjunto de abordagens para o controle e gerenciamento das águas pluviais, oferecendo uma alternativa ao sistema tradicional de drenagem (MENDES & 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 quanti-qualitativas pode ser realizada através de medidas não-estruturais e estruturais e. As medidas não-estruturais se fundamentam em ações de gestão e planejamento disseminadas na bacia, como o controle do uso e 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.

5.1. MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS

As medidas não-estruturais são caracterizadas por abordagens que não envolvem a construção de infraestruturas físicas, porém atuam através da adoção de ações e práticas sociais que refletem 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 a FCTH (2017), destacam-se entre essas soluções as seguintes medidas:

- Integração dos planos setoriais relacionados à gestão de águas urbanas, visando identificar conflitos e soluções possíveis;
- Centralização do 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 destes serviços, levando em consideração o planejamento, implementação e manutenção;

- Controle de lançamentos irregulares de esgoto;
- Manutenção de sistema viário e de drenagem. Adotar práticas de varrição, desobstrução de redes e galerias, e coleta de resíduos sólidos.
- Compatibilização do planejamento de recursos hídricos com 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;
- Financiamento público e privado da implementação de planos;
- Governança colaborativa que permita a participação pública;
- Educação ambiental para conscientização da população sobre o manejo de águas.

5.2. MEDIDAS ESTRUTURAIS

As medidas estruturais referem-se à implantação de dispositivos de drenagem visando o amortecimento das águas de escoamento superficial e 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 detenção, 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).

Condução

A função de condução é responsável por direcionar 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 realiza essa função, como sarjetas e demais componentes à malha viária na escala de bairro, canais (naturais ou artificiais) e galerias na escala do vale-várzea.

Detenção

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 detenção (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 detenção (com volume de dezenas de m³), como estruturas de resiliência.

Infiltração

A função de 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.

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, essa função também valoriza a paisagem urbana e pode fornecer *habitats* para a fauna e a flora. Embora geralmente demandem áreas maiores e planas, podem ser adaptadas 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.

6. 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. Diferente do setor privado que executa projetos, mesmo os 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 análise da viabilidade econômica de um projeto de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas precisam levar em consideração os custos envolvidos, incluindo os aspectos técnicos, sociais, econômicos e ambientais e as etapas de planejamento, implantação, operação e manutenção.

Para auxiliar o tomador de decisão com relação à viabilidade econômica o presente trabalho adotou a análise benefício/custo. Há preocupação para que os benefícios dos projetos públicos ultrapassem sempre o seu custo. Porém a questão é como mensurar se os benefícios ultrapasaram os custos.

A implantação de um determinado projeto de manejo e drenagem de águas pluviais, pode trazer benefícios de complicada mensuração, como por exemplo melhoria da paisagem, melhoria da qualidade do ar, das águas, entre outros. A análise benefício/custo 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 R\$1,00 investido

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

Fonte: FCTH, 2024

Sendo assim, as etapas para análise de viabilidade econômica estão descritas, a seguir:

Identificação dos Custos

- Custos da elaboração de projetos básicos e executivos onde constará todos as informações possíveis para a quantificação de insumos e mão de obra, como base de valor recomenda-se a utilização do Manuais de Custos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), Preços de Referência da Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) e pesquisa de mercado;
- 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 Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT);
- Há insumos que não estão disponíveis no Manual de Custos do DNIT, como valores de espécies adotadas em projeto, nesse caso, deve-se fazer um levantamento de preço de mercado;
- Já o insumo do valor da tonelada do asfalto permeável, que também não consta na referência mencionada, deve-se adotar o valor praticado pela Prefeitura de São Paulo no item cujo código 36066 CONCRETO ASFÁLTICO TIPO CPA (CONCRETO POROSO ASFÁLTICO) COM POLÍMEROS E FIBRAS, preço de

referência disponível no site da Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP, 2024);

- Custos de operação e manutenção. A Tabela 4 indica alguns itens que devem ser mensurados.

Tabela 4 - Atividades que devem ser quantificadas e a sua periodicidade

ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	FREQUÊNCIA	DESCRIÇÃO DETALHADA
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	Inspecionar 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	Inspecionar e reparar quaisquer danos causados pela erosão ou pela movimentação do solo que possam comprometer a estrutura do sistema de drenagem.

ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	FREQUÊNCIA	DESCRIÇÃO DETALHADA
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

Fonte: FCTH, 2024

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.

6.1. RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO

A relação custo/benefício compara os benefícios esperados com os custos do projeto. A razão Benefício/Custo maior que 0 indica que os benefícios superam os custos, sugerindo viabilidade econômica.

A fórmula que determina a relação de B/C para todos os projetos é:

$$X = \frac{B_t}{C_t} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

X = a Relação Benefício/Custo

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, levando em conta não apenas os aspectos financeiros diretos, mas também os impactos ambientais e sociais à pequeno, médio e longo prazo.

Entende-se que um projeto é viável economicamente se a Relação Benefício/Custo for positiva, ou seja, que $X > 0$.

7. APLICAÇÃO DA DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Neste capítulo, será abordada a aplicação de drenagem sustentável em suas diferentes escalas de projeto e possibilidades de tipologia. O foco será nas medidas estruturais, uma vez que as medidas não-estruturais são discutidas no item 5.1. As seções a seguir detalham as tipologias de dispositivos estruturais sustentáveis, incluindo guia de projeto para aplicação das infraestruturas.

7.1. ÁREAS ESPECIAIS PARA DRENAGEM SUSTENTÁVEL

As áreas especiais para drenagem sustentável são zonas específicas dentro do território urbano que, devido às 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 do Vale-Várzea, foi realizado diagnóstico durante a ETAPA I do PDDMAP, que identificou as áreas suscetíveis à inundação dentro do município. Este 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, na escala do Bairro e do Lote, foi proposta uma metodologia de anteprojeto para a determinação das áreas especiais para drenagem sustentável, com foco na microdrenagem. Detalhes desta metodologia estão apresentados no Anexo 1 deste manual, onde são fornecidas 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 resiliência do sistema de drenagem urbano.

7.2. MICRODRENAGEM

Constituem a microdrenagem estruturas de captação e condução de águas pluviais que chegam aos elementos viários como ruas, praças e avenidas, e provenientes não apenas da precipitação direta sobre eles, mas também das captações existentes nas edificações e 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, normalmente conectadas à rede clássica de microdrenagem, realizam funções de infiltração, detenção e retenção. Desta forma, parte da vazão e da carga do escoamento superficial fica retida e zonas próximas à sua geração, não aportando ao sistema de macrodrenagem.

Elementos da rede clássica de microdrenagem tem suas diretrizes de dimensionamento apresentadas no item 6.2 da Etapa I do PDDMAP. Neste documento serão focadas diretrizes para medidas estruturais sustentáveis ligadas à Soluções Baseadas na Natureza, 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 do Lote e do Bairro, de acordo com suas características. Estas soluções trazem benefícios no aspecto quantitativo e principalmente no qualitativo, visando o aumento da resiliência do sistema de drenagem na escala da Bacia, com o somatório de muitas intervenções em pontos estratégicos nas escalas de Bairro e Lote.

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

7.2.1. Tipologias de medidas estruturais sustentáveis

Existem diversas técnicas de controle na fonte por meio de medidas estruturais sustentáveis de microdrenagem, com diferentes particularidades e terminologias. A seguir, são apresentadas sete tipologias principais: Biorretenções, Biovaletas,

Telhados Verdes, Pavimentos Permeáveis, Bacias de Detenção, Facilitadores de Infiltração e Reservatórios de Detenção no Lote.

Biorretenções

A biorretenção consiste em uma depressão vegetada rasa, projetada para receber e infiltrar o escoamento das águas pluviais. Este 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 com sistemas fechados, ligados ao sistema convencional de microdrenagem, ou não. O segundo tipo, de mais simples instalação, também é conhecido como jardim de chuva, que normalmente recebem contribuições menores, resumidas ao precipitado sobre a área permeável do jardim e adjacências, sendo um sistema aberto, havendo comunicação com camadas mais profundas do solo.

Sua principal função dentro do sistema é de infiltração e retenção, de forma que o excedente do escoamento superficial que não consegue infiltrar no dispositivo, considerando um estado de saturação, deve seguir para jusante, superficialmente ou direto na rede de microdrenagem, a depender o tipo de estrutura, sem prejuízos. As Figura 19 e Figura 20 apresentam dois exemplos de biorretenção.



Figura 19 - Representação esquemática de jardim de chuva com sistema fechado.
Fonte: FCTH,2024



Figura 20 - Representação esquemática de jardim de chuva com sistema aberto.
Fonte: FCTH,2024.

Vantagens:

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

Desvantagens:

- Requer manutenção regular para garantir a eficácia.
- Dependente das condições de permeabilidade do solo.
- Não indicado em altas declividades, havendo necessidade de escalonamento em patamares.

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 biorretenções o retorno em benefício será de R\$2,00. Portanto, a relação Benefício/Custo é 2 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

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 através 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 Lote, apesar de também promover infiltração e retenção, promovendo o aumento da resiliência do sistema. As biovaletas podem apresentar basicamente duas configurações: uma 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.
Fonte: FCTH,2024.

Vantagens:

- Melhora a qualidade da água promovendo a remoção de sedimentos e 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 pela evapotranspiração.
- Manutenção de habitats para fauna e flora
- Preservação de corredores ecológicos.

Desvantagens:

- Pode exigir espaço significativo ao longo das vias.

- Requer manutenção regular para garantir a eficácia.
- Dependente 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 nesse manual no item 6 na Tabela 3, a cada R\$1,00 de custo com biovaletas o retorno em benefício será de R\$2,00. Portanto, a relação Benefício/Custo é 2 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

Telhados Verdes

Telhados verdes, também conhecidos como coberturas vegetadas ou tetos vegetados, são sistemas instalados sobre a laje de cobertura de edificações que incorporam camada de solo vegetado e sistemas de drenagem. Esses telhados são projetados para armazenar a água da chuva que precipita sobre ele, atenuando a velocidade com que esta chega ao sistema de drenagem, além de melhorar o isolamento térmico dos edifícios.

Sua principal função é de armazenamento, podendo também ter efeitos positivos sobre a qualidade da água, a depender principalmente do tipo de vegetação e 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 a camadas mais espessas de solo. As Figura 22 e Figura 23 apresentam exemplos de telhados verde extensivo e intensivo, respectivamente.



Figura 22- Representação esquemática de telhado verde extensivo.
Fonte: FCTH,2024.



Figura 23- Representação esquemática de telhado verde intensivo.
Fonte: FCTH,2024.

Vantagens:

- Armazena parte do escoamento e reduz a velocidade que chega ao sistema de drenagem, aumentando sua resiliência.

- Melhora o isolamento térmico dos edifícios.
- Manutenção de habitats para fauna e flora.

Desvantagens:

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

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 telhados verdes o retorno em benefício será de R\$2,00. Portanto, a relação Benefício/Custo é 2 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

Pavimentos Permeáveis

Pavimentos permeáveis são superfícies do sistema de viário que permitem o processo de infiltração da água da chuva para suas camadas drenantes, reduzindo o escoamento superficial e retendo parte de sua carga de lavagem.

Os tipos mais comuns desses pavimentos são compostos por materiais como concreto permeável, asfalto poroso, ou blocos de concreto com espaços preenchidos por agregados que permitem 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 com infiltração total, para camadas mais profundas do solo.

Sua principal função dentro do sistema é de infiltração e retenção, de forma que o excedente do escoamento superficial que não consegue infiltrar no dispositivo, considerando um estado de saturação, deve seguir para jusante, superficialmente ou direto na rede de microdrenagem, a depender o tipo de estrutura, sem prejuízos. A Figura 24 apresentam dois exemplos de pavimento permeável, o lado esquerdo da via com asfalto poroso e o direito com bloco de concreto, respectivamente.



Figura 24- Representação esquemática de pavimento permeável do tipo asfalto poroso (via a esquerda) e bloco de concreto (via a direita).

Fonte: FCTH,2024

Vantagens:

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

Desvantagens:

- Pode exigir manutenção regular para evitar sua colmatção.
- Menor durabilidade comparado a pavimentos tradicionais em áreas de alto tráfego.
- 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 pavimentos permeáveis o retorno em benefício será de R\$1,70. Portanto, a relação Benefício/Custo é 1,7 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

Bacias de Detenção

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

Essas bacias não têm como objetivo reter permanentemente a água, mas sim agir somente durante os eventos de chuva, podendo gerar esse acúmulo temporário, uma vez que não são sistemas *in-line* com a hidrografia. As bacias de detenção 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 detenção de parte do escoamento superficial. No entanto, no caso de sua cobertura ser vegetada, promove também a função de retenção de poluentes. Caso sua cobertura for uma superfície impermeável, apenas o controle quantitativo do escoamento superficial é realizado.

Podem estar conectadas tanto à rede de micro quanto de macrodrenagem, a depender de seu volume e localização. As Figura 25 e Figura 26 apresentam dois exemplos de bacia de detenção, a primeira com cobertura vegetada e a segunda com superfície dura, respectivamente.



Figura 25- Representação esquemática de bacia de retenção com cobertura vegetalada.
Fonte: FCTH,2024.

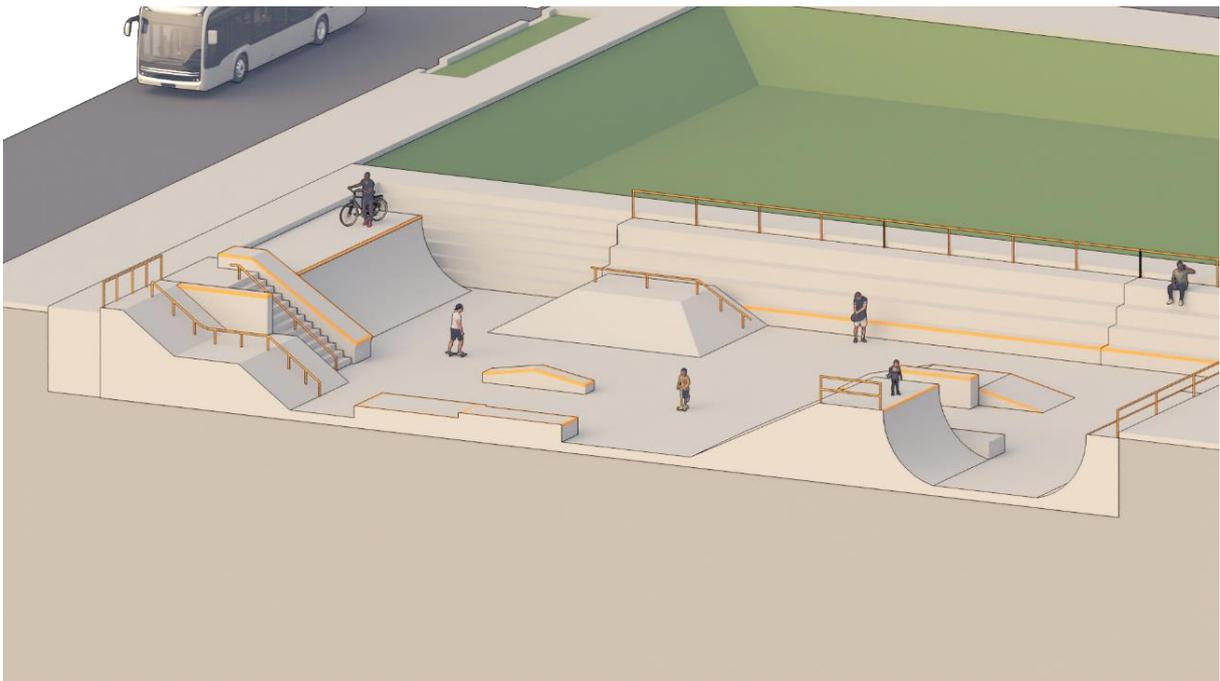


Figura 26 - Representação esquemática de bacia de retenção com superfície dura.
Fonte: FCTH,2024.

Vantagens:

- Armazena parte do escoamento e reduz a velocidade que chega ao sistema de drenagem, aumentando sua resiliência.
- Integração paisagística.

- Considerando os de cobertura vegetal:
- Melhora a qualidade da água promovendo a remoção de sedimentos e metais pesados do escoamento superficial, no caso de apresentar cobertura vegetal.
- Recarga de aquíferos em sistemas abertos.
- Resfriamento do microclima local pela evapotranspiração.
- Manutenção de habitats para fauna e flora.

Desvantagens:

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

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 Benefício/Custo é 1,7 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

Facilitadores de Infiltração

Facilitadores de infiltração são escavações preenchidas com material drenante projetadas para aumentar a capacidade do solo de infiltrar águas pluviais, ajudando a reduzir o escoamento superficial e retendo parte de as cargas poluidoras.

Facilitadores de infiltração incluem diversas estruturas com variadas nomenclaturas, como poços de infiltração, bacia de infiltração, trincheiras de infiltração, valas de infiltração, entre outros.

Sua principal função dentro do sistema é de infiltração e retenção, de forma que o excedente do escoamento superficial que não consegue infiltrar no dispositivo, considerando um estado de saturação, deve seguir para jusante, superficialmente ou direto na rede de microdrenagem, a depender o tipo de estrutura, sem prejuízos. A

Figura 27 apresenta um exemplo de facilitadores de infiltração, a trincheira de infiltração.

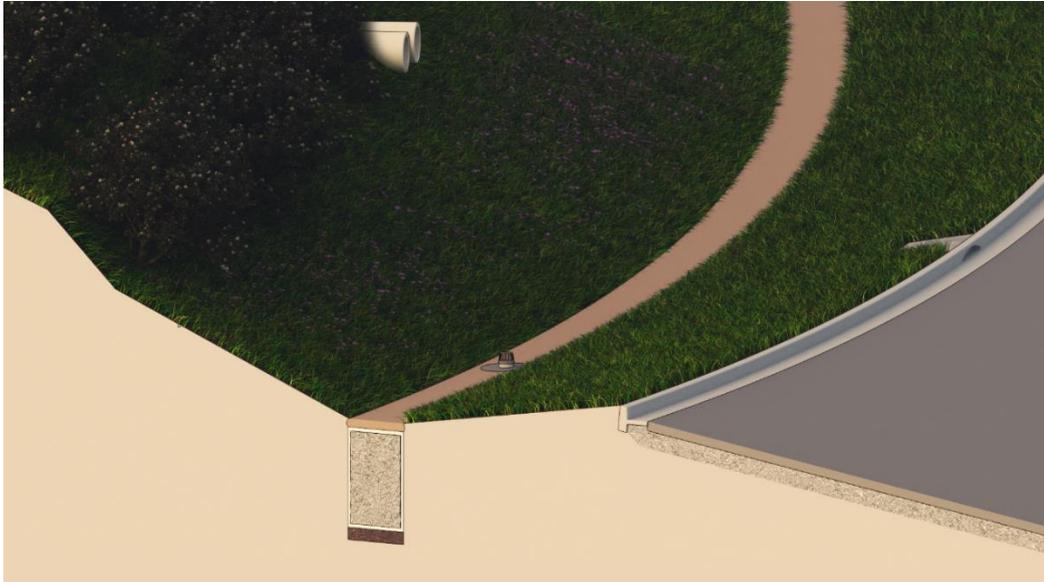


Figura 27 - Representação esquemática de trincheira de infiltração.
Fonte: FCTH,2024.

Vantagens:

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

Desvantagens:

- Pode exigir escavações significativas e cuidados com a localização.
- Necessidade de manutenção regular para garantir a 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 Benefício/Custo é 1,7 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

Reservatório de Detenção no Lote

Reservatório de Detenção no Lote são pequenas estruturas hidráulicas de reservação projetadas para esta escala visando armazenar temporariamente as águas pluviais, podendo ser aplicados em áreas residenciais, comerciais e 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 armazenamento de água pluvial referentes a sistemas de reuso de água de chuva. Tais estruturas, por possuírem como função principal o aproveitamento da água reservada para fins menos nobres, precisam atender requisitos hidráulicos, estruturais e de qualidade da água, expressos na norma NBR 15527 - Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis (ABNT, 2019). Esta tipologia não será abordada neste manual.

Em relação aos reservatórios de detenção apenas para fins de drenagem, sua principal função dentro do sistema é de detenção e retenção, de forma que o excedente do escoamento superficial que não consegue ser armazenado no dispositivo, deve seguir para jusante sem prejuízos. Podem ser do tipo enterrado ou aberto.

Por fim, destaca-se a importância da qualidade da vazão de base especialmente para 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, previstas para receber usuários do espaço.

Esta tipologia encontra-se em uma zona de transição entre a escala de Bairro e Lote em a escala de Vale-Várzea, de forma que seguem algumas premissas de segurança recomendadas para macrodrenagem. Não obstante, podem ser aplicadas em como elementos de sistemas de macrodrenagem, como parques lineares e reservatórios multiuso, potencializando benefícios de ambos.

A Figura 28 apresenta exemplo de reservatório de retenção no lote aberto, aplicado no contexto residencial.



Figura 28 - Representação esquemática de retenção no lote aberto.

Fonte: FCTH,2024.

Vantagens:

- Armazena parte do escoamento e reduz a velocidade que chega ao sistema de drenagem, aumentando sua resiliência.
- Melhora a qualidade da água promovendo a remoção de sedimentos e metais pesados do escoamento superficial.
- Recarga de aquíferos em sistemas abertos.
- Integração paisagística.
- Resfriamento do microclima local pela evapotranspiração.
- Manutenção de habitats para fauna e flora.

Desvantagens:

- Capacidade limitada de armazenamento
- Maior complexidade hidráulica

- Requer manutenção regular para evitar o acúmulo de sedimentos e garantir a 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 detenção no lote o retorno em benefício será de R\$2,0. Portanto, a relação Benefício/Custo é 2 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

7.2.2. Guia de projeto de medidas estruturais sustentáveis

Este guia oferece uma abordagem detalhada para o planejamento, diretrizes de dimensionamento e manutenção dos sete principais tipos de medidas estruturais sustentáveis citados no item anterior: Biorretenções, Biovaletas, Telhados Verdes, Pavimentos Permeáveis, Bacias de Detenção, Facilitadores de Infiltração e Reservatórios de Detenção no Lote.

A alocação espacial na escala da bacia destes dispositivos tem sua metodologia de determinação apresentada no Anexo 1, que são as denominadas Áreas Tecnicamente Viáveis calculadas e discutidas com a população.

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

Elementos de inspeção e manutenção preventiva, como poços de visita e tubo de inspeção para tipologias que possuem camadas de solo e sistemas drenantes, e áreas para manobra de maquinário de maior porte para tipologias de detenção de maiores volumes (bacia e reservatório de detenção), devem ser contemplados, a depender da tipologia e da área de implantação.

Biorretenções

Definição

Consiste em uma depressão vegetada rasa, projetada para receber e infiltrar o escoamento das águas pluviais. Podem ser sistemas fechados com sistema drenante de fundo conectado à microdrenagem, ou sistemas abertos, havendo comunicação com camadas mais profundas do solo.

Funcionalidade

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

Configuração

As Figura 29 e Figura 30 apresentam um corte esquemático de um sistema aberto e outro fechado, respectivamente.

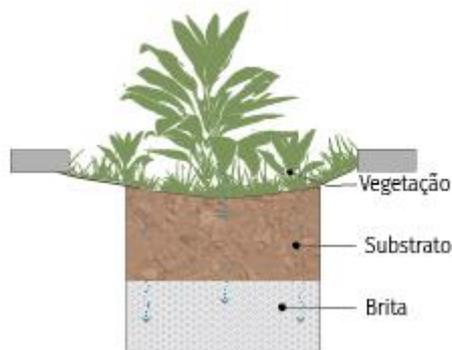


Figura 29 - Corte esquemático de biorretenção aberta, do tipo jardim de chuva
Fonte: FCTH, 2024

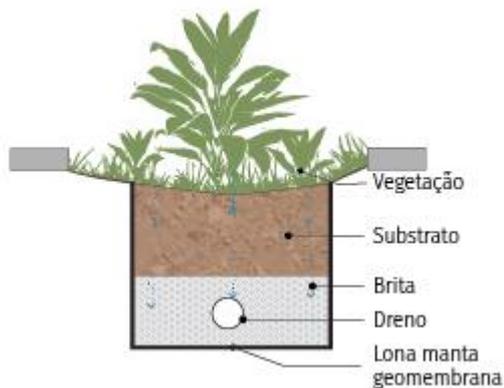


Figura 30 - Corte esquemático de biorretenção fechada, ligada à rede de microdrenagem

Fonte: FCTH, 2024

Camada de espera: entre 15 e 30 cm de profundidade, sendo o desnível entre a superfície adjacente ao dispositivo e a camada de solo (meio filtrante).

Camada de solo: entre 45 e 100 cm de profundidade, sendo o meio de menor permeabilidade e maior poder filtrante, a qual a vegetação usará como substrato para fixação e crescimento.

Manta geotêxtil: malha de proteção na zona de transição entre as camadas de solo e drenante.

Camada drenante: entre 20 e 30 cm de profundidade, no fundo da qual o tudo dreno é instalado.

Geomembrana: lona de proteção impermeabilizante, deve ser acomodada sobre fina camada de areia para proteção de 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. Sua entrada deve receber as águas da sarjeta e outras entradas complementares para capturar o escoamento superficial dessas áreas adjacentes.

Diretrizes de dimensionamento

- Aspectos Hidrológicos

A variável hidrológica chave para o dimensionamento de biorretenções em geral é a

vazão/volume de projeto. Sendo a principal função deste dispositivo a infiltração e retenção de poluentes, a abordagem hidrológica do dimensionamento foca a ação da biorretenção na primeira carga de lavagem, conceito apresentado no item 2.2.3.

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

Portanto, a determinação da chuva de projeto é função das características da área de contribuição, fazendo-se necessária a aplicação do método chuva-vazão a ser detalhado no item 2.6.5 do Anexo 2 da Etapa I do PDDMAP (NRCS).

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 II (solos umedecidos) como condição inicial. Obtendo a parcela de chuva que não se transforma em escoamento superficial, soma-se 2mm de chuva efetiva a este valor para chegar ao 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 I). Desta forma, distribui-se o acumulado de projeto em intervalos de um minuto com no máximo 1,68 mm.

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

- Aspectos Hidráulicos

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

$$Q_{saída} = Q_{entrada} - Q_{infiltração} - \frac{dV}{dt} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Qsaída é a vazão efluente do dispositivo;

Qentrada é a vazão aportante ao dispositivo;

Qinfiltração 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 a menos permeável que a camada drenante situada abaixo. Recomenda-se que a representação desta capacidade no equacionamento para determinação das características da estrutura seja feita pelo coeficiente de condutividade hidráulica ou de permeabilidade (k), sempre considerado nas condições de saturação do solo.

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

Como referência para esta estimativa considera-se estudo citado no Manual de Drenagem 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: 10^{-4} a 10^{-7} m/s

Taxa de infiltração típica em profundidade de 0,5 a 2,0 m: 10^{-6} a 10^{-7} m/s

Tais valores estão alinhados com experimentos mais robustos apresentados em revisões da literatura (ZHANG & SCHAAP, Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: a review., 2019).

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

Ressalta-se que a presença das raízes da vegetação contribui para o aumento desta condutividade hidráulica. Além disso, outros fatores de segurança de redução da permeabilidade serão aplicados no dimensionamento.

Em relação à porosidade do solo, o estudo realizado por Choudhury & Millar (1981) com latossolos amarelos para regiões mais áridas obteve valores próximos a 40%, com diferença inferior a 1% entre a camada superficial (até 30cm de profundidade) e subsuperficial (entre 30 e 120 cm de profundidade). Desta forma, 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%, indo 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 e a variação do volume armazenado em seu interior. Outras duas verificações hidráulicas precisam ser feitas para garantir sua operação adequada: o sistema deve ser capaz de infiltrar todo volume superficial de espera em até 24 horas e, apenas para sistemas fechados, garantir o escoamento adequado do dreno de fundo, para que este não seja um limitante.

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

$$V_{afluente} - V_{infiltrante} < V_{vazios} + V_{espera} \quad (3)$$

Onde:

V_{afluente} é a volume do hidrograma afluente ao dispositivo;

V_{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 a volume superficial de 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 relativo à compactação do solo e colmatação dos poros de valor 0,5.

A condutividade hidráulica considera a condição de saturação do solo. O volume de vazios é a soma dos volumes do meio 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.

$$V_{afluente} = \sum_1^n Q * \Delta t \quad (4)$$

Onde:

V_{afluente} é a volume do hidrograma afluente ao dispositivo (m³);

Q é a vazão em cada intervalo de tempo de 1 a n (m³/s);

Δt é o passo de cálculo do hidrograma (s).

$$V_{infiltrante} = k * A * \Delta T * (h_{MF} + h_{espera}) / h_{MF} * fs \quad (5)$$

Onde:

V_{infiltrante} é a volume infiltrante ao dispositivo referente ao hidrograma afluente (m³);

k é a condutividade hidráulica do meio filtrante em condição saturada (m/s);

A é a área superficial do dispositivo (m²);

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);

F_s é o fator de segurança igual a 0,5.

$$V_{vazios} = A * (h_{MF} + h_{MD}) * P \quad (6)$$

Onde:

V_{vazios} é a volume de vazios do dispositivo em suas camadas filtrante e drenante (m³);

A é a área superficial do dispositivo (m²);

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 (%).

$$V_{espera} = A * h_{espera} \quad (7)$$

Onde:

V_{espera} é a volume de espera do dispositivo em suas camadas filtrante e drenante (m³);

A é a área superficial do dispositivo (m²);

h_{espera} é a profundidade da camada de espera (m);

A segunda verificação buscar impedir o acumula 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:

$$V_{espera} < Q_{infiltrante} * 24h \quad (8)$$

Onde:

Vespera é a volume de espera do dispositivo em suas camadas filtrante e drenante (m³);

Qinfiltrante é a vazão que infiltra no dispositivo (m³/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, para garantir o escoamento adequado do dreno de fundo, para que este não seja um limitante para o funcionamento adequado do sistema. Desta forma, a vazão que passa pelo dreno, tanto através de seus orifícios para seu interior, como do seu interior para a conexão com a microdrenagem, devem ser maiores que a vazão infiltrante. Com isso, a verificação deve atender a seguinte equação:

$$Q_{infiltrante} < \text{Mínimo} (Q_{tubo}, Q_{orifícios}) \quad (9)$$

Onde:

Qinfiltrante é a volume de espera do dispositivo em suas camadas filtrante e drenante (m³);

Qtubo é a vazão que passa por dentro do tubo (m³/s);

Qorifícios é a vazão que pelos orifícios de entrada do tubo (m³/s).

A vazão do tubo é obtida pela fórmula de Manning para escoamentos em tubos, enquanto a vazão pelos orifícios é função da carga sobre ele, da densidade linear de furos do tubo e seu diâmetro, bem como do coeficiente de descarga de cada orifício. Também é considerado um fator de segurança relativo a obstruções dos orifícios ao longo do tempo, de valor 0,5. As equações a seguir apresentam as fórmulas para obtenção destas vazões.

$$Q_{orifícios} = C * A_{total} * \sqrt{2 * g * h} * f_o \quad (10)$$

Onde:

Q_{orifícios} é a vazão que pelos orifícios de entrada do tubo (m³/s);

C é coeficiente de descarga dos orifícios (recomendado 0,6);

A_{total} é a área total dos orifícios por onde o escoamento entrará no tubo (m²);

g é a aceleração da gravidade (m/s²);

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 o escoamento passará é uma o produto da área de cada orifício e o número total de perfurações, calculado considerando a superfície do tubo como uma matriz de linhas e colunas de orifícios distribuídos nesta superfície, com espaçamento constante entre as perfurações. Tal espaçamento é normalmente fornecido pelo fabricante dos tubos perfurados existentes no mercado. Portanto, temos a equação a seguir para obter a total dos orifícios.

$$A_{total} = A_{orifício} * N_{orifícios} \quad (11)$$

$$N_{orifícios} = (L * \pi D) / E^2 \quad (12)$$

$$A_{orifício} = \pi * D^2 / 4 \quad (13)$$

Onde:

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 comprimento linear do tubo (m);

D é 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.

A vazão do tubo é calculada pela seguinte equação, originada da fórmula de Manning:

$$Q_{tubo} = \left(\frac{0,312}{n} \right) * D^{2,67} * I^{0,5} \quad (14)$$

Onde:

Q_{tubo} é a vazão que passa por dentro do tubo (m³/s);

n é o coeficiente de rugosidade de Manning;

D é diâmetro dos orifícios (m);

I é a declividade do tubo (m/m).

A declividade do tubo não deve passar de 2%, limite máximo recomendado para este tipo de dispositivo, sendo 1% o valor recomendado. Tubos poliméricos são comumente usados, podendo-se adotar 0,01 como rugosidade de Manning.

Após a realização das verificações, o dispositivo deve garantir sua adequação em relação a retenção da carga de primeira lavagem, não havendo empossamentos duradouros com potencial risco à saúde pública. Em casos de eventos de chuva mais intensos e volumosos que a chuva de projeto para a qual o sistema foi projetado, o dispositivo simplesmente permite a passagem do excedente superficialmente para a rede de microdrenagem.

Por fim, recomenda-se a colocação de seixos com diâmetro entre 7 e 12 cm (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES, 2009) em suas entradas visando reter sólidos grosseiros e reduzir a velocidade do escoamento, com cerca de 20 unidades por entrada.

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

Problema:

Supondo que, em uma rua indicada como área especial para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar uma biorretenção fechada em uma área relativa à uma vaga de carro (5 m x 2,5 m). A modelagem hidrológica obteve como resultado o hidrograma do escoamento superficial apresentado pela Figura 31, relativo à 2 mm de chuva efetiva sobre a área de contribuição ao ponto de interesse. Seguindo as diretrizes recomendadas neste manual, dimensione uma biorretenção ligada à microdrenagem em boca de lobo cuja caixa de passagem tem 1 m de profundidade.

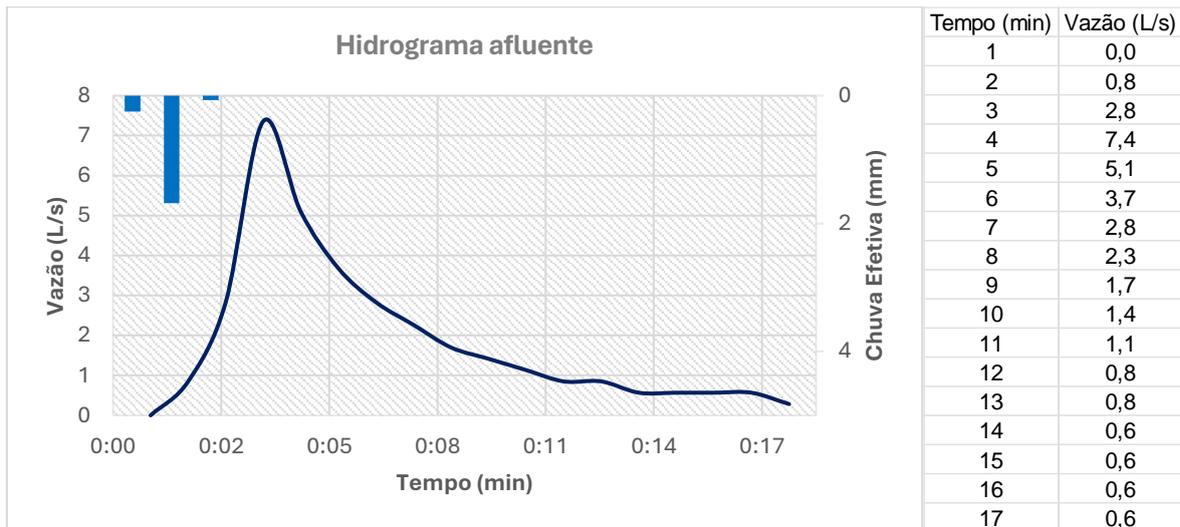


Figura 31 - Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético)
Foto: FCTH, 2024

Solução:

Sendo a biorretenção ligada à micro drenagem, sua profundidade máxima é dada pela caixa de passagem da boca de lobo de jusante (1 m). Desta forma, a profundidade e característica proposta 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 40%.

Camada de drenante = 30 cm de profundidade e porosidade 40%.

O tubo dreno proposto tem 5 m de comprimento em UPVC, com diâmetro de 50 mm, orifícios com 2 mm de diâmetro e 25 mm de espaçamento entre eles. Sua declividade de fundo é 1%.

Desta forma, temos:

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

Duração do hidrograma = 16 min

Objetivo principal Equação (3)

Equação (4)

Pelo gráfico do hidrograma afluente - $V_{\text{afluente}} = 2 \text{ m}^3$

Equação (5)

$V_{\text{infiltrante}} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 12,5 \cdot 16 \cdot 60 \cdot (0,5 + 0,15) / 0,5 \cdot 0,5 = 0,39 \text{ m}^3$

Equação (6)

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

Equação (7)

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

Equação (3)

$2 - 0,39 < 4 + 1,88 \Rightarrow 1,61 < 5,88$ (Objetivo principal atingido)

Verificação acúmulo superficial Equação (8)

$1,88 < 0,39 / (16/60) \cdot 24 \Rightarrow 1,88 < 35,1$ (Verificação satisfeita)

Verificação dreno de fundo Equação (9)

Equação (11)

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

Equação (12)

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

Equação (13)

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

Equação (10)

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

Equação (14)

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

Equação (9)

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

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

- Aspectos Geotécnicos

A verificação *in loco* da condição do solo por meio de sondagens é recomendável, no entanto esta técnica normalmente empregada dentro da avaliação da estabilidade estrutural do solo, neste caso é relevante também para estimar a condutividade hidráulica a partir de sua descrição qualitativa.

Ademais, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações pertinentes no item 6.6 Execução de Obras da Etapa I do PDDMAP.

Operação e Manutenção

Manutenção periódica da vegetação, remoção de sedimentos e resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta forma, recomenda-se ações de limpeza e inspeção com frequência mensal e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação).

O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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 estruturas de entrada, além de detalhes de alterações mais evidentes, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes, ou se há necessidade de investigações e intervenções

específicas.

Ações de manutenção preventiva trata-se de remoção de espécies invasoras, replantio de espécies danificadas, e reparos estruturais nas fronteiras da escavação. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Tabela Resumo

Tabela 5 - Tabela resumo de informações sobre biorretenções

TIPOLOGIA	BIORRETENÇÃO
FUNCIONALIDADE	Infiltração e retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	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 Etapa I PDDMAP
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Limpeza e inspeção mensal Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

Biovaletas

Definição

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

Funcionalidade

Esta medida promove a condução do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção.

Configuração

As Figura 32 e Figura 33 apresenta um corte esquemático do sistema de Biovaleta, fechada e aberta, respectivamente.

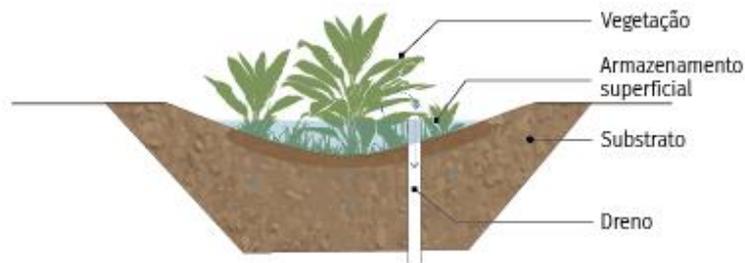


Figura 32 - Corte esquemático de biovaleta fechada
Fonte: FCTH, 2024

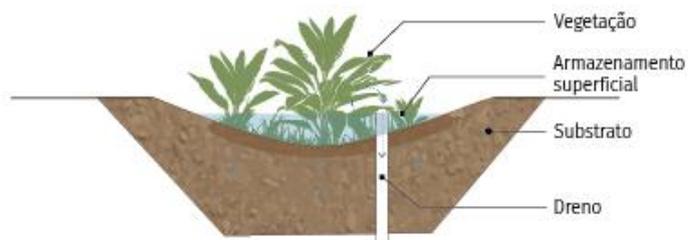


Figura 33 - Corte esquemático de biovaleta aberta
Fonte: FCTH, 2024

Camada de solo: entre 30 e 45 cm de profundidade, a qual a vegetação usará como substrato para fixação e crescimento.

Dimensões da seção: considerando uma seção simplificada trapezoidal, a inclinação recomendada do talude é 2H:1V, sendo 1H:1V a máxima aceitável, com base maior mínima de 1,1 m e base menor mínima de 0,3 m e profundidade mínima de 0,2 m (limites máximos em função do espaço disponível e vazão a ser atendida)

Camada drenante: entre 20 e 40 cm de profundidade de acordo com o diâmetro do tubo, no fundo da qual o tubo dreno é instalado. Deixar ao menos 15 cm de material drenante sobre o tubo

Geomembrana: lona de proteção impermeabilizante, deve ser acomodada sob fina camada de areia para proteção de sua integridade estrutural.

As biovaletas com sistema drenante de fundo 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

A variável hidrológica chave para o dimensionamento de biovaletas em geral é a vazão de projeto. Sendo a principal função deste dispositivo a condução do escoamento superficial, a abordagem hidrológica do dimensionamento foca na garantia da capacidade hidráulica do dispositivo em conduzir a vazão de projeto.

Desta 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: vazão correspondente a chuva com período de retorno de 10 anos (TR 10).

Considerando o expresso no item 6.2.1. Hidrologia da Etapa I do PDDMAP, utilizando a Equação IDF de Caçapava, com duração de 10 minutos, temos a intensidade para TR 10 anos de 2,37 mm/min. O método racional é recomendado para determinação da vazão de projeto, detalhado no item 6.2.1.6.

- Aspectos Hidráulicos

O dimensionamento hidráulico visa escoar a vazão de projeto, referente a precipitação de TR 10 anos. Desta forma, trata-se a biovaleta como um canal sustentável de pequeno porte, dimensionando-o de forma semelhante (Item Canais Sustentáveis). Recomenda-se também o uso de mantas geotêxteis 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). Esta soma precisa ser maior que a vazão de projeto, considerando uma borda livre de 5 cm. A seção trapezoidal é adotada como padrão, porém outras formas também podem ser adotadas, mediante cálculo apropriado.

O processo de infiltração certamente é um dos processos hidráulicos que ocorrem neste tipo de dispositivo, no entanto este é desconsiderado no dimensionamento hidráulico por motivos de simplificação, estando a favor da segurança, uma vez que uma parcela do escoamento superficial deve escoar por/ocupar os vazios das camadas de solo e drenante.

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

Problema:

Supondo que, em determinada via com canteiro central, indicada 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 desague a jusante de 1,3 m.

A modelagem hidrológica obteve como resultado da aplicação do método Racional para a área de contribuição ao ponto de estudo a vazão de projeto 1,5 m³/s. Seguindo as diretrizes recomendadas neste manual, dimensione uma biovaleta que conduzirá o escoamento superficial como parte da rede de microdrenagem sustentável.

Solução:

Sendo a biovaleta proposta sistema com dreno de fundo, a soma das vazões da

superfície e do tubo drenante, em condições de profundidade máxima do escoamento, deve ser maior que a vazão de projeto. Desta forma, as características propostas para a biovaleta são:

Seção superficial trapezoidal

Profundidade = 0,8 m; Base menor = 0,3 m; Inclinação taludes = 1,5H:1V; Declividade do trecho = 1%

O tubo dreno proposto tem diâmetro de 100 mm, em UPVC. Sua declividade é a mesma da superfície, disposto no fundo de camada drenante de 25 cm.

Desta forma, temos:

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

Vazão superficial – Equação de Chézy-Manning

n de Manning = 0,035 (recomendado para 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

Borda livre = 0,05 m.

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

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

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

Equação (17)

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

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

Vazão dreno de fundo

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

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

Equação (14)

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

Vazão biovaleta

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

Sendo $Q_{\text{biovaleta}}$ 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, esta seção encaixa-se no espaço disponível (3 m de leito maior e 1,3 m de profundidade máxima).

- Aspectos Geotécnicos

O uso de manta geotêxtil de reforço é recomendado tanto como estabilizadora da vegetação como do talude. Em caso de escalonamento da declividade, por meio de degraus/vertedores necessita de avaliação específica sobre a estabilidade estrutural destes elementos hidráulicos.

Ademais, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações pertinentes no item 6.6 Execução de Obras da Etapa I do PDDMAP.

Operação e Manutenção

Manutenção periódica da vegetação, remoção de sedimentos e resíduos acumulados são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta forma, recomenda-se ações de limpeza e inspeção com frequência mensal e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação).

O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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 estruturas de entrada, além de detalhes de alterações mais evidentes, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção

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

Ações de manutenção preventiva trata-se de remoção de espécies invasoras e reposição da manta onde houver falhas. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Tabela Resumo

Tabela 6 - Tabela resumo de informações sobre biovaletas

TIPOLOGIA	BIOVALETA
FUNCIONALIDADE	Condução do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	Hidrológicas: TR 10 anos Hidráulicas: Borda livre $\geq 0,05$ m e velocidade máxima $\leq 2,5$ m/s Geotécnicas: uso de manta geotêxtil de reforço (recomendado)
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Limpeza e inspeção mensal Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

Telhados Verdes

Definição

Consiste em coberturas vegetadas instaladas sobre a laje superior de edificações que incorporam camada de solo vegetado e sistemas de drenagem, podendo ser intensivo ou extensivo.

Funcionalidade

Detenção de parte da água da chuva que precipita sobre ele, atenuando a velocidade com que esta chega ao sistema de drenagem.

Configuração

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

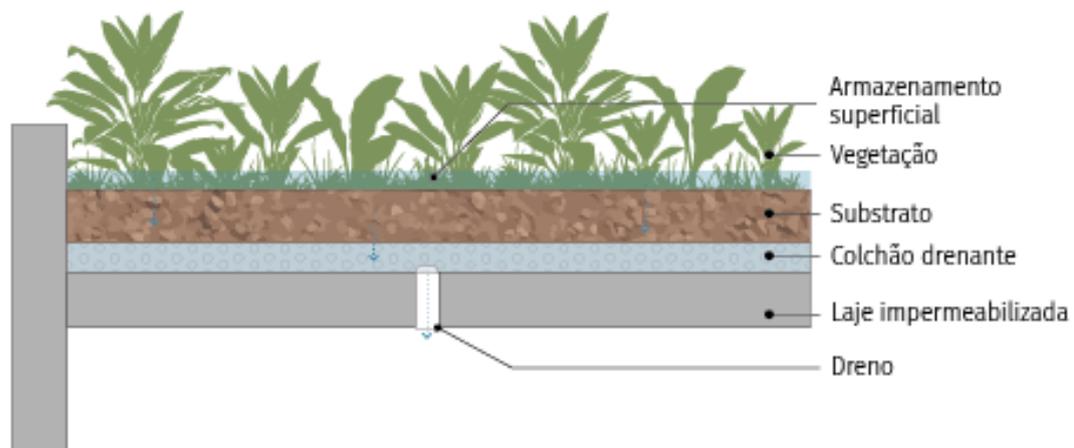


Figura 34 - Corte esquemático de telhado verde extensivo.
Fonte: FCTH, 2024

Camada de solo: entre 10 e 50 cm de profundidade, a depender do tipo de sistema (intensivo com maiores profundidades que os extensivos).

Manta geotêxtil: malha de proteção na zona de transição entre as camadas de solo e drenante.

Camada drenante: entre 20 e 30 cm de profundidade.

Geomembrana: lona de proteção impermeabilizante, deve ser acomodada sobre fina camada de areia para proteção de sua integridade estrutural.

Os telhados verdes normalmente são projetados para edificações a serem construídas, no entanto 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, drenante e da água prevista para ser armazenada.

Em relação ao sistema de drenagem convencional para edificações, a norma ABNT NBR 10844 (ABNT, 1989) fixa exigências e critérios necessários aos projetos de drenagem de águas pluviais de edificações, visando garantir sua funcionalidade, segurança higiene, conforto, durabilidade e economia. O telhado vegetado deve ser integrado ao sistema convencional de drenagem da cobertura, lançando tanto as águas drenadas pelo meio filtrante, como o sobressalente da precipitação que não infiltrou, considerando um estado de saturação do sistema.

Diretrizes de dimensionamento

- Aspectos Hidrológicos

De acordo com a norma NBR 10844, o sistema de drenagem das coberturas e/ou terraços de instalações prediais devem considerar uma precipitação de período de retorno de 5 anos e duração de 5 minutos. Este contorno hidrológico gera uma vazão de projeto para a qual as superfícies, canaletas e tubulações devem ser dimensionadas para escoar o volume precipitado sobre a cobertura para a microdrenagem no nível do terreno. A norma supracitada oferece as diretrizes para tal dimensionamento.

Em termos de volume armazenado no sistema do telhado verde, este parâmetro não deve afetar negativamente o desempenho do sistema de drenagem pluvial da cobertura como um todo, somente positivamente, retendo parte do escoamento e atenuando a velocidade com que a água chega ao sistema de drenagem.

O dimensionamento do volume armazenado deve seguir primeiramente questões estruturais de resistência da laje ao sobrepeso causado pelas camadas de solo, drenante e pela vegetação (considerando seu estado final de crescimento). Em

segundo lugar, deve-se dimensionar o volume armazenado no telho vegetado como parte do volume útil mínimo de detenção (VDE) necessário para atendimento da vazão de controle do deságue em lote (QCE). Tais parâmetros são descritos no item 6.5 Drenagem em Lotes da Etapa I do PDDMAP, especificamente nos itens 6.5.4.3. e 6.4.3.3, respectivamente. Este volume útil mínimo pode ser obtido com a combinação de diferentes tipologias de microdrenagem sustentável que também promovem a detenção do escoamento superficial.

- Aspectos Hidráulicos

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

Desta forma, calcula-se a vazão infiltrante de forma simplificada, considerando não haver outras contribuições ao sistema que não a precipitação sobre ele. A equação a seguir:

$$Q_{infiltrante} = k * A * fs \quad (15)$$

Onde:

Q_{infiltrante} é a vazão infiltrante ao dispositivo (m³/s);

k é a condutividade hidráulica do meio filtrante em condição saturada (m/s);

A é a área superficial do dispositivo (m²);

F_s 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. Estruturas de Controle de Fundo da Etapa I.

A seguir é apresentado um exemplo simplificado de dimensionamento hidráulico de telhado verde extensivo.

Problema:

Supondo que, o volume útil mínimo para atender a vazão de controle de deságue em lote de um empreendimento são 3 m³. Não serão contempladas outras tipologias de retenção no projeto, além do telhado verde. A área total da cobertura disponível para implementação do sistema é de 8 x 5 m (40 m²). Seguindo as diretrizes recomendadas neste manual, dimensione um telhado verde atenderá ao volume útil mínimo indicado.

Solução:

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

Largura de 6 m por comprimento de 4 m

Camada de solo = 25 cm de profundidade, $2 \cdot 10^{-4}$ de condutividade hidráulica (saturado) e porosidade 40%.

Camada de drenante = 10 cm de profundidade e porosidade 40%.

Seção extravasores de fundo retangular

Base = 0,05 m; Altura = 0,05 m

Desta 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 Etapa I (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 2 para retardar a colmatação 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

Manutenção periódica da vegetação, remoção de sedimentos e resíduos acumulados e são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Os dois tipos de telhados verdes, extensivo e intensivo, diferem em relação à sua operação e manutenção, sendo o tipo extensivo o mais simples sob esses aspectos. Telhados verdes intensivos possuem operação e manutenção específicas dependendo do tipo de plantio realizado, podendo até contar com sistemas de irrigação.

Desta forma, para os telhados verdes extensivos, recomenda-se ações de limpeza e inspeção com frequência mensal e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação). O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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 registros fotográficos gerais da vegetação e estruturas de saída, além de detalhes de alterações mais evidentes, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes, ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas. Também são necessárias checagens da integridade da impermeabilização e estabilidade estrutural

Ações de manutenção preventiva trata-se de remoção de espécies invasoras, replantio de espécies danificadas, e reparos estruturais no contêiner das camadas de solo e drenante. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Tabela Resumo

Tabela 7 - Tabela resumo de informações sobre telhados verdes

TIPOLOGIA	TELHADO VERDE
FUNCIONALIDADE	Infiltração e retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	Hidrológicas: VDE e QCE (Item 6.5 Etapa I PDDMAP) Hidráulicas: Extravasor de fundo suficiente para a vazão infiltrante
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (EXTENSIVOS)	Limpeza e inspeção mensal Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

Pavimentos Permeáveis

Definição

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

Funcionalidade

Esta medida promove a infiltração e 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.

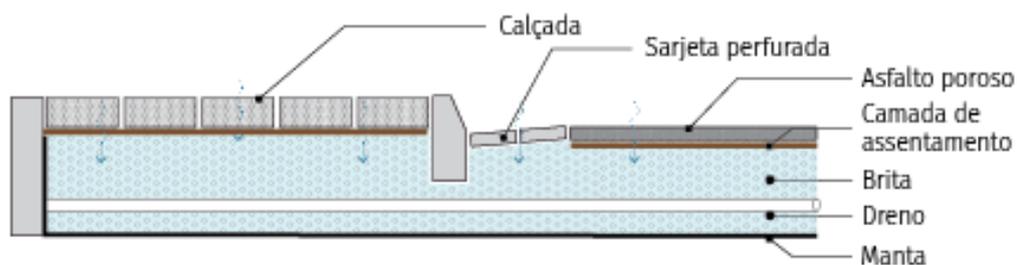


Figura 35 - Corte esquemático de pavimento permeável do tipo asfalto poroso (via a esquerda) e bloco intertravado (via a direita)

Camada Revestimento Permeável: entre 60 e 100 mm.

Camada de assentamento: entre 20 e 60 mm.

Camada de armazenamento: entre 20 e 30 cm.

Geomembrana: lona de proteção impermeabilizante, deve ser acomodada sobre fina camada de areia para proteção de sua integridade estrutural.

As características dos materiais da camada do revestimento permeável e da camada de armazenamento devem estar de acordo com o exigido pela NBR 1646 (ABNT, 2015), que estabelece os requisitos mínimos exigíveis ao projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto.

Os pavimentos permeáveis podem ser instalados de modo combinado tanto no leito carroçável como na calçada, com sarjetas perfuradas para permitir a infiltração também do escoamento que a atinge. Este arranjo permite direcionar o escoamento superficial de áreas vindas dos lotes lindeiros à rua de aplicação para o dispositivo, e não somente a precipitação sobre ele.

Apesar da possibilidade de sistemas abertos deste tipo de pavimentos, recomenda-se sua aplicação com sistema fechado impermeável, conectado ao sistema de microdrenagem existente. Isto se deve a recomendação da norma NBR 16416 que, para a faixa de condutividade hidráulica indicada para o solo da região do distrito urbano de São José dos Campos (10^{-4} a 10^{-7} m/s) não se utilizem sistemas abertos. Desta forma, as recomendações feitas a seguir são para sistemas fechados.

Diretrizes de dimensionamento

- Aspectos Hidrológicos

A norma preconiza que a tormenta de projeto deve ser de período de retorno de 10 anos, e duração mínima de 1 hora. Esta abordagem focada em quantidade trata este dispositivo como parte da rede de microdrenagem convencional com foco na condução do escoamento superficial. No entanto, também é possível uma abordagem voltada para a questão da qualidade da água, bem como para outros dispositivos cujas funções principais são infiltração e retenção. Desta forma, recomenda-se dimensionar dispositivos de pavimento permeável segundo o exposto nas diretrizes de dimensionamento hidrológico do item Biorretenções.

- Aspectos Hidráulicos

Semelhante ao exposto para a tipologia biorretenção, o dimensionamento hidráulico visa garantir que, no mínimo, o volume gerado pelos 2 mm de chuva efetiva infiltre no sistema, bem como o atendimento da verificação do sistema drenante de fundo. Portanto, recomenda-se a utilização do exposto no item de Biorretenções no dimensionamento hidráulico de pavimentos permeáveis, considerando as camadas pertinentes a este dispositivo.

Uma consideração específica sobre a porosidade da camada de armazenamento precisa ser feita para o dimensionamento apropriado de seu volume. A norma NBR16416 coloca como especificação para o material desta camada o parâmetro 'Índice de vazios' $\geq 32\%$. A Equação a seguir expressa a relação entre a índice de vazios e a porosidade do material.

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (16)$$

Onde:

n é a porosidade do meio;

e é o índice de vazios.

A seguir é apresentado um exemplo simplificado de dimensionamento de pavimento permeável fechado.

Problema:

Supondo que, em uma rua indicada como área especial para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar um sistema de pavimento permeável fechado em uma área de 7,5 x 20 m de uma via local, já incluindo o passeio e as sarjetas, que farão parte do sistema. A modelagem hidrológica obteve como resultado o hidrograma do escoamento superficial apresentado pela Figura 36, relativo à 2 mm de chuva efetiva sobre a área de contribuição ao ponto de interesse. Seguindo as diretrizes recomendadas neste manual, dimensione pavimento permeável ligado à microdrenagem em posto de visita cuja caixa de passagem tem 1 m de profundidade.

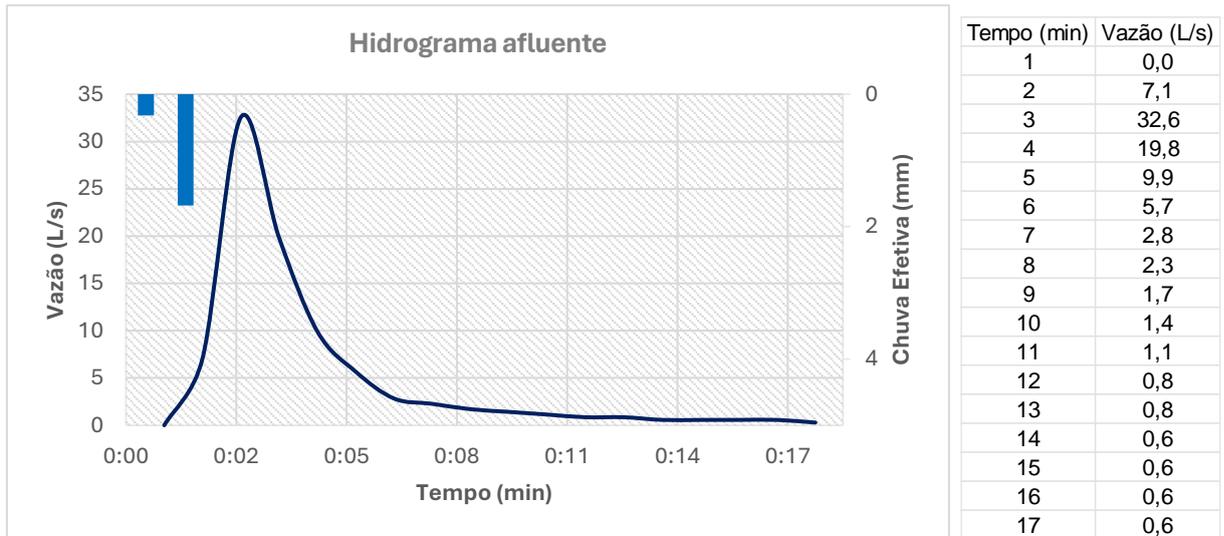


Figura 36 - Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético)
Foto: FCTH, 2024

Solução:

Sendo o pavimento permeável ligado à microdrenagem, sua profundidade máxima é dada pela caixa de passagem da boca de lobo de jusante (1 m). Desta forma, a profundidade e característica proposta 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 tem 20 m de comprimento em UPVC, com diâmetro de 100 mm, orifícios com 2 mm de diâmetro e 25 mm de espaçamento entre eles. Sua declividade de fundo é 1%.

Desta forma, temos:

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

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

Objetivo principal Equação (3)

Equação (4)

Pelo gráfico do hidrograma afluente - $V_{\text{afluente}} = 5,3 \text{ m}^3$

Equação (5)

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

Equação (16)

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

Equação (6)

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

Equação (3)

$$5,3 - 14,4 < 8,4 \Rightarrow 5,3 < 22,8 \text{ (Objetivo principal atingido)}$$

Verificação 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 hidráulicamente adequados às diretrizes deste manual.

- Aspectos Geotécnicos

A verificação *in loco* da condição do solo por meio de sondagens é recomendável, no entanto esta técnica normalmente empregada dentro da avaliação da estabilidade estrutural do solo, neste caso é relevante também para estimar a condutividade

hidráulica a partir de sua descrição qualitativa e apontar a profundidade do lençol freático. A norma NBR16416 indica uma distância mínima entre o nível do lençol freático e a base do pavimento permeável.

Ademais, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações pertinentes no item 6.6 Execução de Obras da Etapa I do PDDMAP.

Operação e Manutenção

Manutenção periódica, remoção de sedimentos e resíduos acumulados e são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta forma, recomenda-se ações de limpeza e inspeção com frequência semestral 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 vistorias extraordinárias.

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

Ações de manutenção preventiva tratam-se limpeza com fluxo de alta pressão e reparos estruturais para segurança do tráfego. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Tabela Resumo

Tabela 8 - Tabela resumo de informações sobre pavimentos permeáveis

TIPOLOGIA	PAVIMENTO PERMEÁVEL
FUNCIONALIDADE	Infiltração e retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	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: 0,6m de distância mínima entre ao base do dispositivo e o lençol freático Item 6.6 Etapa I PDDMAP
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Limpeza e inspeção semestral Manutenção Preventiva anual (mês de setembro)

Fonte: FCTH, 2024

Bacias de Detenção

Definição

São depressões projetadas para armazenar temporariamente volumes de águas pluviais durante eventos de chuva intensa. Essas bacias não têm como objetivo reter permanentemente a água, mas sim agir somente durante os eventos de chuva, podendo gerar esse acúmulo temporário.

Funcionalidade

Esta medida promove a detenção do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção, no caso de cobertura permeável e vegetada.

Configuração

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

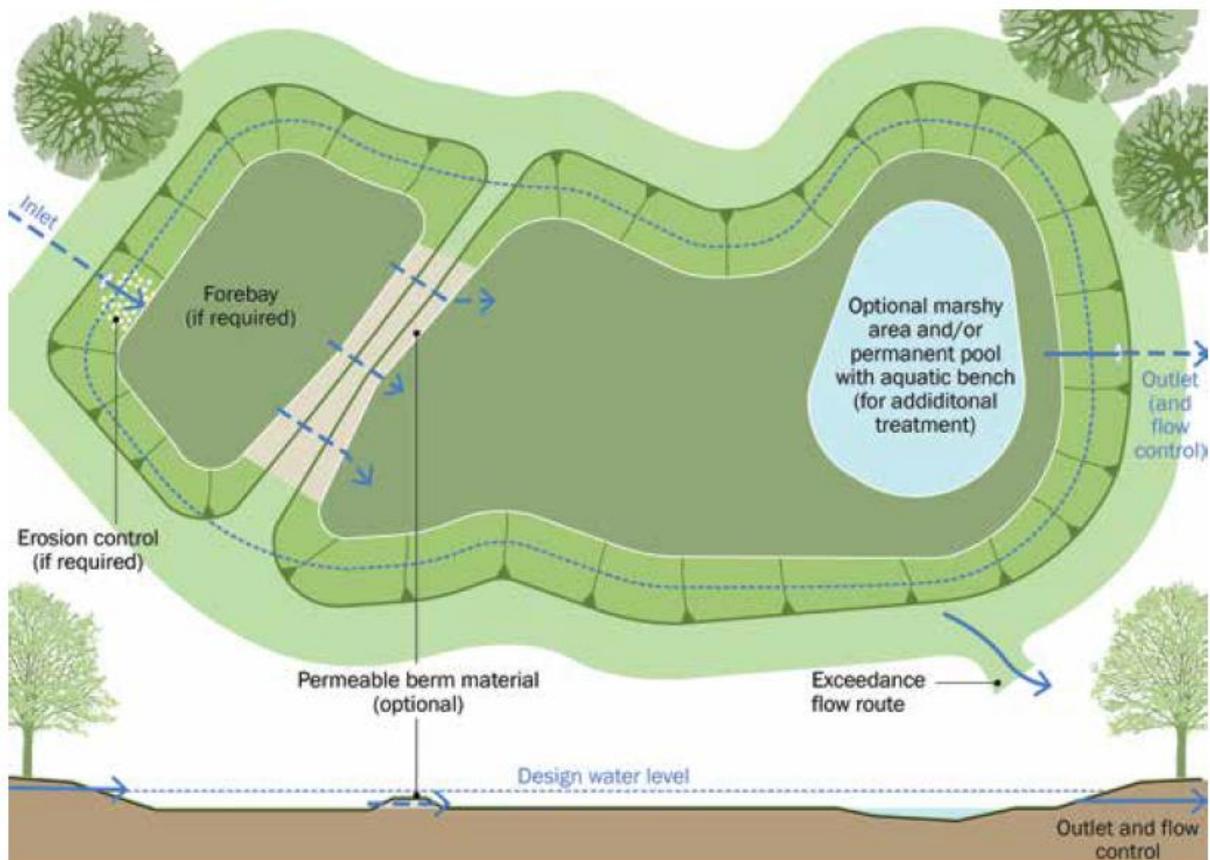


Figura 37 - Corte esquemático de bacia de retenção com cobertura vegetal

Dispositivo de entrada: estrutura hidráulica que recebe a contribuição de montante, conta com dissipação de energia para proteção contra erosão.

Forebay: poço de decantação para remoção de sedimentos.

Dispositivo de saída: dreno de ligação com a rede de drenagem existente.

As bacias de retenção precisam estar conectadas ao sistema de drenagem, de modo que sua profundidade máxima é em função da geratriz inferior do componente na rede a jusante. Sua entrada deve receber as águas da sarjeta e outras entradas complementares para capturar o escoamento superficial dessas áreas adjacentes, preferencialmente concentradas em menos pontos possíveis. Recomenda-se também o uso de mantas geotêxteis de reforço para estabilização da vegetação e proteção de taludes mais íngremes de seu contorno.

Diretrizes de dimensionamento

- Aspectos Hidrológicos

Deve-se dimensionar o volume armazenado na bacia de retenção como parte do Volume Útil Mínimo de Retenção (VDE) necessário para atendimento da Vazão de Controle do Deságue em Lote (QCE). Tais parâmetros são descritos no item 6.5 Drenagem em Lotes da Etapa I do PDDMAP, especificamente nos itens 6.5.4.3. e 6.4.3.3, respectivamente. Este volume útil mínimo pode ser atingido com a combinação de diferentes tipologias de microdrenagem sustentável que também promovem a retenção do escoamento superficial.

- Aspectos Hidráulicos

O dimensionamento do sistema de drenagem de fundo considera este dispositivo pela abordagem apresentada na ETAPA I, no item 6.4.5.2. Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo (QRL), calculada em função da área ocupável do lote e pelo uso do solo da bacia de contribuição a montante.

Desta forma, dimensiona-se a seção do dreno de fundo para veicular a vazão máxima obtida funcionando com carga a montante como a profundidade máxima do volume de armazenamento, 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. Estruturas de Controle de Fundo da Etapa I.

Os *forebays* são recomendados em todas as entradas, sendo a soma da área de todos igual a 10% da área total, considerando a profundidade máxima, utilizando seixos de 13 a 20 cm de diâmetro médio. Também se recomenda execução de alas de lançamento para o dispositivo de saída, como explicitado no item 6.4.3.6 Alas de Lançamento e Disposição Final, da Etapa I do PDDMAP.

A seguir é apresentado um exemplo simplificado de dimensionamento hidráulico de uma bacia de detenção do tipo vegetada.

Problema:

Supondo que, em determinada rotatória, indicada como área especial para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar uma bacia de detenção com sistema drenante de fundo. Admitindo a rotatório como uma circunferência de diâmetro 20 m e a profundidade máxima para desague na rede de drenagem a jusante de 1,1 m. O cálculo da Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo (QRL) calculada é de 0,35 m³/s. Seguindo as diretrizes recomendadas neste manual, dimensione bacia de detenção para um Volume Útil Mínimo de Detenção (VDE) de 20 m³. Somente esta tipologia será empregada para atendimento do VDE.

Solução:

A vazão do tubo drenante, em condições de profundidade máxima da bacia, deve ser maior que a QLR. Desta 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 tem diâmetro de 500 mm, em PEAD. Sua declividade é de 1%, em PEAD, considerado como tubo muito curto.

Desta forma, temos:

$$QRL = 0,35 \text{ }^3\text{/s}$$

Vazão dreno de fundo Equação 49 Etapa1 PDDMAP.

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

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

$$Q_{\text{dreno}} = 0,6 * \pi * D^2/4 * (2 * 9,81 * 0,95)^{1/2} = 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

Considerando a borda livre de $0,05 \text{ m}$, o volume de armazenamento da bacia é $21,9 \text{ m}^3$, maior que o VDE (20 m^3). Seu diâmetro superficial é de 18 m inferior ao diâmetro da rotatória (20 m), encaixando-se no espaço disponível.

- Aspectos Geotécnicos

A verificação *in loco* da condição do solo por meio de sondagens é recomendável para avaliação da resistência à escorregamento e erosão do solo. A profundidade máxima recomendada para esta tipologia é de $1,5 \text{ m}$ para segurança do talude sobre o dreno de fundo e manter ao menos $0,6 \text{ m}$ de distância do lençol freático. A inclinação recomendada para taludes de solo natural é de $2\text{H}:1\text{V}$.

Declividades entre a recomenda e $1\text{H}:1\text{V}$, aconselha-se o uso de mantas geotêxteis de reforço para estabilização do talude e da vegetação. Sistemas com superfície dura podem assumir geometrias com paredes verticais, mediante avaliação geotécnica e estrutural específicas para implementação.

Ademais, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações pertinentes no item 6.6 Execução de Obras da Etapa I do PDDMAP.

Operação e Manutenção

Manutenção periódica da vegetação, remoção de sedimentos e resíduos acumulados e são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta forma, recomenda-se ações de limpeza e inspeção com frequência mensal e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação).

O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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. Ações de inspeção incluem registros fotográficos gerais da vegetação e estruturas de entrada e saída, além de detalhes de alterações mais evidentes, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes, ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

Ações de manutenção preventiva trata-se de remoção de espécies invasoras, replantio de espécies danificadas, e reparos estruturais nas fronteiras da escavação. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Tabela Resumo

Tabela 9 - Tabela resumo de informações sobre bacias de detenção

TIPOLOGIA	BACIA DE DETENÇÃO
FUNCIONALIDADE	Detenção do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção, no caso de cobertura permeável e vegetada
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	Hidrológicas: VDE e QRL (Item 6.4 Etapa I 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 Etapa I PDDMAP
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Limpeza e inspeção mensal Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

Facilitadores de Infiltração

Definição

Consiste em escavações preenchidas com material drenante projetadas para aumentar a capacidade do solo de infiltrar águas pluviais. Facilitadores de infiltração incluem diversas estruturas com variadas nomenclaturas, como poços de infiltração, trincheiras de infiltração, valas de infiltração, entre outros.

Sua principal função dentro do sistema é de infiltração e retenção, de forma que o excedente do escoamento superficial que não consegue infiltrar no dispositivo.

Funcionalidade

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

Configuração

As Figura 38, Figura 39 e Figura 40 apresentam um corte esquemático de poço, trincheira e bacia de infiltração, respectivamente.

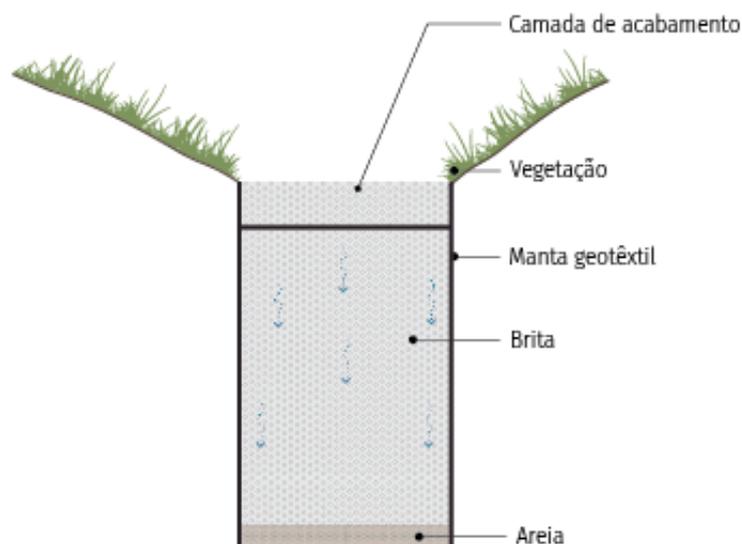


Figura 38 - Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo poço
Fonte: FCTH, 2024

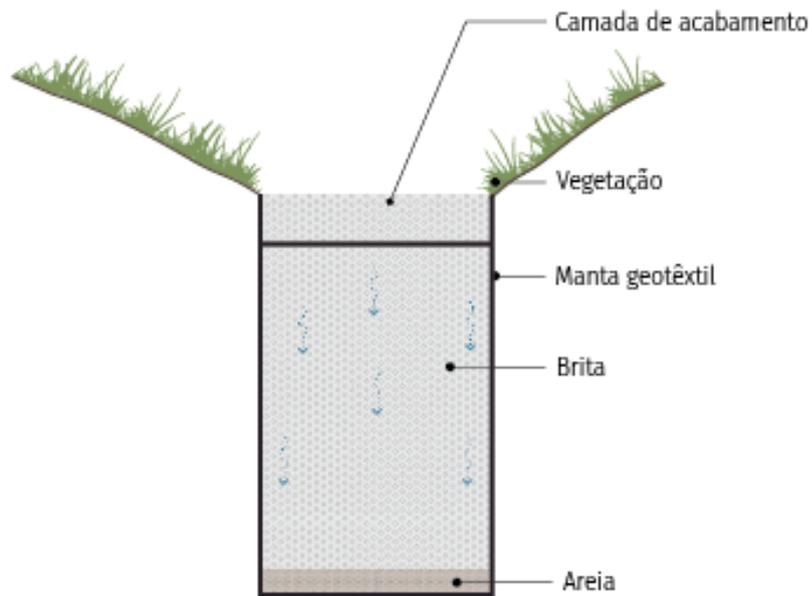


Figura 39 - Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo trincheira
Fonte: FCTH, 2024

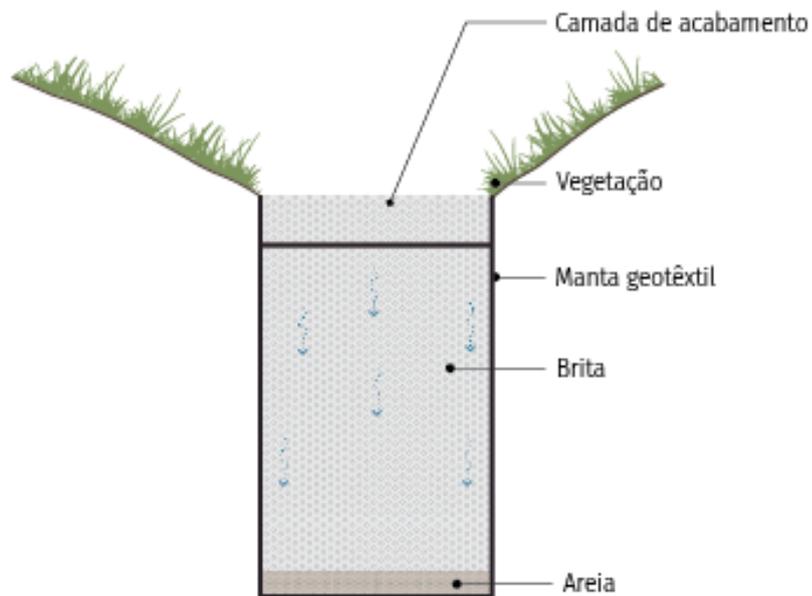


Figura 40 - Corte esquemático de facilitador de infiltração do tipo bacia
Fonte: FCTH, 2024

Camada espera: até 15 cm de profundidade.

Camada drenante: entre 40 e 100 cm de profundidade.

Geomembrana: lona de proteção impermeabilizante, deve ser acomodada sobre fina camada de areia para proteção de sua integridade estrutural.

Os sistemas 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. Sua entrada pode receber as águas da sarjeta e outras entradas complementares para capturar o escoamento superficial dessas áreas adjacentes, para contemplar áreas maiores e contribuição, quando viável.

Diretrizes de dimensionamento

- Aspectos Hidrológicos

Sendo as principais funções deste dispositivo de infiltração e retenção, seu dimensionamento hidrológico segue o exposto no item Biorretenções, técnica cuja função principal é a mesma como foco na retenção da carga de primeira lavagem. Desta forma obtém-se o volume de escoamento superficial afluyente ao dispositivo relativo a 2 mm de chuva efetiva, para seu dimensionamento hidráulico.

- Aspectos Hidráulicos

Semelhante ao exposto para a tipologia biorretenção, o dimensionamento hidráulico visa garantir que, no mínimo, o volume gerado pelos 2 mm de chuva efetiva infiltre no sistema, bem como o atendimento da verificação do sistema drenante de fundo. Portanto, recomenda-se a utilização do exposto no item 0 para o dimensionamento hidráulico de facilitadores de infiltração, considerando as camadas pertinentes à este dispositivo.

A seguir é apresentado um exemplo simplificado de dimensionamento de trincheira de infiltração, sistema fechado.

Problema:

Supondo que, em uma rua indicada como área especial para microdrenagem

sustentável, pretende-se implantar um sistema de trincheira de infiltração fechada em uma área de 1,5 x 6 m de uma via local, mantendo o funcionamento adequado do viário. A modelagem hidrológica obteve como resultado o hidrograma do escoamento superficial apresentado pela Figura 41 relativo à 2 mm de chuva efetiva sobre a área de contribuição ao ponto de interesse. Seguindo as diretrizes recomendadas neste manual, dimensione uma trincheira de infiltração ligada à microdrenagem em posto de visita cuja caixa de passagem tem 1 m de profundidade.

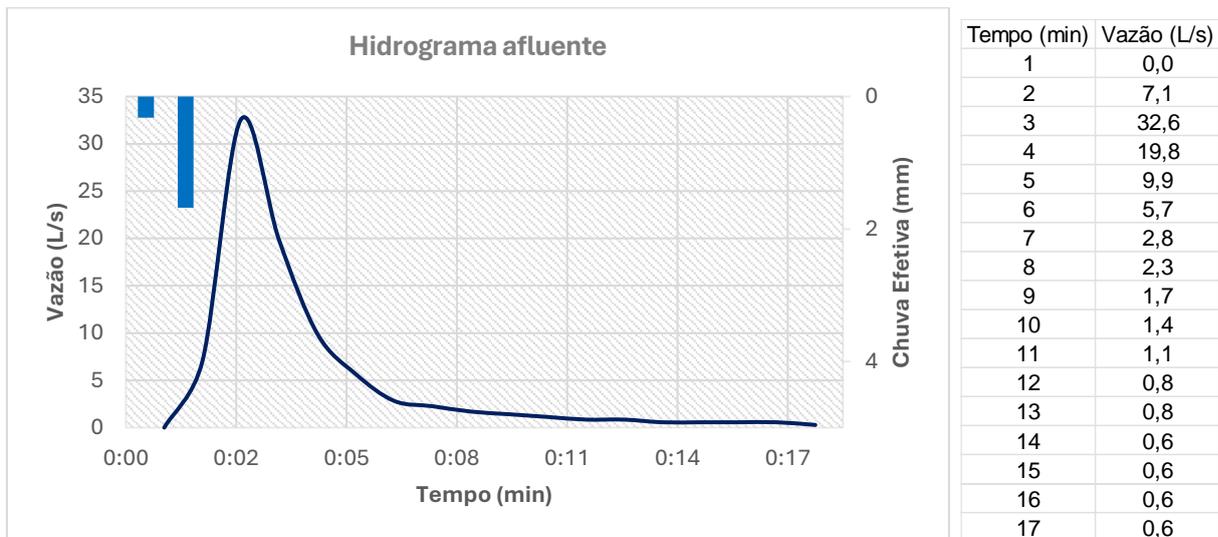


Figura 41 - Resultados da modelagem hidrológica para dimensionamento hidráulico de sistema de infiltração (exemplo hipotético)

Foto: FCTH, 2024

Solução:

Sendo a trincheira de infiltração ligada à microdrenagem, sua profundidade máxima é dada pela caixa de passagem da boca de lobo de jusante (1 m). Desta forma, a profundidade e característica proposta 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 40%.

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

Desta forma, temos:

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

Duração do hidrograma = 16 min

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

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)

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

Verificação 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)

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

Estando o objetivo principal atingido e as duas verificações satisfeitas, as dimensões e características do dispositivo proposto estão hidráulicamente adequados às

diretrizes deste manual.

- Aspectos Geotécnicos

A verificação *in loco* da condição do solo por meio de sondagens é recomendável, no entanto esta técnica normalmente empregada dentro da avaliação da estabilidade estrutural do solo, neste caso é relevante também para estimar a condutividade hidráulica a partir de sua descrição qualitativa, considerando sistemas abertos.

Ademais, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações pertinentes no item 6.6 Execução de Obras da Etapa I do PDDMAP.

Operação e Manutenção

Remoção de sedimentos e resíduos acumulados e são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta forma, recomenda-se ações de limpeza e inspeção com frequência mensal e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação). O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes, ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

Ações de manutenção preventiva trata-se de reparos estruturais nas fronteiras da escavação e eventual revolvimento e substituição parcial do meio filtrante. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Tabela Resumo

Tabela 10 - Tabela resumo de informações sobre facilitadores de infiltração

TIPOLOGIA	FACILITADOR DE INFILTRAÇÃO
FUNCIONALIDADE	Infiltração e retenção, removendo poluentes e reduzindo o volume de escoamento que atinge os corpos d'água.
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	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 Etapa I PDDMAP
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Limpeza e inspeção mensal Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

Reservatório de Detenção no Lote

Definição

São pequenas estruturas hidráulicas de reservação projetadas para esta escala visando armazenar temporariamente as águas pluviais. Contam com algum tipo de barramento que gera uma lâmina d'água permanente.

Funcionalidade

Esta medida promove a detenção do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção, no caso de cobertura permeável e vegetada.

Configuração

A Figura 42 apresenta um corte esquemático do sistema de reservatório de detenção no lote aberto.

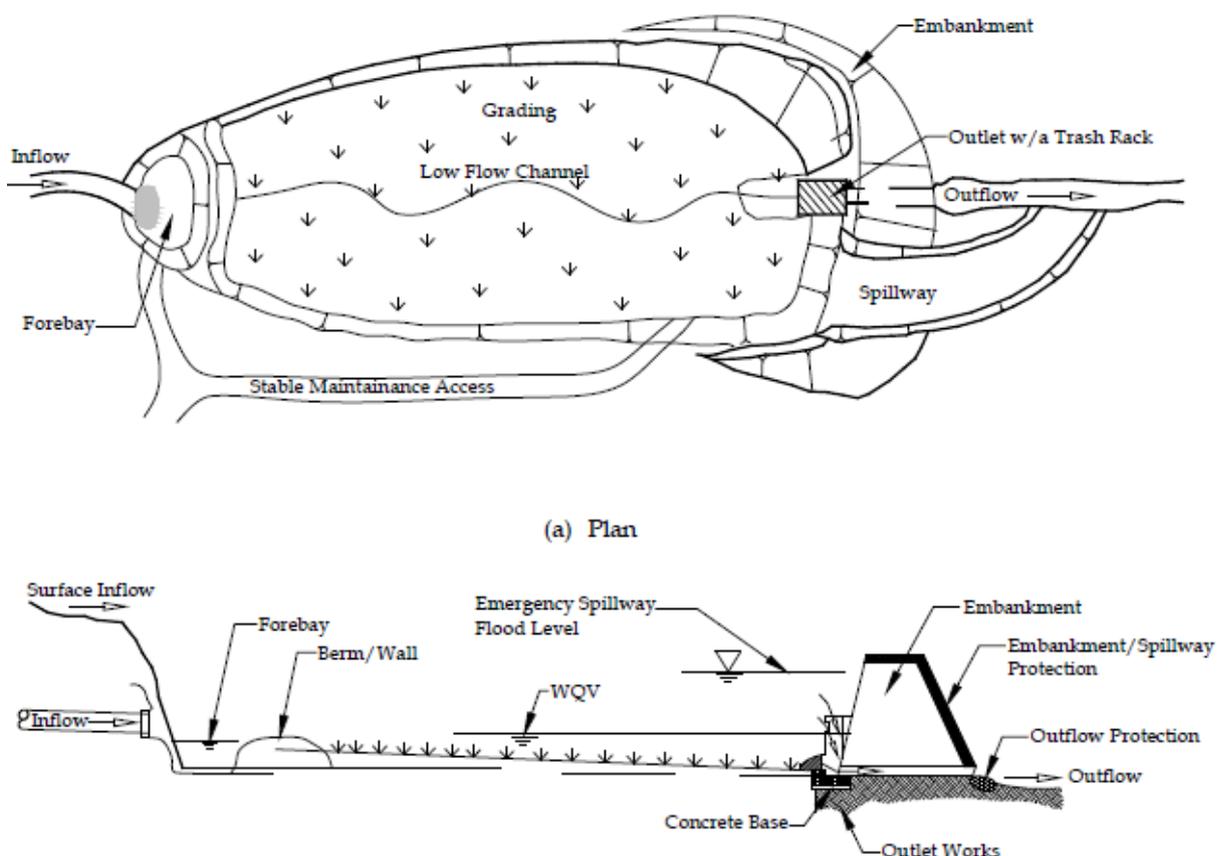


Figura 42 - Corte esquemático de reservatório de detenção no lote aberto

Dispositivo de entrada: estrutura hidráulica que recebe a contribuição de montante, conta com dissipação de energia para proteção contra erosão.

Forebay: poço de decantação para remoção de sedimentos.

Dispositivo de saída: dreno de ligação com a rede de drenagem existente.

Extravasador: estrutura hidráulica para veicular o excedente de vazão que supere a profundidade máxima de projeto e preservar a estrutura do barramento.

Os reservatórios de retenção precisam estar conectados ao sistema de drenagem, de modo que sua profundidade máxima é em função da geratriz inferior do componente na rede a jusante. Sua entrada deve receber as águas da sarjeta e outras entradas complementares para capturar o escoamento superficial dessas áreas adjacentes, preferencialmente concentradas em menos pontos possíveis. Recomenda-se também o uso de mantas geotêxteis de reforço para estabilização da vegetação e proteção de taludes mais íngremes de seu contorno.

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

Diretrizes de dimensionamento

- Aspectos Hidrológicos

Deve-se dimensionar o volume armazenado nos reservatórios de retenção no lote como parte do Volume Útil Mínimo de Detenção (VDE) necessário para atendimento da Vazão de Controle do Deságue em Lote (QCE). Tais parâmetros são descritos no item 6.5 Drenagem em Lotes da Etapa I do PDDMAP, especificamente nos itens 6.5.4.3. e 6.4.3.3, respectivamente. Este volume útil mínimo pode ser atingido com a combinação de diferentes tipologias de microdrenagem sustentável que também promovem a retenção do escoamento superficial.

Em relação à segurança da estrutura do barramento, seguindo recomendação do DAEE (2005), a vazão de verificação deve advir de precipitação com período de

retorno de 100 anos, considerando o porte dos barramentos desta tipologia.

A mesma referência apresenta método de amortecimento de onda de cheia em reservatório simplificado para determinar a vazão máxima do extravasor em função do hidrograma afluente TR 100 anos.

Também é possível a utilização de modelos matemáticos especializados de acesso livre para calcular o amortecimento do reservatório. A infiltração ocorrida em reservatórios abertos é desconsiderada, imaginando um cenário de baixa condutividade hidráulica do solo natural e condição de saturação.

- Aspectos Hidráulicos

O dimensionamento do sistema de drenagem de fundo considera este dispositivo pela abordagem apresentada na ETAPA I, no item 6.4.5.2. Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo (QRL), calculada em função da área ocupável do lote e pelo uso do solo da bacia de contribuição a montante, vazão a ser veiculada pelo dispositivo de saída.

Desta forma, dimensiona-se a seção do dreno de fundo para veicular a vazão máxima obtida funcionando com carga a montante como a profundidade da crista do extravasor do volume de armazenamento. O cálculo da vazão pode ser feito pelo equacionamento exposto no item 6.2.2.5.1. Estruturas de Controle de Fundo da Etapa I.

No caso de vazões de base afluentes baixas a ponto de não formar lâmina d'água, implantar drenagem de fundo com entrada vertical a uma determinada profundidade, que se recomenda não ser superior a 1,2 m, por questões de segurança em relação à afogamento.

Os *forebays* são recomendados em todas as entradas, sendo a soma da área de todos igual a 10% da área total, considerando a profundidade máxima. Também se recomenda execução de alas de lançamento para o dispositivo de saída, como explicitado no item 6.4.3.6 Alas de Lançamento e Disposição Final, da Etapa I do PDDMAP.

No caso dos reservatórios de detenção, um barramento é construído de modo a

manter espelho d'água permanente. Desta forma, algumas diretrizes são propostas em relação à segurança da estrutura. Hidraulicamente, seu sistema de extravasamento, mais o dreno de fundo, devem escoar vazão de período de retorno de 100 anos, após seu amortecimento (vazão de extravasamento), garantindo uma borda livre de 0,5 m em relação à sua profundidade máxima, que se recomenda não ser superior a 3,5 m

Ademais, dissipadores de energia a jusante podem ser necessários a depender da configuração do desague das estruturas d hidráulicas de saída do reservatório, principalmente seu extravasores. Diretrizes de dimensionamento desta estrutura são apresentados no mesmo guia desenvolvido pelo DAEE (2005).

A seguir é apresentado um exemplo simplificado de dimensionamento hidráulico de um reservatório de detenção, do tipo vegetado.

Problema:

Supondo que, em determinada área, indicada como área especial para microdrenagem sustentável, pretende-se implantar um reservatório de detenção. O cálculo da Vazão Máxima de Descarga do Dispositivo (QRL) calculada é de 0,5 m³/s. O estudo hidrológico, considerando TR 100 anos e o amortecimento da onda de cheia relativo ao volume/geometria proposta para o reservatório (volume superior ao VDE), 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:

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

Geometria do reservatório

Profundidade máxima = 3 m; Profundidade crista vertedor = 1,5

O tubo dreno proposto tem diâmetro de 600 mm, em PEAD. Sua declividade é de 1%,

em PEAD, considerado como tubo muito curto.

Extravasor do tipo vertedor retangular de soleira delgada, profundidade e comprimento da crista de 1,5 m e 5 m, respectivamente.

Desta forma, temos:

$$QRL = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vazão dreno de fundo Equação 49 Etapa1 PDDMAP.

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

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

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

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

Considerando a borda livre de 0,5 m

Equação 68 Etapa I PDDMAP

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

Sendo Q_{dreno} superior que a 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.

- Aspectos Geotécnicos

A verificação *in loco* da condição do solo por meio de sondagens é fundamental para avaliação da resistência à escorregamento e erosão do solo. A profundidade máxima recomendada para esta tipologia é de 3 m para segurança do talude sobre o dreno de fundo. A inclinação recomendada para taludes de solo natural é de 2H:1V.

Declividades entre a recomenda e 1H:1V, aconselha-se o uso de mantas geotêxteis de reforço para estabilização do talude e da vegetação. Sistemas com superfície dura e/ou enterrados podem assumir geometrias com paredes verticais, mediante avaliação geotécnica e estrutural específicas para implementação.

Ademais, a implantação do dispositivo deve seguir as recomendações pertinentes no item 6.6 Execução de Obras da Etapa I do PDDMAP.

Operação e Manutenção

Manutenção periódica da vegetação, remoção de sedimentos e resíduos acumulados e são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta forma, recomenda-se ações de limpeza e inspeção com frequência mensal e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação).

O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes, ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

Ações de manutenção preventiva trata-se de remoção de espécies invasoras, replantio de espécies danificadas, e reparos estruturais no barramento. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Tabela Resumo

Tabela 11 - Tabela resumo de informações sobre reservatórios de retenção no lote

TIPOLOGIA	RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO NO LOTE
FUNCIONALIDADE	Detenção do escoamento superficial, também realizando infiltração e retenção, no caso de cobertura permeável e vegetada
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	Hidrológicas: VDE e QRL (Item 6.4 Etapa I PDDMAP) Hidráulicas: Garantir vazão suficiente no dreno de fundo. Extravasor + dreno de fundo devem escoar T 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 Etapa I PDDMAP
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Limpeza e inspeção mensal Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

7.3. MACRODRENAGEM SUSTENTÁVEL

A macrodrenagem sustentável refere-se à gestão de grandes volumes de águas pluviais na escala do Vale-Várzea, com o objetivo de prevenir inundações para chuva de projeto e preservar a qualidade dos corpos hídricos. Esta meta deve ser atingida com as estruturais integrando-se ao ambiente urbano de forma harmoniosa e sustentável.

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

Na Etapa I do PDDMAP foram determinadas as intervenções necessárias na macrodrenagem do perímetro urbano do município do São José dos Campos do ponto de vista hidrológico-hidráulico, apontando os tipos de intervenção e as vazões/volumes correspondentes para cada ponto diagnosticado como deficiente (item 4.3 Modelagem Hidráulico-Hidrológica).

Desta forma, conhecendo a localização e 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.

No item 2 do Anexo 2 da Etapa I do PDDMAP é explicada a metodologia utilizada para o cálculo das vazões e volumes.

7.3.1. Tipologias de medidas estruturais sustentáveis

As medidas estruturais sustentáveis são soluções de engenharia aplicadas em áreas urbanas e periurbanas para gerir as águas pluviais de maneira eficiente e ambientalmente responsável. Estas soluções buscam equilibrar o desenvolvimento urbano com a necessidade de preservar os recursos hídricos e reduzir a pressão da urbanização sobre os corpos hídricos.

Dentre os diferentes tipos de soluções estruturais baseadas na natureza para o contexto da drenagem na escala do Vale-Várzea, três delas foram destacadas como as principais: Canais Sustentáveis, Parques Lineares e Reservatórios Multiuso.

Além das três citadas, uma tipologia de SbN empregada nesta escala que se desenvolveu significativamente nas últimas décadas são os alagados construídos, ou *wetlands* construídos. No entanto, sua principal aplicação se dá para o tratamento de águas residuárias (esgoto bruto ou pré-tratado), considerando vazões e concentrações mais estáveis que o escoamento superficial das águas pluviais (DOTRO, et al., 2017).

Aplicações no contexto da drenagem urbana de alagados construídos do tipo horizontal ainda carecem de experiência em solo brasileiro (VON SPERLING & SEZERINO, 2018) que permitam a consolidação desta tecnologia para o tratamento do escoamento superficial da chuva.

Canais Sustentáveis

Canais sustentáveis são estruturas de bioengenharia projetadas para conduzir águas pluviais através de corredores verdes que utilizam revestimento vegetados, ou uma combinação entre vegetação e estruturas construídas, em seus taludes. Tal revestimento que reproduz a vegetação ciliar natural dos rios, reduz a velocidade do fluxo e a infiltração e melhorar a qualidade da água.

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



Figura 43 - Exemplo de canais sustentáveis

Vantagens:

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

Desvantagens:

- Requer espaço significativo, o que pode ser limitado em áreas densamente urbanizadas, podendo demandar desapropriações.
- Manutenção contínua da vegetação para garantir o desempenho.

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 canais sustentáveis o retorno em benefício será de R\$2,0. Portanto, a relação Benefício/Custo é 2 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

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, sendo seu comprimento significativamente maior que sua largura. Esses parques agem de forma semelhante aos canais sustentáveis, porém agregando outras funções ao ambiente urbano. No entanto, por se tratar de área de convívio a ser apropriada pela população,

diretrizes específicas de projeto precisam ser consideradas, discutidos no item 0.

É comum que soluções para longos trechos de hidrografia possam contemplar uma combinação de canais sustentáveis com parques lineares, de modo a otimizar o espaço urbano presente na escala do Vale-Várzea. As Figura 44 e Figura 45 e apresentam exemplos de aplicação desta tipologia, sendo a primeira uma aplicação mais simplificada, enquanto a segunda apresenta um projeto mais complexo e ousado.



Figura 44 - Exemplo de parque linear simplificado



Figura 45 - Exemplo de parque linear ousado

Vantagens:

- 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 através da criação de espaços verdes acessíveis para deslocamento e prática de atividade física.
- Preservação de corredores ecológicos.
- Manutenção de habitats para fauna e flora

Desvantagens:

- Requer espaço significativo, o que pode ser limitado em áreas densamente urbanizadas, podendo demandar desapropriações.
- Exige planejamento e integração cuidadosa com o ambiente urbano existente.
- Podem necessitar de obras significativas de requalificação de áreas degradadas.

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 parques lineares o

retorno em benefício será de R\$2,0. Portanto, a relação Benefício/Custo é 2 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

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. Eles são aplicados em áreas onde é necessário controlar grandes volumes de água durante eventos de chuva intensa, uma vez que a rede drenagem encontra-se saturada por uma consolidação da urbanização na bacia.

Tais reservatórios podem apresentar diferentes características em relação ao fluxo da água e sua integração com o ambiente urbano. Em relação ao fluxo, os reservatórios podem ser de dois tipos: *in-line* ou *off-line*. No primeiro todo o fluxo que passa pela rede de drenagem também passa pelo reservatório antes de seguir para jusante, enquanto o segundo recebe as águas pluviais apenas durante eventos de cheia, direcionada por uma estrutura hidráulica de entrada. As Figura 46 e Figura 47e apresentam exemplos dos dois tipos.



Figura 46 - Reservatório *in-line* de Retenção, Aricanduva 2, em São Paulo
Foto: Luciano Piva, PMSP



Figura 47 - Reservatório *off-line* de Detenção, Inhumas, em São Paulo
Foto: Luciano Piva, PMSP

Existem dois tipos de reservatório em relação à sua integração com seu entorno: abertos e fechados. O primeiro tem a água como elemento visível da paisagem, podendo possuir espelhos d'água permanentes, revestimento vegetado e equipamentos urbanos. O segundo encontra-se enterrado sob a superfície, que pode possuir equipamentos públicos, como praças e parques. As Figura 48 e Figura 49 apresentam exemplos dos dois tipos.



Figura 48 - Exemplo de reservatório multiuso aberto



Figura 49 - Exemplo de reservatório multiuso fechado, Watersquare Bentheplein – Rotterdam, Holanda.

Ademais, independentemente do tipo de reservatório multiuso, todos precisam ter suas estruturas hidráulicas devidamente dimensionadas para amortecimento da cheia de projeto, além de considerações de projeto relacionadas ao demais usos pretendidos. Tais aspectos serão discutidos no item 0.

Por fim, destaca-se a importância da qualidade da vazão de base especialmente para 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, previstas para receber usuários do espaço.

Vantagens:

- Capacidade de controle de grandes volumes de água para amortecimento de cheias.

- Multifuncionalidade, oferecendo áreas de lazer e controle de cheias.
- Melhora da qualidade da água por meio da infiltração (tipo aberto).
- Integração paisagística.
- Melhoria da qualidade de vida urbana através da criação de espaços verdes acessíveis para apreciação da paisagem e prática de atividade física.
- Preservação de corredores ecológicos.
- Manutenção de habitats para fauna e flora

Desvantagens:

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

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 multiuso o retorno em benefício será de R\$2,0. Portanto, a relação Benefício/Custo é 2 sendo positiva a análise de viabilidade econômica.

7.3.2. Guia de projeto de medidas estruturais sustentáveis

Este guia oferece uma abordagem detalhada para o planejamento, diretrizes de dimensionamento e manutenção dos três principais tipos de medidas estruturais sustentáveis citados no item anterior: Canais Sustentáveis, Parques Lineares e Reservatórios Multiuso.

O guia foi desenvolvido para auxiliar na concepção e implementação dessas infraestruturas, garantindo que sejam projetadas conforme as melhores práticas de bioengenharia. Para cada tipo de medida estrutural, o guia abrange desde a definição do conceito, sua funcionalidade, diretrizes de dimensionamento e orientações para a operação e manutenção.

Canais Sustentáveis

Definição

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

Funcionalidade

Estes canais têm como função conduzir o escoamento com velocidades 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

A variável hidrológica chave para o dimensionamento de canais em geral 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 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 seguinte dimensionamento hidráulico de suas estruturas.

A Etapa I 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 com insuficientes, onde existe necessidade de canalização, considerando o cenário atual de ocupação (item 4.3.1).

- Aspectos Hidráulicos

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

$$Q = \frac{A_m}{n} R_h^{2/3} I^{1/2} \quad R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad V = Q/A_m \quad (17)$$

Onde:

Q é a vazão do canal calculada (m³/s);

A_m é a área molhada (m²);

n é coeficiente de rugosidade de Manning;

R_h é 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).

De acordo com a recomendação do DAEE (2005), a capacidade hidráulica do canal deve garantir o atendimento da folga de segurança conhecida como borda livre. Em canais abertos deve-se manter uma borda livre (f) mínima que corresponda a 10% da

lâmina d'água estimada para a cheia de projeto, mas não inferior a 0,4 m ($f \geq 10\%$ da profundidade máxima, com a condição mínima $f \geq 0,4$ m).

O coeficiente de rugosidade de Manning indicado para canais sustentáveis com taludes vegetados é de 0,035 (item 6.1.2.2. Coeficiente Equivalente da Etapa I). A velocidade máxima recomendada para este tipo de revestimento é de 2,5 m/s (FISCHENICH & ALLEN, 2000) (MUHAMMAD, NURFASYA, YUSOF, MUSTAFA, & GHANI, 2016).

A forma do canal, suas dimensões e declividade devem ser avaliadas com informações mais detalhadas do 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 com característica distinta do leito maior, com margem vegetada. Esta combinação precisa considerar coeficientes de rugosidade distintos, respeitando a velocidade máxima do mais restritivo.

A seguir é apresentado um exemplo simplificado de dimensionamento de canal sustentável.

Problema:

Supondo que a modelagem hidrológica obteve vazão de pico para TR 100 anos igual a 24 m³/s para o trecho de estudo, que possui declividade natural de 0,01 m/m, largura máxima permitida para o leito maior de 12 m e profundidade máxima de 2,5 m, quais são as dimensões de um canal sustentável trapezoidal que comporte tal vazão?

Solução:

Pela equação de Chézy-Manning (17), considerando os seguintes dados de entrada e projeto e diretrizes de dimensionamento hidráulico, temos:

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

$$n \text{ de Manning} = 0,035 \text{ (recomendado para talude vegetado)}$$

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

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.

Desta forma, temos:

$$A_m = 12 \text{ m}^2$$

$$P_m = 10,94 \text{ m}$$

$$R_h = 1,097 \text{ m}$$

$$Q_{\text{calc}} = 25,78 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (desconsiderando a borda livre)}$$

$$V = 2,15 \text{ m/s} \text{ (desconsiderando borda livre)}$$

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, esta seção encaixa-se no espaço disponível (12 m de leito maior e 2,5 m de profundidade máxima).

- Aspectos Geotécnicos

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

Operação e Manutenção

Manutenção periódica da vegetação, remoção de sedimentos e resíduos acumulados e monitoramento da integridade estrutural dos taludes do canal sustentável são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta forma, recomenda-se ações de inspeção na forma de vistorias programadas com frequência bimestral e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação).

O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções

preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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 e detalhes de alterações mais evidentes, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes, ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas. Ações de manutenção preventiva tratam-se de poda da vegetação, remoção de espécies invasoras, limpeza dos resíduos tanto da poda como outros, e reposição da manta onde houver falhas. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Tabela Resumo

Tabela 12 - Tabela resumo de informações sobre canais sustentáveis

TIPOLOGIA	CANAL SUSTENTÁVEL
FUNCIONALIDADE	Condução em baixas velocidades, controle de erosão e filtragem
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	Hidrológicas: TR 100 anos (ETAPA I PDDMAP) Hidráulicas: Borda livre $\geq 0,4$ m e velocidade máxima $\leq 2,5$ m/s Geotécnicas: Inclinação máxima dos taludes 1H:1V (recomendado) ou estudos específicos
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Vistorias bimestrais Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

Parques Lineares

Definição

Parques lineares são corredores verdes que seguem o curso de rios, córregos ou outros canais de drenagem, combinando áreas de lazer e deslocamento com funções de controle de enchentes e 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, pela sua multiplicidade de funções, é possível projetar parques lineares por diferentes abordagens.

A forma mais simplificada 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. Desta forma considera-se o exposto no item de diretrizes de dimensionamento de canais sustentáveis.

Em caso de projetos mais complexos e ousados, que contemplam pequenas depressões com lâmina d'água permanente, estruturas hidráulicas de controle, traçados do leito menor meandrados, passarelas sobre o talvegue do leito menor, alocação de diferentes equipamentos urbanos de deslocamento, lazer e qualidade de vida, devem ser dimensionados por ferramentas específicas.

- Aspectos Hidrológicos

A variável hidrológica chave para o dimensionamento de canais em geral 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 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 sequente dimensionamento hidráulico de suas estruturas.

A Etapa I do PDDMAP de São José dos Campos, realizou a modelagem hidrológica obtendo as vazões de TR 100 anos para todos os pontos diagnosticados com insuficientes, onde existe necessidade de intervenção, considerando o cenário atual de ocupação (item 4.3.1).

Visando maximizar o desfrute da população da área pública do parque linear, sugere-se que o leito menor (de acesso proibido ao público) seja capaz de comportar no mínimo tormentas de 2 anos de recorrência (CANHOLI A. , 2015), de forma que as outras funções do parque sejam prejudicadas somente em casos de chuvas de probabilidade inferior.

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

- Aspectos Hidráulicos

O dimensionamento hidráulico de parques lineares de forma simplificada como canais sustentáveis deve fazer as mesmas verificações básicas para garantir de seu funcionamento adequado: capacidade hidráulica para veiculação da vazão de projeto, e velocidade máxima permitida pelo revestimento, pelo mesmo método de cálculo.

Projetos mais ousados que contemplem diferentes elementos ao longo do parque é recomendável o uso de modelo hidrodinâmicos para simulação da onda de cheia da vazão de projeto par verificação do nível d'água máximo e velocidade máxima.

Tais modelos calculam com maior precisão o impacto das diferentes estruturas que podem ser pensadas para um parque linear, em termos de paisagismo integrado com infraestrutura urbana de drenagem, transporte, lazer e qualidade de vida. A construção destes modelos também facilita a cenarização para diferentes tormentas, bem como pode comportar análises de qualidade da água.

- Aspectos Geotécnicos

A verificação *in loco* da condição do solo nos taludes por meio de sondagens é recomendável para indicar o abatimento máximo dos taludes presentes no parque linear. Projetos mais simples podem seguir as recomendações de inclinação máxima de talude dos canais sustentáveis. Projetos mais complexos, que podem apresentar combinações de taludes de diferentes inclinações e materiais (ex. concreto combinado com gabião) em seções adjacentes, necessitam de estudo geotécnico específico.

Operação e Manutenção

Manutenção periódica da vegetação, remoção de sedimentos e resíduos acumulados e monitoramento da integridade estrutural dos taludes e estruturas hidráulicas do parque linear são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta forma, recomenda-se ações de inspeção na forma de vistorias programadas com frequência bimestral e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação).

O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes, ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

Ações de manutenção preventiva trata-se de poda da vegetação, remoção de espécies invasoras, limpeza dos resíduos tanto da poda como outros, reposição da manta onde houver falhas e remoção de sedimento em caso de depressões com espelho d'água permanente. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais 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 equipamento público da

cidade (pista de caminhada, praça, ciclovia etc.).

Tabela Resumo

Tabela 13 - Tabela resumo de informações sobre parques lineares

TIPOLOGIA	PARQUE LINEAR
FUNCIONALIDADE	Condução em baixas velocidades, controle de erosão e filtragem, combinando áreas de lazer e deslocamento com controle de cheias
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	Hidrológicas: TR 100 anos (ETAPA I PDDMAP) Hidráulicas: Borda livre $\geq 0,4$ m e velocidade máxima $\leq 2,5$ m/s Geotécnicas: Inclinação máxima dos taludes 1H:1V (recomendado) ou estudos específicos
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Vistorias bimestrais Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

Reservatórios Multiuso

Definição

Reservatórios multiuso são estruturas projetadas para armazenar grandes volumes de água, com finalidades variadas, como o 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, podem ser utilizados para atividades recreativas e de conservação da fauna e flora.

Diretrizes de dimensionamento

- Aspectos Hidrológicos

A variável hidrológica chave para o dimensionamento de reservatórios em geral é o volume de amortecimento. A Etapa I do PDDMAP de São José dos Campos, realizou a modelagem hidrológica-hidráulica obtendo os volumes para todos os pontos diagnosticados com insuficientes, onde existe necessidade de reservação (28 pontos), considerando o cenário atual de ocupação (item 4.3.1). No item 5.1.1.1.2 Reservatórios Urbanos são apresentados os volumes de armazenamento necessários para cada ponto diagnosticado.

O item 2.7 Reservatórios para Atenuação de Cheias no Anexo 2 da Etapa I apresenta a metodologia para cálculo do volume de armazenamento para amortecimento dos picos de cheia.

A mesma recomendação para otimização dos espaços públicos feita para os parques lineares também vale para reservatórios multiuso abertos, de modo que os equipamentos públicos estejam em zonas de inundação por tormentas de frequência inferior a TR 2 anos.

- Aspectos Hidráulicos

O dimensionamento hidráulico de um reservatório está vinculado basicamente à suas estruturas hidráulicas 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 profundidades do reservatório.

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

Do ponto de vista hidráulico, reservatórios multiuso do tipo enterrado apresentam menor complexidade, porém o desafio geotécnico/estrutural torna-se o principal. Neste caso, dimensiona-se as estruturas hidráulicas de entrada e saída do escoamento e sua comunicação com a hidrografia local, seja por gravidade ou bombeamento.

Para reservatórios multiuso abertos com integração direta com seu contorno, o desafio hidráulico fica mais complexo, havendo a mesma recomendação feita para o dimensionamento de parques lineares do uso de modelagem hidrodinâmica para verificar a passagem da onda de cheia ao longo das estruturas propostas.

Sendo as possibilidades de projeto muito variadas para reservatórios multifuncionais abertos, dependentes de condicionantes locais, recomenda-se a realização de estudo específicos que contemplem os equipamentos públicos presentes no reservatório multiuso e seus impactos no desempenho hidráulico de amortecimento de cheias.

Os estudos devem indicar os níveis d'águas atingidos durante eventos de cheia de períodos de retorno de 25 e 100 anos, para determinação dos equipamentos públicos situados em tais zonas para orientação da população usuária do espaço. Para espelhos d'água permanentes, são recomendadas profundidades mínimas de 1 m para prevenir proliferação de plantas aquáticas (CANHOLI A. , 2015).

Outra consideração hidráulica importante está relacionada à utilização de maciços de terra de travessias do viário sobre a hidrografia como barragem para construção de

reservatórios multiuso. Este é um ponto de atenção, uma vez que os bueiros sob o talude não foram projetados para operar em pressão.

Em relação à borda livre a ser considerada no projeto, muito se é discutido em relação à essa medida de segurança, porém no contexto de barramentos de terra cujo principal objetivo é a reservação das águas (PEREIRA & STUDART, 2023).

Diferentemente das aplicações de borda livre no contexto da drenagem, que visam aumentar a proteção ao risco de inundação (extravasamento da calha projetada para as águas pluviais), em reservatórios de acumulação com maciço de terra a borda livre tem papel de proteção da estrutura, que não pode ser galgada por motivos estruturais, uma vez que seu colapso traria impactos catastróficos a jusante.

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

A Etapa I 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).

- Aspectos Geotécnicos

A verificação *in loco* da condição do solo sobre o qual pretende-se implantar o reservatório multiuso por meio de sondagens é imprescindível, seja ele enterrado ou aberto. Pela complexidade deste tipo de obra civil e variabilidade de possibilidades, seu dimensionamento geotécnico necessita de estudo específico para determinar os tipos de materiais e revestimentos, bem como a inclinação dos taludes.

Operação e Manutenção

Manutenção periódica da vegetação, remoção de sedimentos e resíduos acumulados e monitoramento da integridade estrutural dos taludes e estruturas hidráulicas do reservatório multiuso são essenciais para garantir o desempenho a longo prazo. Desta

forma, recomenda-se ações de inspeção na forma de vistorias programadas com frequência bimestral e manutenção preventiva com frequência trimestral (mudança de estação).

O início da primavera (23 de setembro) é o momento chave para manutenções preventivas, uma vez que este antecede o início do ano hidrológico 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 (pista de caminhada, praça, ciclovia etc.).

Ações de vistoria incluem registros fotográficos gerais do reservatório e suas estruturas, bem como detalhes de alterações mais evidentes, devendo indicar se apenas procedimentos de manutenção preventiva são suficientes, ou se há necessidade de investigações e intervenções específicas.

Ações de manutenção preventiva trata-se de poda da vegetação, remoção de espécies invasoras, limpeza dos resíduos tanto da poda como outros, reposição da manta onde houver falhas e remoção de sedimento em caso de espelho d'água permanente. A Etapa I, em seu item 6.7 Procedimento Operacionais oferece diretrizes a respeito da execução de tais ações.

Recomenda-se a implementação de estruturas de proteção, como alambrados para evitar o acesso indesejado de crianças e animais em determinados perímetros, bem como *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 escavadeiras.

Tabela Resumo

Tabela 14 - Tabela resumo de informações sobre reservatórios multiuso

TIPOLOGIA	RESERVATÓRIO MULTIUSO
FUNCIONALIDADE	Armazenamento de parte do escoamento superficial, combinando áreas de lazer e deslocamento com controle de cheias
DIRETRIZES DE DIMENSIONAMENTO	Hidrológicas: Volume a ser armazenado (Item 5.1.1.1.2 ETAPA I PDDMAP) Hidráulicas: Borda livre $\geq 0,5$ Geotécnicas: Estudos específicos
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Vistorias bimestrais Manutenção Preventiva trimestral (estações do ano)

Fonte: FCTH, 2024

8. 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 qualidade do ar, na promoção da biodiversidade, habitats de fauna e flora e uma grande variedade de funções ecológicas. Além disto pode-se apontar os benefícios sociais, estéticos e recreativos. Ressalta-se neste manual 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 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, & LEFEVRE, 2018), a vegetação assume diferentes processos hidrológicos. Este são listados abaixo:

- **Interceptação Vegetal** – A vegetação coleta e armazena parte da precipitação através de sua porção aérea. Além disto, a cobertura vegetal protege o solo da exposição aos processos erosivos superficiais causados pelas chuvas;
- **Escoamento superficial** – Retardo do escoamento superficial através da cobertura vegetal;
- **Infiltração** – As raízes da vegetação contribuem para aumentar a infiltração do solo. Assim há uma redução do volume de escoamento superficial e a recarga das águas subterrâneas;
- **Evapotranspiração** – Parte da água é lançada para a atmosfera através do 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 acima, destaca-se os benefícios da vegetação para a qualidade das águas pluviais. A interação entre solo, planta e microrganismos pode reter diversos poluentes, como Sólidos Suspensos Totais (SST), Nitrogênio (N),

Fósforo (P), metais pesados, óleos e graxas, entre outros. Nesse processo é realizada a filtragem da água de escoamento superficial, sendo assim, denominado de mecanismos de fitorremediação (DAGENAIS, BRISSON, & FLETCHER, 2018) (MUERDTER, WONG, & LEFEVRE, 2018). A fitorremediação é um processo natural que utiliza plantas, microbiota e rizosfera na despoluição de águas. Assim a fitorremediação é classificada de acordo com o destino dos contaminantes.

8.1. 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 como biodiversidade, estética, adaptação, disponibilidade, entre outras. Deste modo, a seguir são apresentados os principais critérios para seleção de espécies para as tecnologias de drenagem sustentável, a fim de auxiliar gestores e profissionais especializados no processo de decisão.

Espécies nativas e não invasoras

Recomenda-se priorizar o uso de espécies nativas, uma vez que, essas são mais apropriadas para as 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 variedade de mudas.

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 as condições de água, vento e insolação;
- Considerar o local de implantação, como entorno, habitat natural (terrestre,

aquático), profundidade de plantio, tipo de solo, entre outros;

- Ser adaptável aos períodos de seca e chuvosos;
- Evitar o uso de fertilizantes e pesticidas;
- Não demandar manutenções excessivas.

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 possui diferentes detalhes construtivos, funções hidráulicas, disponibilidade de água e recebimento de cargas poluidoras. De modo que essas características delimitam espécies, porte e quantidades.

Alta biodiversidade

Uma boa variedade de espécies é importante para a implantação de infraestruturas verdes. Hunt et al. (2015) considera como uma estratégia que aumenta a possibilidade de sucesso do sistema já que as espécies naturalmente irão se adaptar a condições mais úmidas ou secas. Payne et al (2015) aponta que essa variedade permitem as espécies um processo de auto seleção.

Em suma, a maior diversidade de espécies permite que o sistema seja mais resiliente as diferenças climáticas ao longo do ano, bem como o surgimento de pragas e doenças.

A quantidade específica de espécies necessária para garantir alta biodiversidade pode variar de acordo com o tipo de sistema e área disponível. Em geral, a diversidade é considerada alta quando há equilíbrio entre a quantidade de espécies presentes e a sua capacidade de interação.

Incremento da fauna

Adoção de espécies vegetais que aumentem a diversidade da fauna. Deve-se buscar vegetação com florada para atração de polinizadores diversos, bem como garantir habitat para fauna aquática, terrestre e anfíbia. Essas práticas permitem aumentar a

disposição de serviços ecossistêmicos (EPA, 2023).

Raízes das espécies

Parte da seleção adequada de espécies provém da característica e estrutura das raízes. Existe uma relação entre o desempenho da biofiltração com o comprimento, profundidade e volume de raízes (PAYNE, 2015) (SKOROBOGATOV, 2020). Plantas que possuem estrutura radicular extensa e profunda possuem maior capacidade de permear o solo e são mais adequadas para a biorretenção (HUNT, 2015).

Evidentemente, a escolha desta vegetação de raiz robusta, leva em consideração que as mesmas 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 transferem os poluentes para os seus tecidos aéreos. Assim toda a fitorremediação ocorre na zona radicular reduzindo a contaminação de outras partes da planta.

Estética

A seleção deve considerar o apelo estético e cênico que valorize a paisagem do entorno. Deve-se adotar vegetação que permita a composição de volumes, texturas e cores. É importante que a vegetação selecionada tenha bom nível de aceitação da população local (EPA, 2023).

8.2. ESPÉCIES RECOMENDADAS PARA O PLANTIO EM TECNOLOGIAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

A partir dos critérios elencados anteriormente, este Manual apresenta 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 às possibilidades de vegetação adequada para projetos de drenagem sustentável.

Ressalta-se, porém, a necessidade contínua de pesquisas e atualizações por profissionais como biólogos, arquitetos paisagistas e engenheiros agrônomos, engenheiros florestais para a catalogação da vegetação, revisão e o enriquecimento da lista.

A seleção das espécies foi embasada em documentos do município de São José dos Campos, referentes a áreas verdes e vegetação, incluindo o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica e Cerrado (PMMAeC), a Sistematização de Informações sobre Arborização Urbana, o Atlas Ambiental de São José dos Campos.

Adicionalmente, foram considerados estudos sobre vegetação, em especial sobre a composição florística de São José dos Campos (DA SILVA A. F., 1989), sobre vegetação no tratamento de águas urbanas (PINHEIRO, 2017) e os estudos sobre drenagem sustentável 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 de Mata Atlântica e Cerrado, biomas presentes em São José dos Campos.
- **Compatibilidade com Sistemas de Biorretenção:** Seleção de espécies que atendem 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 demandam 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, para 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-se observar 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.

Dá-se ênfase para a lista de espécies arbustivas, herbáceas e forrações, apresentando espécies nativas que são destacadas por suas características adequadas para a dispositivos de drenagem sustentável. Muitas dessas espécies já são empregadas com base em estudos sobre biorretenção, mostrando-se eficazes na captação e retenção de nutrientes, matéria orgânica, óleos e graxas, entre outros.

Na Tabela 15 e Tabela 16 são apresentadas listas de espécies recomendadas, acompanhada de informações detalhadas sobre cada uma delas.

8.2.1. Espécies arbóreas

Tabela 15 - Listagem de espécies arbóreas recomendadas

NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	PORTE (M)
Araçá Rosa	<i>Psidium cattleianum</i>	3,00 - 6,00
Cafezinho-do-mato	<i>Picramnia glazioviana</i>	2,00 - 8,00
Chá Mate	<i>Ilex paraguariensis</i>	6,00 - 8,00
Gabirola	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	6,00 - 12,00
Louro-Branco	<i>Cordia silvestris</i>	20,00
Manacá da Serra	<i>Pleroma mutabile / Pleroma mutabile</i>	5,00 - 10,00
Palmito-Juçara	<i>Euterpe edulis</i>	5,00 - 12,00
Samambaiçu	<i>Cyathea corcovadensis</i>	5,00
Tarumã	<i>Vitex megapotamica</i>	5,00 - 15,00



ARAÇÁ

Psidium cattleianum

Angiospermae-Myrtaceae.

Arbusto/Árvore perene com folhas ovais e flores brancas ou rosadas. Nativo do Brasil (REFLORA,2024).

Figura 50 - Araçá
Fonte: Refflora, 2024



Figura 51 - Cafezinho-do-mato.
Fonte: Refflora, 2024

CAFEZINHO-DO-MATO

Picramnia glazioviana

Angiospermae - Picramniaceae

Arbusto/árvore perene com folhas simples e alternadas, e pequenas flores esverdeadas. Nativo da Mata Atlântica (REFLORA,2024).



Figura 52 - Chá mate.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

CHÁ MATE

Ilex paraguariensis

Angiospermae - Aquifoliaceae

Arbusto/árvore perene com folhas ovais e serrilhadas, e pequenas flores brancas. Nativa da Mata Atlântica (REFLORA,2024).



Figura 53 - Gabiroba.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

GABIROBA

Campomanesia xanthocarpa

Angiospermae - Myrtaceae

Árvore perene com folhas ovais e flores brancas, seguidas por frutos amarelos. Nativa do Brasil (REFLORA,2024).



Figura 54 - Louro Branco.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

LOURO BRANCO

Cordia silvestris

Angiospermae - Cordiaceae

Árvore perene com folhas grandes e ovais, e flores pequenas, brancas e amareladas. Nativa da Mata Atlântica. (REFLORA,2024).



Figura 55 - Manacá da Serra.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

MANACÁ DA SERRA

Pleroma mutabile

Angiospermae - Melastomataceae

Arbusto perene com folhas pequenas e ovaladas, e flores tubulares de cor variada, geralmente rosa ou roxa. Nativo da Mata Atlântica. (REFLORA,2024).



Figura 56 - Palmito-juçara.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

PALMITO-JUÇARA

Euterpe edulis

Angiospermae - Arecaceae

Palmeira perene com folhas pinadas e frutos pequenos e comestíveis. Nativa da Mata Atlântica. (REFLORA,2024).



Figura 57 - Samambaiáçu.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

SAMAMBAIAÇU

Cyathea corcovadensis

Angiospermae - Cyathea

Samambaia arborescente com folhas largas e divididas, formando uma copa exuberante. Nativa da Mata Atlântica. (REFLORA,2024).



Figura 58 - Tarumã.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

TARUMÃ

Vitex megapotamica

Angiospermae - Lamiaceae

Arbusto/Árvore perene com folhas compostas e flores pequenas, roxas ou lilases, agrupadas em cachos. Nativa do Brasil (REFLORA,2024).

8.2.2. Espécies arbustivas, herbáceas e forrações

Tabela 16 - Lista espécies arbustivas, herbáceas e forrações

Nome popular	Nome científico	Porte (m)
Bromélia Porto Seguro	<i>Aechmea blanchetiana</i>	0,60 – 0,90
Capim roxo-do-brejo	<i>Trichantheicum parvifolium</i>	0,06 – 0,40
Clúsia	<i>Clusia fluminensis</i>	0,50 – 6,00
Carqueja	<i>Baccharis timera</i>	0,15 - 1,00
Falso-íris	<i>Neomarica caerulea</i>	1,40
Filodendro ondulado	<i>Philodendron undulatum</i>	0,50 – 2,00
Guaimbê	<i>Philodendron bipinnatifidum</i>	0,50 – 2,00
Helicônia papagaio	<i>Heliconia psittacorum</i>	0,50 – 1,00
Lantana arbustiva	<i>Lantana câmara</i>	1,00 - 3,00
Maranta Araruta	<i>Maranta arundinacea</i>	1,00
Maranta cinza	<i>Ctenanthe setosa</i>	0,50 – 1,00
Maranta zebrina	<i>Calathea zebrina</i>	0,30 - 0,50
Orelha-de-onça	<i>Pleroma heteromallum</i>	0,60 - 1,70
Triális	<i>Galphimia brasiliensis</i>	0,50 – 1,00
Brilhantina	<i>Pilea microphylla</i>	-
Dinheiro em penca	<i>Pilea nummularifoliia</i>	-
Grama amendoim	<i>Arachis repens</i>	-



Figura 59 - Bromélia Porto Seguro.
Fonte: Reflora, 2024

BROMÉLIA PORTO SEGURO

Aechmea blanchetiana

Angiospermae - Bromeliaceae

Herbácea epífita, rizomatosa e perene. Nativa de Mata Atlântica. Cultivo a pleno sol ou a meia-sombra (LORENZI, 2008).



Figura 60 - Capim Roxo-do-brejo.
Fonte: Gbif, 2024

CAPIM ROXO-DO-BREJO

Trichantheum parvifolium



CLÚSIA

Clusia fluminensis

Angiospermae - Clusiaceae

Árvore pequena de restingas, ramificada e com flores brancas. Nativa de Mata Atlântica (São Paulo e Rio de Janeiro). Cultivo a pleno sol ou a meia-sombra (LORENZI, 2008).

Figura 61 - Clússia.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024



CARQUEJA

Baccharis timera

Figura 62 - Carqueja.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

FALSO-ÍRIS

Neomarica caerulea

Angiosperma - Iridaceae

Herbácea rizomatosa, perene e floríferas. Nativa de Mata Atlântica do Sudeste brasileiro. Cultivo a pleno sol ou meia-sombra (LORENZI, 2014). Potencial de biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, e SDT (PINHEIRO, 2017).



Figura 63 - Falso-Íris.
Fonte: Reflora, 2024

FILODENDRO ONDULADO

Philodendron undulatum

Angiosperma - Araceae

Arbusto robusto com rizoma e folhas onduladas. Nativa da Mata Atlântica brasileira. Cultivo em meia-sombra ou sombra (LORENZI, 2008).



Figura 64 - Filodendro Ondulado.
Fonte: Reflora, 2024



Figura 65 - Guaimbê.
Fonte: Refflora, 2024

GUAIMBÊ

Philodendron bipinnatifidum

Angiosperma - Araceae

Arbusto escandente, robusto e com rizoma e folhas grandes. Nativa de Mata Atlântica do Sudeste brasileiro. Cultivo a pleno sol ou meia-sombra (LORENZI, 2008).



Figura 66 - Helicônia Papagaio.
Fonte: Flora Digital UFSC, 2024

HELICÔNIA PAPAGAIO

Heliconia psittacorum

Angiosperma - Heliconiaceae

Herbácea rizomatosa, entouceirada, com florescimento vermelho e amarelo. Nativa do Brasil. Cultivo a pleno sol (LORENZI, 2014).

Potencial de biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, sólidos dissolvidos totais (PINHEIRO, 2017).



Figura 67 - Lantana.

LANTANA

Lantana camara

Angiosperma - Verbenaceae

Arbusto perene, ramificado e lenhoso. Nativa do Brasil. Cultivo a pleno sol (LORENZI, 2008).

Possui floração pequena com diversas cores (rosa, laranja, amarela, vermelha, branca e violeta). Seu potencial florífero atrai borboletas e beija-flores (Horto Botânico - UFRJ)

Fonte: Reflora, 2024



MARANTA ARARUTA

Maranta arundinacea.

Erva rosulada, não ramificada, até 1 m altura. Cultivo a meia-sombra (REFLORA,2024).

Figura 68 - Maranta Aruruta.

Fonte: Nparks, 2024



MARANTA CINZA

Ctenanthe setosa

Angiosperma - Marantaceae

Herbácea rizomatosa, nativa de Mata Atlântica. Cultivo a meia-sombra (LORENZI, 2008).

Figura 69 - Maranta Cinza.

Fonte: FCTH



MARANTA ZEBRINA

Calathea zebrina

Angiosperma - Marantaceae

Herbácea perene de folhas grandes. Nativa do Brasil. Cultivo à sombra ou meia-sombra (LORENZI, 2008).

Figura 70 - Maranta Zebrina.
Fonte: Reflora, 2024



ORELHA-DE-ONÇA

Pleroma heteromallum

Angiospermas - Melastomataceae

Arbusto com ramos quadrangulares, canaliculados, estrigosos. Floração com pétalas roxas (REFLORA, 2024).

Figura 71 - Orelha-de-Onça.
Fonte: Socfindoconservation, 2024



Figura 72 - Triális.
Fonte: FCTH,2022



Figura 73 - Brilhantina.
Fonte: Reflora, 2024

TRIÁLIS

Galphimia brasiliensis

Angiosperma - Malpighiaceae

Arbusto lenhoso, muito ramificado, de ramagem aberta. Possui floração amarela durante quase todo o ano. Nativa de Mata Atlântica e transição para Cerrado. Cultivo a sol pleno. (LORENZI, 2008).

BRILHANTINA

Pilea microphylla

Angiospermae - Urticaceae

Herbácea perene, muito ramificada. Nativa da América tropical. Cultivo a pleno sol ou a meia-sombra (LORENZI, 2008).



DINHEIRO EM PENCA

Pilea nummulariifolia

Angiosperma - Urticaceae

Herbácea reptante, perene, com ramagem delicada e folhagem ornamental. Nativa da América tropical. Cultivo a meia-sombra (LORENZI, 2008).

Figura 74 - Dinheiro Em Penca.
Fonte: Nparks, 2024



GRAMA AMENDOIM

Arachis repens

Angiospermae - Fabaceae-
Faboideae

Herbácea reptante, perene com flores amarelas. Nativa do Brasil. Cultivo a pleno sol (LORENZI, 2008).

Figura 75 - Grama Amendoim.
Fonte: Gbif, 2024

9. CONCLUSÃO

A drenagem sustentável representa a abordagem mais atual na gestão das águas pluviais, refletindo a necessidade de conciliar os efeitos da urbanização e mudanças climáticas com preservação ambiental.

Neste contexto, este Manual objetivou disseminar o conhecimento acerca de conceitos, diretrizes e critérios de dimensionamento de estruturas relacionadas à drenagem sustentável e complementar as orientações presentes na Etapa I – Drenagem Urbana, do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São José dos Campos.

Foram aqui definidas as bases para o planejamento da gestão das águas pluviais do município de São José dos Campos, definindo como princípios os itens, a saber:

- i. 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 espaços livres;*
- ii. Fomentar o aumento de áreas naturais e garantir conexões entre estas, permitindo assim a construção de redes de infraestrutura verde;*
- iii. Valorizar a paisagem promovendo, além da função hidráulica, as funções estéticas e socioculturais.*
- iv. Garantir melhor qualidade da água, adotando medidas para a drenagem sustentável devem visar reduzir as cargas de poluição pontual e difusa que alcançam os córregos;*
- v. Identificar áreas livres com potencial para amortecimento e acomodação do volume de águas pluviais;*
- vi. Deve-se ter uma visão integrada da bacia hidrográfica, considerando esta como escala para o planejamento ou intervenção. Deste modo, toda e qualquer modificação deve ser equitativa, sem transferir impactos para outros pontos da bacia hidrográfica;*
- vii. Promover intervenções hidráulicas em várias escalas (lote, bairro, vale ou várzea, microbacias, entre outras);*
- viii. Promover múltiplos usos para a área de intervenção, atendendo as demandas da população;*

- ix. *Planejar novas intervenções e expansão da malha urbana, considerando a LPUOS e considerações das etapas do PDDMAP;*
- x. *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;*
- xi. *Reforçar a gestão local de águas pluviais, considerando o controle na fonte durante eventos de chuva. Deste 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;*
- xii. *Gerenciar, manter e fiscalizar o sistema de drenagem.*

Com a aplicação dos princípios, critérios, metodologias e diretrizes aqui descritas, o município de São José dos Campos espera ampliar o conhecimento local para a aplicação de técnicas compensatórias que priorizam o controle do escoamento superficial na fonte ao longo da bacia hidrográfica, implantando Soluções Baseadas na Natureza (SBN) para o controle de quantidade e qualidade das águas pluviais, proporcionado por meios para o controle da poluição difusa e de infiltração de água no solo.

10. EQUIPE TÉCNICA

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
Fernando Garcia	Engenheiro ambiental
Fábio Ferreira Nogueira	Engenheiro ambiental
João Francisco Nogueira Spegiorin	Estagiário
Luann Silva Calixto	Estagiário

Realização: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
Projeto gráfico, capa e diagramação: Mayara Menezes do Moinho
Revisão do texto: Simone Oliveira
Foto da capa: FCTH

11. REFERENCIAS

- ABNT. (2015). NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2019). NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro: Segunda Edição.
- ADASA. (2018). Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal (ADASA). Brasília, DF.
- ADASA. (2023). Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal. AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. Brasília.
- ÁGUAS CLARAS, FCTH. (2017). *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.
- ÁGUAS CLARAS, FCTH. (2017). *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.
- AHERN, J. (2010). Planning and design for sustainable and resilient cities: theories, strategies, and best practices for green infrastructure. Em J. NOVOTNY, J. AHERN, & P. BROWN, *Water Centric Sustainable Communities: Planning, Retrofitting, and Building the Next Urban Environment* (pp. 135-176). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Amorim, L. F. (2022). Hydrological modeling using distributed rainfall data to represent the flow in urban watersheds. *RBRH*, 27. doi:10.1590/2318-0331.272220220060
- BRASIL. (2005). *Resolução 357 de 2005 - Enquadramento de corpod hídricos*. Brasília: CONAMA.

- BRASIL. (2020). *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Secretaria Geral - Subchefia para Assuntos Jurídicos.
- CANHOLI, A. (2015). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. São Paulo: Oficina de textos.
- CANHOLI, A. P. (2005). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. Oficina de Textos.
- CHOUDHURY, E. &, & MILLAR, A. (1981). Características físico- hídricas de três Latossolos irrigados do Projeto Bebedouro. *In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro de Pesquisa no Trópico Semi-Árido. Pesquisa em irrigação no Trópico Semi-Árido: solo, água, planta*. Petrolina.
- CHOUDHURY, E., & MILLAR, A. (1981). Características físicos-hídricas de três Latossolos irrigados do Projeto Bebedouro.
- CHRISTOFIDIS, D., ASSUMPÇÃO, R. d., & KLIGERMAN, D. C. (2020). A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. . *Saúde em Debate*, pp. p. 94-108.
- COHEN-SHACHAM, E., WALTERS, G., JANZEN, C., & MAGINNIS, S. (2016). Em *Nature-based solutions to address global societal challenges* (pp. 2016-2036). Gland, Switzerland: IUCN.
- DA SILVA, A. F. (1989). Composição florística e estrutura fitossociológica do estrato arboreo da Reserva Florestal Professor Augusto Ruschi, São Jose dos Campos, SP. *Tese doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia*. Campinas, SP, Brasil.
- DA SILVA, J. C. (2017). *Bacias hidrográficas urbanizadas: renaturalização, revitalização e recuperação. Um estudo da bacia do Jaguaré*.
- DA SILVA, L. B., ALENCAR, M. H., & DE ALMEIDA, A. T. (2020). 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.

- DAEE. (2005). Guia Pártico para Projetos de Pequenas Obras Hidráulcias. *DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA*. São Paulo, SP.
- DAGENAIS, D., BRISSON, J., & FLETCHER, T. D. (2018). The role of plants in bioretention systems; does the science underpin current guidance? *Ecological Engineering*, pp. p. 532-545.
- DE ANDRADE, L. N. (2010). Autodepuração dos corpos d'água. *Revista da Biologia*, 16-19.
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES. (2009). Bioretention Manual. The Prince George's County, Maryland: Environmental Services Division.
- DOTRO, G., LANGERGRABER, G., MOLLE, P., NIVALA, J., PUIGAGUT, J., STEIN, O., & VON SPERLING, M. (2017). Treatment Wetlands. Londres: IWA Publishing.
- EPA. (2023). BIORETENTION DESIGN HANDBOOK: Designing Holistic Bioretention for Performace and Longevity.
- FCTH., F. C. (2017). *Desenvolvimento de metodologia e projeto piloto de revitalização de bacia urbana, replicável para as demais bacias da região metropolitana (Bacia do Córrego Jaguaré)*.
- FCTH; CTG. (2015). *Desenvolvimento de uma metodologia de gestão integrada de riscos associados às emergências em barragens*. São Paulo: ANEEL.
- FISCHENICH, J., & ALLEN, H. (2000). Stream Management. *US Army Corps of Engineers*. US.
- FLETCHER, T. D. (2015). Suds, lid, bmps, wsud and more—the evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban water journal*, pp. p. 525–542.
- HONG, Y., Soulignac, F., Roguet, A., Li, C., Lemaire, B. J., Martins, R. S., . . . Vinçon-Leite, B. (2021). 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*, 2,

pp. 2245-2259. doi:10.1007/s11356-020-10629-y

- HUNT, W. F. (2015). Plant selection for bioretention systems and stormwater treatment practices. *Springer Nature*.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Sixth Assessment report. Working group II Impacts, adaptation and vulnerability*. INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC).
- KIM, Y., & SONG, S.-K. (2019). The Multifunctional Benefits of Green Infrastructure in Community Development: An Analytical Review Based on 447 Cases. *Sustainability, MDPI, V. 11*, 3917.
- KIM, Y., EISENBERG, D. A., BONDANK, E. N., CHESTER, M. V., MASCARO, G., & UNDERWOOD, B. (2017). Fail-safe and safe-to-fail adaptation: decision-making for urban flooding under climate change. *Climatic Change, V. 145*, pp. 397-412.
- LIBOS, M., ROTUNNO FILHO, O., & ZEILHOFER, P. (2003). Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8*, pp. 113-135.
- LORENZI, H. (2008). Plantas ornamentais no Brasil. Instituto Plantarum de Estudos da Flora.
- MAGALHÃES, A. A. (2022). *The dynamic of seasonal nonpoint pollution in complex watersheds*. São Paulo: EP-USP.
- MARENGO, J., Muller-Karger, F., Pelling, M., Reynolds, C. J., Merrill, S. B., Nunes, L. H., . . . Tabuchi, E. K. (2017). 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*, pp. 403-424. doi:10.4236/ajcc.2017.6202
- MATSLER, A. M. (2021). A 'green'chameleon: Exploring the many disciplinary definitions, goals, and forms of "green infrastructure". *Landscape and Urban Planning, Elsevier*.

- MCHARG, I. (1969). *Design with nature*. New York: American Museum of Natural History.
- MENDES, A. T., & SANTOS, G. d. (2021). INFRAESTRUTURAS SUSTENTÁVEIS NO BRASIL: OPORTUNIDADES PARA O SANEAMENTO E POLÍTICAS URBANAS. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, v. 25, n. 1, pp. p. 27-38.
- MENDES, A. T., & SANTOS, G. R. (2022). Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o Brasil adotar?.
- MUERDTER, C. P., WONG, C. K., & LEFEVRE, G. H. (2018). 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*, pp. p. 592-612.
- MUHAMMAD, M., NURFASYA, M., YUSOF, K., MUSTAFA, M., & GHANI, A. (2016). Suitability of bioengineering channels in erosion control: Application to urban stormwater drainage systems. *Advances as Applications in Fluid Mechanics*, pp. 759-779.
- NOVOTNY, V. (2002). *Water quality: diffuse pollution and watershed management*. John Wiley & Sons.
- NOVOTNY, V., & OLEM, H. (1994). *Water quality: Prevention, identification and management of diffuse pollution*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- PAULEIT, S., ZÖLCH, T., HANSEN, R., RANDRUP, T. B., & KONIJNENDIJK, C. (2017). Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green. *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*.
- PAYNE, E. e. (2015). Adoption guidelines for stormwater biofiltration systems—summary report. *Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities*.
- PEREIRA, M. C. (20xx). xxxxxxxx (1ª ed., Vol. I). (hgbygyfbt, Ed.) São Paulo: kjuhyngigyftt.
- PEREIRA, R., & STUDART, T. C. (2023). Segurança de Barragens e Borda Livre: uma revisão sistemática das abordagens sob diferentes perspectivas e finalidades.

XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Sergipe, BR: ABRHidro.

- PINHEIRO, M. B. (2017). Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: identificação de critérios para seleção de espécies.
- Poleto, C. (2011). SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica. *Revista Thema*, 8.
- POMPÊO, C. A. (2000). Drenagem urbana sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, V.5, 15-23.
- PORTO, M. (1995). Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. Em C. Tucci, R. Porto, & M. Barros, *Drenagem Urbana* (pp. 387-414). Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/ABRH.
- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. (2021). *PLANO DIRETOR DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS*.
- PROSAB. (2009). Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Rio de Janeiro: ABES.
- PROSAB. (2009). *Os novos livros do PROSAB*. Engenharia Sanitária e Ambiental.
- RAHMAN, M. A., PAWIJIT, Y., XU, C., MOSER-REISCHL, A., PRETZCH, H., ROTZER, T., & PAULEIT, S. (2023). A comparative analysis of urban A comparative analysis of urban management. *Sci Rep*, p. 1451. doi:10.1038/s41598-023-28629-6
- ROSSI, M. (2017). Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. *Instituto Florestal*.
- RUZISKA, A. A., & SUGUIO, K. (2008). Impactos ambientais sobre os recursos hídricos para abastecimento público em São José dos Campos. *Revista Universidade de Guarulhos*, v. 7, n. 1,, pp. p. 5-30.
- SILVA, D. F., TUCCI, C. M., KUELE, P. M., COSTA, M. L., CORREA, A. S., MONTEIRO, M. P., & ARAÚJO, L. d. (2024). DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO BRASIL: CONCEITOS, GESTÃO E ESTUDOS DE CASO. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, V.21.

- SKOROBOGATOV, A. e. (2020). The impact of media, plants and their interactions on bioretention performance: A review. . *Science of the Total Environment*, v. 715, , p. p. 136918.
- SMDU. (2012). *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana*. São Paulo: V. 1, p. 168.
- TUCCI, C. M. (2012). *Gestão da drenagem urbana*. CEPAL.
- TUCCI, C. M., BARROS, M. L., & PORTO, R. L. (1995). *Drenagem Urbana*. ABRH.
- VON SPERLING, M., & SEZERINO, P. (Dezembro de 2018). Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil.
- World Economic Forum. (2022). *The Global Risks Report*.
- YAZAKI, L., MONTENEGRO, M. F., & COSTA, J. (2018). *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal*. Brasília: ADASA.
- ZHANG, Y., & SCHAAP, M. (2019). Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: a review. *Journal of Hydrology*, V. 575, 1011-1030.
- ZHANG, Y., & SCHAAP, M. (2019). Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review. *Journal of Hydrology*, pp. 1011-1030.
- ZÖLCH, T., HENZE, L., KEILHOLZ, P., & PAULEIT, S. (2017). Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. *Environmental Research*, 135-144.

GLOSSÁRIO

Termo	Definição no âmbito deste manual
Alagamento	Acúmulo de água nas vias da cidade decorrente da deficiência ou inexistência do sistema de microdrenagem.
Alagado Construído (<i>Wetland</i>)	Sistemas semiaquáticos utilizados para remoção de cargas poluidoras por meio da vegetação presente, otimizando processos naturais de transformação da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes
Bioengenharia	Área do conhecimento que utiliza ferramentas, métodos e princípios de engenharia para o desenvolvimento 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.
Pavimento Permeável	Superfícies do sistema viário que permitem o processo de infiltração da água da chuva para suas camadas drenantes.
Bacia de detenção	Depressões projetadas para armazenar temporariamente volumes de águas pluviais durante eventos de chuva intensa
Telhado Verde	Sistemas instalados sobre a laje de cobertura de edificações que incorporam camada de solo vegetado e sistemas de drenagem. Também conhecidos como coberturas vegetadas ou tetos vegetados.
<i>Best Management Practices</i> ou (BMP) sigla em inglês para Melhores Práticas de Manejo.	Conjunto de técnicas, métodos e abordagens desenvolvidas para minimizar o impacto ambiental, especialmente no contexto da gestão de recursos hídricos, como águas pluviais, solos e poluentes
Biorretenção	Depressão vegetada rasa, projetada para receber e infiltrar o escoamento das águas pluviais
<i>Forebay</i>	Bacia para sedimentação e/ou tomada d'água na entrada de estruturas de detenção.
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 vegetados, 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 esponjas	São cidades projetadas para absorver, reter, filtrar e reutilizar a água da chuva de maneira eficiente, imitando a função de uma esponja. Consistem na adoção de 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 ambientais ¹ .
Escoamento superficial direto	Parcela da água precipitada que não infiltra no solo e que esco superficialmente até alcançar os corpos de água. O mesmo que <i>runoff</i> em inglês.
Facilitador de infiltração	Escavações preenchidas com material drenante projetadas para aumentar a capacidade do solo de infiltrar águas pluviais.
Inundação	Transbordamento de água da calha de rios, lagos e reservatórios, provocado por chuva intensa, em áreas não habitualmente submersas.
<i>Low Impact Development</i> (LID), sigla em inglês para Desenvolvimento de Baixo Impacto.	Planejamento e desenvolvimento urbano que busca minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente, principalmente relacionados à gestão de águas pluviais.

¹ BRASIL. **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres.** Brasília: Ministérios do Planejamento

e Orçamento, 1998.

Macro drenagem	Conjunto de elementos hidráulicos estruturantes, naturais e/ou construídos, necessários para gerir grandes volumes de águas pluviais (dezenas de milhares de m ³ , ou mais), com objetivo de prevenir inundações e preservar a qualidade dos corpos hídricos, em harmonia com as demais infraestruturas urbanas. Ele é conectado ao sistema de micro drenagem, 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 m ³ , ou menos) escoar até a macro drenagem, explorando o potencial para infiltração, detenção e 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, sendo seu comprimento significativamente maior que sua largura
Período de retorno	É o período médio (em anos) que um evento natural pode ocorrer, baseado 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 basicamente à probabilidade de ocorrência de eventos de chuva, expressa pelo período de retorno.
Soluções baseadas na Natureza SbN –	ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam desafios sociais Ex.: mudanças climáticas, segurança alimentar e hídrica ou desastres naturais de modo eficaz e adaptativo, enquanto simultaneamente proporcionam bem-estar humano e benefícios para a biodiversidade. (COHEN-SHACHAM et al., 2016)
<i>Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)</i>	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

), sigla em inglês para Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana	os impactos negativos da urbanização sobre o ciclo da água, como enchentes, poluição hídrica e degradação dos ecossistemas aquáticos.
<i>Water Sensitive Urban Design</i> (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 o crescimento populacional.

ANEXO