
Catálogo de Soluções baseadas na Natureza (SbN) para Espaços Livres

Produto de conhecimento



Direitos e permissões

Esta obra está sujeita a direitos autorais. Ela pode ser reproduzida, no todo ou em parte, para fins não comerciais, desde que seja feito o devido reconhecimento da fonte.

Todas as solicitações relativas a direitos e licenças, incluindo direitos subsidiários, devem ser dirigidas à GIZ, Friedrich-Ebert-Allee 32-36, 53113 Bonn, Alemanha.

Aviso legal

Este relatório foi elaborado pelo City Climate Finance Gap Fund do Banco Europeu de Investimento (BEI), em parceria com a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. As constatações, interpretações e conclusões expressas neste documento não refletem necessariamente as opiniões do BEI, da GIZ GmbH, de seus parceiros ou dos doadores do City Climate Finance Gap Fund.

O BEI e a GIZ GmbH não garantem a exatidão, integridade ou atualidade das informações contidas nesta publicação e não assumem responsabilidade por quaisquer erros, omissões ou discrepâncias, tampouco por qualquer responsabilidade relacionada ao uso ou à falha no uso das informações, métodos, processos ou conclusões aqui apresentados.

Esse Catálogo integra uma trilogia de materiais que envolvem diferentes ênfases para as Soluções baseadas na Natureza (SbN). São apresentados uma Metodologia para implantação, quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de Soluções baseadas na Natureza (SbN), bem como um Guia para Estabelecimento de Modelo de Negócios adotados para Parques Lineares e Fluviais.

Trilogia



Catálogo de Soluções baseadas na Natureza para Espaços Livres

O Catálogo oferece um método em quatro passos para a seleção da SbN mais adequada a diferentes contextos, abrangendo desde a gestão das águas até os materiais componentes destas soluções e a seleção de plantas fitorremediadoras de poluentes. O catálogo visa orientar autoridades municipais, urbanistas e ambientalistas para incorporar SbN em seus planejamentos, com o objetivo de criar cidades mais verdes e resilientes às mudanças climáticas. A estrutura do catálogo apresenta casos práticos brasileiros, de forma a ilustrar a importância das SbN para o entendimento da multifuncionalidade dos espaços livres.



Metodologia para quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de soluções baseadas na natureza (SbN) adotadas na implantação de parques lineares e fluviais e guia de indicadores de impacto de SbN em parques lineares e fluviais

O material apresenta uma avaliação de Metodologias para quantificar os benefícios ambientais, econômicos e sociais das SbN adotadas em parques lineares e fluviais, e um Guia de indicadores para quantificar os benefícios das SbN em áreas verdes. Após uma avaliação comparativa de nove metodologias, este relatório indica uma metodologia robusta e de aplicação relativamente simples, para avaliar quantitativa e qualitativamente como as SbN adotadas na implementação de parques lineares e fluviais podem tornar as cidades mais habitáveis, mais saudáveis e mais justas para seus habitantes.



Guia Metodológico para Estabelecimento de Modelo de Negócios para Parques Lineares e Fluviais

O guia visa cobrir a lacuna de orientações abrangentes sobre SbN para planejadores e gestores urbanos, enfatizando os benefícios multifacetados dos parques fluviais e lineares, incluindo gestão de risco de inundação, melhoria da biodiversidade e promoção da saúde humana e do bem-estar. Descreve o uso da análise de custo-benefício (ACB) em parques e demais SbN, discutindo a sustentabilidade financeira e a importância do envolvimento da comunidade e das estruturas de governança social. Objetiva-se munir os profissionais com as ferramentas necessárias para criar Modelos de Negócios robustos que transformem o conceito de parques fluviais e lineares em espaços urbanos tangíveis e resilientes.

Agradecimentos

Expediente

Apresentado por:

Guajava – Arquitetura da Paisagem e Urbanismo / Aquaflora
Meio Ambiente / Kralingen Economia Ambiental

Organização e coordenação técnica:

Adriana Afonso Sandre

Coordenação geral:

Adriana Afonso Sandre e Riciane Pombo

Autores:

Adriana Afonso Sandre; Catharina Cordeiro dos Santos Lima;
Daniel Thá; Dulce Ferreira de Moraes; Erika Naomi de Souza
Tominaga; Filipe Chaves Gonçalves; Hanna Nahon Casarini;
Jerusa Polo; João Luís Bittencourt Guimarães; Marco Antonio
Loschiavo Leme de Barros; Melissa Cristina Pereira Graciosa;
Reinaldo Pacheco; Riciane Pombo; Sarah Daher; Hugo Herrera
dos Reis.

Revisão técnica da 2ª edição:

Adriana Afonso Sandre; Catharina Cordeiro dos Santos Lima;
Melissa Cristina Pereira Graciosa; Riciane Pombo; Sarah Daher.

Arte Gráfica dos Dispositivos de SbN:

Adriana Afonso Sandre, Gustavo Kenichi Tarui, Leticia Oliveira
da Silva, Riciane Pombo, Sarah Daher

Layout:

Bianca Maria de Arruda, Sarah Daher, Vitor Martins Garcia;
EYES-OPEN e weissbunt, Berlin

The City Climate Finance Gap Fund / Deutsche Gesellschaft
für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Ana Carolina Câmara – Diretora de projetos
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas – Assessora técnica
Kadri Sternberg – Gestora de projetos
Vanessa Bauer – Gestora de projetos

2ª Edição – Setembro 2024

guajava

AQUAFLORA

KRALINGEN
ECONOMIA AMBIENTAL

City Climate
Finance Gap Fund

European
Investment Bank

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Colaboração

Equipe: Prefeitura Municipal de Campinas/SP
Secretaria Municipal do Clima, Meio Ambiente e
Sustentabilidade - SECLIMAS

Rogério Menezes, Secretário Municipal
Ângela Cruz Guirao, Assessora de Gabinete
Alexandre Ariolli Nascimento, Arquiteto
Leandro André Silveira de Arruda Melo,
Assessor Técnico e Engenheiro Civil
Rebeca Veiga Barbosa, Coordenadora e Bióloga
Rafaela Bonfante Lançone, Coordenadora e Geóloga
Gabriel Dias Mangolini Neves,
Chefe de Setor e Engenheiro Ambiental
Geraldo Magela Martins Caldeira, Engenheiro Civil

Equipe: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro/RJ
Secretaria Municipal do Ambiente e Clima – SMAC
Tainá Reis de Paula Kapaz, Secretário Municipal

Subsecretario de Biodiversidade e Clima – SUBBC
Douglas da Silva Moraes do Nascimento, Subsecretário

Gerência de Mudanças Climáticas – GMC, Coordenação do Projeto
José Miguel Osório de Castro Carneiro Pacheco, Gerente
Marcos Borges Pereira, Engenheiro Civil

Coordenadoria de Áreas Verdes
Peterson Santos Silva, Coordenador

Gerência de Restauração Ambiental – GRA
Jeferson Pecin Bravim

Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro /
RIO-ÁGUAS
Wanderson José dos Santos, Presidente de Fundação

Diretoria de Estudos e Projetos
Georgiane Costa, Diretora
Marlon Giovanni Lopes Alvarez, Engenheiro Civil
Bruno Costa Assunção, Engenheiro Civil
Rodrigo Oliveira do Nascimento, Engenheiro Civil
Ana Cristina Rodrigues Lopes, Engenheiro Civil

 **PREFEITURA DE
CAMPINAS**
SECRETARIA DO
CLIMA, MEIO AMBIENTE
E SUSTENTABILIDADE

 **Rio** | **AMBIENTE
E CLIMA**
PREFEITURA



Parque Barigui em Curitiba/PR (foto: Pedro Moraes, 2024)

Sumário

Introdução	11
Capítulo 1 Método para seleção de Soluções baseadas na natureza para espaços livres	15
Passo 1: Diagnóstico e caracterização urbanística, morfológica e hidrológico-hidráulica da bacia hidrográfica e sistema de drenagem	19
Diagnóstico hidráulico-hidrológico das sub-bacias e rede de drenagem	20
Caracterização e diagnóstico urbanístico das sub-bacias e rede de drenagem	24
Passo 2: Definição das Soluções baseadas na Natureza	29
Grupo 1: SbN mitigação de inundações e/ou fitorremediação das águas.	31
Grupo 2: SbN voltadas a contenção de margens de córregos e rios, taludes e encostas	133
Passo 3: Definição de espécies vegetais para as SbN	181
Adequação ecológica em parques e jardins públicos	188
Catálogo de espécies vegetais ilustrado e polinizadores.	190
Passo 4: Mensuração dos Serviços Ecossistêmicos e Benefícios Sociais Pós-Implantação	213
Variáveis para Mensuração dos Serviços Ecossistêmicos	215
Mensuração de Benefícios	218
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as SbN	220
Capítulo 2 Panorama das SbN no Brasil	223
Projeto na cidade de São Paulo/SP	229
Projeto na cidade de Belo Horizonte/MG.	237
Projeto na cidade de Niterói/RJ	241
Projeto na Cidade de Fortaleza-CE	247
Projeto na cidade de Londrina/PR	251
Projeto na cidade de Sobral/CE	255
Concluidações finais	261
Referências	263



Inundação em evento de chuva extremo na cidade de Salvador (Foto: Joa Souza, 2016)

Introdução

A relação histórica entre as sociedades humanas e a natureza teve um decisivo ponto de inflexão a partir da instauração de um projeto de modernidade (de avanço da técnica no controle e manipulação dos elementos da natureza e de seus sistemas) que, se por um lado promoveu conforto e maior segurança à existência e perpetuação da espécie humana (no tocante à proteção em relação às intempéries do meio), por outro inaugurou um processo progressivamente deletério de dilapidação e/ou destruição dos ecossistemas no planeta.

É muito recente na História das civilizações (sobretudo a partir dos séculos XVIII e XIX, com o Movimento Romântico nas Artes Visuais, na Literatura e na Filosofia) o despertar de uma nova consciência que observa e avalia os impactos causados em escala planetária, que dá conta da finitude ou esgotamento de elementos e processos naturais e busca novos paradigmas para a relação humano/natureza, fundamentados em outros princípios éticos e no desenvolvimento de uma nova ciência, novas práticas, novas tecnologias.

Nos ambientes urbanos, para que esse novo “projeto de mundo” se concretize e faça jus a princípios éticos mais consonantes com a natureza, é preciso que os parâmetros científicos e tecnológicos dos planos e projetos assimilem a ideia de que os humanos são Natureza e que é preciso implementar práticas mais gentis capazes de evidenciar, na paisagem urbana, esse novo pensar.

Sobretudo, faz-se necessária a observância dos fenômenos naturais para balizar as práticas desse novo paradigma.

A natureza é uma preciosa mestra – “ela” sabe como regular o clima, segurar as encostas, acolher as águas (espraiando-as, percolando-as e formando planícies fluviais) e fornecer as condições para o florescimento da vida e enriquecimento da biota. Entender o seu funcionamento, aprender com sua sabedoria e desenvolver modelos capazes de funcionar com (e não contra) os sistemas naturais é condição fundamental para a consolidação de uma cidade onde sistemas naturais e processos socioculturais funcionem, convivam e se beneficiem mutuamente.

Principalmente a partir do século XX, cientistas e outros estudiosos das Ciências Naturais foram, aos poucos, adquirindo a consciência dos desafios relacionados à ocorrência cada vez mais frequente de eventos climáticos severos em inúmeras cidades ao redor do mundo. Dessa forma, tornou-se imperioso buscar soluções que substituam ou complementem as tecnologias existentes de engenharia e de infraestrutura urbana, de forma a garantir a eficiência necessária para tornar as cidades mais resilientes às inundações, secas e ilhas de calor, dentre outros fenômenos adversos do clima.

Nesse sentido, faz-se necessário elaborar um novo léxico urbano que evidencie essa nova ética, a qual, por sua vez, baliza inovadoras práticas. ‘Bocas de lobo’ e ‘Piscinões’ (como reservatórios concretados) vão sendo, como veremos adiante, substituídos por ‘Jardins de Chuva’, ‘Biovaletas’, ‘Bacias de retenção’ ou ‘retenção’ e ‘Parques fluviais’, por exemplo.

Esse novo léxico responde por esse paradigma que, além de demonstrar eficácia no acolhimento das águas urbanas, qualifica a paisagem, criando lugares de vida para humanos e elementos naturais e ainda servindo como filtros verdes, que limpam contaminantes presentes nos sistemas hídricos. Essa nova configuração urbana cria, assim, as condições favoráveis para a promoção das dimensões sensível, poética e estética da paisagem. Uma infraestrutura verde que dá suporte a uma paisagem urbana requalificada, com benefícios sociais e culturais inequívocos.

Dessa forma, a Nova Agenda Urbana (NAU) ratifica ser imprescindível a busca por “soluções inspiradas na natureza” que sejam eficientes e sustentáveis em garantir segurança e melhor qualidade de vida à população, com redução de custos orçamentários aos municípios (ONU-HABITAT III, 2016). Nesse sentido, o termo “Soluções baseadas na Natureza” (SbN) tem sido adotado e defendido por diversos órgãos internacionais como estratégia para mitigar os efeitos das mudanças climáticas nas cidades. A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) definiu SbN como ações para proteger, gerenciar de maneira sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados que respondem aos desafios sociais de maneira efetiva e adaptável, ao mesmo tempo em que promovem o bem-estar humano e benefícios à biodiversidade (COHEN-SHACHAM et. al, 2016).¹

Nesse âmbito, o City Climate Gap Fund, operado pelo Banco Europeu de Investimento (BEI)

e pelo Banco Mundial, oferece assistência técnica a cidades de países emergentes e em desenvolvimento na fase inicial de projetos que visam a resiliência climática e a redução das emissões de carbono. Como parte desse programa, o BEI estabeleceu uma parceria com a agência de cooperação técnica Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, GIZ BRASIL, com o objetivo de apoiar os municípios de Campinas e do Rio de Janeiro nessas temáticas.

Para apoiar o desenvolvimento deste programa nos dois municípios, junto às prefeituras municipais de Campinas e Rio de Janeiro, foi firmado o consórcio, composto pelas empresas Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, Aquaflorea Meio Ambiente e Kralingen Economia Ambiental, com o objetivo de auxiliar gestores dos municípios brasileiros a compreender e incorporar as SbN nos projetos de parques lineares e fluviais em suas respectivas localidades.

Os produtos desenvolvidos pelo consórcio e contemplados no Programa são: a **Metodologia para Quantificação dos Riscos e Benefícios Ambientais, Econômicos e Sociais de Soluções baseadas na Natureza** (a ser adotada em projetos de Parques Lineares e Fluviais); o **Projeto básico do Parque Linear do Córrego Bandeirantes**, em Campinas (com a aplicação de SbN); a **Modelagem econômico-financeira para manutenção do Parque Fluvial do Jardim Maravilha no município do Rio de Janeiro** e a elaboração do presente **Catálogo de Soluções baseadas na Natureza para Espaços Livres**.

Apresentamos, portanto, a segunda edição do Catálogo de Soluções baseadas na Natureza para espaços livres. Esta nova edição marca uma mudança em relação à anterior, pois empreendemos um esforço para expandir a abrangência do

catálogo, garantindo que ele não apenas continue a atender às necessidades locais, mas também seja aplicável em um contexto internacional. Além disso, realizamos uma revisão técnica dos conteúdos, visando assegurar que as informações fornecidas estejam atualizadas com as mais recentes pesquisas e práticas no campo. O resultado é um catálogo versátil, que esperamos ser uma ferramenta valiosa para planejadores, arquitetos paisagistas, gestores ambientais e todos aqueles interessados em integrar Soluções baseadas na Natureza em seus projetos e comunidades.

O objetivo do Catálogo é reunir informações que auxiliem o poder público a selecionar SbN que possam ser incorporadas aos projetos de espaços livres de uso público, integrados a uma rede de infraestrutura verde para as cidades. Optou-se por utilizar o termo “espaços livres” para nomear o Catálogo – e não parques lineares, fluviais ou áreas verdes – por representar a abrangência da aplicabilidade das SbN selecionadas. Os espaços livres são áreas abertas, livres de edificação e sem coberturas, que podem ser urbanas ou não, pavimentadas ou vegetadas, de gestão pública ou privada (MAGNOLI, 2006).

O Catálogo, estruturado em dois capítulos, apresenta um método para seleção de SbN, reunindo informações técnicas, exemplos de aplicação,

serviços ecossistêmicos prestados e os desafios para sua implantação. O primeiro capítulo sugere um método, estruturado em quatro passos, para seleção da SbN mais adequada ao contexto local. No segundo capítulo é apresentado um panorama dos desafios da implantação de SbN no Brasil, abordando questões importantes para sua viabilização nas cidades brasileiras. Nas considerações finais é apontado o encadeamento lógico de todo o processo de construção do método de seleção de SbN, objeto deste Catálogo.

Cabe destacar que não é pretensão desta publicação esgotar o assunto, mas sim fornecer ao leitor conceitos primordiais para o planejamento e projeto da paisagem, com foco na seleção de SbN para espaços livres. Nesse sentido, não é objetivo determinar a forma como as SbN devem ser concebidas, nem como mensurar seu impacto hidrológico, mas fornecer um instrumento ilustrado e técnico de subsídio à seleção das ideais para cada contexto.

Este Catálogo possibilita um importante ponto de partida para que autoridades públicas e outros atores interessados conheçam as SbN para aplicação em projetos de espaços livres de uso público, considerando as atuais questões ambientais e sociais envolvidas na gestão urbana.

¹ A visão de que a natureza sustenta o funcionamento da sociedade e das economias no mundo foi defendida durante a Assembleia Geral da ONU, em março de 2022, onde também foi dado um alerta importante: “A degradação dos ecossistemas e perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos, reduzirão a capacidade das nações e suas cidades de responder às mudanças climáticas e outros desafios” (UNEP, 2022, p.13).

1 Método para seleção de Soluções baseadas na natureza para espaços livres

Este capítulo fornece os subsídios para projetos que incorporam as SbN em uma miríade de espaços livres, variando desde a escala do lote à da bacia hidrográfica. Cabe destacar que o Catálogo optou por selecionar SbN voltadas às questões de águas urbanas e saneamento e ambiental em espaços livres, envolvendo recomposição sistêmica de paisagens

As SbN devem ser selecionadas a partir da consideração de que os espaços livres devem exercer múltiplas funções, como: conectar fragmentos de vegetação; conduzir as águas com segurança; oferecer melhorias microclimáticas; atender aos usos relacionados à moradia, trabalho, educação e lazer; garantir maior segurança social; acomodar as funções das demais infraestruturas urbanas,

como transporte e abastecimento; além de atender aos objetivos de recreação, encontro e melhorias ambientais e estéticas (PELLEGRINO et al., 2006).² Tal multifuncionalidade, inerente às concepções de infraestrutura verde e SbN, impõem uma complexidade às soluções projetuais propostas, uma vez que devem atender a uma série de critérios de desempenho, tais como:

- Reduzir os riscos de inundação e amortecer as cheias, incorporando diferentes medidas de contenção e infiltração do escoamento superficial das águas ao longo da bacia hidrográfica, especialmente próximo à fonte, local onde a precipitação atinge as superfícies;
- Reduzir a necessidade de instalação de grandes estruturas centralizadas de contenção para conter o volume total decorrente do escoamento superficial das águas;
- Reduzir a poluição difusa por meio do processo de fitorremediação das águas e do solo;
- Melhorar o conforto ambiental, ao contribuir com o processo de evapotranspiração;
- Fornecer suporte à vida – à fauna e à flora;
- Proporcionar melhor relação custo-benefício em relação às infraestruturas de engenharia tradicionais, uma vez que proporciona, também, múltiplas funcionalidades.

A partir destas considerações iniciais, neste capítulo é apresentado um método para seleção de SbN que sejam ideais para cada contexto. Os critérios para escolha das SbN nos projetos

de espaços livres podem variar em função da localização, dimensão territorial, bem como em questões socioeconômicas, urbanísticas, ambientais e legislativas.

² Dessa visão decorre o conceito de infraestrutura verde, que, ao agregar corredores verdes urbanos, alagados construídos, reflorestamentos de encostas e outras intervenções de baixo impacto com as melhores práticas de manejo das águas, fornece contribuições importantes para um desenho ecologicamente mais eficiente da cidade, reforçando o papel crucial dos espaços livres vegetados.

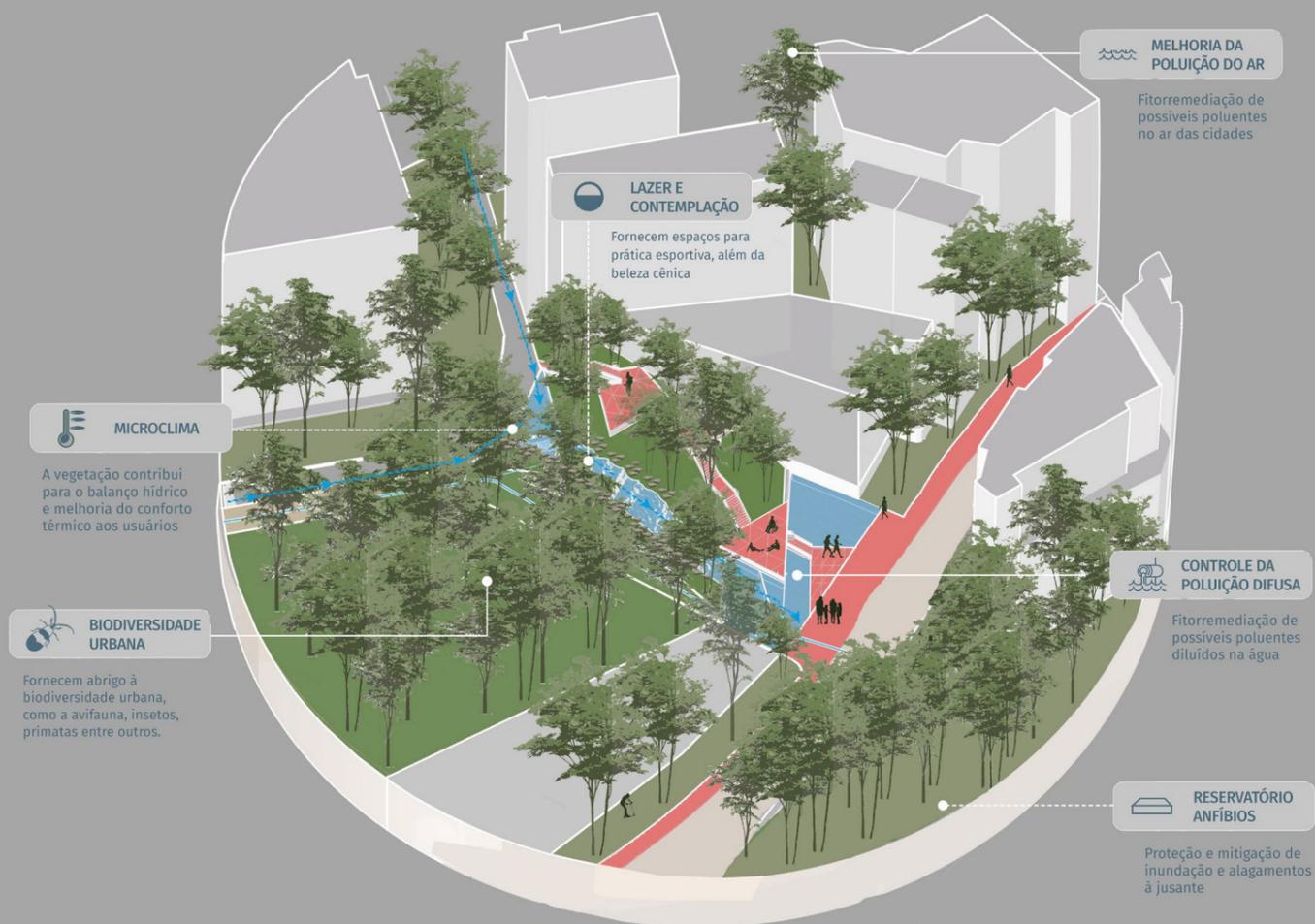


Diagrama explicativo da importância das áreas verdes urbanas (Fonte: Guajava, 2023)

O método para seleção de SbN está estruturado em quatro grandes passos, a saber:

Passo 1

Diagnóstico e caracterização urbanística, morfológica e hidrológico-hidráulica da bacia hidrográfica e sistema de drenagem

Primeiro passo: trata do diagnóstico socioambiental e caracterização urbanística e morfológica da bacia hidrográfica e do curso d'água;

Passo 2

Definição das Soluções baseadas na Natureza

Segundo passo: divide-se em dois grandes grupos: o primeiro traz as SbN relacionadas a mitigação de inundações e/ou fitorremediação das águas; e o segundo elenca as estruturas de contenção associadas a SbN e que possuem uso consagrado em infraestrutura urbana. Elas constituem soluções de engenharia que combinam, quando necessário, materiais naturais com elementos e técnicas clássicos da engenharia civil. O passo aborda a seleção de SbN de acordo com o grau de aptidão de cada uma (recomendado, possível e não recomendado) a partir da indicação da melhor localização estratégica, tipo de solo e características hidrológico-hidráulicas da localidade. Usualmente, a escolha é dada em função das propriedades de reservação, infiltração e condução das águas.

Não obstante, ressaltam-se outros fatores importantes em que a escolha deve ser pautada, como a influência no contexto social local, na sua capacidade de promoção de serviços ecossistêmicos e culturais, na aplicação da legislação e técnicas compensatórias, bem como na complementaridade das SbN frente às infraestruturas cinzas e engenharias sustentáveis.

Passo 3

Definição de espécies vegetais para as SbN

Terceiro passo: apresenta critérios para definir as espécies vegetais passíveis de serem plantadas nas SbN;

Passo 4

Mensuração dos Serviços Ecossistêmicos e Benefícios Sociais Pós-Implantação

Quarto passo: discorre sobre aspectos relativos à mensuração dos benefícios socioeconômicos e ecossistêmicos pós-implantação das SbN.

SbN mitigação de inundações e/ou fitorremediação das águas

1. Jardim de chuva
2. Canteiro pluvial
3. Biovaleta
4. Terraço de chuva
5. Escada hidráulica vegetada
6. Poço de infiltração
7. Bacia de detenção
8. Bacia de retenção
9. Bacia de infiltração
10. Sistema de alagado construído
11. Ilha filtrante flutuante
12. Reservatório anfíbio
13. Polder vegetado
14. Step pool

SbN voltadas a contenção de margens de córregos e rios, taludes e encostas

1. Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall
2. Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais
3. Grade Viva
4. Muro de Contenção Com Pedra
5. Muro de Pedra com Vegetação
6. Muro de Suporte Tipo Cribwall Pré-Fabricado com Vegetação
7. Muro de Gabiões com Vegetação
8. Gabiões Planos - Colchão
9. Solo Grampeado Verde
10. Contenção em Geocélulas



Passo 1 Diagnóstico e caracterização urbanística, morfológica e hidrológico-hidráulica da bacia hidrográfica e sistema de drenagem

O primeiro passo em um projeto de espaços livres voltados às questões de águas urbanas e saneamento e ambiental é a caracterização e diagnóstico morfológico da bacia hidrográfica contribuinte e do(s) curso(s) d'água nela existentes, naturais ou antropizados, bem como a caracterização dos demais aspectos físicos e urbanísticos, incluindo a interferência com outros elementos de infraestrutura urbana. Este passo antecede a seleção das SbN adequadas ao contexto.

Assim, essa etapa contempla o levantamento e caracterização dos aspectos físicos e urbanísticos existentes na bacia de drenagem e cursos d'água nela existentes, fatores esses que fornecerão subsídios para a seleção e dimensionamento das SbN em projetos de paisagem. O objetivo principal é identificar os vários condicionantes que influenciarão nas decisões projetuais.

A análise parte do pressuposto de que as áreas de projeto sofreram (ou ainda sofrem) impactos e alterações na paisagem, na cobertura vegetal, no funcionamento hidrológico da bacia de contribuição e hidráulico do solo e dos cursos d'água, bem como nos ciclos biogeoquímicos. Desta forma, o impacto pode ser mitigado se for compatibilizado a uma qualidade ambiental advinda de um planejamento e projeto dos espaços livres, como veremos nos próximos passos do método e capítulos deste Catálogo.

A etapa inicial de planejamento e concepção do sistema consiste no diagnóstico quali-quantitativo integrado da bacia de contribuição e seu entorno urbanístico, bem como na identificação das áreas potenciais para a proposição de diferentes SbN. Neste passo de contextualização, sugere-se que

seja feito um estudo da paisagem, integrando as variáveis morfológicas, hidráulicas, ecológicas e sociais, como será detalhado a seguir.

Cabe destacar que cada SbN demanda diferentes análises do meio. Assim, esta etapa contempla um panorama geral do que deve ser estudado para sua seleção e projeto.



1. Diagnóstico hidráulico-hidrológico.
2. Evolução histórica da áreas e dinâmicas de urbanização.
3. Meio social e econômico.
4. Legislação em projetos urbanos.
5. Meio biofísico.
6. Infraestrutura, equipamentos e serviços urbanos.

Parque linear do córrego Bandeirantes (Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, Foto: Sarah Daher, 2023)

Diagnóstico hidráulico-hidrológico das sub-bacias e rede de drenagem

Em localidades atingidas por inundações e alagamentos, em que se pretende aplicar as SbN para a sua mitigação, cabe destacar a importância da elaboração de um diagnóstico hidrológico-hidráulico preciso, que possibilite quantificar os volumes e vazões de déficit que deverão ser atendidos para fazer frente aos efeitos da urbanização sobre a bacia hidrográfica.

O processo de urbanização impacta de diferentes formas o ciclo hidrológico e o sistema de drenagem naturais de uma bacia hidrográfica: por um lado, amplia as vazões de escoamento superficial, ao intensificar a impermeabilização das bacias contribuintes, reduzindo de maneira significativa a parcela de infiltração; por outro lado, reduz a capacidade de amortecimento de cheias, ao suprimir as várzeas, ocupando, principalmente com vias de fundo de vale, o chamado leito maior de escoamento dos cursos d'água, que seria naturalmente ocupado pelas enchentes, e deixando somente o leito menor como seção de escoamento. Por fim, ao retificar e canalizar os cursos d'água, os espaços destinados ao escoamento são encurtados (pela supressão dos meandros) e os escoamentos são acelerados (pelos revestimentos lisos), o que contribui para antecipar e ampliar os picos de cheia. Essas três ações combinadas – impermeabilização, supressão de várzeas e canaliza-

ções – promovem um ciclo vicioso no qual se ampliam os volumes de cheia, ao mesmo tempo em que se reduzem os espaços destinados às águas e, assim, compõem o conjunto das principais causas das inundações nas bacias urbanizadas.

Para fazer frente a esses efeitos, medidas podem ser adotadas, visando restituir áreas de amortecimento das cheias, restaurar a parcela de infiltração e destinar novos espaços para as águas, buscando reequilibrar o ciclo hidrológico na bacia hidrográfica.

Os volumes de escoamento excedentes à capacidade da rede de drenagem podem ser quantificados a partir de modelagem hidrológico-hidrodinâmica, o que constitui o diagnóstico hidrológico-hidráulico das inundações na bacia. A partir desse diagnóstico, é possível definir, então, os volumes de armazenamento e infiltração necessários para a redução das inundações e dimensionar as estruturas necessárias para tal.

Os critérios de dimensionamento e projeto, bem como a metodologia de diagnóstico hidráulico-hidrológico, devem estar alinhados às diretrizes preconizadas no Plano de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais local. Na ausência deste, deve-se procurar subsídios na literatura de referência para a drenagem sustentável que contemple diretrizes mínimas de projeto.



Figura 1 Impactos da urbanização nas bacias hidrográficas sendo: a esquerda situação sem ocupação urbana; ao centro urbanização majoritariamente com infraestrutura cinza; a direita urbanização com SbN associada à infraestrutura cinza.

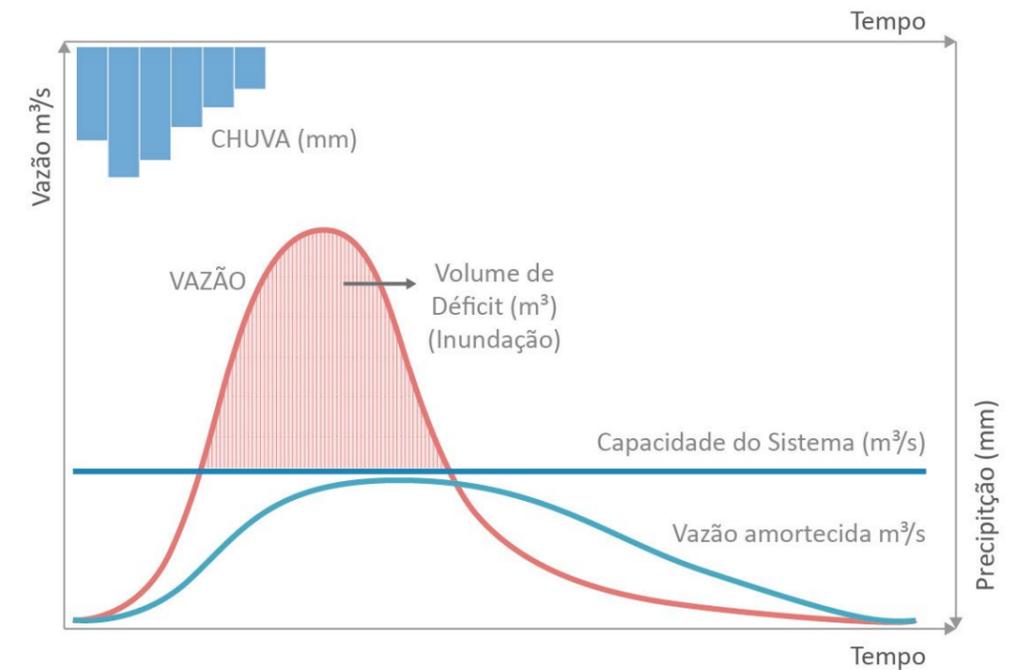


Figura 2 Gráfico ilustrativo do conceito de vazão de restrição e do método de determinação do volume de amortecimento necessário para o controle das inundações na bacia hidrográfica.³

Em projetos de drenagem utiliza-se como base para o diagnóstico uma chuva de projeto, que é a precipitação de referência para o dimensionamento das estruturas, baseada em dados históricos de precipitação os quais são ajustados a uma equação denominada **curva idf – intensidade, duração e frequência**. Estas equações são determinadas para diversas regiões e agrupadas em publicações específicas da hidrologia estatística para os diversos países e regiões do mundo. A curva idf relaciona uma determinada intensidade de precipitação com a duração da chuva e a sua frequência de ocorrência. A intensidade é expressa em mm de chuva, a duração em minutos e a frequência a partir de uma variável chamada **Tempo de Recorrência (TR)**, que é o tempo médio, em anos, em que um determinado evento é igualado ou superado. O

TR é o inverso da probabilidade de ocorrência de um determinado evento, a cada ano. Assim, uma precipitação de TR 2 tem uma probabilidade de 50% de ocorrer, a cada ano.

Em projetos de drenagem, de acordo com recomendações da literatura nacional e internacional especializada, adota-se os TRs de 2 a 5 anos para sistemas de microdrenagem e de 10 a 100 anos para projetos de macrodrenagem, sendo o TR 25 um critério bastante usual. Assim, os sistemas de drenagem das cidades devem objetivar a proteção contra inundações provocadas por chuvas de TR até 100 anos, a partir de um conjunto de soluções as quais, individualmente, atendem a TRs mais baixos.

³ O gráfico de colunas (em azul) indica o hietograma (gráfico da precipitação no tempo) da chuva de projeto, indicado no eixo horizontal superior e vertical da direita). As linhas em rosa, azul claro e azul escuro estão orientadas no eixo horizontal inferior e vertical da esquerda e indicam, respectivamente: linha rosa - hidrograma (gráfico da vazão de escoamento superficial no tempo) para a condição existente da bacia hidrográfica, determinado por modelagem hidrológica. Linha azul escura: capacidade do sistema em um determinado ponto da rede de drenagem, determinada pela geometria da seção do curso d'água ou galeria de drenagem, indica a máxima vazão possível de ser transportada sem extravasamento, naquela seção. Hachura rosa: volume extravasado. Todo o volume escoado acima da capacidade do sistema indica o volume de inundação. Linha azul clara: vazão amortecida após a implantação de medidas de amortecimento / infiltração / contenção na bacia hidrográfica (indicadas entre chaves).

Com relação à duração da chuva de projeto, a literatura recomenda adotar durações próximas ao tempo de concentração das sub-bacias contribuintes, que corresponde ao tempo médio – contado a partir do início da chuva – que demora para que toda a sub-bacia passe a contribuir com escoamento para o seu ponto de deságue (exutório). Entretanto, para microbacias urbanas, devido ao alto grau de impermeabilização que gera picos muito rápidos de cheia, esse cálculo pode resultar em durações muito curtas de chuva, da ordem de poucos minutos, o que resultaria em totais precipitados muito baixos e levaria ao subdimensionamento das estruturas, que seriam projetadas para chuvas sensivelmente menores do que as que geram inundações nas sub-bacias. Para fazer frente a esse problema, adota-se, por segurança, precipitações a partir de uma hora de duração para projetos de drenagem, que podem chegar a 6 ou 12 horas para bacias hidrográficas maiores. Em geral os projetos de drenagem urbana adotam precipitações de 1, 2 ou 6 horas de duração para a chuva de projeto.

A partir da definição do TR e da duração da chuva, obtém-se um total precipitado, que será utilizado para modelar hidrológicamente a bacia, a partir de modelos numéricos de transformação chuva-vazão, tais como o HEC-HMS e o SWMM, para citar os mais correntemente aplicados, a fim de obter as correspondentes vazões e hidrogramas de cheia para a chuva considerada.

Comparando-se as vazões afluentes nos diversos pontos da bacia de estudo com a capacidade da rede de drenagem existente, obtém-se um diagnóstico hidráulico-hidrológico da capacidade da rede e das vazões e volumes de déficit de escoamento superficial, para a chuva de projeto. Para esta etapa, faz-se necessária uma modelagem hidráulica da rede de drenagem, em que são inseridas a geometria dos condutos, galerias e canais, tais como a seção transversal, declividade longitudinal e singularidades (degraus, mudanças de direção, geometria, revestimento, presença de obstáculos, dentre outras) e seus parâmetros

hidráulicos, como rugosidade, que influenciam na sua capacidade de escoamento. A etapa de diagnóstico hidráulico pode ser feita com o suporte de softwares como o HEC-RAS e o SWMM, ou a partir de metodologia simplificada, com a aproximação para a condição de escoamento permanente e uniforme (equação de Manning) que proporciona uma ordem de grandeza da capacidade do sistema em relação às vazões afluentes para os diferentes Tempos de Recorrência – TRs.

O produto do diagnóstico hidráulico-hidrológico é dado, para cada TR, aos volumes de déficit – volume de escoamento superficial direto que supera a capacidade do sistema. Este deverá ser o volume a ser amortecido pelo sistema projetado. O dimensionamento dos sistemas deve ter em mente o atendimento ao volume de déficit diagnosticado, para o Tempo de Recorrência (TR) adotado para o projeto. Para tanto, deverá ser conduzido um estudo de alternativas de intervenções as quais, combinadas, possibilitem atender ao diagnóstico realizado.

Na impossibilidade de atendimento integral dos volumes, devido às condicionantes urbanísticas e de meio físico identificadas nas demais etapas do diagnóstico, deverá ser avaliado o percentual de atendimento possível. A tomada de decisão sobre os encaminhamentos advindos dessa informação deverá levar em conta alternativas complementares de natureza estrutural e/ou não estrutural, tais como: estruturas complementares às SbN; planos de contingência baseados em monitoramento e sistemas de alerta; planos de realocação da população nas áreas de risco (neste caso, em consonância com outras esferas de planejamento e intervenção urbanas, tais como habitação); dentre outros.

Segue uma síntese do diagnóstico hidráulico-hidrológico das sub-bacias e rede de drenagem:

- Identificação e caracterização da **rede de drenagem natural ou artificial** (canais abertos, lagos e reservatórios, nascentes ou olhos d'água, galerias de macro e microdrenagem, afluências de drenagem superficial que necessitam de proteção ou que podem ser incorporadas ao projeto). A existência ou não de uma rede de drenagem artificial ou um curso d'água na região é um limitante para o uso de medidas de retenção, pois impossibilita a descarga dos volumes excedentes. Uma vez que as SbN são, geralmente, propostas em áreas cujo terreno sofreu alterações nos padrões de infiltração e escoamento na bacia, é necessário estimar o impacto dessa ocupação na redução da infiltração e no consequente aumento do escoamento superficial;
- Análise da área de drenagem e identificação da bacia de contribuição. A área de drenagem é aquela que irá contribuir para a SbN e deve ser delimitada pelo divisor de águas. Essa variável permite definir o tipo e tamanho das SbN e é utilizada para o cálculo hidrológico e hidráulico das intervenções mais complexas, como as bacias de retenção, retenção ou infiltração, ou sistemas formados por diversas estruturas de SbN;
- Diagnóstico da topografia e declividade da área de drenagem. Terrenos íngremes (declividades maiores do que 5%) geram escoamento com alta velocidade, dificultando o processo de infiltração. Nestas condições devem ser previstos materiais ou estruturas para diminuição da velocidade do escoamento;
- Levantamento da capacidade de infiltração do solo. Utiliza-se esse parâmetro para dimensionar estruturas com infiltração. Solos argilosos, por exemplo, apresentam capacidade de infiltração reduzida se comparada com a de solos arenosos;
- Levantamento do nível do lençol freático. Semelhante à capacidade de infiltração, esta condição também reduz o processo de infiltração, pois há o risco de saturação das camadas da estrutura pela contribuição do próprio lençol freático. A distância mínima deve ser de no mínimo 1 metro abaixo do fundo do dispositivo de infiltração, considerando o nível máximo do lençol freático, como detalhado no passo 2;
- Levantamento sobre áreas contaminadas (solo e água), de descarte de resíduos sólidos, de afluências poluídas (ou com altas taxas de sedimentos), de áreas com indícios de erosão ou que indiquem fragilidade do solo à ação da água. Em locais onde forem detectadas afluências com quantidades elevadas de poluentes, sedimentos e lixo é recomendada a utilização de pré-tratamento e rotina frequente de manutenção;
- Análise do uso e ocupação do solo (da área de drenagem/bacia de contribuição) e sua relação com a geração de poluição. Essas informações apontam os indícios sobre a qualidade da água do escoamento superficial que irá contribuir para a SbN. A poluição difusa se caracteriza por ser gerada principalmente na ocorrência de fenômenos meteorológicos e por ser decorrente da lavagem das superfícies urbanas e rurais, onde se depositam diversos tipos de poluentes.



Caracterização e diagnóstico urbanístico das sub-bacias e rede de drenagem

A caracterização urbanística da área de drenagem da bacia deve focar na leitura dos dados sociais e na produção de mapas que sirvam de instrumentos para contextualização local, no que tange aos elementos necessários para o projeto.

Nesta etapa se avalia os aspectos relativos às questões socioambientais que norteiam a seleção de SbN. Por serem informações de grande complexidade, serão abordadas, neste tópico, apenas as questões mais relevantes a serem avaliadas e discutidas nos projetos com aplicação de SbN.

É fato que a implantação desse tipo de solução em países com tamanha desigualdade social como o Brasil, constitui-se em um enorme desafio, uma vez que os territórios onde serão realizadas as intervenções podem estar atravessados por graves problemas sociais como a falta de políticas habitacionais de cunho social, ausência de saneamento básico, dificuldades no acesso a serviços de coleta de resíduos, mobilidades locais com pouca infraestrutura, entre outros. Vale lembrar, ainda, a complexidade no âmbito da ocupação histórica de áreas ambientalmente sensíveis, nas cidades brasileiras, onde a ausência (ou incipiência) de políticas públicas capazes de fazer frente aos desafios quantitativos e qualitativos da questão habitacional, impele a população socialmente vulnerável à ocupação de áreas de risco geotécnico e de preservação Permanente (APPs), entre outras de grande sensibilidade ambiental e impróprias para a habitação.

A presença de serviços universais e públicos de saúde e educação é considerada extremamente benéfica aos territórios com grande fragilidade social. Assim, as SbN podem somar-se a essas

estratégias, contribuindo para estimular a visão de políticas públicas mais holísticas e intersetoriais, favorecendo o diálogo entre os diversos atores que se relacionam nesses territórios. Por essa razão, o emprego de SbN vai implicar no conhecimento da territorialidade social e das maneiras como as comunidades locais e do entorno se relacionam com o ambiente.

Um dos primeiros passos nessa fase é a identificação dos principais atores sociais intervenientes no território e o estabelecimento de diálogos, com as práticas sociais já existentes e que podem ser preservadas, e os agentes públicos presentes no território, especialmente as escolas e unidades básicas de saúde. Como processo, sugere-se a criação de um cronograma e divulgação de oficinas participativas com a comunidade e posterior instalação de uma comissão com representantes comunitários que poderão acompanhar de forma mais direta e frequente o projeto de intervenção, criando assim uma base participativa para a gestão democrática do território. O senso de pertencimento por parte da população é um aspecto muito importante e que levará a comunidade a apropriar-se do espaço, preservando-as e ajudando na manutenção básica (limpeza) das mesmas.

Sugere-se, portanto, que profissionais capacitados (como assistentes sociais, sociólogos ou educadores locais) sejam contratados ou mobilizados para fazer o levantamento das demandas e problemas sociais locais. Uma vez identificados, no território, os principais interlocutores, podem ser realizadas oficinas públicas sobre o projeto e para criação de comissão pública de acompanhamento, que seja representativa em relação ao

território e suas demandas. Um dos métodos para esta caracterização é a realização de oficinas participativas, nas quais se possa estabelecer um diálogo entre os atores sociais diretamente afetados pela intervenção a ser realizada, os autores do projeto e a Municipalidade. Considerar, depois das oficinas participativas, o aporte

derivado desse diálogo e estabelecer uma comissão de acompanhamento, representativa da população do lugar.

Para tanto, os seguintes fatores devem ser considerados na análise:



Evolução histórica da área e dinâmicas de urbanização

- Identificação de áreas disponíveis para implantação da estrutura das SbN a serem projetadas.
- Levantamento histórico da região, considerando a inserção regional, dinâmicas sociais e ambientais e os reflexos desses fatores no espaço construído;
- Análise histórica da ocupação do território a partir dos seus elementos estruturadores.



Meio social e econômico

- Estudo da divisão administrativa, limites, presença de áreas urbanas, áreas rurais, unidades de conservação ou outros;
- Caracterização do uso e ocupação do solo, com foco nas classes de interesse;
- Análise da dinâmica econômica, abrangendo o perfil da produção, setores e fluxos de insumos e produtos mais relevantes que podem, eventualmente, influenciar no uso e ocupação do solo, inclusive de infraestrutura de transporte e outros;
- Estudo da dinâmica demográfica e de domicílios, perfil e padrão de ocupação (público, privado, propriedades rurais de pequeno, médio ou grande porte) e tendências futuras;
- Avaliação da prestação de serviços básicos de saneamento em seus quatro componentes (água, esgoto, resíduos e drenagem);
- Organização socioespacial do mosaico populacional e comunitário para a identificação de: grupos e movimentos sociais, coletivos ligados à promoção da cultura, comunidades indígenas e quilombolas, e possíveis stakeholders, entre outros atores de representação comunitária; esse mapeamento facilitará o chamamento da população para a realização de um processo participativo de planejamento e projeto;

- Mapeamento de escolas, centros públicos da criança e da juventude para fins de promoção de uma Educação para o Ambiente e a Paisagem;
- Mapeamento dos grupos e organizações sociais locais que já interagem com o ambiente da intervenção para o estabelecimento de diálogo comunitário;
- Caracterização das organizações e projetos públicos que já incidem com políticas públicas no território, especialmente assistência social, saúde e educação. Considerar também se há projetos de mobilidade urbana, coleta de resíduos ou outras ações públicas.



Legislação em projetos urbanos

- Levantamento das normas jurídicas e instrumentos legais, vinculados ao Direito Ambiental e Urbanístico, e, em especial, atos de competência municipal. A exemplo do Plano Diretor (que define instrumentos de planejamento urbano) e outras legislações relativas ao Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município;
- Análise das políticas nacionais e seus impactos no âmbito local, em especial no que se refere à área verde urbana e à proteção dos recursos hídricos;
- Identificação de processos administrativos que possibilitem a revisão dos instrumentos legais voltados às SbN.



Meio biofísico

- Identificação das áreas vegetadas significativas, para delimitar as áreas com restrições ao processo de urbanização em cartas de aptidão, bem como verificar a possibilidade de incorporá-las ao projeto;
- Levantamento da biodiversidade (fauna e flora) endêmica e regional de forma a utilizar as espécies mais adequadas ao contexto;
- Diagnóstico da relação entre ambiente construído e meio natural, com identificação de áreas de conflito entre a ocupação urbana, qualidade ambiental e recursos naturais;
- Diagnóstico, com métricas, da composição e estrutura da paisagem;
- Identificação da situação dos remanescentes de vegetação;
- Levantamento das áreas de risco, uma vez que possíveis solapamentos de solo podem ser controlados com determinadas SbN;
- Análise do tipo de solo com identificação da capacidade de infiltração e suscetibilidade à erosão.



Infraestrutura, equipamentos e serviços urbanos

- Levantamento da infraestrutura viária que pode interferir na área disponível para a SbN, bem como contribuir à poluição difusa;
- Caracterização do uso do solo por predominância de forma a compreender o processo de apropriação das SbN pela população;
- Análise das condições de saneamento ambiental (com levantamento da rede de abastecimento de água, rede de coleta de esgoto, drenagem, coleta e destinação de resíduos sólidos; ecopontos) que influenciam na carga de poluição pontual ou difusa;
- Caracterização das precariedades habitacionais (presença de cortiços e ocupações irregulares);
- Densidade populacional vis-à-vis densidade construtiva;
- Análise da distribuição espacial das populações do entorno da região em estudo, com atribuição de valores econômicos para a melhoria prevista na qualidade de vida (menos perdas por inundações e alagamentos, menos abstenção por problemas de saúde etc.);
- Identificação de edificações (e suas respectivas fundações) a serem protegidas, das quais devem ser mantidas a distância mínima de 2 metros das SbN;
- Identificação de interferências subterrâneas que possam afetar a estrutura a ser implantada, assim como, as estruturas existentes às quais o projeto a ser implantado possa oferecer algum risco.
- Com esse levantamento, e a partir da categorização da bacia hidrográfica, pode ser proposto um plano e projeto para os espaços livres com seleção de SbN ideais para cada contexto, como veremos no passo a seguir.



Parque Central em Santo André/SP, arquitetos paisagistas: Raul Pereira e Martha Gavião (Foto: Paula Martins Vicente, 2010)

Passo 2 Definição das Soluções baseadas na Natureza

Após a conclusão do diagnóstico hidrológico-hidráulico e da avaliação das condicionantes urbanas, socioeconômicas e ambientais realizada no **Passo 1**, definem-se os objetivos do projeto. Uma vez definidos, inicia-se a etapa de seleção de Soluções baseadas na Natureza (SbN) que melhor se adequam às demandas específicas identificadas.

Neste Catálogo são apresentadas SbN que podem ser aplicáveis a diferentes contextos urbanos, em específico a espaços livres. Cada infraestrutura deve ser adaptada às necessidades, características e ambiências locais previamente analisadas. Sua implantação deve ser executada e acompanhada por profissionais técnicos capacitados de áreas correlatas.

A decisão sobre qual SbN adotar deve ser baseada em uma análise de diversos dados, incluindo a localização do projeto, as características do solo (pedologia) e as condições hidrológicas.

Cabe destacar que o Catálogo dividiu as SbN em 2 grandes grupos, as do primeiro, elencadas na **Tabela 1**, são voltadas à mitigação de inundações e/ou fitorremediação das águas, já as do segundo, elencadas na **Tabela 2**, são voltadas a contenção de encostas.

Grupos

Grupo 1: SbN mitigação de inundações e/ou fitorremediação das águas

Grupo 2: SbN voltadas a contenção de margens de córregos e rios, taludes e encostas

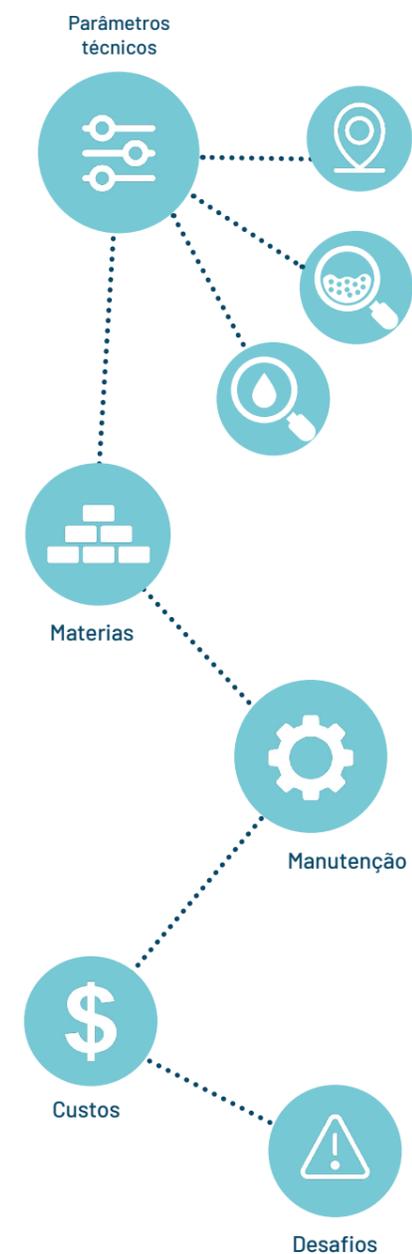


Diagrama de apresentação dos critérios de seleção dos dispositivos de SbN.

Grupo 1

**SbN voltadas à mitigação
de inundações e/ou
fitorremediação das águas**

**Grupo 1:
SbN mitigação de inundações e/ou
fitorremediação das águas**

Para auxiliar na escolha das SbN voltadas a mitigação de inundações e/ou fitorremediação das águas, sugere-se a utilização dos critérios elencados na Tabela 1. A tabela oferece uma avaliação do grau de aptidão – se recomendado, possível ou não recomendado⁴ – de cada SbN, segundo as camadas

de localização, pedologia/topografia e hidrologia. Os detalhes dessas camadas de informação são explicados adiante.

Para cada SbN há uma ficha onde são descritos os parâmetros técnicos para escolha e informações de pedologia, topografia e hidrologia, localização estratégica, materiais necessários, vegetação, manutenção, custo da implantação e os desafios possíveis no planejamento e execução.

PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:

LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA

PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA

- Permeabilidade do Solo e condutividade hidráulica em mm/h
- Declividade
- Carga de sedimentos
- Tipo de solo
- Características do Terreno / Cadastro de interferências

HIDROLOGIA

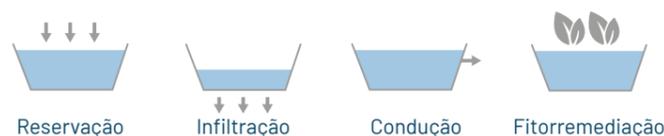
- Controle de vazão/capacidade de interceptação
- Nível do lençol freático
- Drenagem e escoamento das águas

MATERIAIS NECESSÁRIOS

MANUTENÇÃO

CUSTO DA IMPLANTAÇÃO

DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO



⁴ Dados da tabela baseados nos estudos autorais da equipe deste Catálogo GIZ; RIGHETTO (2009)



Tabela 1 Critérios para definição de SbN segundo camadas de informação, de localização, pedologia e hidrologia.

Grau de aptidão para receber dispositivos de SbN: ■ Recomendado ■ Possível ■ Não recomendado

DISPOSITIVOS DE SbN			Jardim de chuva	Canteiro Pluvial com infiltração	Canteiro Pluvial sem infiltração	Biovaleta	Terraço de chuva	Escada hidráulica vegetada	Poço de infiltração	Bacia de Detenção	Bacia de Retenção	Bacia de Infiltração	Wetlands	Reservatório Anfíbio	Polder Vegetado	Step Pool		
PEDOLOGIA E TOPOGRAFIA	Permeabilidade Solo (condutividade hidráulica em mm/h)	Solo infiltrante (> 3,6 mm/h)	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	
		Solo não infiltrante (< 3,6 mm/h)	Recomendado	Não recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível
	Declividade	0 a 5%	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
		> 5%	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Não recomendado	Recomendado	Não recomendado	Possível	Possível
	Carga de sedimentos	Aporte de sólidos baixo	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Recomendado
		Aporte de sólidos elevado	Não recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Possível	Possível	Não recomendado	Não recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Possível
	Tipos de Solo (grupos hidrológicos de solos, cf. Serviço de Conservação dos Recursos Naturais - Estados Unidos (NRCS-USDA))	Grupo A Taxa de infiltração > 8 mm/h	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	Possível	Possível	Possível
		Grupo B Taxa de infiltração entre 4 e 8 mm/h	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	Possível	Possível	Possível
		Grupo C Taxa de infiltração entre 1,5 e 4 mm/h	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Recomendado	Possível	Possível	Possível
		Grupo D Taxa de infiltração < 1,5 mm/h	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Possível	Recomendado	Possível	Possível	Possível
LOCALIZAÇÃO	Susceptibilidade a alagamentos e inundações	Área permanentemente alagada	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	
		Área alagável	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		Áreas destinadas a reservação	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
	Sistema viário	Calçadas	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado
		Rotatórias	Recomendado	Possível	Possível	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado
		Esquinas	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado
		Canteiro central	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Possível	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado
	Tamanho do lote	< 100 m ²	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
		> 100 m ²	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
	Sob laje	Sob laje	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Possível	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	
HIDROLOGIA	Controle de vazão/ capacidade de interceptação	TR 2 - 5 anos	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		TR 5 - 10 anos	Recomendado	Possível	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		TR 10 - 25 anos	Possível	Possível	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		TR 25 - 100 anos	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	
	Proximidade ao lençol freático	< 1 m Planície Aluvial	Não recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Não recomendado	Possível	Recomendado	Não recomendado	Possível	Não recomendado	Recomendado	Possível	
		> 1 m	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
	Drenagem e escoamento das águas	Detenção	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		Retenção	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Não recomendado	Possível	
		Condução	Possível	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	
		Infiltração	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Não recomendado	Recomendado	Não recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	Possível	Não recomendado	Não recomendado	

MODELO DE FICHA TÉCNICA

As fichas com as diferentes SbN foram descritas conforme detalhado abaixo:

Descrição das fichas de SbN elencadas na Tabela 1: Jardim de chuva, Canteiro pluvial, Biovaleta, Terraço de chuva, Escada vegetada, Bacia de detenção, Bacia de retenção, Bacia de infiltração, Sistema de alagado construído, Ilha filtrante construída, Reservatório anfíbio, Pôlder Vegetado, Step pool,

NOME E FIGURA DA SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA

DESCRIÇÃO GERAL:

Definição do conceito e objetivos da SbN



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:

(estruturado pelas camadas de informação das Tabela 1)



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Refere-se a qual espaço livre é ideal para receber a SbN. Esta camada trata da disponibilidade de espaço para implantação das SbN e definição de locais estratégicos para captação do escoamento superficial de águas urbanas.

O método sugere verificar em qual espaço livre a SbN será aplicada para sua escolha ideal, especificando se será em sistema viário, lote e/ou sob laje, em margens fluviais, encostas ou taludes. É de suma importância a análise do terreno e demais critérios relacionados ao escoamento das águas pluviais para se determinar as SbN a serem

implantadas de maneira eficaz e trabalhando como rede sistêmica que possa ser replicada em diversas escalas. Dentro do sistema viário, cada trecho (calçadas, rotatórias, esquinas, canteiro central) tem uma potencialidade estratégica para os diferentes dispositivos de drenagem. As calçadas podem receber SbN voltadas à infiltração das águas pluviais, como canteiros pluviais; já canteiros centrais são excelentes áreas para biovaletas que promovem o encaminhamento de águas pluviais; e rotatórias são ideais para as bacias de detenção.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Para que o sistema de drenagem alcance bons resultados é necessário que seja dimensionado considerando todas as variáveis de entrada, de saída e de estado envolvidas. A variável de entrada é o volume de escoamento superficial direto (ESD) conduzido para o sistema, função da chuva de projeto, da área conectada e da taxa de impermea-

bilização da mesma. Como variável de estado, tem-se o volume amortecido, durante o tempo de operação do sistema. Como variáveis de saída, tem-se a infiltração e a vazão excedente para a rede de drenagem. A análise da infiltração é componente fundamental do sistema, sendo definida a partir das propriedades do meio poroso,

estas determinadas por ensaios de caracterização do solo, principalmente: ensaio de análise granulométrica, que determina o percentual de argila, silte, areia e pedregulho presentes na amostra e ensaio de permeabilidade, que determina a velocidade de percolação da água no solo. Estes dados consistem em critérios referentes à permeabilidade do solo e à capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo (mm) e carga de sedimentos. Para escolha dos diferentes dispositivos de drenagem, é importante realizar o perfil pedológico do local e, então, escolher o dispositivo adequado de acordo com o tipo de solo. Conforme os dados:

Permeabilidade do Solo e condutividade hidráulica em mm/h:

Para avaliar a infiltração de águas pluviais, é necessário estudar a condutividade hidráulica saturada no local do projeto. A condutividade hidráulica é uma propriedade que governa o movimento da água no solo. Ela é igual, numericamente, ao volume de água que atravessa verticalmente, em um segundo, uma amostra de solo de dimensões $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$, sob uma diferença de potencial total de 1 J/m^3 . Trata-se, portanto, de um coeficiente que expressa a facilidade com que a água é transportada através do solo (Libardi, 2018). O movimento da água é mais lento no solo não saturado do que no solo saturado, devido às descontinuidades dos poros com água e ar. Desta forma, quando a umidade do solo é igual à de saturação, sua condutividade hidráulica é máxima. (Libardi, 2018). Para determinar a condutividade hidráulica saturada dos solos deve ser realizado o ensaio de permeabilidade a carga constante normalizado pela NBR-13292, fundamentado na lei de Darcy, que relaciona a velocidade de escoamento com o coeficiente de condutividade hidráulica, o comprimento da amostra de solo e a carga hidráulica em que é submetida. Referências indicam que solos com condutividade hidráulica entre 10^{-3} e 10^{-6} m/s (maior que $3,6 \text{ mm/h}$) possuem

maior aptidão à implantação de técnicas de infiltração (Righetto et al., 2009). As SbN podem, entretanto, ser aplicadas em solos com valores inferiores a estes, desde que combinadas com técnicas de armazenamento que propiciem um tempo de retardo suficiente para compensar, em parte, o menor tempo de infiltração que esses solos irão possibilitar. Um exemplo dessas técnicas são camadas de armazenamento em reservatório de pedras.

Declividade:

Influencia na escolha da SbN, uma vez que vias com inclinação maior que 5% não permitem o tempo necessário para a infiltração das águas. Em alta declividade, onde há risco de erosão e deslizamento de encostas, é possível utilizar soluções como terraços de chuva, que trabalham com contenção e tratamento das águas, de forma a proteger os taludes. Tais soluções podem ser utilizadas em variadas escalas, levando-se em conta a altura das barragens e dissipação de energia, bem como os custos para sua implantação. É possível empregar outras formas para contenção de taludes e encostas, como gabiões vegetados. De acordo com a localização, tais SbN podem ser implementadas pontualmente ou em sistema, seja com a repetição da mesma solução ou de soluções combinadas, a depender da análise das características e necessidades do local.

Carga de sedimentos:

Quando há um aporte de carga de sedimentos elevada recomenda-se não utilizar dispositivos voltados ao escoamento superficial das águas, evitando elevada taxa de manutenção para limpeza de eventuais sedimentos e sólidos grosseiros. Em locais com alta carga de poluentes, os dispositivos de infiltração de águas pluviais devem ser utilizados a partir de um projeto rigoroso de fitorremediação, de forma a evitar a contaminação do solo e das águas subterrâneas, bem como elevada manutenção frente à possível rápida colmatação do solo.

Tipo de solo:

Uma informação pedológica importante é a classificação hidrológica dos solos⁵. Uma forma prática e comumente aplicada é a classificação dos solos em Grupos Hidrológicos de Solos, propostas pelo Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (do inglês, NRCS, antigo Serviço de Conservação do Solo – SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), cujo sistema foi adaptado, ao longo dos anos, por diferentes autores para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), destacando-se o trabalho de SARTORI et al. (2005).

Na classificação do NRCS, os solos do grupo A são aqueles com alta taxa de infiltração (maior que 7,62 mm/h), enquanto os solos dos grupos B, C e D apresentam taxas progressivamente menores, sendo que os solos menos permeáveis, do grupo D, têm taxas de infiltração inferiores a 1,27 mm/h (SARTORI et al, 2005). Comparando-se com a classificação de solos quanto à sua condutividade hidráulica (RIGHETTO et al., 2009) pode-se considerar que os solos dos grupos A e B – que têm taxas de infiltração maiores que 3,81 mm/h (SARTORI et al, 2005) – são os mais aptos a receberem SbN voltadas ao incremento da infiltração.

Enquadram-se nestas duas classes todos os tipos de latossolos, argissolos vermelho ou vermelho-amarelo que não apresentam mudança textural abrupta, nitossolo vermelho e neossolo quartzarênico. Para dimensionar um sistema de infiltração que alcancem bons resultados é necessário realizar ensaios de caracterização do solo, como o ensaio de análise granulométrica, que determina os percentuais de argila, silte, areia e pedregulho presentes em uma determinada amostra.

Cabe ressaltar que a fração grossa do solo (pedregulho e areia) é muito mais permeável do que a fração fina (argila e silte) e, por isso, é preferível na composição das SbN para possibilitar a infiltração

de um volume de água pluvial a taxas adequadas. No entanto, outras características interferem nesse processo, tais como o grau de compactação do solo, dentre outras, de modo que, além do ensaio de granulometria, faz-se necessário realizar o ensaio de permeabilidade e testes de infiltração para melhor caracterizar o meio poroso e permitir o melhor dimensionamento da SbN.

Solos arenosos com alta capacidade de percolação, por exemplo, são ideais para dispositivos que atuam principalmente na infiltração de água. Já em solos com baixas taxas de infiltração, podem ser usados dispositivos de infiltração associados a reservatórios de pedras que promovam o armazenamento temporário das águas, para equilibrar o tempo de amortecimento com o tempo de infiltração das águas em solos com menor percolação.

É importante prever extravasores ligados ao sistema de águas pluviais (deve-se estudar sua capacidade de receber escoamentos) que são essenciais para que a lâmina d'água não permaneça por demasiado tempo no sistema, mantendo a eficiência da drenagem. Nas soluções pensadas de forma estanque, a função de amortecimento fica restrita, principalmente, à camada drenante mineral, como será visto nos canteiros pluviais.

Características do Terreno / Cadastro de interferências:

Implementação requer, principalmente quando inseridos em áreas urbanas consolidadas que seja averiguada a presença de quaisquer instalações interferentes antes do início das obras; ou ainda, se possível, durante a fase de projeto, verificar se podem ser realocadas ou readequadas à configuração do projeto. Atentando-se para as características e interferências do terreno:

- **Presença de instalações subterrâneas:** deve-se atentar à presença de instalações subterrâneas (rede de energia elétrica, de telefonia ou de esgoto) e analisar a possibilida-

de de serem realocadas ou adequar a configuração do projeto. Quando inseridas em áreas urbanas consolidadas, há a necessidade de averiguar a presença de quaisquer instalações antes do início das obras ou ainda, se possível, durante a fase de projeto, a análise pode ser realizada in loco ou por meio de documentações dos órgãos responsáveis. O mesmo ocorre para a implantação das SbN em terrenos amplos destinados a parques urbanos e/ou lineares, a cooperação entre secretarias e órgãos de governo para troca de documentações e informações são essenciais para um bom planejamento da drenagem sustentável do projeto.

- **Arborização existente:** deve-se analisar no local de implantação das SbN quanto à presença de arborização existente no local; é necessário certificar-se de que a arborização está ou é uma espécie adaptada às condições de solos úmidos, caso contrário, a mesma pode sofrer por estas alterações no solo e ter sua saúde prejudicada e, a longo prazo, pode morrer e causar maiores danos ao local caso venha a cair.

HIDROLOGIA:

Refere-se aos dados necessários para seleção da SbN adequada. Devem ser analisados: a chuva e vazão de projeto; a profundidade do lençol freático e como será o encaminhamento das águas do escoamento superficial (retenção, condução e infiltração). Conforme dados:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

SbN distribuídas pela bacia hidrográfica e incorporadas à paisagem urbana fornecem ganhos diversificados aos centros urbanos se implantados de forma sistêmica e redundante. Para o controle de pequenas vazões (por exemplo, chuvas com TR de até 10 anos), as estratégias SbN difundidas no âmbito da bacia são eficientes, e ainda têm o potencial de proporcionar simultaneamente benefícios ecossistêmicos e paisagísticos. Para chuvas com tempos de recorrência maiores (TR

- Local de destino do volume excedente de Escoamento Superficial Direto – ESD: as SbN devem possuir condutos para encaminhar a cheia excedente para a rede de drenagem ou curso d'água próximos, de modo a evitar extravasamento para as áreas adjacentes que poderiam causar transtorno e riscos. Nas localidades onde não há a presença de rede de drenagem ou curso d'água próximo para efetuar a descarga do volume excedente, deve-se avaliar a capacidade de infiltração e armazenamento somadas e comparar com o volume de cheia para o Tempo de Recorrência considerando e verificar alternativas para o encaminhamento da cheia excedente. Se for inviável assimilar a totalidade do ESD por meio da infiltração, armazenamento e encaminhamento da cheia excedente de maneira segura, deve-se avaliar a viabilidade da instalação do dispositivo, considerando todos os riscos envolvidos.
- Disponibilidade de área: deve-se analisar cada local de acordo com suas necessidades e características para se escolher a melhor opção projetual. O projeto, seja em vias, calçadas, parques, entre outros, deve seguir as normas urbanísticas locais.

maior que 10 anos), conhecidas por produzirem maiores volumes de água, bacias e/ou reservatórios com usos múltiplos são ideias interessantes para soluções de macrodrenagem das cidades.

Nível do lençol freático:

Esse fator influencia diretamente na escolha do tipo de SbN a ser implantada em cada local, uma vez que sua profundidade interfere na capacidade de armazenamento das camadas minerais e de infiltração no solo. Para as SbN destinadas à coleta e absorção da água se faz necessária a análise do nível do lençol freático para identificar qual a solução mais adequada para a intervenção e qual sua profundidade máxima. A profundidade superficial pode representar riscos quando se trata do emprego de estruturas de infiltração, uma vez que podem saturá-las durante eventos pluviais longos, havendo ainda o risco de contaminação de

⁵ SARTORI et al. (2005) adaptaram a classificação hidrológica de solos desenvolvida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) para o contexto dos solos ocorrentes no Brasil.

águas subterrâneas (RIGHETTO et al, 2009). Recomenda-se o emprego dessas soluções, quando não estanques, apenas quando o nível d'água máximo (NAM_{ax}) dos lençóis no período chuvoso encontra-se a pelo menos 1 m abaixo da superfície dos terrenos. Onde o nível do lençol freático é alto deve-se avaliar qual será a eficácia do sistema uma vez que a infiltração será comprometida, necessitando assim, de tubulação para conectar à rede convencional de drenagem; o mesmo também deve ser estanque, ou seja, com paredes nas laterais e fundo do sistema, evitando que a água do lençol adentre na estrutura. Caso não tenha acesso às informações de profundidade



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

São os recursos materiais necessários à implantação da SbN, como areia, pedras, vegetação, geotêxtil, dentre outros. Cabe destacar que os Geotêxteis são mantas de material sintético quem têm tripla finalidade: funcionar como camada filtrante, contribuir estruturalmente e prevenir a colmatação, que é o entupimento dos vazios da estrutura por partículas presentes na água de escoamento superficial direto afluente à mesma. Tais materiais são, portanto, extremamente úteis e recomendados na composição de estruturas de SbN, sendo de fácil instalação, custo-benefício vantajoso, pequena espessura e possibilitam o

do lençol freático no local a se instalar a SbN, deve-se verificar a existência de corpo d'água a menos de 50 m ou se o mesmo será implantado dentro da planície aluvial; em caso positivo de uma das duas situações, ou ambas, a infraestrutura deverá ser estanque com dreno de escoamento. Já nas situações em que a SbN estiver a mais de 50 m de corpo d'água, fora de planície aluvial, o mesmo não necessita, a priori, ser estanque, seja o solo existente permeável ou não.

Drenagem e escoamento das águas:

Divididas pela capacidade de infiltração, detenção, condução e retenção das águas.

controle de qualidade permitindo propriedades hidráulicas adequadas, características estas que endossam a utilização deste material em sistemas filtrantes. O correto funcionamento dos geotêxteis como filtros depende de atender critérios mecânicos e de durabilidade e o dimensionamento correto, de modo que a abertura de seus poros atinja a capacidade de retenção do solo e impeça a passagem de partículas do solo. O que se espera desse material é que garanta eficiência hidráulica da SbN, permita a passagem de água e evite a ocorrência de dois fenômenos indesejáveis na estrutura: a colmatação e a erosão retrogressiva.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Estimado a partir de variáveis e parâmetros gerais para obter um custo por m². O custo para viabilizar a implementação de cada uma das SbN possui variáveis a serem consideradas, seja pelo órgão público ou em uma parceria público-privada. Os principais itens de custo são:

- **Área disponível para a implementação da SbN:** custo pode variar conforme a maior necessidade de intervenção e com o tamanho da área de implementação da SbN. O orçamento deve verificar a possibilidade de redução do valor por m², conforme a área de intervenção aumente. Em algumas cidades, tende-se a reduzir os custos dos fornecedores na compra de quantidade maior de material. Caso a área esteja sob tutela de outro órgão, que não o estadual, deve-se considerar ainda, os custos para atuação no terreno;
- **Tipo de solo existente e necessidade de intervir na sua composição:** o tipo de solo existente e o nível do lençol freático podem interferir como uma variável de custo. O próprio solo pode intervir na estrutura, necessitando de paredes de fechamento, tubulações, dentre outros;
- **Desenvolvimento do projeto técnico:** caso não seja realizado pelo próprio corpo técnico da prefeitura e necessite de contratação de empresa e/ou profissional especializado;
- **Mão-de-obra:** em situações em que não há profissionais da prefeitura disponíveis para realizar o serviço, deve-se levantar os custos destes profissionais;
- **Escavação:** averiguar se o serviço será realizado manualmente ou por maquinário e levantar custos atribuídos a cada uma das escolhas através da necessidade local;
- **Transporte de materiais:** sugere-se o reaproveitamento de materiais, quando não contaminados, para o próprio sistema reduzindo, assim, o custo com transporte de resíduos. Como exemplo, o concreto a ser removido de uma calçada para abertura de canteiro pluvial pode ser reaproveitado na camada inferior filtrante no lugar da brita/pedra de mão;
- **Blocos de sarjeta e meio fio:** custo variável de acordo com projeto e necessidades previstas ao local.
- **Canaletas e condutores:** custo variável de acordo com projeto e necessidades previstas ao local;
- **Solo, areia, brita, geotêxtil:** o custo total dos itens pode variar de acordo com as dimensões da infraestrutura e necessidade de aumentar determinada camada e reduzir outra;
- **Vegetação:** o custo final destinado para vegetação pode variar de acordo com as dimensões da infraestrutura e espécies utilizadas;
- **Materiais específicos a SbN:** como bombas são itens de custo variável, o valor pode variar de acordo com projeto e necessidades previstas ao local.

Os itens acima são um direcionamento das possíveis variáveis pois, para cada SbN e situação projetual o custo pode variar de acordo com as necessidades locais, parâmetros de projeto e demais definições. Sempre há possibilidade de minimizar custos durante a obra. Portanto, o profissional responsável pelo projeto deve estar atento às possibilidades de reutilização de materiais existentes in loco (reduzindo, assim, os custos com insumos e transporte de resíduos); definição de espécies adequadas (reduzindo sua taxa de mortalidade e projeto adequado ao local para diminuir a necessidade de manutenções futuras). Um sistema de SbN deve prever, ao longo do tempo, a redução da manutenção da infraestrutura.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Estão divididos por desafios frente à escolha do terreno, colmatação, vegetação adequada, qualificação dos técnicos e políticas públicas. Brevemente, a Colmatação é o processo de obstrução do sistema filtrante, geralmente pelas próprias partículas do solo, quando recebe o nome de colmatação física, mas também pode ser biológica (pela aderência de microrganismos) ou mesmo química (pela obstrução por óxido de ferro). Erosão retrogressiva (ou piping) é o processo de carreamento do solo através do sistema filtrante, que pode resultar na ruína da estrutura. Ambos os fenômenos são esperados durante o início da operação do sistema, mas é necessário o correto dimensionamento do meio filtrante para evitar a continuidade deste processo durante a vida útil da estrutura. É possível mensurar o potencial de colmatação de um geotêxtil em um determinado meio a partir de ensaios de laboratório com a utilização de permeômetros, que são cilindros de pequenas dimensões utilizados para replicar o meio filtrante empregado em campo, fazendo fluir água através do permeômetro e calculando a evolução da permeabilidade ao longo do tempo. Então, são elaborados para o monitoramento do sistema, gráficos de permeabilidade pelo tempo.

A seguir, são apresentadas as SbN voltadas a espaços livres, com suas características, critérios para escolha e recomendações.



Diagrama Parque Urbano da Orla do Guaíba em Porto Alegre/RS, escritório Jaime Lerner Arquitetos Associados

- Jardim De Chuva -

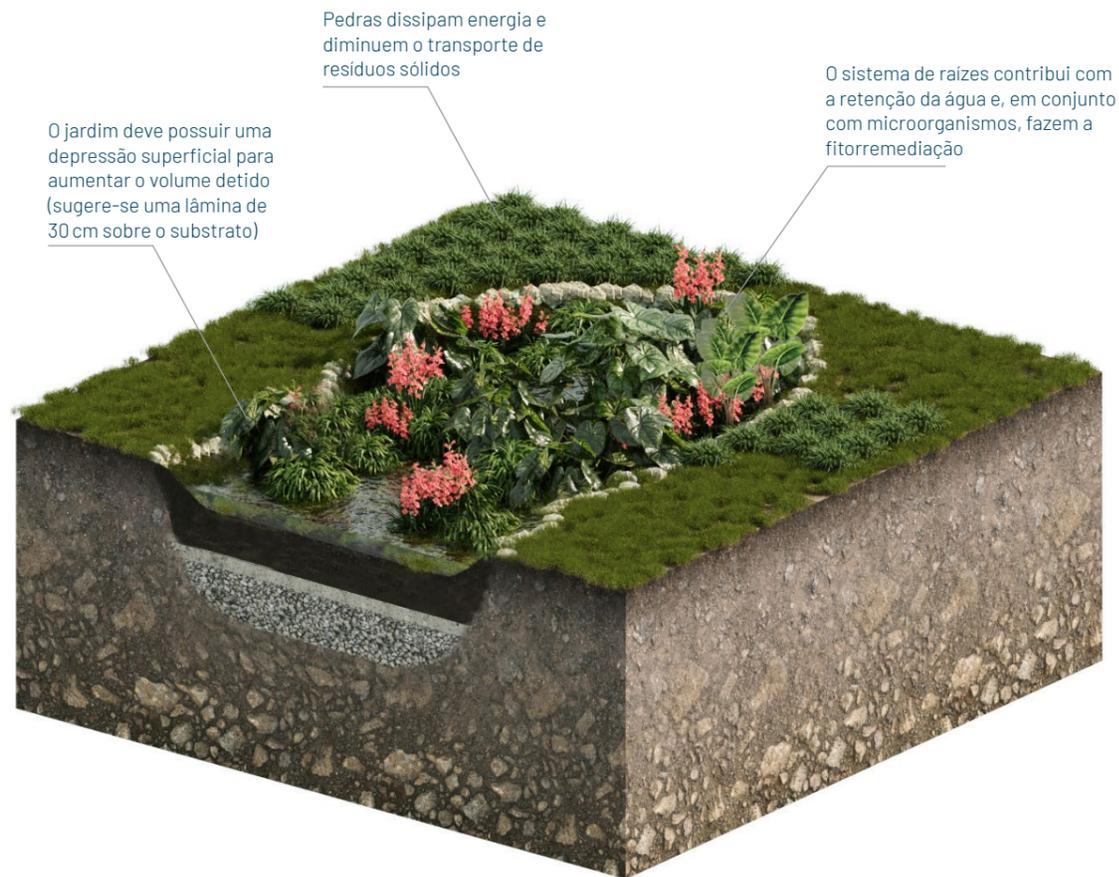


Figura 3 Jardim de chuva (Fonte: Guajava, 2023).

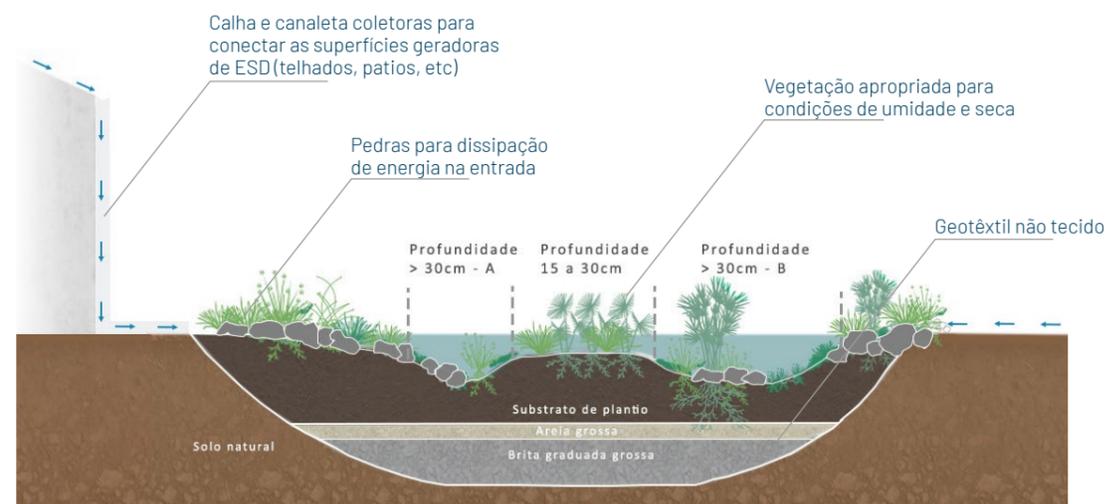


Figura 4 Figura - Jardim de chuva, corte esquemático. (Fonte: Guajava, 2023).

Jardim de Chuva é uma depressão topográfica que possui a finalidade de coletar e absorver o escoamento superficial das águas da chuva, telhados, calçadas, ruas e demais superfícies impermeáveis, contribuindo assim para a redução significativa da quantidade de água direcionada ao sistema convencional de drenagem urbana (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).

A eficiência na contribuição de captação de água se dá por meio dos espaços de armazenamento (criados pelos componentes das camadas filtrantes do jardim, com parte desta água absorvida e filtrada pela vegetação), pelo solo existente (caso o mesmo permita esta absorção) e pela rede convencional de drenagem (quando houver conexão).



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Principalmente em praças e parques. Ideal em áreas destinadas à reservação. Não são sugeridas para o sistema viário, como em calçadas.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Para que o sistema de drenagem alcance bons resultados é necessário que seja dimensionado considerando todas as variáveis de entrada, saída e de estado envolvidas.

A **variável de entrada** é o volume de escoamento superficial direto (ESD) conduzido para o sistema, função da chuva de projeto, da área conectada e da taxa de impermeabilização dela. Como **variável de estado**, tem-se o volume amortecido, durante o tempo de operação do sistema. Como **variáveis de saída**, tem-se a infiltração e a vazão excedente para a rede de drenagem.

A análise da infiltração é componente fundamental do sistema, sendo definida a partir das propriedades do meio poroso, estas determinadas por

ensaios de caracterização do solo, principalmente: **ensaio de análise granulométrica**, que determina o percentual de argila, silte, areia e pedregulho presentes na amostra e **ensaio de permeabilidade**, que determina a velocidade de percolação da água no solo. Cabe ressaltar que a fração grossa do solo (pedregulho e areia) é muito mais permeável do que a fração fina (argila e silte) e, por isso, é preferível na composição das SbN para possibilitar a infiltração de um volume de água pluvial a taxas adequadas. No entanto, outras características interferem nesse processo, tais como o grau de compactação do solo, de modo que, além do ensaio de granulometria, faz-se necessário realizar o ensaio de permeabilidade e testes de infiltração para melhor caracterizar o meio poroso e permitir o melhor dimensionamento da SbN.

Declividade:

Não devem ser implantados em terrenos com declividade superior a 5% para que se obtenha o melhor aproveitamento da SbN. Quando em terreno plano ou de inclinação de até 5% a área destinada à captação e absorção de água é mais eficiente por permitir que a água permaneça no local e seja absorvida adequadamente pela SbN, quanto em terreno com inclinação maior, parte da água passará através do dispositivo e não será absorvida, diminuindo assim seu potencial aproveitamento.

Carga de sedimentos:

O aporte de sólidos no sistema é baixo. Devem ser previstos mecanismos para a retenção de sólidos de modo a prevenir contra o aporte de sedimentos que pode vir a provocar a colmatação. A instalação de filtros e o envelopamento das estruturas com geotêxtil não tecido devem ser considerados.

Tipos de solo:

O sistema se adequa com maior eficácia em solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração e em solos contendo moderada taxa de infiltração e bem drenados, dos grupos hidrológicos de solos A e B⁶, conforme a classificação

hidrológica de solos do Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS, da sigla em inglês) dos Estados Unidos (adaptada para os solos do Brasil por Sartori et al., 2005).

Características do terreno / Cadastro de interferências:

A implementação desta SbN, principalmente quando inserido em áreas urbanas consolidadas, exige que seja averiguada a presença de quaisquer instalações antes do início das obras; ou ainda, se possível, durante a fase de projeto, verificar se podem ser realocadas ou readequadas à configuração do projeto. A análise pode ser realizada in loco ou por meio de documentação dos órgãos responsáveis. O mesmo ocorre para a implantação das SbN em terrenos amplos destinados a parques urbanos e/ou lineares. Neste caso, a cooperação entre secretarias e órgãos para troca de documentação e informações é essencial para um bom planejamento da drenagem sustentável do projeto. Deve-se analisar ainda, a presença de arborização existente no local; é necessário certificar-se de que a árvore seja de uma espécie adaptada às condições de solos úmidos, caso contrário, ela pode sofrer por estas alterações no solo e ter sua saúde prejudicada.

vezes a área superficial do jardim, variando para mais ou para menos em função do grau de impermeabilização das superfícies conectadas.

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto (menos de 1,0 metro de profundidade), a eficácia do sistema será comprometida devido à baixa absorção, sendo assim, sugere-se a utilização de outro dispositivo, como canteiros pluviais estanques, ou seja, com paredes nas laterais e fundo do sistema, evitando que a água do lençol adentre na estrutura.

Drenagem e escoamento das águas:

Os jardins de chuva possuem como principais características de regulação hídrica a infiltração e a retenção. São projetados para que em, no máximo, 72 horas⁷ não haja mais água parada na

superfície do jardim e contam ainda com a evaporação, evapotranspiração e transbordamento.

Sugere-se download da família BIM disponível link: www.guajava.com.br



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Brita ou pedra de mão:

A camada de brita, preferencialmente nº 5, ou a utilização de pedra de mão ou ainda resíduos de concreto removidos do local (sem a presença de componentes contaminantes para o lençol freático) denominada como a camada de armazenamento e de transferência, onde a água é temporariamente acumulada antes de ser destinada ao abastecimento do lençol freático ou direcionada ao sistema de drenagem convencional. Camada principal para armazenamento da água, portanto deve ser destinada maior espessura possível para este material, respeitando a necessidade mínima de substrato para a vegetação.

Geotêxtil:

Este geossintético tem sido largamente empregado para a composição de sistemas drenantes e filtrantes, podendo ser classificado em função do seu processo de fabricação em tecido, não tecido e tricotado. Para que cumpra a função de filtro, deve-se utilizar o tipo não tecido, produto que apresenta suas fibras dispostas em orientação aleatória, o que impede a livre passagem de água através do geossintético. Os geotêxteis são de fácil instalação, baixo custo, pequena espessura e possibilitam o controle de qualidade permitindo propriedades hidráulicas adequadas, características essas que endossam a utilização deste material em sistemas filtrantes.

Areia:

A areia aumenta a porosidade e aeração, auxiliando a infiltração e redistribuição da água no solo. A

camada de areia deve ter ao menos 10 cm espessura, para que possa aumentar a permeabilidade e infiltração da SbN.

Substrato de plantio:

Recomenda-se o uso de composto de terra preta e húmus de minhoca na proporção de 1:1. Pode ser misturado com traço de areia para aumentar sua permeabilidade. A camada de substrato deve ter ao menos 25 cm de espessura para um bom desenvolvimento das plantas.

Pedras do entorno da SbN:

Pode-se utilizar pedra de mão, paralelepípedos, materiais residuais ou de ornamentação no entorno ou nas entradas do dispositivo para a dissipação da energia da água; quando não se utiliza o material, a força da água irá carrear o substrato, terra e a vegetação, danificando o canteiro ao longo do tempo.

Vegetação:

Absorvem nutrientes e água que fluem para o jardim de chuva e liberam vapor de água de volta à atmosfera através do processo de transpiração. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos são ideais; a vegetação indicada está listada no Passo 3 deste Catálogo. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.



HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

Para se definir o tempo de retorno associado à operação da SbN, é necessário realizar os cálculos de acordo com normas municipais considerando a chuva de projeto e as áreas conectadas, incluindo as conexões superficiais diretas e as ligações do sistema de drenagem ao dispositivo. Considera-se, em média, que um jardim de chuva com profundidade da camada de brita entre 0,70 e 1,00 m tem capacidade para acumular, em média, o volume de uma área conectada equivalente a 20

⁶ Que têm taxas de infiltração maiores que 3,81 mm/h (SARTORI et al, 2005).

⁷ Mais informações descritas no Passo 2 deste Catálogo.



MANUTENÇÃO:

- Dar atenção ao acúmulo de sedimentos e resíduos e substituição de vegetação quando necessário;
- Prever quantidade de mudas adicional de de 2 % a 5 % do valor total para mitigar perdas iniciais, devido a mudas que possam morrer logo após o plantio no período de adaptação (ação pontual na implementação);
- Remover os resíduos manualmente⁸ (ação periódica e recorrente);
- Recuperar camadas filtrantes por colmatação da SbN (ação pontual quando não estiver infiltrando).



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variável⁹ entre R\$ 400,00 e R\$ 700,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Dificuldade em obter informações prévias das instalações subterrâneas, muitas vezes interferindo na revisão do projeto após o início das obras.

Colmatação:

Contratação de manutenção para as SbN entre 5 a 10 anos após a implementação para recuperação da sua capacidade de infiltração.

Vegetação adequada:

Disponibilidade de espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

Disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano

⁸ Ação a ser feita por órgão responsável pela manutenção e limpeza da área e/ou por pessoa civil. Indica o incentivo à adoção de áreas verdes urbanas para auxílio na manutenção das mesmas.

⁹ De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais, mão de obra, vegetação.

- Jardim De Chuva -



Figura 5 Jardim de chuva em sistema integrado de SbN implantado no Parque Municipal lago do Nado, Belo Horizonte/MG (Projeto Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, foto: Nereu Jr, 2021)



Figura 6 Jardim de chuva implantado na Praça Tancredo Neves, Contagem/MG (Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, foto: Meridiano filmes, 2021).



Figura 7 Jardim de chuva implantado no Largo das Araucárias, São Paulo/SP (Projeto Fluxus, foto: Fernando Sassioto, 2024).

Figura 8 Jardim de chuva implantado na Umapaz, São Paulo/SP (Projeto Fluxus, foto: Guilherme Castagna, 2024).

- Canteiro Pluvial -

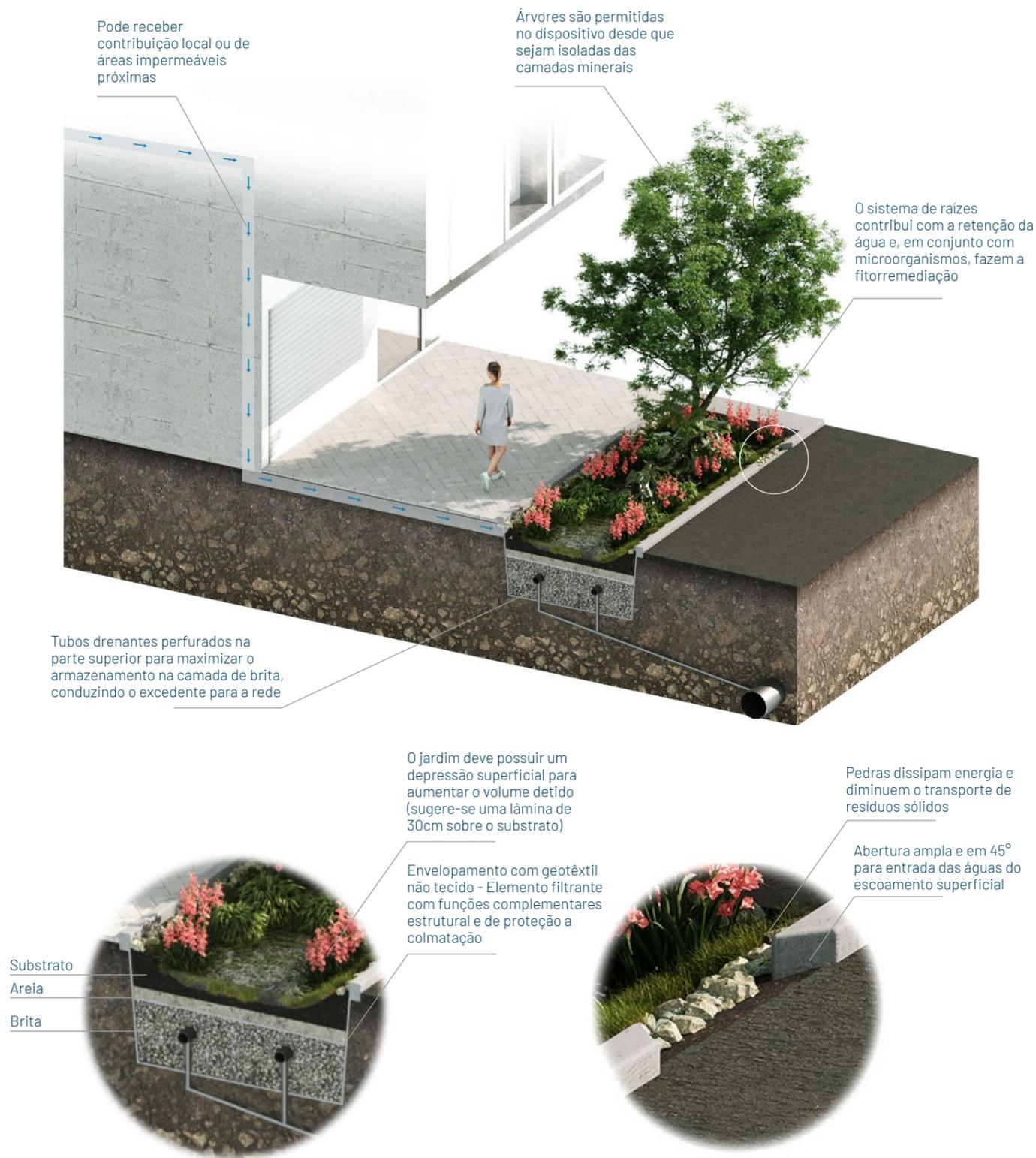


Figura 9 Canteiro Pluvial (Fonte: Guajava, 2023).

Canteiro pluvial é a nomenclatura técnica utilizada para um jardim de chuva que foi compactado em um pequeno espaço urbano disponível (CORMIER; PELLEGRINO, 2008), com a mesma função de realizar a coleta e absorção de escoamento superficial de superfícies impermeáveis. A água coletada para o interior do canteiro pluvial deve ser drenada poucas horas após um evento de chuva leve a moderada e entre 24 a 72 horas após um evento de precipitação, para que não haja a proliferação de insetos, algas e bactérias no local.

Os canteiros pluviais podem ser estanques e, se necessário, podem conter um extravasor (para auxiliar no controle de transbordo do dispositivo) e um duto de conexão com a drenagem convencional existente (para direcionamento do excedente de água captada). Utiliza-se, ainda, pedras para dissipação de energia da água na entrada do dispositivo. Na Tabela 3 são apresentadas as características de cinco possibilidades de concepção projetual para os canteiros pluviais, considerando as variáveis combinadas.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Sistema viário, principalmente, em calçadas, vagas de estacionamento em vias e estacionamento.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Para que o sistema de drenagem alcance bons resultados é necessário que seja dimensionado considerando todas as variáveis de entrada, saída e de estado envolvidas. A variável de entrada é o volume de escoamento superficial direto (ESD) conduzido para o sistema, função da chuva de projeto, da área conectada e da taxa de impermeabilização dela. Como variável de estado tem-se o volume amortecido durante o tempo de operação do sistema. Como variáveis de saída tem-se a infiltração e a vazão excedente para a rede de drenagem. A análise da infiltração é componente fundamental do sistema, sendo definida a partir das propriedades do meio poroso, estas determinadas por ensaios de caracterização do solo, principalmente: ensaio de análise granulométrica,

que determina o percentual de argila, silte, areia e pedregulho presentes na amostra; e ensaio de permeabilidade, que determina a velocidade de percolação da água no solo. Cabe ressaltar que a fração grossa do solo (pedregulho e areia) é muito mais permeável do que a fração fina (argila e silte) e, por isso, é preferível na composição das SbN para possibilitar a infiltração de um volume de água pluvial a taxas adequadas. No entanto, outras características interferem nesse processo - tais como o grau de compactação do solo, dentre outras - de modo que, além do ensaio de granulometria, faz-se necessário realizar o ensaio de permeabilidade e testes de infiltração para melhor caracterizar o meio poroso e permitir o melhor dimensionamento da SbN.

Declividade:

Não devem ser implantadas em terrenos com declividade superior a 5 % para que se obtenha o melhor aproveitamento da SbN. Quando em terreno plano ou de inclinação até 5 % a área destinada à captação e absorção de água é mais eficiente por permitir que a água permaneça no local e seja absorvida adequadamente pelo dispositivo, quanto em terreno com inclinação maior, parte da água passará através do dispositivo e não será absorvido, diminuindo assim seu potencial aproveitamento.

Carga de sedimentos:

O aporte de sólidos no sistema é baixo nas cinco situações ilustradas para canteiros pluviais e sistemas de infiltração quando se utiliza guias acima do nível do passeio. Devem ser previstos mecanismos para a retenção de sólidos de modo a prevenir contra o aporte de sedimentos que pode vir a provocar a colmatagem. A instalação de filtros e o envelopamento das estruturas com geotêxtil não tecido devem ser considerados.

Tipos de solo:

O sistema se adequa com maior eficácia em solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração e em solos contendo moderada taxa de infiltração e bem drenados, dos grupos hidrológicos de solos A e B, conforme a classificação hidrológica de solos do Serviço de Conservação

dos Recursos Naturais (NRCS, da sigla em inglês) dos Estados Unidos (adaptada para os solos do Brasil por Sartori et al., 2005).

Características do terreno / Cadastro de interferências:

A implementação desta SbN, principalmente quando inserida em áreas urbanas consolidadas, exige que seja averiguada a presença de quaisquer instalações antes do início das obras; ou ainda, se possível, durante a fase de projeto, verificar se podem ser realocadas ou readequadas à configuração do projeto. A análise pode ser realizada a partir de dados secundários, por meio da documentação disponibilizada pelos órgãos responsáveis, complementada pela realização de um cadastro de interferências específico.

O mesmo ocorre para a implantação das tipologias em terrenos amplos destinados a parques urbanos e/ou lineares. Neste caso, a cooperação entre secretarias e órgãos para troca de documentação e informações é essencial para um bom planejamento da drenagem sustentável do projeto. Deve-se analisar ainda a presença de arborização no local; é necessário certificar-se de que a árvore seja de uma espécie adaptada às condições de solos úmidos, caso contrário, ela pode sofrer por estas alterações no solo e ter sua saúde prejudicada.

do sistema será comprometida devido à baixa absorção; sendo assim, sugere-se a utilização de tubulação para conectá-lo à rede convencional de drenagem; o canteiro pluvial, neste caso, também deve ser estanque, ou seja, com paredes nas laterais e fundo do sistema, evitando que a água do lençol adentre na estrutura.

Drenagem e escoamento das águas:

Possuem como principal característica de regulação hídrica a detenção, e também de infiltração

quando o sistema não for estanque. São projetados para que em no máximo 72 horas¹⁰ não haja



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

A seguir estão descritos os materiais necessários para as camadas filtrantes do canteiro pluvial em ordem de aplicação na SbN e materiais para dissipação de energia da água:

Brita ou pedra de mão:

A camada de brita, preferencialmente nº 5, ou a utilização de pedra de mão ou ainda resíduos de concreto removidos in loco (sem a presença de componentes contaminantes para o lençol freático) denominada como a camada de armazenamento e de transferência, onde a água é temporariamente acumulada antes de ser destinada ao abastecimento do lençol freático ou direcionada ao sistema de drenagem convencional. É a camada principal para armazenamento da água, portanto deve ser destinada maior espessura possível para este material, respeitando a necessidade mínima de substrato para a vegetação.

Geotêxtil:

Este geossintético tem sido largamente empregado para a composição de sistemas drenantes e filtrantes, podendo ser classificado em função do seu processo de fabricação em tecido, não tecido e tricotado. Para que cumpra a função de filtro, deve-se utilizar o tipo não tecido, produto que apresenta suas fibras dispostas em orientação aleatória, o que impede a livre passagem de água através do geossintético. Os geotêxteis são de fácil instalação, baixo custo, pequena espessura e possibilitam o controle de qualidade permitindo propriedades hidráulicas adequadas, características essas que endossam a utilização deste material em sistemas filtrantes.

¹⁰ Vide mais informações descritas no Passo 2 deste Catálogo.

mais água parada na superfície do canteiro independente da escolha projetual.

Areia:

A camada de areia visa o aumento da infiltração e redistribuição da água no solo. Através da utilização da areia, aumenta-se a porosidade e aeração, auxiliando que a água penetre por esta camada. A camada de areia deve ter ao menos 10 cm de espessura, quando houver disponibilidade de área, para aumento da permeabilidade e infiltração da SbN.

Substrato de plantio:

Composto por terra preta e húmus de minhoca na proporção de 1:1. Pode ser misturado com traço de areia para aumentar sua permeabilidade. A camada de substrato deve ter ao menos 25 cm de espessura para um bom desenvolvimento das plantas.

Vegetação:

Absorvem nutrientes e água que fluem para o canteiro pluvial e liberam vapor de água de volta à atmosfera através do processo de transpiração. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos são ideais; a vegetação indicada está listada no Passo 3 deste Catálogo. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

Pedras no entorno da SbN:

Pode-se utilizar pedra de mão, paralelepípedos, materiais residuais ou de ornamentação no entorno (quando não houver guias) ou nas entradas do dispositivo para a dissipação da energia da água; quando não se utiliza o material, a força da água irá carrear o substrato, terra e a vegetação, danificando o canteiro ao longo do tempo.

HIDROLOGIA

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

Para se definir o tempo de retorno do dispositivo, é necessário realizar os cálculos de acordo com normas municipais, considerando o índice de galeria de águas pluviais públicas à qual a SbN estará correlacionada.

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto (menos de 1,0 metro de profundidade), a eficácia



MANUTENÇÃO:

- Atenção deve ser dada ao acúmulo de sedimentos e resíduos além da substituição de vegetação quando necessário;
- Previsão de quantidade de mudas adicional de 2 % a 5 % do valor total para mitigar perdas iniciais, devido a mudas que possam morrer no período de adaptação logo após o plantio (ação pontual na implementação);
- Remoção de resíduos manualmente¹¹ (ação recorrente);
- Recuperação das camadas filtrantes por colmatação do dispositivo (ação pontual quando o dispositivo não estiver infiltrando)



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação entre R\$400,00 a R\$800,00 por m²



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Dificuldade em obter informações prévias das instalações subterrâneas, interferindo, muitas vezes, na revisão do projeto após o início das obras.

Colmatação:

Contratação de manutenção para os dispositivos entre 5 a 10 anos após a implementação para recuperação da sua capacidade de infiltração.

Vegetação adequada:

Disponibilidade de espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

Disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano.

¹¹ Ação a ser feita por órgão responsável pela manutenção e limpeza e/ou por pessoa civil. Indica-se o incentivo à adoção de áreas verdes urbanas para auxílio na manutenção das mesmas.

- Canteiro pluvial -



Figura 10 Jardim de chuva em sistema integrado de SbN implantado no Parque Municipal Lago do Nado, Belo Horizonte/MG (Projeto Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, foto: Nereu Jr, 2021)

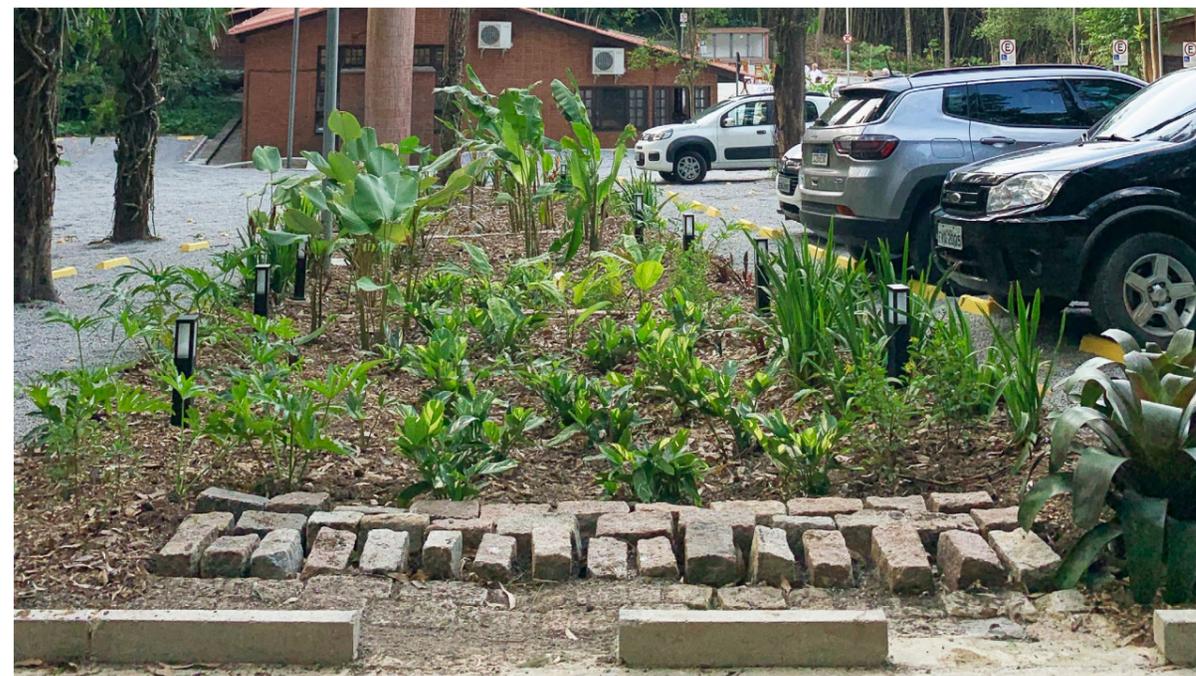


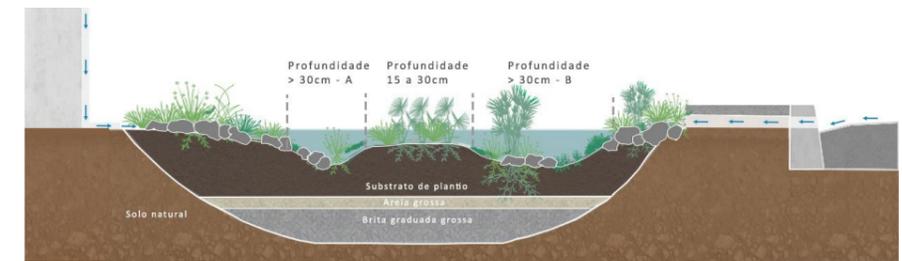
Figura 11 Jardim de chuva implantado na Praça Tancredo Neves, Contagem/MG (Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, foto: Meridiano filmes, 2021).

Table 2 Características de cinco possibilidades de concepção projetual para os canteiros pluviais, detalhadas nas figuras da página seguinte.

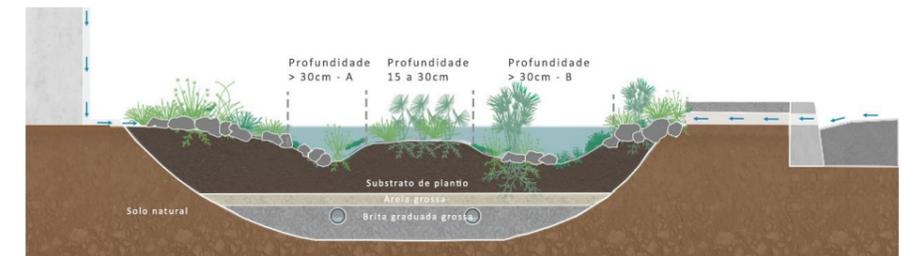
Características do solo	Variáveis dos e canteiros		
	Paredes laterais	Laje de fundo do jardim	Tubo de conexão com drenagem existente
Solo arenoso, infiltração maior que 30 mm/h	Não	Não	Variável conforme a chuva de projeto
Lençol freático baixo: o nível máximo do lençol freático deve ser de até 1 metro abaixo do fundo do dispositivo de infiltração.			
Solo franco arenoso, infiltração entre 20-30 mm/h	Não	Não	Sim
Lençol freático baixo: o nível máximo do lençol freático deve ser de até 1 metro abaixo do fundo do dispositivo de infiltração; verificar condição do solo (impermeável <10 mm/h)			
Solo franco, infiltração entre 10-20 mm/h	Sim	Não	Variável conforme a chuva de projeto
Edificação próxima a menos de 2 metros, fora da planície aluvial			
Solo franco argiloso, infiltração entre 5-10 mm/h	Sim	Não	Sim
Edificação próxima a menos de 2 metros, fora da planície aluvial, verificar condição do solo (impermeável <10 mm/h)			
Solo argiloso, infiltração menor que 5 mm/h	Sim	Sim	Sim
Planície aluvial (lençol freático alto), independente da proximidade de edificações			

Características de cinco possibilidades de concepção projetual para os canteiros pluviais

- Parede lateral
- Laje de fundo
- Tubulação de drenagem



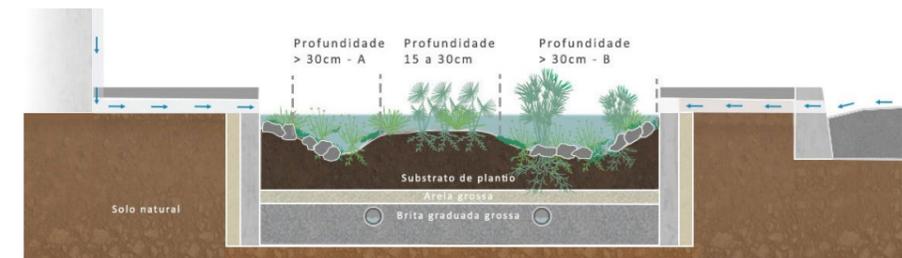
- Parede lateral
- Laje de fundo
- Tubulação de drenagem



- Parede lateral
- Laje de fundo
- Tubulação de drenagem



- Parede lateral
- Laje de fundo
- Tubulação de drenagem



- Parede lateral
- Laje de fundo
- Tubulação de drenagem



- Biovaleta -

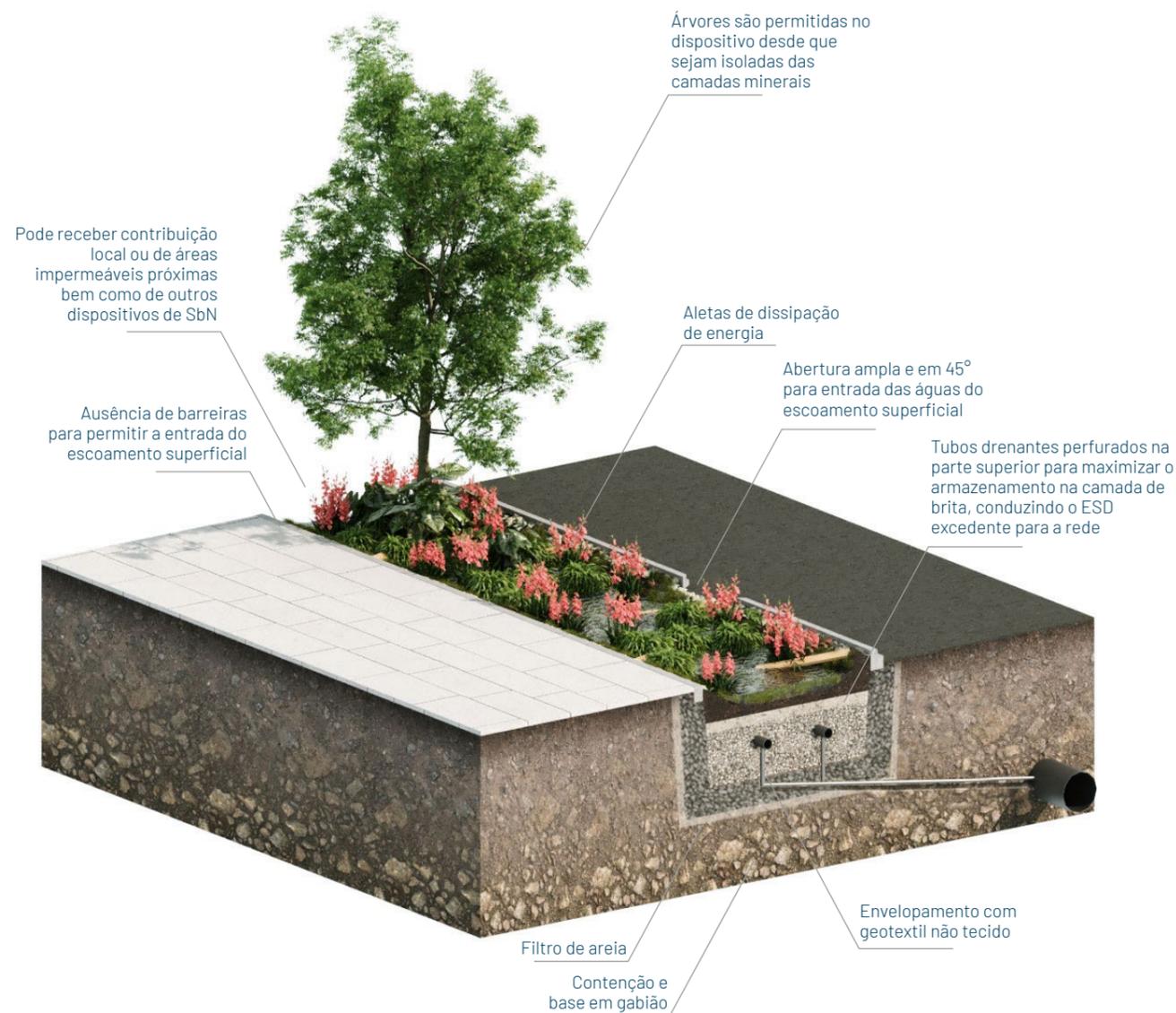


Figura 12 Biovaleta (Fonte: Guajava, 2023).

Biovaleta, ou vala de biorretenção vegetada, são depressões rasas vegetadas (CORMIER; PELLEGRINO, 2008) com laterais inclinadas de configuração linear. A SbN é projetada para coletar, tratar e infiltrar o escoamento de águas pluviais superficiais e ainda pode contribuir para direcionar e conduzir a água para outro sistema (convencional ou sustentável) através da inclinação do terreno. Em áreas mais íngremes, deve-se utilizar barragens (aletas e soleiras) dentro da biovaleta para reduzir a velocidade de escoamento da água, ou ainda outras SbN como escadas hidráulicas vegetadas.

As inclinações laterais graduadas, como os taludes, permitem maior flexibilidade no projeto e no plantio em comparação com as SbN de biorretenção com paredes verticais fixas, como canteiro pluvial e terraço de chuva. Na maioria dos casos, as biovaletas são rasas e não necessitam profundidade maior que 60 cm.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Em canteiros centrais e estacionamentos, locais estreitos para condução da água ou ainda em locais amplos associados a jardins de chuva, canteiros pluviais, pôlder, entre outros.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Não influencia diretamente enquanto um critério para a biovaleta, uma vez que ela atua principalmente, na condução do escoamento superficial das águas pluviais.

Declividade:

Quando implantadas em terrenos com inclinação de até 5%, a eficácia da SbN quanto à detenção e condução das águas estará com melhor aproveitamento; porém, quando inseridos em terrenos com inclinação superior a 5%, é necessário o uso de barramentos para reduzir a velocidade de condução da água e manter sua eficácia elevada sem carrear vegetação e solo. Já o grau de inclinação das laterais da biovaleta (taludes) deve ser definido de acordo com a taxa de erosão do solo, ou ainda com requisitos e preocupações contextuais específicas

do local como, por exemplo, a existência ou não de meio fio e demais especificidades projetuais. Os taludes podem ser diferentes de um lado em relação ao outro.

Carga de sedimentos:

O aporte de sólidos no sistema é baixo.

Tipos de solo:

O sistema se adequa com maior eficácia em solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração e bem drenados, dos grupos hidrológicos de solos A e B, conforme a classificação hidrológica de solos do Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS, da sigla em inglês) dos Estados Unidos.

Características do terreno / Cadastro de interferências:

A implementação desta SbN, principalmente quando inseridas em áreas urbanas consolidadas, exige que seja averiguada a presença de quaisquer instalações antes do início das obras; ou ainda, se possível, durante a fase de projeto, verificando se as mesmas podem ser realocadas ou readequadas

à configuração do projeto. A análise pode ser realizada in loco, a partir de dados secundários, por meio da documentação disponibilizada pelos órgãos responsáveis, complementada pela realização de um cadastro de interferências específico. O mesmo ocorre para a implantação das SbN em terrenos amplos destinados a parques urbanos e/ou lineares.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

Para se definir o tempo de retorno do dispositivo, é necessário realizar os cálculos de acordo com normas municipais, considerando o índice de galeria de águas pluviais públicas à qual a SbN estará correlacionada.

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto (menos de 1,0 metro de profundidade), a eficácia do sistema será comprometida devido à baixa absorção; sendo assim, sugere-se a utilização de tubulação para conectar à rede convencional de

drenagem; a SbN neste caso também deve ser estanque, ou seja, com paredes nas laterais e fundo do sistema, evitando que a água do lençol adentre na estrutura.

Drenagem e escoamento das águas:

Possuem como principais características de regulação hídrica a detenção e condução das águas, além da infiltração. Podem estar em associação a tubulações de drenagem convencionais ou outras SbN como jardins de chuva, canteiros pluviais, pôlder, entre outros. O sistema deve estar livre do acúmulo de água em, no máximo, 72h após ocorrência de chuva.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Brita ou pedra de mão:

A camada de brita, preferencialmente nº 5, ou a utilização de pedra de mão ou ainda resíduos de concreto removidos in loco (sem a presença de componentes contaminantes para o lençol freático). Denominada como a camada de armazenamento e de transferência, onde a água é temporariamente acumulada antes de ser destinada ao abastecimento do lençol freático ou direcionada ao sistema de drenagem convencional. É a camada principal para armazenamento da água, portanto deve ser destinada maior espessura possível para este material, respeitando a necessidade mínima de substrato para a vegetação.

Geotêxtil:

Este geossintético tem sido largamente empregado para a composição de sistemas drenantes e filtrantes, podendo ser classificado em função do seu processo de fabricação em tecido, não tecido e tricotado. Para que cumpra a função de filtro, deve-se utilizar o tipo não tecido, produto que apresenta suas fibras dispostas em orientação aleatória, o que impede a livre passagem de água através do geossintético. Executa-se com a manta separando a camada de solo da camada drenante abaixo, o que evita do solo ser carregado e também a precoce colmatação do sistema. Os geotêxteis são de fácil instalação, baixo custo, pequena

espessura e possibilitam o controle de qualidade permitindo propriedades hidráulicas adequadas, características essas que endossam a utilização deste material em sistemas filtrantes. Nos casos em que houver um fundo de concreto para conduzir o fluxo de água, há a possibilidade de se revestir esse fundo com uma geomembrana para gerar estanqueidade e evitar ao máximo a força de punção das raízes no concreto caso passem pelo geotêxtil.

Areia:

A camada de areia visa o aumento da infiltração e redistribuição da água no solo. Através da utilização da areia, aumenta-se a porosidade e aeração, auxiliando que a água penetre por esta camada. A camada de areia deve ter ao menos 10cm de espessura, quando houver disponibilidade de área, para aumento da permeabilidade e infiltração do dispositivo.

Substrato de plantio:

Composto por terra preta e húmus de minhoca na proporção de 1:1. Pode ser misturado com traço de areia para aumentar sua permeabilidade. A camada de substrato deve ter ao menos 25 cm de espessura para um bom desenvolvimento das plantas.

Vegetação:

Absorvem nutrientes e água que fluem para a biovaleta e liberam vapor de água de volta à

atmosfera através do processo de transpiração. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos são ideais; a vegetação indicada está listada no Passo 3 deste Catálogo. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

Pedras no entorno da SbN:

Pode-se utilizar pedra de mão, paralelepípedos, materiais residuais ou de ornamentação no entorno (quando não houver guias) ou nas entradas do dispositivo para a dissipação da energia da água; quando não se utiliza o material, a força da água irá carrear o substrato, terra e a vegetação, danificando o dispositivo ao longo do tempo.

Aletas de dissipação de energia:

Quando inseridas em terrenos com inclinação superior a 5%, é necessário o uso de barramentos para reduzir a velocidade de condução da água e manter sua eficácia elevada sem carregar vegetação e solo presentes na SbN. Estes barramentos podem ser executados com pedras, tijolos ou outro material que execute a função de barragem.

Tubulação:

Utiliza-se tubo-dreno ao longo de toda a extensão da biovaleta com inclinação de 0,1% no sentido da caixa de drenagem para condução da água.



MANUTENÇÃO:

- Prever quantidade adicional de mudas de 2% a 5% do valor total para mitigar perdas iniciais, devido a mudas que possam morrer logo após o plantio no período de adaptação (ação pontual na implementação);
- Remover manualmente resíduos que impeçam o fluxo de água¹² (ação recorrente);
- Recuperar camadas filtrantes por colmatação do dispositivo (ação pontual quando não estiver infiltrando)
-

¹² Ação a ser feita por órgão responsável pela manutenção e limpeza ou pessoa civil. Indica-se incentivo à adoção de áreas verdes urbanas.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação entre R\$200,00 a R\$500,00 por m²



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Dificuldade em obter informações prévias das instalações subterrâneas, muitas vezes interferindo, na revisão do projeto após o início das obras.

Vegetação adequada:

Disponibilidade de espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

Disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano.



Figura 13 Biovaleta em sistema integrado de SbN implantada no Parque Municipal Lago do Nado, Belo Horizonte/MG (Projeto Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, foto: Meridiano filmes, 2021).



Figura 14 Biovaleta em sistema integrado de SbN implantado na Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira, Universidade de São Paulo (Projeto Paulo Pellegrino, Daniel Falconi, Silvio Motta e Stefanie Gonzaga, foto: Daniel Falconi, 2023).

- Terraços de Chuva -

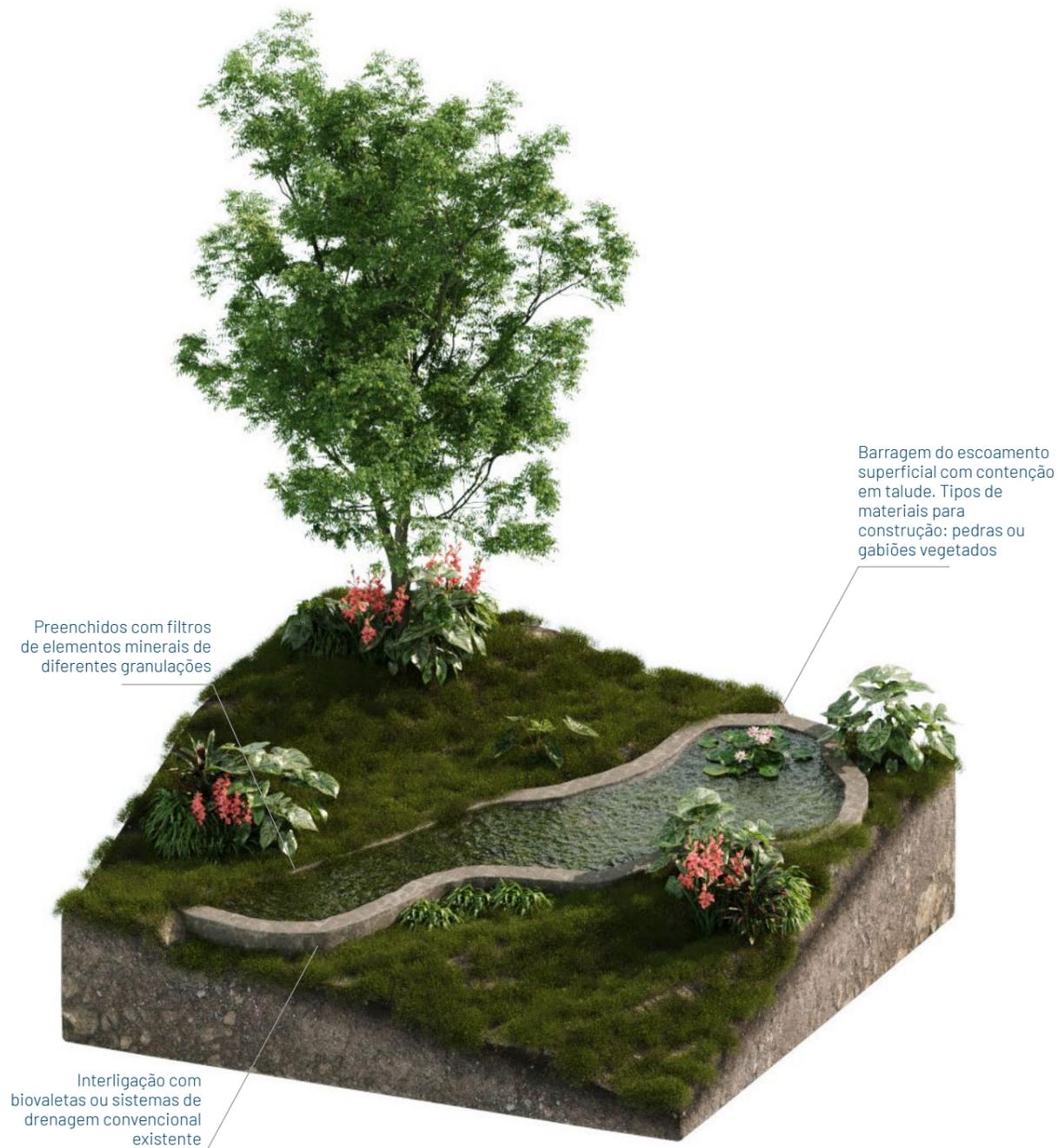


Figura 15 Terraço de chuva em taludes (Fonte: Guajava, 2023).

Terraços de chuva são estruturas côncavas, implantadas transversalmente ao sentido do declive do terreno, encravadas em trechos de taludes, construídas com paredes de pedra ou pequenos gabiões vegetados e preenchidos com filtros de elementos minerais de diferentes granulações, semelhantes aos jardins de chuva.

Trata-se de uma SbN desenvolvida pela Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo junto à equipe da Fundação do Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) e da Prefeitura de São Paulo, inspirada nos terraceamentos agrícolas chineses. Foram desenvolvidos como uma SbN que cumpre a finalidade de coletar e absorver o escoamento superficial das águas pluviais, contribuindo assim para a redução significativa da quantidade de água direcionada à região abaixo do talude, geralmente um curso d'água ou galeria de águas pluviais, ao mesmo tempo em que favorece a estabilidade de taludes em áreas de margens de rios, córregos e riachos.

A sua eficiência na contribuição de captação de água se dá por meio dos espaços de armazenamento das cavidades criadas, pelo solo existente (caso permita esta absorção) e pela rede convencional de drenagem (quando houver conexão). Outra vantagem é a de estabilizar o talude, criando degraus vegetados por onde as águas escoam com menor velocidade enquanto recarregam o lençol freático.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Em qualquer tipo de talude, trazendo benefícios estruturais mesmo em locais de alta declividade.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Para que o sistema de drenagem alcance bons resultados é necessário que seja dimensionado considerando todas as variáveis de entrada, saída e de estado envolvidas. A variável de entrada é o volume de escoamento superficial direto (ESD) conduzido para o sistema, função da chuva de projeto, da área conectada e da taxa de impermeabilização dela. Como variável de estado, tem-se o volume amortecido durante o tempo de operação do sistema. Como variáveis de saída, tem-se a

infiltração e a vazão excedente para a rede de drenagem. A análise da infiltração é componente fundamental do sistema, sendo definida a partir das propriedades do meio poroso, estas determinadas por ensaios de caracterização do solo, principalmente: ensaio de análise granulométrica, que determina o percentual de argila, silte, areia e pedregulho presentes na amostra e ensaio de permeabilidade, que determina a velocidade de percolação da água no solo.

Cabe ressaltar que a fração grossa do solo (pedregulho e areia) é muito mais permeável do que a fração fina (argila e silte) e, por isso, é preferível na composição das SbN para possibilitar a infiltração de um volume de água pluvial a taxas adequadas. No entanto, outras características interferem nesse processo, tais como o grau de compactação do solo, dentre outras, de modo que, além do ensaio de granulometria, faz-se necessário realizar o ensaio de permeabilidade e testes de infiltração para melhor caracterizar o meio poroso e permitir o melhor dimensionamento da SbN.

Declividade:

Os terraços devem ser construídos em seções transversais ao sentido do maior declive do terreno, e podem ser construídos em taludes com declive de até 18%¹³ (MACHADO; WADT, 2021), sendo que, quanto maior a declividade, maior a necessidade de reforço nas estruturas das paredes construídas.

Carga de sedimentos:

O aporte de sólidos no sistema é baixo. Devem ser previstos mecanismos para a retenção de sólidos de modo a prevenir contra o aporte de sedimentos que pode vir a provocar a colmatação. A instalação de filtros e o envelopamento das estruturas com geotêxtil não tecido devem ser considerados.

Tipo de solo:

Para instalação dos terraços de chuva é muito

importante averiguar as condições de estabilidade do talude, pois são estruturas que vão armazenar água periodicamente e este fator não pode causar riscos de deslizamentos. Para escolher os melhores materiais a serem utilizados na estrutura, sejam eles pedras, gabiões ou troncos, é necessário conferir a estabilidade natural do solo através de estudos geotécnicos de resistência dos solos.

Características do terreno / Cadastro de interferências:

A implementação desta SbN, principalmente quando inserida em áreas urbanas consolidadas, exige que seja averiguada a presença de quaisquer instalações antes do início das obras; ou ainda, se possível, durante a fase de projeto, verificar se podem ser realocadas ou readequadas à configuração do projeto. A análise pode ser realizada in loco, a partir de dados secundários, por meio da documentação disponibilizada pelos órgãos responsáveis, complementada pela realização de um cadastro de interferências específico.

O mesmo ocorre para a implantação das SbN em terrenos amplos destinados a parques urbanos e/ou lineares. Deve-se analisar o local de implantação quanto à presença de arborização. É necessário certificar-se de que a arborização é uma espécie adaptada às condições de solos úmidos, caso contrário ela pode sofrer por estas alterações no solo e ter sua saúde prejudicada.

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto (menos de 1,0 metro de profundidade), a eficácia do sistema será comprometida devido à baixa absorção, sendo assim, sugere-se a utilização de tubulação para conectá-lo à rede convencional de drenagem caso o objetivo principal do terraço de

chuva seja a infiltração; a SbN neste caso também deve ser estanque, ou seja, com paredes nas laterais e fundo do sistema, evitando que a água do lençol adentre na estrutura.

Drenagem e escoamento das águas:

Possuem como principais características de regulação hídrica a detenção e infiltração das águas. Podem estar em associação a tubulações

de drenagem convencionais ou outras SbN como biovaletas, canteiros pluviais, entre outros. Assim, se o objetivo for diminuir a velocidade de escoamento superficial para áreas da bacia à jusante, sugere-se inserir mais de um terraço de chuva e conectá-los por meio de biovaletas. O sistema deve estar livre do acúmulo de água em, no máximo, 72h após ocorrência de chuva.

auxiliando que a água penetre por esta camada.

Materiais necessários para a estrutura dos terraços:

pedras que possam ser alinhadas e argamassadas, gerando paredes ou muros estruturais ou gabiões que possam ser vegetados; a escolha varia conforme o tipo e resistência do solo.

Vegetação adequada:

Vegetação e substrato adequados para cada tipo de região, que possuam raízes fortes para contribuir na estabilização de taludes e resistentes a períodos de alta umidade. A vegetação indicada está listada no Passo 3 deste Catálogo.



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Brita ou pedra de mão:

Acamada de brita, preferencialmente nº 5, ou a utilização de pedra de mão ou ainda resíduos de concreto removidos do local (sem a presença de componentes contaminantes para o lençol freático) é denominada como a camada de armazenamento e de transferência, onde a água é temporariamente acumulada antes de ser destinada ao abastecimento do lençol freático ou direcionada ao sistema de drenagem convencional.

Areia:

A camada de areia visa o aumento da infiltração e redistribuição da água no solo. Através da utilização da areia, aumenta-se a porosidade e aeração,



MANUTENÇÃO:

- Na implantação, deve-se prever uma quantidade de mudas adicional de 2% a 5% do valor total para mitigar perdas iniciais, devido a mudas que possam morrer logo após o plantio no período de adaptação;
- Deve-se conferir periodicamente a drenagem dos terraços após períodos de grandes chuvas, garantindo o funcionamento dos extravasores e das possíveis biovaletas conectadas ao sistema;
- Deve-se conferir periodicamente se há danos nas estruturas de pedras ou gabiões que formam os terraços e fazer reforços estruturais quando necessário, impedindo futuros deslizamentos de terra;
- Deve-se remover periodicamente os resíduos que impeçam o fluxo de água, de forma manual¹⁴.



HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

Para se definir o tempo de retorno do dispositivo, é necessário realizar os cálculos de acordo com normas municipais considerando o índice de galeria de águas pluviais públicas ao qual o dispositivo estará correlacionado.

¹³ De acordo com a análise sobre Terraceamento no Cultivo de Arroz (MACHADO; WADT, 2021).

¹⁴ Ação a ser feita por órgão responsável pela manutenção e limpeza ou pessoa civil. Indica-se incentivo à adoção de áreas verdes.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Estruturas das paredes: pedra argamassada, R\$ 250,00 por m²; gabião, variação entre R\$ 250 e R\$ 350 por m².

Filtros e jardins: variação¹⁵ entre R\$375,00 e R\$800,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Dificuldade em obter informações prévias das instalações subterrâneas, interferindo, muitas vezes, na revisão do projeto após o início das obras, bem como é importante um levantamento planialtimétrico para desenho da estrutura.

Colmatação:

Contratação de manutenção para os dispositivos entre 5 a 10 anos após a implementação para recuperação da sua capacidade de infiltração.

Vegetação adequada:

Disponibilidade de espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

Disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução. Bem como para o cálculo do volume de água a ser retido nas estruturas com desenho não geométrico é necessário conhecimento técnico em modelagem.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano.

- Terraços de Chuva -



Figura 16 Terraço de chuva do Parque linear do córrego Bandeirantes (Projeto Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, 2023).

¹⁵ De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais, mão de obra, vegetação.

- Escada Hidráulica Vegetada -



Figura 17 Escada hidráulica vegetada (Fonte: Guajava 2023).

As escadas hidráulicas vegetadas são estruturas construídas em áreas de alta declividade com a intenção de conduzir e reduzir a velocidade de escoamento das águas pluviais. Os degraus funcionam como dissipadores de energia e, quando vegetados, colaboram ainda no aumento da rugosidade do trecho e proporcionam um aumento da qualidade das águas que percolam através da vegetação.

O material adequado para este tipo de estrutura são os gabiões, que possuem capacidade de adaptação geométrica da estrutura, capacidade de implementar vegetação (especialmente forrações) e permitem assumir diferentes dimensões. No gabião, menos elementos são necessários para a implantação da escada, sendo necessário apenas pedra, a tela do gabião e o maquinário para a escavação. O regime de escoamento pode acontecer imediatamente após a construção. Pode-se também utilizar paredes de concreto e piso permeável ou semipermeável, estruturado com pedras ou mesmo gabiões.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Em vias, taludes e margens de alta declividade, para condução das águas pluviais; de preferência em locais associados a jardins de chuva, canteiros pluviais, entre outros. Também em canais de microdrenagem em áreas de alta declividade onde não seja possível implantar bioaletas.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo (condutividade hidráulica em mm/h):

não influencia diretamente enquanto um critério para a escada, uma vez que ela atua principalmente na condução do escoamento superficial das águas pluviais.

Declividade:

Sugerida para implantação em terrenos com inclinação maior que 5%, pois cumprirá a função de encaminhamento de vazões onde outras soluções não consigam vencer trechos com declividade acentuada.

Carga de sedimentos:

O aporte de sólidos admissível para influenciar na qualidade da água é baixo em função da alta declividade do terreno, que acarreta altas velocidades do escoamento e baixo tempo para infiltração na estrutura.

Tipos de solo:

o sistema se adequa com maior eficácia em solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração, e em solos contendo moderada taxa de infiltração e bem drenados, Grupos A e B, respectivamente inseridos nos Grupos Hidrológicos de Solos, conforme o Serviço de Conservação do Solo – Estados Unidos.

Características do terreno / Cadastro de interferências:

a implementação desta SbN, principalmente quando inserida em áreas urbanas consolidadas, exige que seja averiguada a presença de quaisquer instalações antes do início das obras; ou ainda, se possível, durante a fase de projeto, verificar se podem ser realocadas ou readequadas à configuração do projeto. A análise pode ser realizada in loco, a partir de dados secundários, por meio da

documentação disponibilizada pelos órgãos responsáveis, complementada pela realização de um cadastro de interferências específico. O mesmo ocorre para a implantação em terrenos amplos destinados a parques urbanos e/ou lineares. Neste caso, a cooperação entre secretarias e órgãos para troca de documentação e informações é essencial para um bom planejamento da drenagem sustentável do projeto.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

é importante seguir cálculos e normas estabelecidas para escadas hidráulicas convencionais, e implantar paredes e contenções seguras. Isso garantirá o escoamento adequado das águas em talvegues interceptados pela terraplenagem, ao mesmo tempo em que assegura a segurança dessas áreas e reduz possíveis danos causados por erosão. É essencial promover a dissipação das velocidades para permitir o escoamento em condições favoráveis até os pontos de deságue, previamente determinados.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Substrato de plantio:

Composto por terra preta e húmus de minhoca na proporção de 1:1. Pode ser misturado com traço de areia para aumentar sua permeabilidade. A camada de substrato deve ter ao menos 25cm de espessura para um bom desenvolvimento das plantas.

Vegetação:

Absorvem nutrientes e água e liberam vapor de água de volta à atmosfera através do processo de transpiração. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos são ideais para

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto, sugere-se a estanqueidade dos degraus.

Drenagem e escoamento das águas:

Possuem como principais características de regulação hídrica a detenção e condução das águas. Podem estar em associação a tubulações de drenagem convencionais ou outras SbN como jardins de chuva, canteiros pluviais, pôlder, entre outros.

a escada. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

Gabiões:

Permitem a adaptação dos degraus da escada a diversas situações de talude, bem como o plantio de forrações.

Blocos de concreto ou tijolo:

é possível fazer paredes de concreto associadas a piso permeável ou semipermeável, com base de pedras ou gabiões. Os materiais de revestimento devem proporcionar um ambiente propício ao crescimento da vegetação.

Estrutura de base:

Podem ser utilizadas rochas, pedra argamassa e concreto armado como base estrutural da escada hidráulica. Elas devem ser duráveis e resistentes para suportar a carga hidráulica e a vegetação.

Pedras para dissipação de energia:

Pode-se utilizar pedra de mão, paralelepípedos, materiais residuais ou de ornamentação onde a água cai para a dissipação da energia; quando não se utiliza o material, a força da água irá carrear o substrato, terra e a vegetação, danificando o dispositivo ao longo do tempo.

MANUTENÇÃO:

- Deve-se prever quantidade de mudas adicional de 2% a 5% do valor total para mitigar perdas iniciais, devido a mudas que possam morrer logo após o plantio no período de adaptação (ação pontual na implementação);
- Conferir se há danos nas estruturas de pedras ou gabiões e fazer reforços estruturais quando necessário, impedindo futuros deslizamentos de terra (ação recorrente);
- Remover manualmente resíduos que impeçam o fluxo de água¹⁶ (ação recorrente).

CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação¹⁷ entre R\$ 600,00 e R\$ 1.200,00 por m².

DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Dificuldade em obter informações prévias das instalações subterrâneas, muitas vezes interferindo na revisão do projeto após o início das obras.

Vegetação adequada:

Disponibilidade de espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

Disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano.

¹⁶ Ação a ser feita por órgão responsável pela manutenção e limpeza ou pessoa civil. Indica-se incentivo à adoção de áreas verdes urbanas.

¹⁷ De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais, mão de obra, vegetação.



Figura 18 Escada hidráulica vegetada em projeto para as Grotas de Maceió/AL (Fonte: ONU e Guajava, 2021).



Figura 19 Escala hidráulica em Viela ecológica projetada e executada no âmbito do projeto Canteiro Escola Águas Urbanas, no Bairro dos Alvarenga, São Bernardo do Campo-SP (Projeto e foto Acervo: LABHAB FAUUSP).

- Poço de Infiltração -

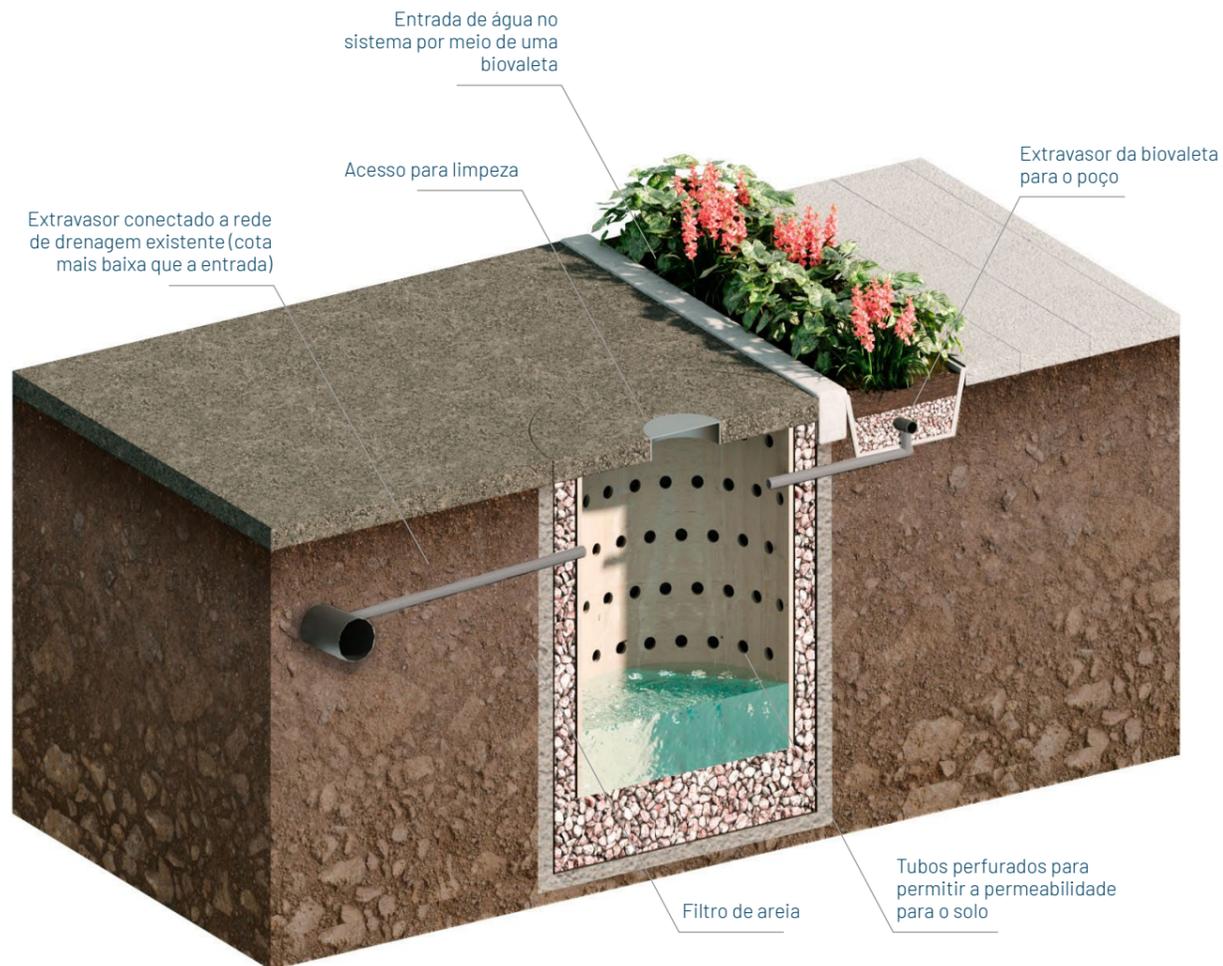


Figura 20 Poço de infiltração (Fonte: Guajava, 2023).

Poço de infiltração é um sistema de retenção de águas pluviais denominado pontual por atuar em pequena área, o qual visa mitigar os efeitos decorrentes de escoamentos superficiais direto da fonte, realizando a captação e infiltração das águas pluviais no solo. Visa amortecer os picos de vazão que possam atingir o sistema de drenagem convencional, reduzir o volume de escoamento superficial pela infiltração do volume excedente de chuva no solo e, ainda, contribuir para o abastecimento dos aquíferos

O sistema consiste em um poço escavado no solo revestido por tubos de concreto perfurados, permitindo o contato da água com o solo e, assim, garantindo a infiltração. Os poços de infiltração podem ser envolvidos por manta geotêxtil, tanto nas laterais quanto no fundo do poço. Na camada inferior são utilizados ainda agregados graúdos, mais usualmente a brita, permitindo uma maximização da vazão infiltrada.

Assim como outras SbN, os poços de infiltração trabalham em cooperação com a drenagem “cinza”, auxiliando para que a mesma não entre em colapso.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Preferencialmente sob calçadas, ruas e avenidas.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Quanto mais permeável o solo, maior a capacidade de infiltração da estrutura. Em solos argilosos, a capacidade de infiltração é menor quando comparada à capacidade de infiltração dos solos arenosos.

Declividade:

Não há restrições quanto à declividade do terreno, uma vez que os poços são escavados. Da mesma forma, não há restrições para a declividade da área que irá contribuir para a estrutura, uma vez que são escavados. Contudo, na fase de projeto,

deve-se levar em consideração que terrenos de elevada declividade produzem escoamento com alta velocidade. A SbN não deve ser utilizada em solos colapsíveis¹⁸.

Carga de sedimentos:

Em áreas com alta produção de sedimentos ou resíduos, devem ser instaladas estruturas de gradeamento ou sedimentação a montante ou na entrada da estrutura. Nesse caso, deve-se também adotar uma frequência maior na limpeza e manutenção daquelas estruturas.

¹⁸ Solos que apresentam redução brusca do volume após aumento da umidade.

Tipos de solo:

O sistema se adequa com maior eficácia em solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração e em solos contendo moderada taxa de infiltração e bem drenados, dos grupos hidrológicos de solos A e B¹⁹, conforme a classificação hidrológica de solos do Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS, da sigla em inglês) dos Estados Unidos (adaptada para os solos do Brasil por Sartori et al., 2005). A utilização em solos do Grupo C, com baixa taxa de infiltração, é tolerada; porém, deve-se atentar prioritariamente

ao volume de água armazenado, sendo que o sistema terá eficácia inferior em solos dos grupos A e B.

Características do terreno / Cadastro de interferências:

O sistema não necessita de áreas amplas, mas de profundidade. Deve-se efetuar o levantamento e a identificação das instalações subterrâneas e adjacentes, existentes ou projetadas. Os projetos deverão considerar as devidas adequações ou proteções dessas estruturas.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

SbN de pequeno porte capaz de armazenar temporariamente médios volumes de chuvas com períodos de retorno elevados (TR > 10 anos). O armazenamento deve ocorrer em tempo relativamente curto, pois o poço deve ser esvaziado em até 24h, a fim de estar pronto para receber os volumes excedentes do próximo evento de chuva

intenso. Para tanto, é necessário o correto dimensionamento das estruturas de saída do poço.

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto, a infiltração no sistema será comprometida devido à baixa absorção. E, portanto, deve-se evitar seu uso.

Drenagem e escoamento das águas:

Contribuem com o processo de detenção das águas pluviais.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Tubo de concreto perfurado:

Tubos de concreto pré-moldados com furos para facilitar o contato com o solo;

Manta geotêxtil:

Manta permeável com propriedades mecânicas e hidráulicas, utilizada para envolver o poço e fazer com que o solo obtenha uma máxima infiltração;

Extravasador:

Canalização responsável por destinar para o

sistema de drenagem pública a água que excede quando o poço de infiltração está cheio;

Tubulação de drenagem conectora:

Também chamado de conduto horizontal, serve para a destinação das águas pluviais captadas por edificação ao poço drenante;

Camada de agregado graúdo:

Camada utilizada ao fundo do poço, geralmente com brita nº3;

Caixa de inspeção:

Serve para inspecionar o sistema de drenagem

para que não haja entupimento na canalização/extravasador.

MANUTENÇÃO:

- Atenção deve ser dada ao acúmulo de sedimentos e resíduos. Recomenda-se verificar a caixa de inspeção para liberação da canalização em caso de entupimento.

CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação²⁰ entre R\$350,00 e R\$650,00 por m²

DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno: dificuldade em obter informações prévias do tipo de solo, interferindo na avaliação prévia de infiltração; interferências no subsolo que não estejam mapeadas podem ser um dificultador no momento de realizar as escavações nos locais planejados no projeto de drenagem com poços de infiltração;

Qualificação de técnicos: disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.



Figura 21 Poço de infiltração (Fonte: Thays Santos Ferreira, 2018).

¹⁹ Que têm taxas de infiltração maiores que 3,81 mm/h (SARTORI et al., 2005).

²⁰ De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra.

- Bacia de Detenção -

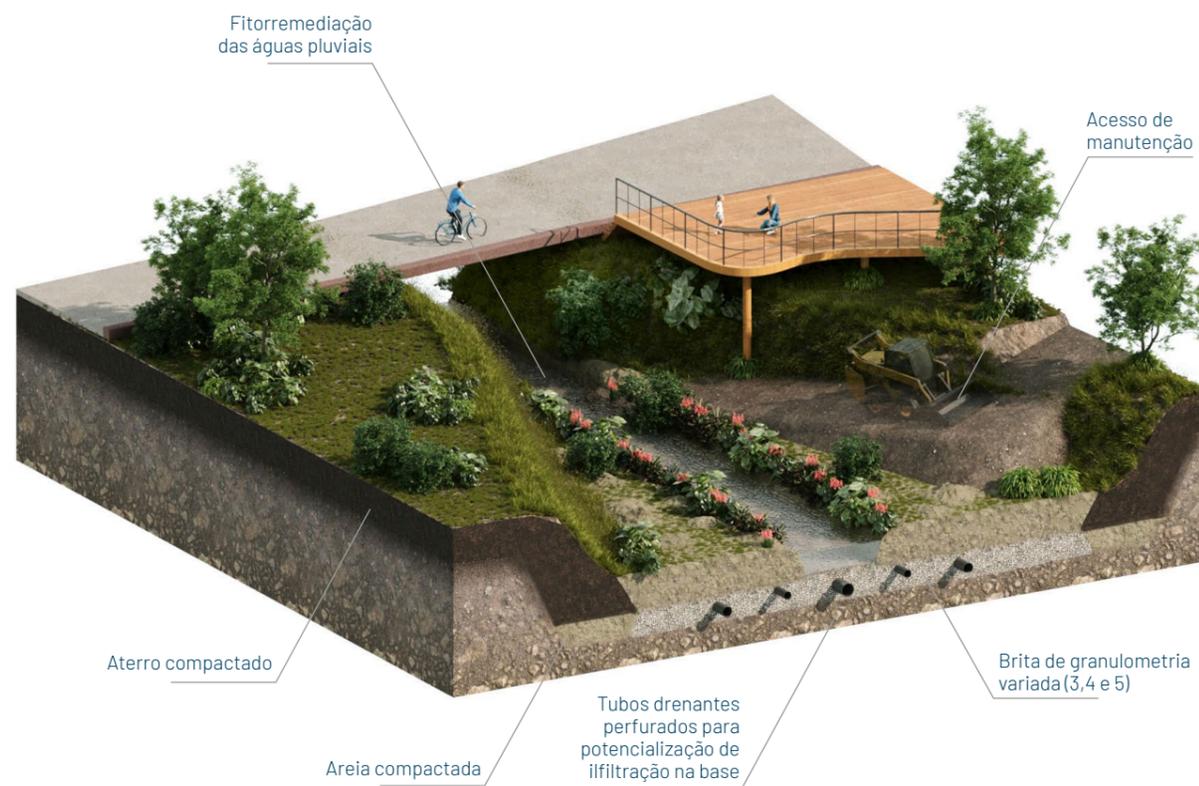


Figura 22 Bacia de retenção (Fonte: Guajava, 2023).

A bacia de retenção é uma estrutura de acumulação temporária das águas pluviais, permitindo a transferência de vazões compatíveis com o limite tolerado pela rede de drenagem ou curso d'água existente a jusante da estrutura (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). Processos de infiltração e evapotranspiração também podem ser atribuídos a essas bacias a depender das condições de permeabilidade do solo local e da existência ou não de vegetação em seu interior.

Esse tipo de estrutura pode ser descrito como uma depressão no terreno, que pode ser revestida ou não, dotada de dispositivos de entrada e de saída que permitem o acúmulo de volumes de chuva em seu interior. Nos períodos sem chuva essa estrutura permanece seca e pode ser utilizada para outras finalidades como áreas verdes, quadras esportivas e praças públicas. Seu esvaziamento completo deve se dar idealmente em até 24 horas. Os projetos devem incorporar múltiplos benefícios além do controle de cheias, prevendo-se a implantação em parques, espaços livres e outras áreas de lazer e recreação (CITY OF PORTLAND, 2020).

As bacias de retenção podem ser classificadas como in line ou off line a depender de sua configuração em relação ao curso d'água. Essa escolha depende, principalmente, da disponibilidade de área e do volume de armazenamento necessário, uma vez que a configuração off line é capaz de armazenar volumes maiores, pois o fundo do reservatório pode ser bem mais profundo que o leito do rio, necessitando, neste caso, de um sistema de bombeamento para o esvaziamento da estrutura (ABCP, 2015). Já na opção in line a reservação se dá ao longo do próprio leito do córrego e o acúmulo das águas se dá pela implantação de estrutura de controle de vazão na seção transversal do corpo hidrico; essa estrutura é dotada de uma abertura junto ao fundo do leito do rio que permite a passagem da vazão de base e restringe a passagem da onda de cheia.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

A jusante da bacia de contribuição, na macrodrenagem.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Quanto mais permeável o solo, maior a capacidade de infiltração da estrutura. Em solos argilosos, a capacidade de infiltração é menor quando comparada à capacidade de infiltração dos solos arenos-

os. Bacias de retenção implantadas em solo com altas taxas de permeabilidade poderão agregar a capacidade de infiltração no abatimento das cheias, já em solos pouco permeáveis ela atuará somente no processo de retenção.

Declividade:

Não devem ser implantadas em terrenos com declividade superior a 5%. Em terrenos com declividade maior que 5% deverá ser previsto seu nivelamento para a implantação da estrutura. Não há restrições para a declividade da área que irá contribuir para a estrutura; contudo, na fase de projeto, deve-se levar em consideração que terrenos de elevada declividade produzem escoamento com alta velocidade.

Carga de sedimentos:

Em áreas com alta produção de sedimentos ou resíduos devem ser instaladas estruturas de sedimentação a montante ou na entrada da estrutura. Nesse caso, deve-se também adotar uma frequência maior na limpeza e manutenção das estruturas. Devem ser previstos acessos para veículos para a remoção de sedimentos periodicamente a fim de manter o volume útil da estrutura.



HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

As bacias são SbN de médio e grande porte capazes armazenar temporariamente grandes volumes de chuvas com períodos de retorno elevados (TR > 10 anos). O armazenamento deve ocorrer em tempo relativamente curto, pois a bacia deve ser esvaziada em até 24h, a fim de estar pronta para receber os volumes excedentes do próximo evento de chuva intenso.

Para tanto, é necessário o correto dimensionamento das estruturas de saída. As bacias apresentam as funções de amortecer os picos das cheias e eventual redução de volumes do escoamento superficial por processos de infiltração, quando existentes. As bacias são projetadas para armazenar grandes volumes de chuva; desta forma, se bem dimensionadas, podem ser implantadas em

Tipos de Solo:

Por se tratar de uma estrutura de retenção o projeto deverá ser adaptado às condições de solo local, podendo, então, ser implantado em solos dos Grupos A, B, C e D, caracterizados pelo Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS, da sigla em inglês) dos Estados Unidos. Como a infiltração não é o objetivo central desta estrutura, o sistema pode se adequar tanto a solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração quanto a solos contendo baixa a moderada taxa de infiltração.

Características do terreno:

Levantamento e identificação das instalações subterrâneas e adjacentes, existentes ou projetadas, na fase de projeto deverão apontar as devidas adequações ou proteções dessas estruturas.

áreas suscetíveis a inundações e alagamentos com o objetivo de, justamente, acomodar os volumes excedentes. Deve-se evitar áreas permanentemente alagadas.

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto, a estrutura deverá ser revestida e impermeabilizada, evitando que a água do lençol adentre na estrutura e diminua sua capacidade de armazenamento.

Drenagem e escoamento das águas:

Contribuem com o processo de retenção das águas pluviais; os processos de infiltração e evapotranspiração também podem ser atribuídos às bacias, a depender das condições de permeabilidade do solo local e da existência ou não de vegetação em seu interior.



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Terra:

A depender das condições do solo e topografia da área de implantação da estrutura, deverá ser previsto o fornecimento de terra para a compactação das paredes da estrutura.

Revestimento:

Materiais para a construção das estruturas de entrada e saída do dispositivo e de revestimento, caso seja necessário.

Pedras do entorno da SbN:

Pode-se utilizar pedra de mão, paralelepípedos, materiais residuais ou de ornamentação no entorno (quando não houver guias) ou nas entradas

do dispositivo para a dissipação da energia da água; quando não se utiliza o material, a força da água irá carrear o substrato, terra e a vegetação, danificando o dispositivo ao longo do tempo.

Vegetação:

Absorve nutrientes que fluem para a bacia e libera vapor de água de volta à atmosfera através do processo de transpiração. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos são ideais. Deve-se atentar às condições climáticas locais para a escolha das espécies.



MANUTENÇÃO:

- Limpeza e desassoreamento para retirada de sedimentos e resíduos.
- Manutenção da vegetação, quando necessário.
- Limpeza e desobstrução dos dispositivos de entrada e saída da estrutura, bem como do sistema de drenagem que capta e conduz a água para a bacia.
- Manutenção dos equipamentos eletromecânicos.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO²¹:

Custo de aquisição da área para implantação da estrutura.

Custo de implantação: R\$ 700,00 por m³.

Custo de implantação de infraestrutura verde e equipamentos públicos: R\$ 300,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

As bacias de retenção requerem grandes áreas para sua implantação (> 100 m²), o que dificulta a sua implementação em áreas densamente ocupadas. Em áreas menores, é aconselhado dispersar as SbN.

²¹ Fonte: FCTH/SIURB-PMSP, 2022.

Vegetação adequada:

Seleção e disponibilidade de espécies vegetais adequadas para as condições de seca e cheia.

Qualificação de técnicos:

Os projetos devem ser desenvolvidos por equipe técnica formada por engenheiro, arquitetos e outros profissionais. Devem ser elaborados estudos hidrológicos e hidráulicos para o dimensionamento da estrutura e avaliação do impacto de sua implantação na bacia hidrográfica, além de levantamentos topográficos e estudos geotécnicos da área. É necessário, portanto, a formação de mão de obra qualificada para projeto, implantação, operação e manutenção destes sistemas.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano. A definição da tecnologia deve considerar aspectos sanitários e estéticos para aceitação dos moradores.



Figura 23 Reservatório de detenção em Porto Alegre com fundo impermeabilizado, quando há risco de contaminação de águas subterrâneas pelas cargas elevadas de poluentes (Foto: Erika Tominaga, 2023).



Figura 24 Bacia de detenção do Miriti Golf Club em Marituba/PA (Projeto Hidrobotânica, foto: Roberto Ferrari, 2023).

- Bacia de Retenção -

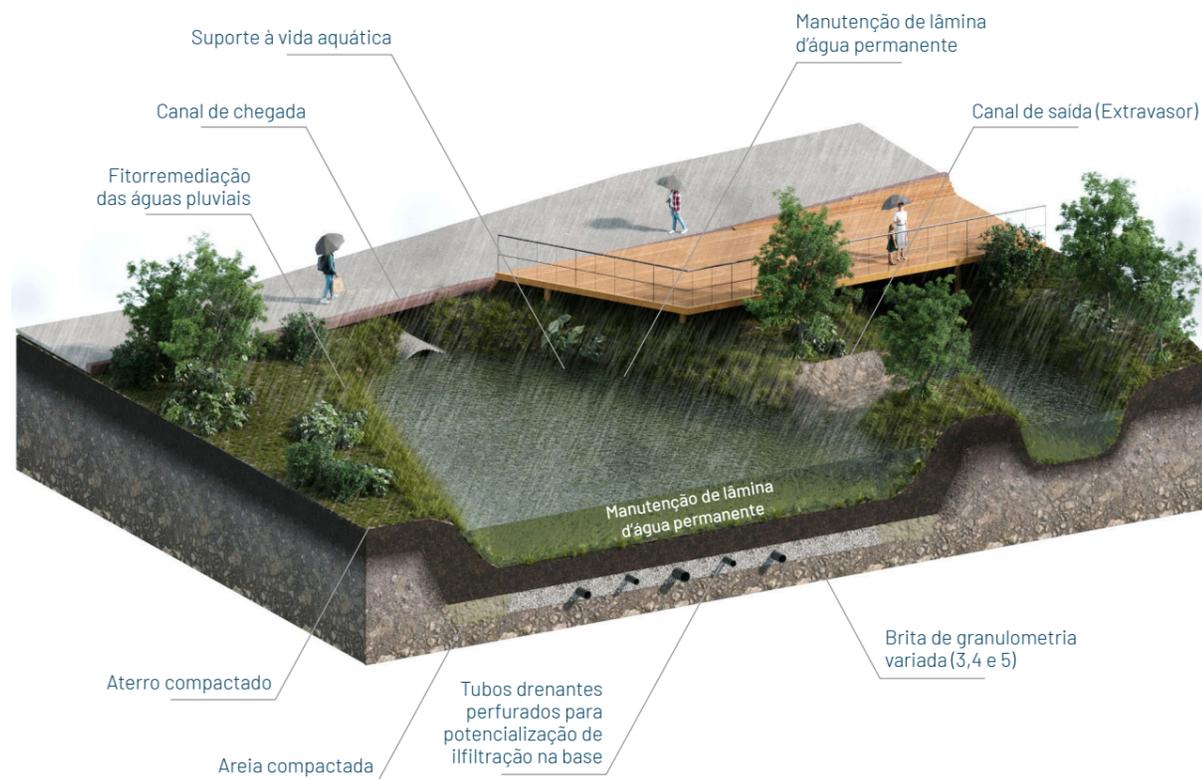


Figura 25 Bacia de retenção (Fonte: Guajava, 2023).

Bacia de retenção é uma estrutura de armazenamento que possui uma lâmina d'água permanente, possibilitando seu uso integrado junto a parques e outras áreas verdes e permitindo a utilização do espaço para lazer e contemplação. A água fica armazenada por longos períodos, possibilitando a decantação de partículas sólidas e consequente redução de cargas poluentes por meio de processos biológicos e sedimentação. Uma grande vantagem desse tipo de estrutura é a presença de vida aquática, e para tanto devem ser tomados os devidos cuidados de manutenção para sustentar um meio equilibrado (UACDC, 2010).

Uma bacia de retenção é composta por um vertedor para manutenção da vazão de base, e um extravasor para vazões que excedem a capacidade da estrutura. O volume de retenção obtido corresponde à sobre-elevação do nível do lago entre o nível d'água permanente, mantido pelo vertedor de nível normal, e o nível d'água máximo, admitido pelo vertedouro de segurança. A altura do nível d'água permanente (da ordem de 1 m de profundidade) deve ser dimensionada de forma a preservar a vida aquática, promover a redução da poluição difusa e permitir o armazenamento adicional para o controle das cheias.

As bacias de retenção podem conter também ilhas filtrantes com o objetivo de ampliar os processos de fitorremediação e incrementar os aspectos paisagísticos do sistema.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

A jusante da bacia de contribuição, na macrodrenagem.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Quanto mais permeável o solo, maior a capacidade de infiltração da estrutura; em solos argilosos, a capacidade de infiltração é menor quando comparada à capacidade de infiltração dos solos arenosos. Se as bacias de retenção forem implantadas em solos com altas taxas de permeabilidade e baixos índices pluviométricos, ou ainda onde o lençol freático é profundo, não será possível manter uma lâmina d'água permanente em período de estiagem.

No caso de áreas muito permeáveis, é possível realizar a compactação do solo, ou mesmo a adoção de uma camada mais argilosa no fundo da estrutura.

Declividade:

Não devem ser implantadas em terrenos com declividade superior a 5%. Em terreno com declividade maior que 5% deverá ser previsto seu nivelamento para a implantação da estrutura. Não há restrições para a declividade da área que irá

contribuir para a estrutura; contudo, na fase de projeto, deve-se levar em consideração que terrenos de elevada declividade produzem escoamento com alta velocidade.

Carga de sedimentos:

Em áreas com alta produção de sedimentos ou resíduos devem ser instaladas estruturas de sedimentação a montante ou na entrada da estrutura. Nesse caso, deve-se também adotar uma frequência maior na limpeza e manutenção das estruturas.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

As bacias são SbN de médio e grande porte capazes armazenar temporariamente grandes volumes de chuvas com períodos de retorno elevados (TR > 10 anos). O armazenamento deve ocorrer em tempo relativamente curto, pois a bacia deve ser esvaziada em até 24h, a fim de estar pronta para receber os volumes excedentes do próximo evento de chuva intenso.

Para tanto, é necessário o correto dimensionamento das estruturas de saída. As bacias apresentam as funções de amortecer os picos das cheias e eventual redução de volumes do escoamento superficial por processos de infiltração, quando existentes. As bacias são projetadas para armazenar grandes volumes de chuva, desta forma, se bem dimensionadas podem ser implantadas em

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Solo:

A depender das condições do solo e topografia da área de implantação da estrutura, deverá ser

Tipos de Solo:

Em solos com altas taxas de permeabilidade deverá ser previsto compactação ou adoção de uma camada de solo mais argiloso no fundo da estrutura, adaptando o projeto às condições de solo local e permitindo, então, a implantação em solos dos Grupos A, B, C e D caracterizados pelo Serviço de Conservação dos Recursos Naturais dos Estados Unidos (NRCS, da sigla em inglês).

Características no terreno:

Levantamento e identificação das instalações subterrâneas e adjacentes, existentes ou projetadas. Os projetos deverão apontar as devidas adequações ou proteções dessas estruturas.

áreas suscetíveis à inundações e alagamentos com o objetivo de, justamente, acomodar os volumes excedentes. Devendo-se evitar áreas permanentemente alagadas.

Nível do lençol freático:

Se implantada em locais onde o lençol freático é profundo não será possível manter uma lâmina d'água permanente em período de estiagem, quando cessam as contribuições de escoamentos para a estrutura.

Drenagem e escoamento das águas:

Contribuem com o processo de retenção das águas pluviais, o processo de evapotranspiração também pode ser atribuído às bacias de retenção a depender da existência ou não de vegetação em suas margens.

previsto o fornecimento de terra para a compactação das paredes da estrutura.

Revestimento:

Materiais para a construção das estruturas de entrada e saída do dispositivo, e de revestimento caso seja necessário.

Pedras do entorno da SbN:

Pode-se utilizar pedra de mão, paralelepípedos, materiais residuais ou de ornamentação no entorno (quando não houver guias) ou nas entradas do dispositivo para a dissipação da energia da água; quando não se utiliza o material, a força da água irá carrear o substrato, terra e a vegetação, danificando o dispositivo ao longo do tempo.

Vegetação:

Absorvem nutrientes que fluem para a bacia e liberam vapor de água de volta à atmosfera através do processo de transpiração. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos são ideais; a vegetação indicada está listada no Passo 3 deste Catálogo. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

Os materiais a serem utilizados variam conforme o projeto.



MANUTENÇÃO:

- Limpeza e desassoreamento para retirada de sedimentos e resíduos.
- Manutenção da vegetação do entorno para assegurar um meio equilibrado de vida aquática, bem como de seu entorno.
- Limpeza e desobstrução dos dispositivos de entrada e saída da estrutura, bem como do sistema de drenagem que capta e conduz a água para a bacia.



CUSTOS DA IMPLANTAÇÃO²²:

Custo de implantação: R\$ 700,00 por m³.

Custo de implantação de infraestrutura verde e equipamentos públicos: R\$ 300,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

As bacias de retenção requerem grandes áreas para sua implantação (> 100 m²) o que dificulta a sua implementação em áreas densamente ocupadas, necessitando de áreas livres.

Dimensionamento adequado:

Devem ser elaborados estudos hidrológicos e hidráulicos para o dimensionamento da estrutura e avaliação do impacto de sua implantação na bacia hidrográfica, além de levantamentos topográficos e estudos geotécnicos da área.

²² Fonte: FCTH/SIURB-PMSP, 2022.

Vegetação adequada:

Seleção e disponibilidade de espécies vegetais adequadas para as condições de seca e cheia nas margens da bacia.

Qualificação de técnicos:

Os projetos devem ser desenvolvidos por equipe técnica formada por engenheiro, arquitetos e outros profissionais. É necessário, portanto, a formação de mão de obra qualificada para projeto, implantação, operação e manutenção destes sistemas.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano. A definição da tecnologia deve considerar aspectos sanitários e estéticos para aceitação dos moradores.



Figura 26 Bacia de retenção no Parque Barigui, Curitiba/PR (acervo Prefeitura Municipal de Curitiba, foto: advjmneto, 2022).

- Bacia de Retenção -



Figura 27 Bacia de retenção do Parque Aclimação (Projeto Roberto Coelho Cardoso, foto: Jean Matheus Suplicy, 2023).

- Bacia de Infiltração -



Figura 28 Bacia de infiltração (Fonte: Guajava, 2023).

Bacias de infiltração são depressões rasas no terreno construídas com o intuito de deter e otimizar o processo de infiltração das águas pluviais, desempenhando funções simultâneas de armazenamento temporário e infiltração. Esse tipo de estrutura não possui lâmina d'água permanente e deve ser implantada em áreas onde o solo apresenta altas taxas de permeabilidade (maiores que 3,6 mm/h). Também não possuem dispositivos hidráulicos de saída, com exceção de um vertedor de segurança, utilizado quando a capacidade para a qual a bacia foi dimensionada é superada (SMDU, 2012).

A melhoria da qualidade da água e a recarga de aquíferos subterrâneos são outros aspectos positivos propiciados pelas bacias de infiltração. A remoção dos poluentes se dá por processos de filtração e de fitorremediação das águas das chuvas. Essas funções são semelhantes às dos jardins de chuva e outras medidas fitorremediadoras, contudo as bacias de infiltração podem ser implantadas para receber contribuições de áreas bem maiores.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

A jusante da bacia de contribuição, na macrodrenagem.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Para que o sistema de drenagem alcance bons resultados é necessário que seja dimensionado considerando todas as variáveis de entrada, saída e de estado envolvidas. A variável de entrada é o volume de escoamento superficial direto (ESD) conduzido para o sistema, função da chuva de projeto, da área conectada e da taxa de impermeabilização dela. Como variável de estado tem-se o volume amortecido durante o tempo de operação do sistema. Como variáveis de saída tem-se a infiltração e a vazão excedente para a rede de drenagem. A análise da infiltração é componente fundamental do sistema, sendo definida a partir das propriedades do meio poroso, estas determinadas por ensaios de caracterização do solo, principalmente: ensaio de análise granulométrica, que determina o percentual de argila, silte, areia e

pedregulho presentes na amostra; e ensaio de permeabilidade, que determina a velocidade de percolação da água no solo. Cabe ressaltar que a fração grossa do solo (pedregulho e areia) é muito mais permeável do que a fração fina (argila e silte) e, por isso, é preferível na composição das SbN para possibilitar a infiltração de um volume de água pluvial a taxas adequadas. No entanto, outras características interferem nesse processo, tais como o grau de compactação do solo, de modo que, além do ensaio de granulometria, faz-se necessário realizar o ensaio de permeabilidade e testes de infiltração para melhor caracterizar o meio poroso e permitir o melhor dimensionamento da SbN. Bacias de infiltração devem ser implantadas sobre solos onde a permeabilidade mínima é de 3,6 mm/h.

Declividade:

Não devem ser implantadas em terrenos com declividade superior a 5%. Em terreno com declividade maior que 5% deverá ser previsto o nivelamento do terreno para a implantação da estrutura. Não há restrições para a declividade da área que irá contribuir para a estrutura; contudo, na fase de projeto, deve-se levar em consideração que terrenos de elevada declividade produzem escoamento com alta velocidade.

Carga de sedimentos:

Uma vez que a principal causa de falha de bacias de infiltração está relacionada ao acúmulo de sedimentos (colmatação) e consequente diminuição – ou até mesmo interrupção – dos processos de infiltração, é extremamente recomendável que, em áreas com alta produção de sedimentos ou

resíduos, devam ser instaladas estruturas de sedimentação a montante ou na entrada da estrutura. Deve-se também adotar uma frequência maior na limpeza e manutenção das estruturas desse sistema.

Tipos de Solo:

Solos com alta ou moderada taxa de infiltração, Grupos A e B, respectivamente inseridos no Grupos Hidrológicos de Solos, conforme Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.

Característica do terreno:

Levantamento e identificação das instalações subterrâneas e adjacentes, existentes ou projetadas. Os projetos deverão apontar as devidas adequações ou proteções dessas estruturas.

justamente, acomodar os volumes excedentes. Deve-se evitar áreas permanentemente alagadas.

Nível do lençol freático:

Não é adequado em locais onde o lençol freático é alto.

Drenagem e escoamento das águas:

Contribuem com o processo de retenção e infiltração das águas pluviais; o processo de evapotranspiração também pode ser atribuído às bacias de infiltração, a depender da existência ou não de vegetação em suas margens.

Revestimento:

Materiais para a construção das estruturas de entrada e saída do dispositivo e de revestimento, caso seja necessário.

Pedras do entorno da SbN:

Pode-se utilizar pedra de mão, paralelepípedos, materiais residuais ou de ornamentação no entorno (quando não houver guias) ou nas entradas do dispositivo para a dissipação da energia da água; quando não se utiliza o material, a força da água irá carrear o substrato, terra e a vegetação, danificando o canteiro ao longo do tempo.

Os materiais a serem utilizados variam conforme o projeto.

Vegetação:

Absorvem nutrientes que fluem para a bacia e liberam vapor de água de volta à atmosfera através do processo de transpiração. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos são ideais; a vegetação indicada está listada no Passo 3 deste Catálogo. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

As bacias são SbN de médio e grande porte capazes de serem utilizadas para abatimento de cheias com períodos de retorno elevados (TR > 10 anos). As bacias de infiltração desempenham funções de armazenamento temporário e infiltração das águas pluviais, o que contribui para o amortecimento dos picos das cheias e redução de volumes do escoamento superficial. As bacias são projetadas para armazenar grandes volumes de chuva; desta forma, se bem dimensionadas, podem ser implantadas em áreas suscetíveis a inundações e alagamentos com o objetivo de,



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Terra:

A depender das condições do solo e topografia da área de implantação da estrutura, deverá ser previsto o fornecimento de terra para a compactação das paredes da estrutura.



MANUTENÇÃO:

- Limpeza e desassoreamento para retirada de sedimentos e resíduos.
- Manutenção da vegetação do entorno quando necessário.
- Limpeza e desobstrução dos dispositivos de entrada e saída da estrutura, bem como do sistema de drenagem que capta e conduz a água para a bacia.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO²³:

Custo de aquisição da área para implantação da estrutura

Custo de implantação: R\$ 700,00 por m³

Custo de implantação de infraestrutura verde e equipamentos públicos: R\$ 300,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

As bacias de infiltração requerem grandes áreas para sua implantação (> 100 m²), o que dificulta a sua implementação em áreas densamente ocupadas, requerendo espaços livres.

Dimensionamento adequado:

Devem ser elaborados estudos hidrológicos e hidráulicos para o dimensionamento da estrutura e avaliação do impacto de sua implantação na bacia hidrográfica, além de levantamentos topográficos e estudos geotécnicos da área.

²³ Fonte: FCTH/SIURB-PMSP, 2022.

Vegetação adequada:

Seleção e disponibilidade de espécies vegetais (nativas locais) adequadas para as condições de seca e cheia.

Qualificação de técnicos:

Os projetos devem ser desenvolvidos por equipe técnica formada por engenheiro, arquitetos e outros profissionais. É necessário, portanto, a formação de mão de obra qualificada para projeto, implantação, operação e manutenção destes sistemas.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano. A definição da tecnologia deve considerar aspectos sanitários e estéticos para aceitação dos moradores.



Figura 29 Bacia de infiltração do Miriti Golf Club em Marituba/PA (Projeto Hidrobotânica, foto: Roberto Ferrari, 2023).



Figura 30 Parque Beija Flor, Goiânia/GO (Projeto Yara Hasegawa, foto: Francine Sakata, 2015).

- Sistema de Alagado Construído, SAC -



Figura 31 Sistema de alagado construído para tratamento efluente doméstico (Fonte: Guajava, 2023).

Sistema de Alagado Construído é uma tecnologia natural que pode tratar diferentes tipos de água poluída. Também conhecido como wetland de tratamento, zona de raízes ou jardim filtrante, esta SbN imita as áreas alagadas naturais que funcionam como “rins da terra” (SHARIFI et al, 2013) por terem capacidade de filtrar e purificar a água.

É uma tecnologia que otimiza a capacidade das plantas de fitorremediação da água, as quais, associadas ao material de apoio e microrganismos, são capazes de absorverem nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, decompor contaminantes e diminuir a população de agentes patogênicos, por meio de processos físicos, químicos e biológicos. O diferencial dessa SbN é que ela permite que o esgoto passe a ser considerado uma nova fonte de recursos trazendo benefícios econômicos para a população local, aliado ao embelezamento paisagístico.

Os SACs são categorizados em dois grupos de acordo com a forma de escoamento do efluente dentro do sistema.

Alagado Construído de Fluxo Superficial (efluente aparente): assemelham-se a alagados naturais por apresentarem lâmina d’água aparente. Estes exigem uma maior área de superfície e comportam menor carga de poluentes, se comparados aos alagados construídos de fluxo subsuperficial. São mais usados para gestão de águas pluviais urbanas com o objetivo de mitigar a poluição difusa (RUSSEL, 2021). É recomendada sua construção alinhada à rede de infraestrutura de drenagem urbana para interceptar o escoamento poluído e oferecer um tratamento antes que este chegue ao corpo hídrico mais próximo, de forma a melhorar a qualidade das águas superficiais. Sugere-se que o dimensionamento seja de 1% a 5% da área de captação (RUSSEL, 2021). Quanto mais a jusante da área de captação, maior a carga de poluentes coletados; portanto, é importante que sejam posicionados de maneira estratégica para tratar a maior carga de poluentes possível.

Alagado Construído de Fluxo Subssuperficial (efluente não aparente): o efluente escoabaixo do nível do substrato. Apresentam maior eficiência na remoção de poluentes por área. São mais utilizados para tratamento de efluentes com maior carga de poluentes. De acordo com a direção do escoamento dentro de cada unidade de tratamento podem ser classificados como de escoamento vertical ou horizontal. Também podem funcionar de forma híbrida, somando os dois sistemas para atingir um melhor nível de tratamento. Cada módulo apresenta suas especificidades e benefícios.

Por se tratar de uma tecnologia flexível, pode compor diferentes arranjos tecnológicos (SEZERINO et al, 2018) para tratar diferentes tipos de efluentes: residenciais, industriais, agrícolas, lixiviados de aterros sanitários, lodos, escoamento de águas pluviais e na recuperação de corpos d’água poluídos.

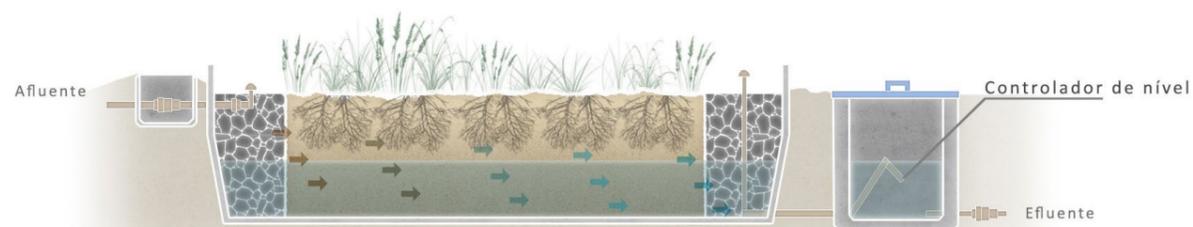


Figura 32 Alagado construído de fluxo subsuperficial escoamento horizontal (Adaptado de SEZERINO; PELISSARI, 2021).

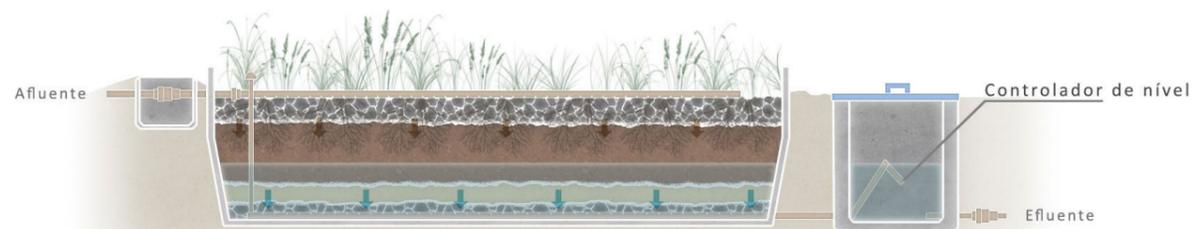


Figura 33 Alagado construído de fluxo subsuperficial escoamento vertical (Adaptado de SEZERINO et al, 2018).



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Áreas sem acesso ou com acesso restrito à rede de coleta de esgoto.

Tratamento dos efluentes provenientes de equipamentos sanitários e/ou quiosques instalados em parques ou praças onde haja área verde disponível.

Áreas onde é identificado o descarte irregular de esgoto e haja disponibilidade de área.

Após desamboque de galerias ou córregos com alta carga orgânica, os alagados podem ser integrados na paisagem e tratar essa contribuição antes que este seja despejado no corpo hídrico principal.

Novas edificações e bairros onde os alagados construídos podem ser planejados para formar uma rede de tratamento descentralizado e integrar o saneamento à paisagem.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Os wetlands construídos para tratamento de esgoto são estruturas estanques que podem ser instaladas em diferentes tipos de solo onde a capacidade de infiltração não interfere no funcionamento do sistema.

Declividade:

Podem ser implantados em terrenos com diferentes declividades. No caso da associação de vários reatores a declividade do terreno pode ajudar para que o sistema funcione por gravidade sem necessidade de aporte de energia. Quando em terreno plano, pode ser necessário o uso de motobomba para a alimentação dos reatores instalados a jusante do sistema. Quanto em terreno com inclinação até 18%, pode ser feito o terracamento do talude para conformação dos dispositivos, sendo que quanto maior a declividade, maior a necessidade de reforço nas estruturas das paredes construídas.

Carga de sedimentos:

Os Wetlands Construídos podem funcionar como uma SbN para retenção de sedimentos (SEZERINO et al., 2018). Já o aporte de sólidos grosseiros no sistema deve ser evitado para que não ocorra o entupimento das tubulações e danifique, caso haja, motobombas submersas ou outros equipamentos. Isso pode ser feito a partir de um sistema de gradeamento a montante do sistema. Já a carga de poluentes que o sistema comporta pode variar de baixo a alto, sendo um sistema flexível e adaptável às características do efluente.

Tipos de solo:

Por ser um sistema estanque o tipo de solo não interfere diretamente no funcionamento do sistema, mas pode impor condicionantes no sistema construtivo a ser utilizado.

Características do terreno:

implementação desta SbN, principalmente quando inseridas em áreas urbanas consolidadas, exige

que seja averiguada a presença de quaisquer instalações antes do início das obras ou ainda, se possível, durante a fase de projeto, verificando se as mesmas podem ser realocadas ou readequadas à configuração do projeto. A análise pode ser realizada in loco ou por meio de documentação dos órgãos responsáveis. O mesmo ocorre para a implantação das SbN em terrenos amplos destina-

dos a parques urbanos e/ou lineares. Neste caso, a cooperação entre secretarias e órgãos para troca de documentação e informações é essencial para um bom planejamento do projeto. Deve-se analisar ainda a presença de arborização ou edificações no local que possam causar sombreamento e diminuir a eficiência do sistema.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / eficiência no tratamento:

O desempenho desses sistemas depende da escolha da configuração adequada para cada tipo de água residuária, da taxa de aplicação, do tempo de detenção hidráulica e das condições climáticas locais (MATOS; MATOS, 2021). É importante a definição e o monitoramento do regime hidráulico, que é definido por 3 aspectos – quantidade de esgoto aplicada em relação à área dos wetlands em um determinado período de tempo – e por como ele é aplicado – se há intermitência (por bateladas) e/ou alternância de módulos (se opera continuamente ou com períodos de repouso). Também por se tratar de um sistema aberto, fatores como a chuva, a evaporação e a evapotranspiração interferem no controle de massa de água no sistema (SEZERINO et al., 2018).

Áreas predominantemente alagadas, como brejos e mangues, devem ser bem conservados e manejados; caso apresentem estado de degradação, deve-se consultar material referente à recuperação deste bioma e tratar o problema na fonte. Se uma das causas for a contaminação por despejo irregular de poluentes, os alagados construídos

podem ser implantados a montante. Em áreas alagáveis, os wetlands podem ser implantados, desde que haja um extravasor conectado à rede coletora. Em áreas destinadas à reservação, os Alagados Construídos podem ajudar na redução do pico de inundação.

Nível do lençol freático:

Influi na escolha da estrutura e, conseqüentemente, no seu custo. Estruturas escavadas possuem menor custo (por não ter necessidade do material e da mão de obra de construção do tanque), mas nem sempre são recomendáveis, como no caso de locais onde lençol freático é muito raso.

Drenagem e escoamento das águas:

As características de regulação hídrica e tratamento de águas (pluviais e residuais) dos wetlands construídos contribuem para a despoluição e o reabastecimento de corpos hídricos. O efluente tratado pode ser reutilizado (para fins não potáveis) e colaborar para a segurança hídrica do município, armazenando temporariamente as águas pluviais e ajudando a reduzir os fluxos de pico (EISENBERG et al., 2022). Ainda contribui com a evaporação e a evapotranspiração.

concreto preenchidos com concreto e armadura, ou estruturas pré-moldadas em fibra de vidro.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Elementos construídos:

Para sistemas construídos sob o solo, pode-se considerar alvenaria estrutural, com blocos de

Impermeabilização:

Para sistemas de alvenaria, pode-se utilizar aditivo impermeabilizante no reboco da parte interna; não se recomenda a utilização de manta asfáltica (SEZERINO et al., 2018). Para sistemas escavados, pode-se utilizar geomembrana PEAD (Polietileno de Alta Densidade) de 0,8mm, com a utilização de geotêxtil (e.g. manta bidim) para sua proteção mecânica, instalada abaixo e acima desta, formando um sanduíche.

Material filtrante:

Os alagados construídos, o material filtrante desempenha um papel fundamental, onde além de filtrar de maneira física, também contribui nos processos bioquímicos, já que proporciona o meio de desenvolvimento tanto do sistema radicular das macrófitas como do biofilme microbiano, além de realizar o processo de adsorção de poluentes, que consiste na retenção por atração química de alguns compostos sobre a superfície dos grãos do

material filtrante (SEZERINO et. al. 2018). O material filtrante deve apresentar uma boa condutividade hidráulica (boa permeabilidade) para manter as condições adequadas de fluxo e promover a adsorção de compostos inorgânicos, minimizando o risco de colmatção. Os materiais mais utilizados são o cascalho, a brita, a areia e o solo. No entanto, estão sendo estudados uma série de materiais alternativos para a redução de custos e para a reutilização resíduos sólidos descartados de outras atividades, podendo ser resíduos da construção civil, conchas, garrafas PET, lascas de pneu (SEZERINO; PELISSARI, 2021).

Vegetação:

As plantas são um fator fundamental para o funcionamento de wetlands construídos, pelo qual se inclui um tópico adicional específico para esta SbN (vide mais informações no Passo 3 deste Catálogo).



MANUTENÇÃO:

Apesar de serem conhecidos por um menor custo de operação e manutenção, para garantir o sucesso do sistema conforme especificado em projeto é necessário o controle operacional, que engloba:

- Manejo das macrófitas: poda periódica da parte aérea da vegetação de acordo com o ciclo de vida de cada espécie e o controle de pragas. A poda estimula o crescimento da planta e favorece a remoção de poluentes e matéria orgânica do efluente.
- Controle de espécies invasoras que podem ser prejudiciais ao sistema.
- Limpeza do gradeamento, onde se acumulam os detritos sólidos.
- Manter o bom funcionamento de equipamentos quando existentes (e.g. motobombas, válvulas, registros, etc).
- Monitoramento do desempenho de funcionamento do sistema pode ser feito com a coleta e análise de qualidade de água de amostras do efluente de entrada e de saída, seguindo metodologias de análise de qualidade da água especificados na Wastewater Analysis – Standard Methods, pela American Public Health Association (APHA), de acordo com a aceitação da ABNT, pelo decreto 8468/76 – artigo 16.
- O período mais intensivo de manutenção é durante o estabelecimento da vegetação, quando pode ser necessário o replantio. O manejo correto das plantas favorece um melhor desempenho do sistema, além de proporcionar aspectos positivos em relação
- ao paisagismo ambiental.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação entre R\$1.200,00 e R\$2.000,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Os alagados construídos requerem uma maior área comparada a tecnologias convencionais – como o reator anaeróbio de fluxo ascendente, também chamado de UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou lodo ativado –, o que dificulta a sua implementação em centros urbanos, mas que pode ser contornado utilizando um pré tratamento e integrando áreas verdes existentes ou até mesmo na criação de parques de alagados construídos.

Colmatação:

Escolha correta dos materiais do meio filtrante é essencial para retardar o processo de colmatação. Recomenda-se a lavagem prévia do material filtrante para a remoção de partículas que possam acelerar este processo.

Vegetação adequada:

Escolha de espécies vegetais nativas, locais e adequadas para o tipo de água residuária é fundamental para o sucesso do tratamento.

Taludes:

Em casos de escavação em taludes, deve-se atentar para que sejam construídos para suportar o peso do material filtrante e do volume tratado sem colapsar.

Contaminação:

No caso de efluentes contaminados com metais pesados, se estes podem ser incorporados ao tecido da planta, o material da poda deve ser descartado adequadamente de acordo com a legislação vigente.

Qualificação de técnicos:

Os projetos devem ser desenvolvidos por equipe técnica formada por engenheiro, arquitetos e outros profissionais. Devem ser elaborados estudos hidrológicos e hidráulicos para o dimensionamento da estrutura e avaliação do impacto de sua implantação na bacia hidrográfica, além de levantamentos topográficos e estudos geotécnicos da área. É necessário, portanto, a formação de mão de obra qualificada para projeto, implantação, operação e manutenção destes sistemas.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano. A definição da tecnologia deve considerar aspectos sanitários e estéticos para aceitação dos moradores.

- Sistema de Alagado Construído, SAC -



Figura 34 Sistema de Alagado construído Estação Cidade Jardim em São Paulo/SP (Projeto Vertical Garden e Guajava, foto: Sarah Daher, 2023).



Figura 35 Sistema de Alagado construído Estação Cidade Jardim em São Paulo/SP (Projeto Vertical Garden e Guajava, foto: Sarah Daher, 2023).

- Ilhas Filtrantes Flutuantes -

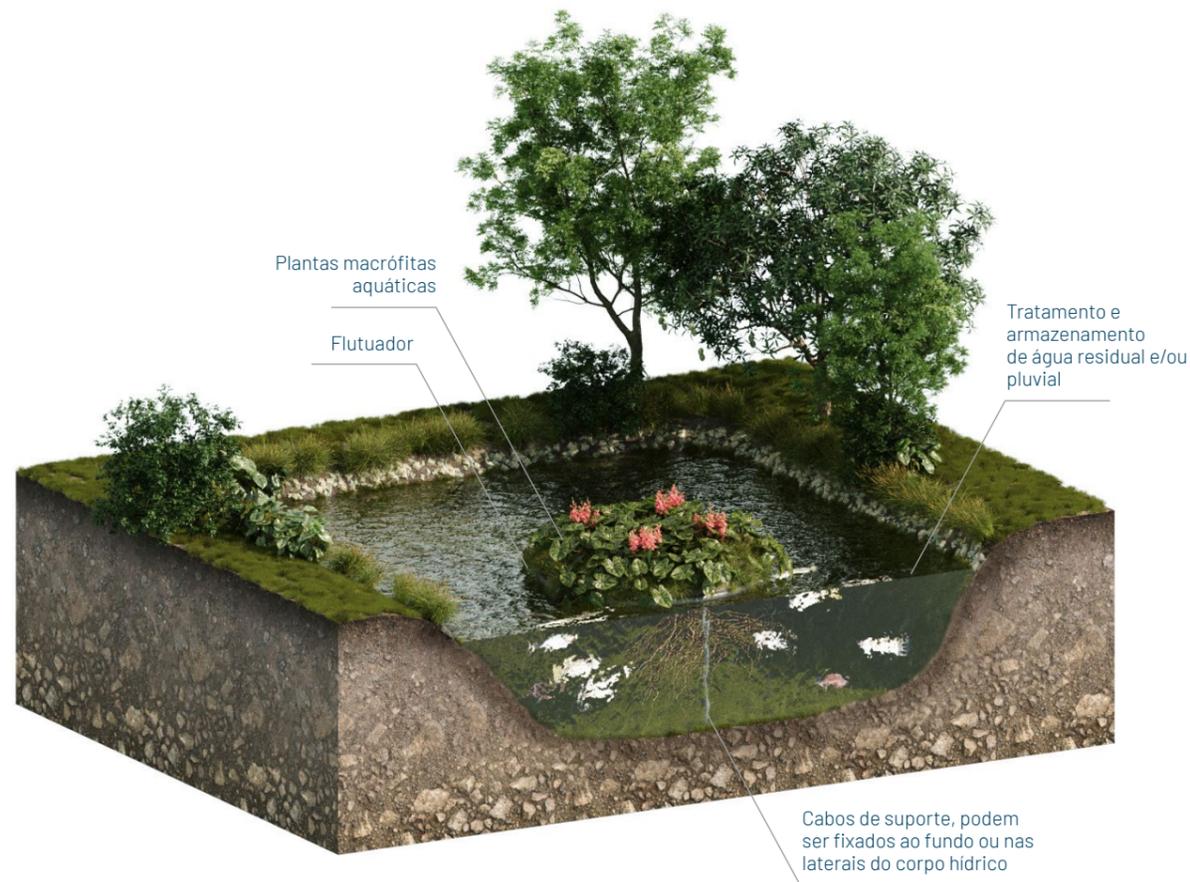


Figura 36 Ilha filtrante flutuante (Fonte: Guajava, 2023).

As Ilhas Filtrantes Flutuantes ou Wetlands Flutuantes consistem em uma infraestrutura flutuante, sobre a qual a vegetação emergente é estabelecida e onde as partes superiores da vegetação se desenvolvem, principalmente acima da lâmina d'água, enquanto as raízes se estendem para baixo na coluna d'água. As plantas crescem em um sistema hidropônico, desenvolvendo um extenso sistema radicular capaz de absorver nutrientes diretamente da coluna d'água (PAVLINERI et al, 2017).

Diferem-se dos demais sistemas de fitorremediação por serem implementadas diretamente ao corpo hídrico de águas superficiais, com fácil instalação e abstendo-se da necessidade de aquisição de terreno (SHAHID et al, 2019). São considerados uma alternativa eficiente e de baixo custo, utilizadas comumente em lagos, lagoas, rios, córregos, mananciais e até mesmo em ambientes marinhos (TAKAVAKOGLU et al., 2021).

As ilhas filtrantes flutuantes fornecem um habitat artificial para plantas emergentes. Podem ser construídas de diferentes materiais flutuantes ou adquiridas por empresas que vendem o sistema já pronto, em módulos. As raízes ficam submersas na água onde o desenvolvimento de um sistema radicular denso é fundamental para o desempenho do sistema (PAVLINERI et al, 2017). As raízes e o meio de suporte poroso oferecem habitat para microorganismos que formam o biofilme, onde ocorre a maior parte da absorção e degradação de nutrientes. As ilhas podem ficar livres ou ser ancoradas ao fundo ou na borda do corpo d'água.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Foram desenvolvidas principalmente para reduzir a poluição causada por excesso de nutrientes e poluentes, portanto são recomendadas para: lagos e lagoas eutrofizados; rios e córregos contaminados por águas residuais; bacias de retenção para tratamento de águas pluviais; e em mananciais para melhoria da qualidade da água.

São recomendadas para águas de fluxo lento, embora possam tolerar flutuações no fluxo e na profundidade da água.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Não se aplica, uma vez que é colocada em corpos hídricos.

Declividade:

Segue a declividade do corpo hídrico.

Carga de sedimentos:

Podem ser utilizadas para tratar diferentes tipos de água poluída, e apresentam uma boa eficiência na remoção de nutrientes, sólidos suspensos, algas e metais. Podem tratar desde águas pluviais, esgotos e águas residuais agrícolas, industriais e aquicultura.

Tipos de solo:

não se aplica.



HIDROLOGIA:

Serviço ecossistêmico:

Melhoram a transparência e evitam o crescimento de algas verdes; o biofilme que se forma nas raízes e no substrato ajudam na remoção da poluição, lodos e excesso de nutrientes. Fornecem habitat seguro para peixes, pássaros e outros animais como tartarugas e insetos polinizadores.



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Materiais flutuantes:

Podem ser utilizados canos de PVC, materiais recicláveis como garrafas PET, materiais naturais como o bambu, chapas ou espumas plásticas.

Substrato de plantio:

Pode-se usar fibra de coco; algumas empresas que comercializam Ilhas Filtrantes Flutuantes oferecem um mix de plantio próprio.



MANUTENÇÃO:

- Manejo das macrófitas: poda periódica da parte aérea da vegetação de acordo com o ciclo de vida de cada espécie, e o controle de pragas. A poda estimula o crescimento da planta e favorece a remoção de poluentes e matéria orgânica do corpo hídrico, e evita que o nitrogênio e o fósforo armazenados entrem na água quando as plantas morrem e se decompõem.
- Controle de espécies invasoras que podem ser prejudiciais ao sistema.
- A manutenção pode ser feita deslocando-se até a Ilha Filtrante Flutuante, ou puxando-a para a costa caso esteja ancorada na lateral e seu tamanho permita movimentação.

Características do terreno:

Preferencialmente instaladas em corpos hídricos com baixa vazão e velocidade da água. Ilhas flutuantes são capazes de resistir a inundações e eventos de chuva extremos. Os módulos podem estar ancorados no fundo ou na lateral, sendo capazes de subir e descer de acordo com o nível da água. Caso não estejam ancorados e haja mudança no nível da água, podem se mover para a costa e enraizar, perdendo assim suas propriedades de ilha flutuante.

Controle de vazão:

São recomendadas para águas de fluxo lento, com uma profundidade mínima de 0.8m para que as raízes não se fixem ao fundo do corpo hídrico (HEADLY e TANNER; 2008).

Sistema de ancoragem:

Pode ser feito com blocos, âncoras helicoidais ou postes.

Vegetação adequada:

A escolha de espécies vegetais nativas, locais e adequadas para o tipo de água residuária é fundamental para o sucesso do tratamento.

- Monitoramento da saúde das plantas, inclusive do sistema radicular.
- O monitoramento do desempenho de funcionamento do sistema pode ser feito com a coleta e análise de qualidade de água de amostras do efluente de entrada e de saída, seguindo metodologias de análise de qualidade da água especificados pela American Public Health Association, de acordo com a aceitação da ABNT pelo decreto 8468/76 - artigo 16.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação entre R\$ 200,00 e R\$ 700,00 por m²

Podem ser construídas ou adquiridas por empresas especializadas, que oferecem o produto em diferentes tamanhos, formatos, sistemas modulares e até mesmo em tamanhos personalizados.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Nível de água:

Para que funcionem, as Ilhas Filtrantes Flutuantes requerem água permanente para manter a vegetação. Deve-se considerar uma profundidade de 0.8 a 1.5m de profundidade para que as raízes não se fixem ao fundo do corpo hídrico.

Vegetação:

Devem ser consideradas espécies nativas locais com base nas características do corpo hídrico local. O crescimento das raízes é de 0.4 a 0.8m de profundidade sendo que algumas espécies podem chegar até 1.5m de profundidade.

Ancoragem:

Ancoragem nem sempre é necessária, mas há o risco de o vento embocar a ilha ou esta ser dirigida para a costa e perder suas características de ilha. É necessário definir qual tipo de ancoragem com base nas características do corpo hídrico a ser tratado; deve permitir variações no nível da água levando em consideração a velocidade do fluxo projetada e a manutenção.

Qualificação de técnicos:

Disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano.

- Ilha Filtrante -



Figura 37 Ilha filtrante construída no Pesqueiro do Carmo, São Paulo/SP (Projeto de mestrado de Cleandho Marcos de Souza, 2020, foto: Cleandho Marcos de Souza, 2019).

- Ilha Filtrante Flutuante -



Figura 38 Ilha filtrante flutuante do Parque Burle Marx em São Paulo/SP (Projeto cedido pela Água V durante o Responsib'ALL DAY 2018, foto: Sarah Daher, 2019).

- Reservatório Anfíbio -



Figura 39 Reservatório anfíbio vazio, vista externa (Fonte: FCTH, 2021).



Figura 40 Reservatório anfíbio cheio, vista interna (Fonte: FCTH, 2021).

O Reservatório Anfíbio é um sistema de reservatório de águas pluviais, desenvolvido pela Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, em conjunto com a Fundação do Centro Tecnológico de Hidráulica e a Prefeitura de São Paulo, como solução em substituição aos reservatórios tradicionais.

Ele se difere dos conhecidos “piscinões” ao apresentar uma proposta contemporânea que integra a função de lazer a ações de recuperação da paisagem: como contemplar a abertura de um trecho de um córrego urbano canalizado e a restauração de sua várzea; e em diferentes momentos, fitorremediar as águas pluviais e fluviais por meio de ilhas filtrantes, além de cumprir com a função de reserva. O nome “anfíbio” advém da funcionalidade tanto em períodos de cheia quanto de seca, tal qual algumas de nossas rãs e sapos. É uma estrutura complexa, que abarca também diferentes SbN que contribuem com a melhoria ambiental, atuando no tratamento das águas pluviais, infiltração e reabastecimento do lençol freático, bem como na recomposição vegetal.

Neste sistema, a vazão das águas pluviais e fluviais (caso o córrego seja aberto dentro do reservatório in line) encaminha-se por diferentes trechos de tratamento. Inicialmente, são retidos possíveis resíduos sólidos em um sistema de grelhas que facilitam a manutenção e limpeza junto a uma bacia de sedimentação na entrada do reservatório. No trecho seguinte, o aumento da rugosidade das margens do córrego – com o plantio de espécies tolerantes a alagamentos – permite a diminuição da velocidade do escoamento e o processo de fitorremediação e deposição de sedimentos finos nas pequenas ilhas formadas pela ramificação das águas. Em chuvas de grandes vazões, o reservatório é preenchido em toda a sua capacidade, funcionando como um reservatório comum, com uso de mecanismos de controle adequados. Ao final, as águas são direcionadas novamente à galeria e faz-se a posterior limpeza do reservatório, como nos casos tradicionais.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

O reservatório anfíbio é desenvolvido para substituir a necessidade de reservatórios convencionais e deve ser implantado de acordo com os critérios de engenharia hidráulica, conforme a necessidade de controle das cheias.

A implantação de um reservatório de retenção de águas pluviais deve ser analisada por engenheiros hidráulicos, devidamente especializados em áreas de contenção de chuvas, pois necessita de cálculos de vazão, resistência, bem como de impactos ambientais, urbanísticos e estruturais.

PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Quanto mais permeável o solo, maior a capacidade de infiltração da estrutura; por se tratar de uma estrutura de retenção de cheias, esse parâmetro é pouco expressivo.

Declividade:

Não devem ser implantadas em terrenos com declividade superior a 5%, ou deverá ser previsto o nivelamento do terreno para a implantação da estrutura.

Carga de sedimentos:

Em áreas com alta produção de sedimentos ou resíduos, devem ser instaladas estruturas de sedimentação a montante ou na entrada da

estrutura. A implantação de reservatório anfíbio em córregos com altas cargas de poluentes deve ser considerada com cautela, devendo ser previstos sistemas de controle da poluição a montante do reservatório.

Tipos de solo:

Por se tratar de uma estrutura de retenção, esse parâmetro é pouco expressivo.

Características do terreno:

Levantamento e identificação das instalações subterrâneas e adjacentes, existentes ou projetadas, na fase de projeto deverão apontar as devidas adequações ou proteções dessas estruturas.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

Como área de destinação das águas pluviais, a criação de um reservatório anfíbio deve ter capacidade semelhante à calculada para um reservatório convencional, que pode ser melhorado por uma rede de microdrenagem composta por SbN como bioaletas, jardins de chuva e outras que possam contribuir para a redução da vazão e da velocidade de escoamento e para o aumento da infiltração e qualidade das águas antes que cheguem ao reservatório.

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto a estrutura deverá ser revestida e impermeabilizada, evitando que as águas do lençol adentrem na estrutura.

Drenagem e escoamento das águas:

Contribuem com o processo de retenção das águas pluviais; os processos de infiltração e evapotranspiração também podem ser atribuídos às bacias a depender das condições de permeabilidade do solo local e da existência ou não de vegetação em seu interior.

CRITÉRIOS ESPECÍFICOS DESTA SBN:

Sistema de bombeamento das águas pluviais do reservatório para a rede de drenagem existente após seu funcionamento ou em caso de extravasamento do sistema.

Criação de áreas de circulação, redes de acesso e equipamentos públicos dentro e no entorno do

reservatório, para que o mesmo possa contribuir com a função de contemplação e lazer da população usuária, bem como um tratamento paisagístico que contribua com a melhoria ambiental da região.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Para o reservatório anfíbio, além dos materiais, são necessários três tipos de sistemas:

Sistema construtivo para quando as paredes do reservatório forem de concreto e materiais para criação de um reservatório naturalizado, como solo drenante e vegetação adequada para áreas alagadiças.

Sistema de bombas hidráulicas e área de instalação e funcionamento (casa de bombas), no caso de dispositivos offline.

Sistema de acesso para limpeza do reservatório (via para acesso de veículo de limpeza).

Materiais necessários para o sistema de microdrenagem – verificar as especificações detalhadas neste Catálogo para cada SbN, como:

Brita ou pedra de mão:

A camada de brita, preferencialmente nº 5, ou a utilização de pedra de mão ou ainda resíduos de

concreto removidos in loco (sem a presença de componentes contaminantes para o lençol freático) é denominada como a camada de armazenamento e de transferência, onde a água é temporariamente acumulada antes de ser destinada ao abastecimento do lençol freático, ou direcionada ao sistema de drenagem convencional.

Areia:

Acamada de areia visa o aumento da infiltração e redistribuição da água no solo. Através da utilização da areia, aumenta-se a porosidade e aeração, auxiliando que a água penetre por esta camada.

Vegetação:

Adequada: vegetação e substrato adequados para cada tipo de região, que possuam raízes fortes para contribuir na estabilização de paredes ou taludes (caso o reservatório não seja com paredes de concreto armado), e resistentes a períodos de alta umidade.

MANUTENÇÃO:

- Manter o plantio da vegetação nativa permanente, evitando a degradação causada pelo desmatamento ou pela presença de espécies invasoras.
- Conferir a drenagem dos sistemas de microdrenagem acoplados à macrodrenagem do reservatório após períodos de grandes chuvas, garantindo o funcionamento dos extravasores e das SbN conectadas ao sistema.
- Garantir a limpeza do reservatório anfíbio após seu funcionamento em períodos de cheias e a desinfecção quando do aporte de águas poluídas.
- Criar um cronograma de manutenção do acesso de limpeza e do sistema de bombas do reservatório.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Custo de aquisição da área para implantação da estrutura

Custo de implantação: R\$ 700,00 por m³.²⁴

Custo de implantação de infraestrutura verde e equipamentos públicos: R\$ 300,00/m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Área:

Os reservatórios anfíbios requerem grandes áreas para sua implantação (> 100 m²), o que dificulta a sua implementação em áreas densamente ocupadas, requerendo espaços livres. Criar áreas de lazer conectadas ao sistema de modo a trazer benefícios paisagísticos e sociais ao meio urbano.

Dimensionamento adequado:

Devem ser elaborados estudos hidrológicos e hidráulicos para o dimensionamento da estrutura e avaliação do impacto de sua implantação na bacia hidrográfica, além de levantamentos topográficos e estudos geotécnicos da área.

Vegetação adequada:

Seleção e disponibilidade de espécies vegetais (autóctones) adequadas para as condições de seca e cheia.

Qualificação de técnicos:

Os projetos devem ser desenvolvidos por equipe técnica formada por engenheiro, arquitetos e outros profissionais. É necessário, portanto, a formação de mão de obra qualificada para projeto, implantação, operação e manutenção destes sistemas.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano. A definição da tecnologia deve considerar aspectos sanitários e estéticos para aceitação dos moradores.

- Reservatório Anfíbio -



Figura 41 Projeto do Reservatório Anfíbio Abegoária, caderno de bacia hidrográfica do Verde Pinheiros da Fundação do Centro Tecnológico de Hidráulica, FCTH (Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, 2020).

- Pôlder Vegetado -

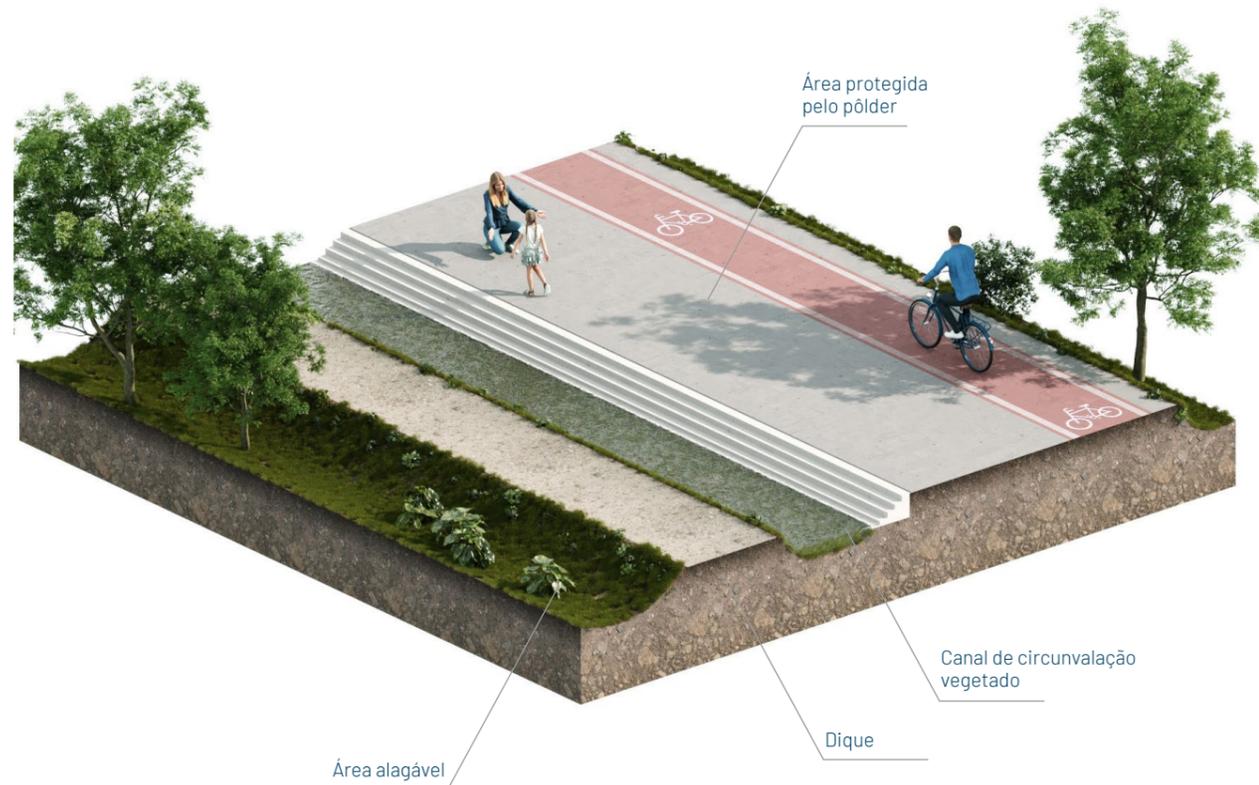


Figura 42 Pôlder Vegetado (Fonte: Guajava, 2023).

A solução convencional de construção de um sistema de pôlder é composta por: um dique; um reservatório de detenção; uma rede de galerias e canaletas para a coleta e condução das águas pluviais para o reservatório; e um sistema constituído por bombas, que retornam a água acumulada no reservatório para o rio. Neste cenário, a bacia de contribuição da região interna ao pôlder tem sua drenagem conduzida ao reservatório, cujas dimensões, pequenas se comparadas a um reservatório de detenção convencional, justificam-se em decorrência da função desta estrutura, servindo apenas como uma caixa de passagem para o volume de cheia a ser bombeado.

Este mesmo sistema pode ser mais eficiente e ecológico se for construído em conexão com as SbN, de modo a se tornar uma infraestrutura híbrida, sendo portanto importante fazer as seguintes alterações, pensadas pela equipe de técnicos da Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo:

O dique deve ser construído com materiais naturais, permitindo o plantio de vegetação nativa e com potencial de fitorremediação, desde que possua um núcleo impermeável de argila compactada, o que impede a percolação de água do corpo hídrico para dentro da área baixa, para a qual o dique foi projetado a isolar. Pode-se também imaginar uma ciclovia no topo do dique e passarelas de conexão com o entorno e circulação, áreas de mirantes e espaços de lazer contíguos. O reservatório também deve ser impermeável, de modo que o corpo hídrico principal não encha essa estrutura através da percolação da água pelo solo.

A rede de microdrenagem para a constituição de uma SbN deve preferencialmente ser composta por biovaletas, jardins de chuva, canteiros pluviais, bacias de retenção vegetadas e outras SbN cabíveis, de acordo com as sugestões apontadas anteriormente, e a canaleta paralela ao dique deve ser substituída por uma grande biovaleta que conduzirá as águas pluviais ao reservatório anfíbio. O reservatório tradicional pode ser substituído por um reservatório anfíbio, conforme detalhado neste Catálogo.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Em áreas urbanizadas baixas, próximo ao curso de rio, córrego ou mar.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

A biovaleta é a única parte do sistema de pôlder que é permeável. Para que o sistema de drenagem alcance bons resultados na absorção de água, é necessário realizar ensaios de caracterização do

solo, como o de análise granulométrica, que determina a porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Assim se identifica a parcela de argila, silte, areia e pedregulho presen-

tes em uma determinada amostra. A fração grossa do solo (pedregulho e areia) é muito mais permeável do que a fração fina (argila e silte), e por isso é preferível na composição de medidas infiltrantes. Por outro lado, os diques devem ser impermeáveis, sendo constituídos de argila ou silte compactados.

Declividade:

O dique e o reservatório não têm limitações quanto a declividade; já para a biovaleta projetada, quando implantada em terreno com inclinação de até 5%, a eficácia da SbN quanto à infiltração e condução das águas estará com melhor aproveitamento, porém, quando inserida em terrenos com inclinação superior a 5%, é necessário o uso de barramentos para reduzir a velocidade de condução da água e manter sua eficácia elevada sem carrear vegetação e solo. Já para o grau de inclinação das laterais da biovaleta (taludes), o mesmo deve ser definido de acordo com a taxa de erosão do solo ou ainda requisitos e preocupações contextuais específicas do local, como por exemplo a existência ou não de meio fio e demais especificidades projetuais. Os taludes podem ser

diferentes de um lado em relação ao outro. O dique deve ter suas cotas inicial e final amarradas no terreno, e ao longo de todo o trecho a ser protegido. Ele deve seguir a declividade natural do terreno longitudinalmente, garantindo a proteção de áreas baixas com as cotas de inundação abaixo da crista do dique em toda a sua extensão.

Carga de sedimentos:

O aporte de sólidos no sistema é alto e demanda limpeza a cada evento de chuva. Devem ser previstos mecanismos para a retenção de sólidos de modo a prevenir contra o aporte de sedimentos que pode vir a provocar a colmatção.

Tipos de Solo:

O sistema se adequa com maior eficácia em solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração e em solos contendo moderada taxa de infiltração e bem drenados, Grupos A e B, respectivamente inseridos nos Grupos Hidrológicos de Solos, cf. Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (SCS-USDA).

baixa absorção, sendo assim, sugere-se que o dique seja estanque, evitando que a água do lençol adentre na estrutura.

Drenagem:

As diversas SbN detalhadas neste Catálogo podem ser aplicadas ao sistema de pôlder vegetado, devendo-se seguir as recomendações de conexão com os sistemas de drenagem existentes e as necessidades de atendimento às vazões calculadas.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

Para se definir o tempo de retorno do dispositivo, é necessário realizar os cálculos de acordo com normas municipais considerando o índice de galeria de águas pluviais públicas à qual a SbN estará correlacionada.

Nível do lençol freático:

Em locais onde o nível do lençol freático é alto, a eficácia do sistema será comprometida devido à

CRITÉRIOS ESPECÍFICOS DESTA SBN:

Construção do dique de barramento:

a base do dique deve seguir os modos construtivos tradicionais de um sistema de engenharia, sendo

previstas fundações, estruturas e materiais de resistência necessários. Já no que tange ao acabamento superficial, sugere-se aplicação de

uma cobertura de terra natural com substratos necessários para plantio de espécies vegetais rasteiras e herbáceas de baixo e médio porte, com a finalidade de reter umidade, reduzir a velocidade de escoamento de águas pluviais, manter a contenção natural dos taludes e criar uma paisagem agradável que favoreça a biodiversidade local.

Biovaleta para condução das águas pluviais ao reservatório:

Em substituição ao canal de concreto tradicional, deve-se projetar biovaletas estruturadas de acordo com a vazão calculada para o sistema, contemplando largura, profundidade e rugosidade suficientes para o devido escoamento das águas drenadas da área baixa – a ser isolada com medidas estanques – e ainda garantindo a máxima permeabilidade do solo e fitorremediação proporcionada pela vegetação ideal. Seguir orientações sobre biovaletas indicadas neste Catálogo, considerando as devidas proporções necessárias para a vazão calculada para o sistema.



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Estrutura do dique:

os materiais são definidos em projeto a depender da situação local, sendo preferencialmente de solo compactado (argila ou silte) ou de concreto, para o efetivo isolamento hidráulico da área baixa a ser protegida.

Vegetação adequada:

vegetação e substrato adequados para cada tipo de região, que possuam raízes fortes para contri-



MANUTENÇÃO:

- Prever quantidade de mudas adicional de 2% a 5% do valor total para mitigar perdas iniciais, devido a mudas que possam morrer logo após o plantio no período de adaptação (ação pontual na implementação);
- Conferir a drenagem do solo após períodos de grandes chuvas, garantindo o funcionamento dos extravasores e da biovaleta conectada ao sistema (ação recorrente);
- Remover manualmente resíduos que impeçam o fluxo de água²⁵ (ação recorrente);

Reservatório:

Como estrutura de destinação das águas pluviais do sistema de pôlder vegetado, sugere-se a criação de um reservatório anfíbio, de estrutura impermeável – com capacidade reduzida em comparação a um volume de reservatório convencional, pois deve ser dimensionado considerando o sistema de bombeamento em pleno funcionamento.

Sistema de bombeamento das águas pluviais do reservatório para o curso d'água durante o evento da cheia:

Diferentemente do reservatório de detenção convencional, que é apenas esvaziado após o evento de precipitação, os pôlders devem funcionar tão logo seus reservatórios de passagem comecem a encher.

buir na estabilização de taludes e resistentes a períodos de alta umidade.

Sistema de extração do volume armazenado:

sistema de bombas hidráulicas e área de instalação e funcionamento (casa de bombas).

- Criar um cronograma de manutenção do acesso de limpeza e do sistema de bombas do reservatório;
- Conferir se há danos nas estruturas do dique e fazer reforços estruturais quando necessários.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Construção do dique: R\$14.000,00 por m².

Construção da biovaleta: variação²⁶ entre R\$200,00 e R\$500,00 por m².

Construção do reservatório e bombeamento: R\$ 3.200,00 por m³.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Dificuldade em obter informações prévias das instalações subterrâneas, muitas vezes interferindo na revisão do projeto após o início das obras.

Colmatação:

Contratação de manutenção para as SbN entre 5 a 10 anos após a implementação para recuperação da sua capacidade de infiltração.

Vegetação adequada:

Disponibilidade de espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

Disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução. A implantação deve ser analisada por engenheiros hidráulicos especializados em áreas de contenção de chuvas, pois se trata de sistema de grande impacto na paisagem ao longo de rios e para as populações que convivem com as suas cheias.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de SbN no planejamento urbano.

²⁵ Ação a ser feita por órgão responsável pela manutenção e limpeza ou por pessoa civil. Indica-se incentivo à adoção de áreas verdes.

²⁶ De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais, mão de obra, vegetação.

- Pôlder Vegetado -

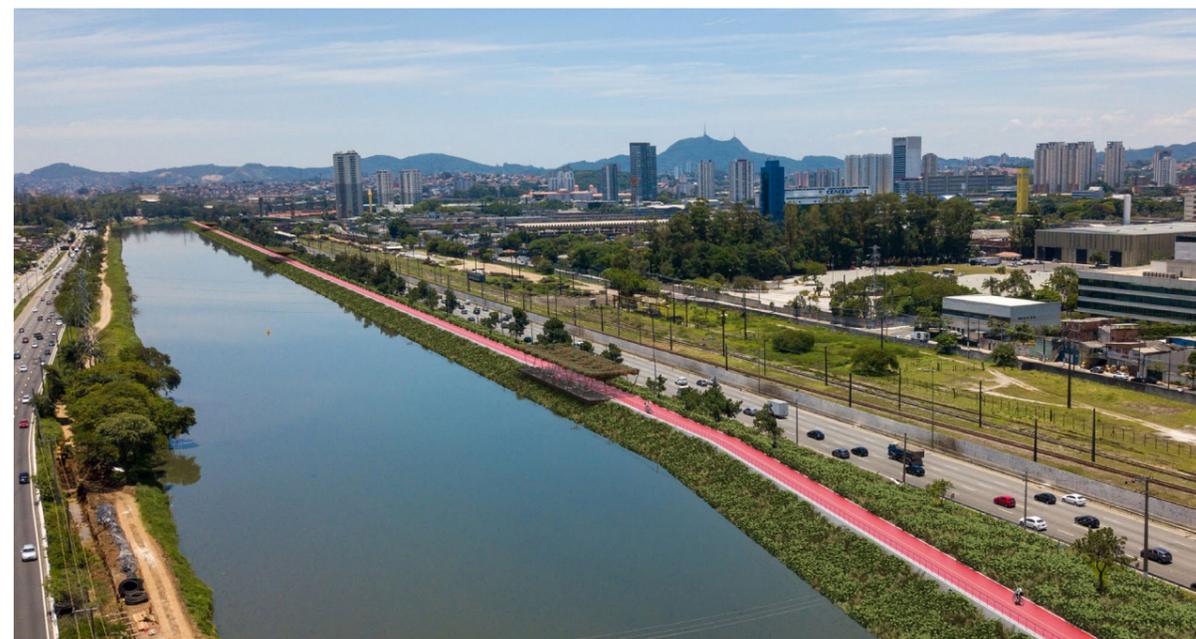


Figura 43 Pôlder Vila Leopoldina, caderno de bacia hidrográfica Bacia da Vila Leopoldina da Fundação do Centro Tecnológico de Hidráulica, FCTH (Projeto Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, 2022).



Figura 44 Pôlder Jardim Helena, caderno de bacia hidrográfica Bacia do Lageado da Fundação do Centro Tecnológico de Hidráulica, FCTH (Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, 2022).

- Step Pool -

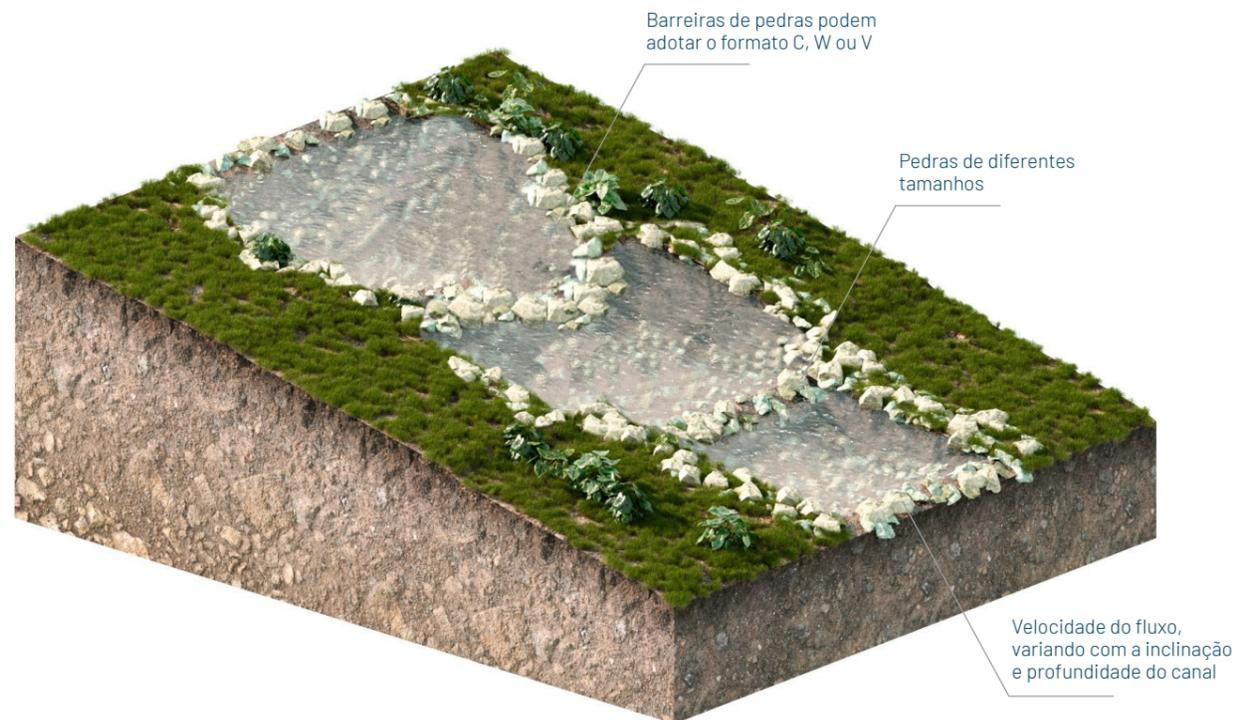


Figura 45 Step pool (Fonte: Guajava, 2023).

Step pools são piscinas com degraus regenerativos para transporte de águas pluviais (AACG, 2010). Essa SbN consiste na construção de uma sequência alternada de piscinas que desempenham um papel crucial na redução dos riscos de desestabilização de cursos d'água durante precipitações intensas, onde o escoamento chega a atingir altas velocidades, causando erosão e outros problemas estruturais.

A infraestrutura cinza para drenagem de águas pluviais concentra o escoamento da chuva em tubulações e, quando estes tubos terminam no fundo de vale, o fluxo concentrado e a alta velocidade podem causar extensa erosão e contribuir para o aumento de sedimentos nos cursos d'água. Por outro lado, as Step Pools dissipam o fluxo de energia durante eventos de chuvas intensas e, durante condições de baixo fluxo, funcionam como lagoas pluviais, tratando a água por meio da fitorremediação das plantas, melhorando a qualidade da água e abastecendo os reservatórios subterrâneos rasos.

A tecnologia consiste na colocação de barreiras de pedras ao longo do curso d'água, formando pequenos reservatórios entre elas. Quando necessário, essas áreas podem ser escavadas para aumentar a capacidade de reservação e contribuir na redução da velocidade das águas. Porém, a colocação das barreiras deve criar desenhos diferentes para cada tipo de local, atentando-se para as diferentes necessidades de armazenamento, redução da velocidade de escoamento e tratamento das margens. Dessa forma, os desenhos das barreiras serão personalizados para cada contexto, visando atender de forma eficiente aos objetivos desejados.

Tal SbN oferece benefícios em relação à qualidade da água e à recuperação do canal, bem como melhoria hidráulica sem aumentar os riscos de inundação local.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

O sistema é projetado para ser instalado em cursos d'água que necessitem de redução de velocidade de escoamento e que também possuam dimensão para geração das piscinas (que garantam o armazenamento da vazão aumentada em períodos de fortes chuvas), e taludes firmes, que não sejam danificados com a criação das áreas escavadas.



PEDOLOGIA/TOPOGRAFIA:

Permeabilidade do solo:

Não se aplica, uma vez que é alocada sob o leito dos riachos, córregos e rios.

Declividade:

As barreiras devem ser criadas de acordo com a necessidade de redução da velocidade da vazão,

sendo que, quanto maior a declividade natural, maior a necessidade de redução da velocidade, para que haja uma melhor contribuição no controle das inundações a jusante.

Carga de sedimentos:

Em áreas com alta produção de sedimentos ou

resíduos devem ser instaladas bacias de sedimentação a montante ou na entrada da estrutura.

Tipos de solo:

Por se tratar de uma estrutura para diminuição da velocidade de escoamento das águas, esse parâmetro é pouco expressivo.

HIDROLOGIA:

Controle de vazão / capacidade de interceptação:

É uma variável importante, pois quando a contribuição de vazão aumenta consideravelmente em eventos de chuvas, aumenta proporcionalmente o risco de problemas de estabilidade, velocidade de escoamento e riscos de inundação ao longo do curso d'água. Sendo, portanto, uma condição que deve ser estudada para a projeção de quantidade de barreiras e profundidade de piscinas a serem executadas para que não haja impedimento ao

fluxo natural e haja maior eficácia no sistema em todos os períodos.

Drenagem e escoamento das águas:

contribuem com o processo de detenção das águas pluviais; os processos de infiltração e evapotranspiração também podem ser atribuídos às bacias a depender das condições de permeabilidade do solo local e da existência ou não de vegetação em seu interior.

CRITÉRIOS ESPECÍFICOS DESTA SBN:

Profundidade das piscinas:

Quanto maior a profundidade, maior o efeito de turbilhão produzido dentro das piscinas formadas pelas barreiras. As piscinas podem ser mais profundas quando há maior declividade natural e, quando não há, é possível escavar para criar áreas mais profundas e promover maior área de retenção da vazão.

Dimensão das margens:

Quanto mais largo o curso d'água, maior a variedade de formatos possíveis para alocação das pedras. É possível criar zonas de tratamento das águas entre as margens e as barragens quando se tem maior amplitude no canal.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Materiais necessários para a estrutura das barragens:

pedras de diferentes tamanhos que possam garantir diferentes tipos e configurações das "piscinas". Elas devem ser de tamanho adequado e ter a resistência necessária para suportar o fluxo de água. As rochas também podem ser usadas para criar barreiras e desníveis entre as piscinas.

Substrato:

O solo é utilizado para preencher as áreas entre as pedras e proporcionar um substrato adequado para o crescimento de vegetação. É importante utilizar um solo rico em matéria orgânica e nutrientes, que favoreça o enraizamento das plantas.

Vegetação adequada:

Escolha de espécies vegetais nativas, locais e ade-

quadas para o tipo de água residuária é fundamental para o sucesso do tratamento.



MANUTENÇÃO:

- Os cuidados com a manutenção devem ser focados no acúmulo de sedimentos e resíduos, além da substituição de vegetação quando necessário.
- Prever quantidade de mudas adicional de 2% a 5% do valor total para mitigar perdas iniciais, devido a mudas que possam morrer logo após o plantio no período de adaptação (ação pontual na implementação);
- Remover resíduos manualmente²⁷ (ação recorrente);
- Conferir se há danos nas estruturas de pedras que formam as barragens e fazer reforços estruturais quando necessário, impedindo futuros deslizamentos de pedra ou solo (ação recorrente).



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação²⁸ entre R\$400,00 e R\$700,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Dificuldade em obter informações prévias do tipo de solo, interferindo na estabilidade das barragens a serem implantadas.

Vegetação adequada:

Disponibilidade de espécies vegetais (nativas locais) adequadas para solos encharcados.

Qualificação de técnicos:

Disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.

Políticas Públicas:

Ausência de Políticas Públicas e Planejamento e Governança participativa para a inclusão de Sbn no planejamento urbano.

Vazão:

Entender as variáveis de vazão de acordo com os períodos de seca e cheia e projetar as estruturas das barragens de modo a não interferir na vazão natural do curso d'água são os maiores desafios para a aplicação deste tipo de infraestrutura, pois o objetivo principal é contribuir para o controle dos fluxos a jusante, sem prejudicar a drenagem no local.

²⁷ Ação a ser feita por órgão responsável pela manutenção e limpeza da área e/ou por pessoa civil. Indica-se ainda o incentivo à adoção de áreas verdes urbanas, para auxílio na manutenção das mesmas.

²⁸ Custo de implantação varia de acordo com diversos fatores, como a largura do curso d'água, dimensão e quantidade de pedras necessárias para as barragens, custo de mão de obra para alocação das mesmas, entre outros.



Figura 47 Vista a jusante da step pool implantada no Lago Cabrinha, Londrina/PR
(Projeto Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, foto: Meridiano filmes, 2022).



Figura 48 Vista a montante da step pool implantada no Lago Cabrinha, Londrina/PR.
(Projeto Escritório Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, foto: Sarah Daher 2023).

Grupo 2

**SbN voltadas à contenção
de margens de córregos e
rios, taludes e encostas**

Grupo 2: SbN voltadas a contenção de margens de córregos e rios, taludes e encostas

Este item apresenta SbN de contenção de taludes. Elas têm como objetivo conter a erosão do solo e trazer estabilidade para terrenos com plantio de vegetação específica. As raízes das plantas, por exemplo, agem como uma rede, segurando o solo e reduzindo o risco de deslizamentos de terra. Encostas estabilizadas por meio de SbN podem ajudar a mitigar o impacto de desastres como deslizamentos de terra; isso é especialmente crítico em áreas propensas a chuvas intensas ou eventos climáticos extremos. Portanto, a implantação de SbN em tais áreas não só reforça a segurança ambiental, mas também protege as comunidades.

As SbN de contenção são indicadas na **Tabela 2** que oferece uma avaliação do grau de aptidão – se **recomendado**, **possível** ou **não recomendado**²⁹ – de cada uma, segundo as camadas de localização, pedologia/topografia e hidrologia. Os detalhes dessas camadas de informação são explicados adiante. Cabe destacar que estas SbN não estão diretamente associadas à mitigação de inundações, como é o caso das SbN apontadas na **Tabela 1**.

Para cada uma das SbN são descritos os parâmetros técnicos para escolha e informações de pedologia, topografia e hidrologia, localização estratégica, materiais necessários, vegetação, manutenção, custo da implantação e os desafios possíveis no planejamento e execução

A Engenharia Natural utiliza principalmente materiais construtivos vivos (sementes, plantas, partes de plantas, etc.) que podem, ou não, ser combinados com materiais inertes. Pode ser utilizada como substituto, mas principalmente como complemento útil e por vezes necessário às técnicas clássicas de Engenharia Civil (SCHIECHTL,

1980). As técnicas de Engenharia Natural podem ser aplicadas na solução de problemas de instabilidade geotécnica e hidráulica, controle de processos erosivos superficiais. Para isso, as soluções envolvem o projeto de ecossistemas em equilíbrio dinâmico (SOUSA, 2015; SOUSA; SUTILI, 2017). A seleção de plantas para as intervenções de Engenharia Natural é realizada com base em critérios técnicos, além de ecológicos e paisagísticos (SOUSA, 2015).

São soluções baseadas na natureza que apresentam baixo impacto ambiental e que têm esquemas construtivos mais flexíveis e permeáveis, que podem ser mais facilmente integrados na natureza, não sofrendo recalques e movimentações de solo, e que também não alteram a condutividade hidráulica do solo (SOUSA, 2015).

Além disso, a Engenharia Natural apresenta soluções construtivas mais econômicas que as soluções tradicionais (BONATTI; MARONGIU, 2013; FERNANDES; FREITAS, 2011; STUDER; ZEH, 2014).

Estrutura da ficha



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO



HIDROLOGIA



GEOMETRIA



TIPO DE VEGETAÇÃO



MATERIAIS NECESSÁRIOS



MANUTENÇÃO



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO

Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall



Muro de Contenção com Pedra



Muro de Gabiões com Vegetação



Contenção em Geocélulas



Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais



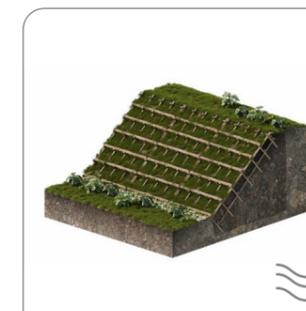
Muro de Pedra com Vegetação



Gabiões Planos – Colchão



Grade Viva



Muro de Suporte Tipo Cribwall Pré-Fabricado com Vegetação



Solo Grampeado Verde



CONTROLE DE EROSÃO SUPERFICIAL

MOVIMENTOS DE MASSA SUPERFICIAIS

MOVIMENTOS DE MASSA PROFUNDOS

GRAU DE COMPLEXIDADE DAS ESTRUTURAS

Fonte: Baseado em Rita Sousa, 2023

²⁹ Dados da tabela baseados nos estudos autorais da equipe deste Catálogo GIZ; RIGETTO (2009).

Tabela 3 Critérios para definição das SbN visando as contenções de margens de córregos e rios, taludes e encostas, segundo camadas de informação de localização, hidráulica, geometria e vegetação.

TIPOLOGIAS DE CONTENÇÃO DE TALUDES			Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall	Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais	Grade Viva	Muro de Contenção com Pedra	Muro de Pedra com Vegetação	Muro de Suporte Tipo Cribwall Pré Fabricado com Vegetação	Muro de Gabiões com Vegetação	Gabiões Planos - Colchão	Solo Grampeado Verde	Contenção em geocelulas	
LOCALIZAÇÃO	Características do terreno	Margens Fluviais	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	
		Encostas	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
		Taludes	Recomendado	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
HIDROLOGIA	Limites superiores para velocidades em canais	1,5 m/s	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		2,5 m/s	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		3,0 m/s	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado
		4,0 m/s	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado
GEOMETRIA	Altura admitida	Até 5m	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	
		Acima de 5m	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	
	Declividade	Até 40°	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		Entre 40 e 70°	Possível	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
		Acima de 70°	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Possível
VEGETAÇÃO	Tipo	Gramíneas / forração	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		Trepadeiras	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
		Arbustiva	Possível	Possível	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Possível	Possível	Possível

Grau de aptidão para receber dispositivos de SbN: ■ Recomendado ■ Possível ■ Não recomendado

MODELO DE FICHA TÉCNICA

Descrição das fichas de SbN elencadas na **Tabela 3**: Muro de suporte vivo em madeira tipo “cribwall”, Muro de suporte vivo em margens fluviais, Grade viva, Muro de contenção com pedras, Muro de pedra com vegetação, Muro de suporte tipo “Cribwall” pré-fabricado com vegetação, Muros de gabiões com vegetação, Gabiões planos, Solo grampeado verde.

NOME DA SOLUÇÃO BASEADAS NA NATUREZA

DESCRIÇÃO GERAL: DEFINIÇÃO DO CONCEITO E OBJETIVOS DA SBN



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:

(estruturado pelas camadas de informação das Tabela 2)



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Refere-se a qual espaço livre é ideal para receber a SbN. Esta camada trata da disponibilidade de espaço para implantação das SbN e definição de locais estratégicos para captação do escoamento superficial de águas urbanas.

As diferentes tipologias de contenção devem considerar o perfil topográfico para a escolha da

melhor solução na mitigação dos processos erosivos e na manutenção da estabilidade de terrenos. O auxílio dessas contenções para mitigar as ocorrências de desmoronamentos devido a forças aplicadas, como de empuxo, peso do solo e água infiltrada, demandam maior cuidado na execução da drenagem associada à SbN para que a estrutura não venha a romper.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Segmentadas em três tipologias, que são as Margens Fluviais, as Encostas e os Taludes.



HIDRÁULICA:

Condição de projeto referente aos limites do escoamento em canais para a seleção da SbN adequada na contenção das margens dos corpos hídricos. Conforme dados:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

Define as velocidades máximas permissíveis em função do tipo de revestimento, para que não ocorra nem o assoreamento – devido a velocidades de escoamento muito baixas, que tendem a favorecer o depósito dos sedimentos carregados com o escoamento no fundo do canal – nem a erosão do canal – devido a velocidades de escoamento

mento muito altas, que tendem a erodir as margens, comprometendo a estrutura e favorecendo também o assoreamento. Dessa forma, antes da seleção da contenção é necessário elaborar um estudo hidrológico e hidráulico a fim de calcular a velocidade do escoamento nos diversos trechos de um canal, para então definir a contenção mais adequada a ser empregada e a declividade de projeto, visando a manutenção das velocidades limite. Os limites máximos de velocidade em função do tipo de solo são amplamente conhecidos na literatura, por tipo de revestimento e por tipo de solo. De maneira geral, esse limite é de: 1,5 m/s para os canais revestidos de solo; 2,5 m/s

para os canais em gabião; 3,0 m/s para os revestidos de pedra argamassada; e 5,0 para os revestidos em concreto. Os limites mínimos aceitáveis de

acordo com a literatura vigente variam de 0,6 a 1,0 m/s.



GEOMETRIA:

Refere-se aos dados de geometria que ditam os esforços solicitantes nas estruturas de contenção. Quanto maior a altura – e maior a declividade – maiores são os empuxos atuantes na estrutura de contenção. Conforme dados:

Altura admitida:

É uma condicionante da SbN a ser utilizada, já que

maiores alturas resultam em maiores esforços sobre a estrutura.

Declividade:

Influencia na escolha da SbN, uma vez que maiores declividades resultam em maiores esforços sobre a estrutura.



TIPO DE VEGETAÇÃO:

Deve-se atentar para a integração entre o tipo de vegetação a ser empregado para uma determinada tipologia de contenção. Conforme dado:

Segmentado em três classificações, em função da estrutura de sustentação da vegetação (Gramíneas, Trepadeiras ou Arbustivas). As vegetações arbustivas devem ser evitadas em alguns tipos de contenção, especialmente as de gabião – pois suas

raízes podem danificar a estrutura de amarração das pedras – e as de pedra – devido à possibilidade de causarem deslocamentos na estrutura. Já as gramíneas são indicadas na maioria das tipologias, sendo medianamente indicadas sobre pedras em função da energia transmitida por uma onda de cheia, que poderia remover a vegetação, enquanto as trepadeiras são sugeridas para todas as SbN propostas.



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

São os recursos materiais necessários à implantação da SbN, como madeira, tubos de drenagem,

vegetação, travessas, vigas e estacas; terra vegetal local, tela metálica, pedras etc.



MANUTENÇÃO:

Em geral, as SbN visam a redução nos custos com manutenção a longo prazo. Pode ser necessário o acompanhamento inicial do sistema para verificar sua eficácia e se há necessidade de reposição de mudas. Sugere-se a participação da população no cuidado e manutenção manual básica destas infraestruturas, como remoção de lixo acumulado, que pode prejudicar a passagem/entrada de água nas diferentes SbN.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Estimado a partir de variáveis e parâmetros gerais para obter um custo por m². O custo para viabilizar a implementação de cada uma das SbN possui variáveis a serem consideradas, seja pelo órgão público ou em uma parceria público-privada.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Estão divididos por desafios frente ao tipo de encosta, terreno, manutenção.

- Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall -

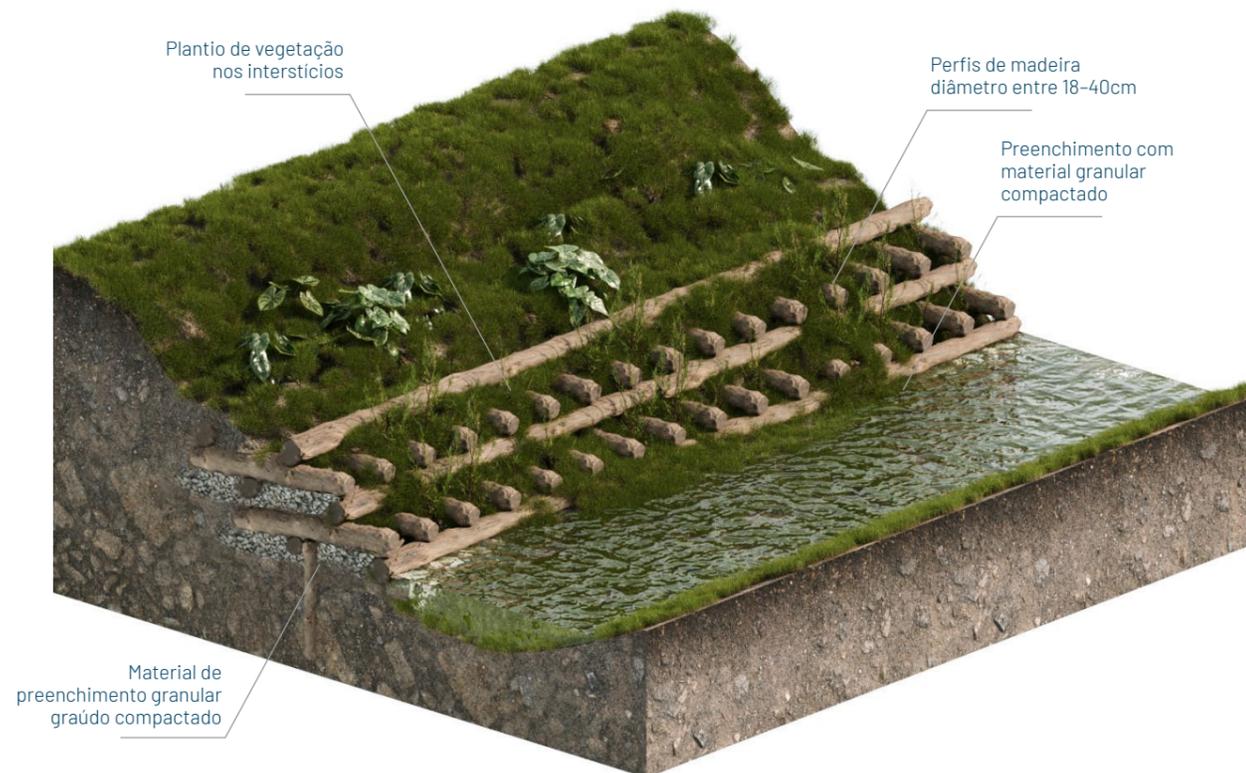


Figura 49 Muro de suporte vivo em madeira tipo cribwall (Fonte: Guajava. Adaptado de Helgard Z., 2007).

O Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall é uma estrutura destinada à contenção de margens fluviais e taludes, sendo composta por um arranjo em camadas, com troncos de madeira.

Durante o enchimento do muro com material drenante, são inseridas as estacas ou as plantas lenhosas enraizadas. Devem ser colocadas de forma a sobressair do muro e percorrê-lo até atingir o terreno natural. No caso do muro usado na proteção de margens fluviais, em vez de se colocarem as estacas vivas, são usados ramos longitudinais para impedir o carreamento de sedimentos.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Refere-se Principalmente para a consolidação e a estabilização de margens fluviais e taludes pouco íngremes e baixos.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Esta solução se adequa melhor a taludes e margens fluviais, não sendo indicada para encostas devido a sua execução ser realizada em patamares.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

Devido tanto ao material de suporte da contenção (madeiramento) quanto do preenchimento (solo), esta solução não suporta fluxos d'água com

velocidades elevadas, pois esse fluxo causaria danos na estrutura e implicaria também no carreamento do preenchimento, sendo assim indicado para velocidades de até 1,5 m/s.



GEOMETRIA:

Altura admitida:

Esta estrutura de contenção é indicada para taludes baixos em relação ao nível do seu pé e para

margens fluviais rasas. Sugere-se uma altura limite de 5m para que os fatores de segurança possam ser atendidos.

Declividade:

Devido ao tipo de estrutura e do material, esta solução é mais indicada para locais com declivida-

des mais suaves, de até 40 graus, preferencialmente.

TIPO DE VEGETAÇÃO:

A vegetação utilizada nessa solução tem a função de criar um efeito de armadura no terreno, conferido no decorrer do desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas, o qual contribuirá para a

estabilização conferida inicialmente pela estrutura de madeira. Para tal, são mais indicadas as espécies gramíneas e trepadeiras.



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Madeira:

O madeiramento³⁰, com diâmetro de 18 a 40 cm, tem função estrutural e tem como objetivo assegurar a estabilidade da estrutura de contenção. Os troncos devem ser interconectados de maneira a formar uma estrutura estável e resistente em forma de “fogueira”, sendo dispostos no sentido sub-horizontal e longitudinal em relação ao curso d’água;

Entre as camadas deve ser aplicado solo compactado, que pode ser material retirado das margens durante a preparação das mesmas;

Vegetação:

As plantas, em um primeiro momento, não possuem uma função estrutural. Após o seu desenvolvimento assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais adequadas para solos úmidos são ideais. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

Tubos de drenagem:

A estrutura deve incluir tubos drenos para escoar as águas pluviais e evitar erosão do solo;

Terra vegetal local:



MANUTENÇÃO:

- Atenção deve ser dada à manutenção da infraestrutura em função da utilização de madeira para a execução da contenção, o que irá demandar manutenção quando ela apresentar riscos ao sistema de contenção.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação³¹ entre R\$800,00 e R\$1500,00 por m².

³⁰ Madeira de reflorestamento comumente utilizada na construção civil (como Eucalipto ou Pinus) sendo necessário o tratamento da madeira para combate a agentes biológicos.

³¹ De acordo com a altura, área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Apesar de ser uma opção menos onerosa por possibilitar a utilização de materiais encontrados no próprio local, deve-se atentar para a altura do talude ou da margem fluvial a ser contida, e a capacidade de suporte do solo existente, demandando durante a execução maiores cuidados para a completa segurança, estabilização e consolidação do local a ser implementado.

Vegetação adequada:

Disponibilidade de espécies vegetais adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para a análise correta de todas as informações do projeto e posterior acompanhamento na execução da obra.

- Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall -



Figura 50 Na margem esquerda muro de suporte vivo parede dupla com plantio de arbustos autóctones e feixes vivos, biomanta de coco e hidrossemeadura e na direita gabião cilíndrico preenchido com pedra e biorretentor de coco vegetado, Ribeira de Gende, Portugal (Projeto Rita Sousa, foto: Rita Sousa, 2011).

- Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais -

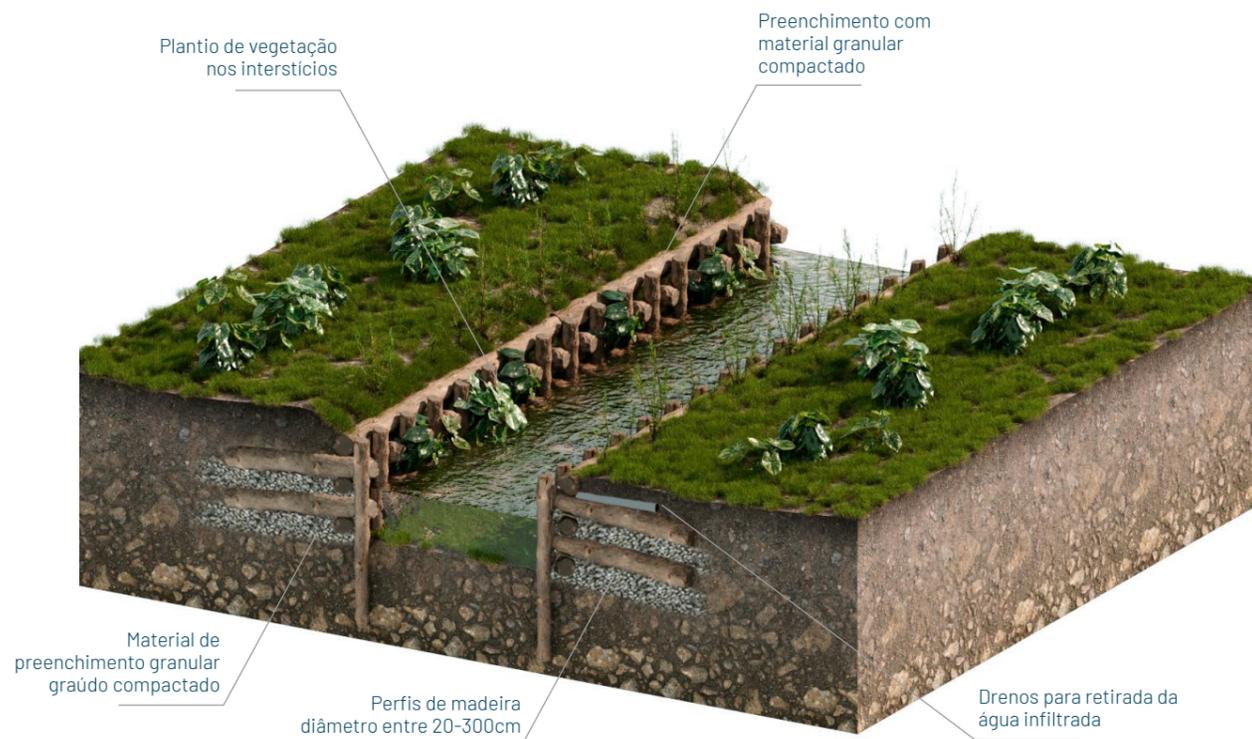


Figura 51 Muro de suporte vivo em margens fluviais* (Fonte: Guajava. Adaptado de Helgard Z., 2007).

O Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais é uma estrutura destinada principalmente à estabilização de margens íngremes ou subverticais de córregos e rios, utilizando madeira como o principal elemento de contenção.

Cravam-se estacas de madeira na vertical e a estas são colocadas juntas pregadas e amarradas com arames ou cordas uma outra fiada horizontal de troncos, para garantir a estabilidade da contenção. Em seguida, cravam-se troncos perpendiculares à margem, repetindo-se o processo sucessivamente, até se proteger toda a altura da margem fluvial. Plantam-se gramíneas e trepadeiras para ajudar na retenção da camada mais superficial, fornecendo assim também um aspecto paisagístico mais agradável à margem fluvial.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Principalmente para a consolidação e a estabilização de margens fluviais íngremes.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Esta solução se adequa melhor a margens fluviais principalmente devido à facilidade de sua execução,

podendo ser realizada em calhas de córregos e rios subverticais.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

Devido tanto ao material de suporte da contenção (madeiramento) quanto do preenchimento (solo), esta solução não suporta fluxos d'água com

velocidades elevadas, pois esse fluxo causaria danos na estrutura e implicaria também no carreamento do preenchimento, sendo assim indicado para velocidades de até 1,5 m/s.



GEOMETRIA:

Altura admitida:

Esta estrutura de contenção é indicada para margens fluviais rasas. Sugere-se uma altura

limite de até 5m para que os fatores de segurança possam ser atendidos.

*Estrutura demanda necessariamente projeto hidráulico e geotécnico por profissional habilitado.

Declividade:

Esta solução é indicada mesmo para terrenos com grandes declividades, idealmente de até 70 graus.

TIPO DE VEGETAÇÃO:

A vegetação utilizada nessa solução tem a função de criar um efeito de armadura no terreno, conferido no decorrer do desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas, o qual contribuirá para a

estabilização conferida inicialmente pela estrutura de madeira. Para tal, são mais indicadas as espécies gramíneas e trepadeiras.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Madeira:

Troncos de madeira³² com diâmetro entre 20 e 30 cm e comprimento de até 3 m, que precisam ser interconectados de maneira a formar uma estrutura estável e resistente, sendo dispostos no sentido sub-horizontal e longitudinal em relação ao curso d'água.

compactado, que pode ser feito com o material eventualmente retirado das próprias margens durante a preparação delas.

Vegetação:

As plantas, em um primeiro momento, não possuem uma função estrutural. Após o seu desenvolvimento assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais adequadas para solos úmidos são ideais; a vegetação indicada está listada no Passo 3 deste Catálogo. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

Tubos de drenagem:

A estrutura deve incluir drenos para escoar as águas pluviais e evitar erosão do solo

Preenchimento:

Debaixo da água os interstícios são preenchidos com pedras e, na parte superior, o preenchimento entre as camadas deve ser realizado com solo

manutenção quando ela apresentar riscos ao sistema de contenção.

MANUTENÇÃO:

Atenção deve ser dada à manutenção da infraestrutura em função da utilização de madeira para a execução da contenção, o que irá demandar

CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação³³ entre R\$600,00 e R\$1.000,00 por m².

³² Madeira de reflorestamento comumente utilizada na construção civil (como Eucalipto ou Pinus) sendo necessário tratamento da madeira para combate a agentes biológicos.

³³ De acordo com a altura, área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Terreno:

Dificuldade em obter informações prévias das instalações subterrâneas, muitas vezes interferindo na revisão do projeto após o início das obras.

Vegetação adequada:

É importante escolher as plantas adequadas para o clima e o solo local, garantindo que elas tenham raízes resistentes para ajudar a estabilizar o muro.

Manutenção:

Os muros de suporte vivo precisam de manutenção regular para garantir que as plantas continuem crescendo e assim auxiliem na estabilização do muro, e para que as vigas não apresentem problemas estruturais.

- Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais -



Figura 52 Contenção em muro de suporte vivo do Córrego do Judas no Parque Severo Gomes, São Paulo/SP (Foto: Pedro Algodoal, 2023).

- Grade Viva -

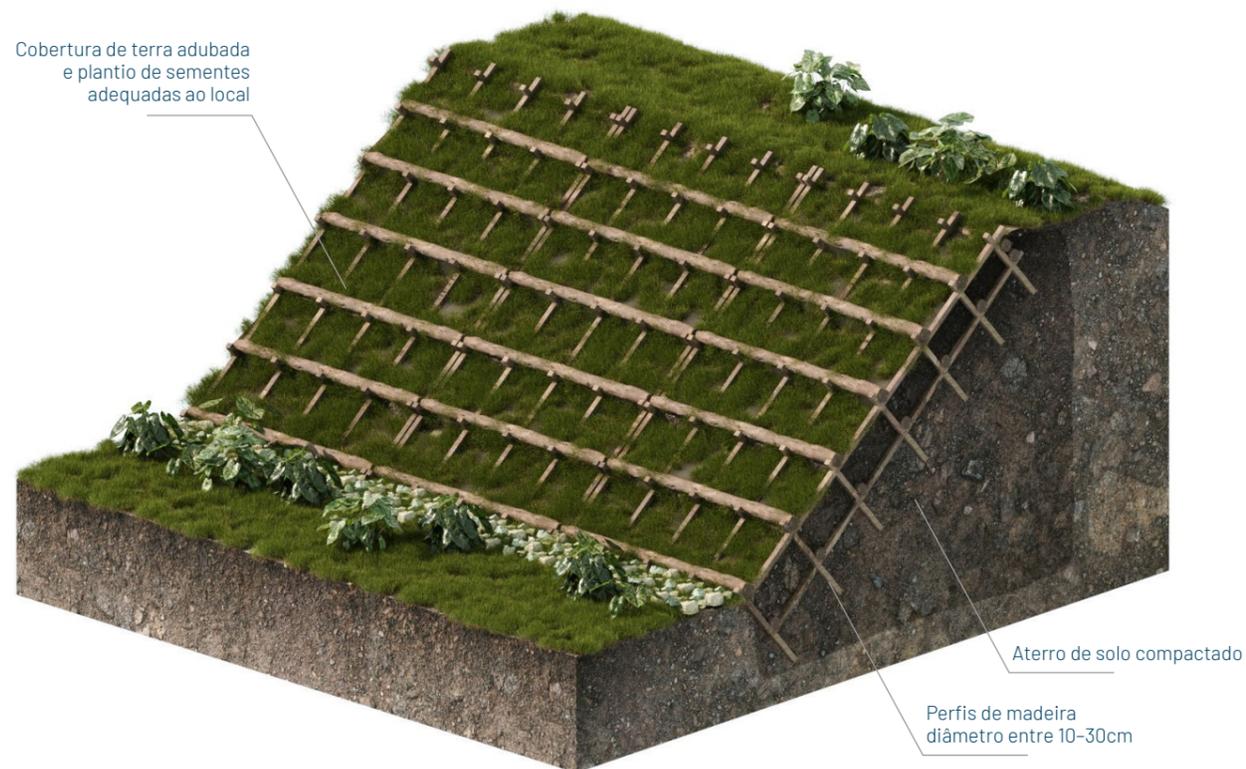


Figura 53 Grade viva (Fonte: Guajava, 2023).

As Grades Vivas são estruturas de contenção compostas por grades de madeira com parede simples ou dupla, que são opções para a estabilização de terrenos altos e com declives íngremes, com uma altura e uma inclinação máxima de até 20 m e 70 graus, respectivamente.

As grades são fixadas com pregos ou outros tipos de ancoragem no terreno, como estacas de madeira, de metal, amarração de plantas com treliças, sistema de raízes; sua escolha depende do tipo de terreno e condições do local. Simultaneamente ao enchimento da grade com solo, são inseridas faixas de vegetação com ramos, plantas em torrão ou plantas transplantadas, e/ou semeadas posteriormente à implantação de estrutura de madeira.

É importante considerar a seleção adequada de plantas e técnicas de ancoragem de acordo com as condições do local, o clima, a força do vento e outros fatores ambientais.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Na estabilização de encostas altas e com declives íngremes, com uma altura e uma inclinação máxima de até 20 m e 70 graus, respectivamente.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Esta solução tem sua principal utilização em encostas, podendo também ser utilizada em taludes íngremes ou margens fluviais verticalizadas,

devido a sua estrutura suportar melhor o material a ser contido em decorrência do uso do gradil com madeiramento e a vegetação.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

devido tanto ao material de suporte da contenção (madeiramento) quanto do preenchimento (solo), esta solução não suporta fluxos d'água com

velocidades elevadas, pois esse fluxo causaria danos na estrutura e implicaria também no carreamento do preenchimento, sendo assim indicado para velocidades de até 1,5 m/s.



GEOMETRIA:

Altura admitida:

esta estrutura de contenção é indicada para

encostas altas em relação ao nível do seu pé, devido ao método executivo do conjunto da trama

do madeiramento com a vegetação plantada, o que garante a viabilidade de projetos com alturas de até 20m de contenção.

Declividade:

devido ao tipo de estrutura e do material, esta solução é mais indicada para locais com alturas e declividades maiores, que podem chegar até a 70 graus de inclinação.

TIPO DE VEGETAÇÃO:

A vegetação utilizada nessa solução tem a função de criar um efeito de armadura no terreno, conferido no decorrer do desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas, o qual contribuirá para a

estabilização conferida inicialmente pela estrutura de madeira. Para tal, são mais indicadas as espécies gramíneas e trepadeiras.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Madeira:

o madeiramento³⁴ tem função estrutural e tem como objetivo assegurar a estabilidade da estrutura até que a vegetação se desenvolva, principalmente até que se consolide a formação das raízes. Os troncos devem ser interconectados de maneira a formar uma estrutura estável e resistente em formato de "fogueira".

suem uma função estrutural. Após o seu desenvolvimento assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos são ideais; a vegetação indicada está listada no Passo 3 deste Catálogo. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

Vegetação:

as plantas, em um primeiro momento, não pos-

MANUTENÇÃO:

- Atenção deve ser dada à manutenção da infraestrutura em função da utilização de madeira para a execução da contenção, o que irá demandar manutenção quando ela apresentar riscos ao sistema de contenção.
- Além disso, a manutenção regular das grades vivas, como a poda e o monitoramento do crescimento das plantas, também é essencial para garantir a sua eficácia como estruturas vivas.

CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação³⁵ entre R\$500,00 e R\$600,00 por m².

³⁴ Madeira de reflorestamento comumente utilizada na construção civil (como Eucalipto ou Pinus) sendo necessário tratamento da madeira para combate a agentes biológicos.

³⁵ De acordo com a altura, área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

A execução de contenção em grade viva não requer maiores dificuldades na sua implantação.

- Grade Viva -



Figura 54 Muro de suporte vivo parede dupla combinada com grade viva, Parque Nacional do Vesúvio, Itália (Projeto: Gino Menegazzi, foto: Rita Sousa, 2023).

- Muro de Contenção com Pedra -



Muro de contenção com pedra é uma estrutura construída para estabilização do terreno em encostas e taludes. Constrói-se muros de suporte de até 10m de altura³⁶, utilizando-se preferencialmente materiais obtidos próximos ao local, auxiliando na redução de custos de transporte de materiais. Quando não se dispuser de pedras no entorno, deve-se escolher aquelas que melhor se adaptam às características da região.

As fundações devem estar abaixo da linha do solo e a drenagem tem de ser garantida para escoar o volume de água infiltrado, especialmente em épocas de grande precipitação, podendo-se utilizar soluções combinadas, seja com drenagem convencional ou com drenagem sustentável.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Em taludes e encostas que precisam de estabilização.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Esta solução tem sua principal utilização em encostas e taludes, podendo até ser utilizada em

margens fluviais verticalizadas devido a sua resistência.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

como a maior parte do material da contenção é

composto por pedras, esta solução é indicada para velocidades de até 3,0m/s



GEOMETRIA:

Altura admitida:

esta estrutura de contenção é indicada para encostas com até 10m de altura, atuando como uma SbN majoritariamente utilizada em cortes.

Declividade:

devido ao tipo de estrutura e material esta solução é mais indicada para locais com declividades de taludes e encostas maiores, não sendo recomen-

Figura 55 Muro de contenção com pedras (Fonte: Guajava. 2023).

³⁶ Demanda avaliação geotécnica do local para o cálculo correto de dimensões do muro de contenção.

dada a sua utilização em terrenos mais suaves, situação na qual o custo-benefício da solução é

menos atrativo em função da perda de sua efetividade da solução.

TIPO DE VEGETAÇÃO:

A vegetação irá se desenvolver na crista do muro, caso haja espaço para aplicação dela. Ainda deve-se prever um crescimento de vegetação

espontânea, a depender das condições edáficas e climáticas.



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Pedras:

que possam ser alinhadas e argamassadas, gerando paredes ou muros estruturais.

Tubos de drenagem:

a estrutura deve incluir drenos para escoar a chuva infiltrada no solo, aliviando a estrutura de empuxos adicionais gerados pela água da chuva.



MANUTENÇÃO:

- Os cuidados com a manutenção devem ser dirigidos à infraestrutura do muro de contenção.
- Recomenda-se realizar intervenção e manutenção no muro quando houver queda de algum bloco ou quando houver blocos soltos.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação entre R\$200,00 e R\$300,00 por m³.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

A execução de muro de pedra não requer maiores dificuldades na sua implantação.

- Muro de Contenção com Pedra -



Figura 56 Contenção de pedra no Linear Ribeirão Caulim, São Paulo/SP (Acervo Secretaria do Verde e Meio Ambiente da Prefeitura de São Paulo, foto: Wellington Nagano, 2015).

- Muro de Pedra com Vegetação -



Figura 57 Muro de pedra com vegetação (Fonte: Guajava. 2023).

Muro de pedra com vegetação é uma estrutura construída principalmente para estabilização do terreno em encostas e taludes. Constrói-se muros de suporte de até 10 m de altura, utilizando-se preferencialmente materiais obtidos próximos ao local, auxiliando na redução de custos de transporte de materiais. Quando não se dispuser de pedras no entorno, deve-se escolher aquelas que melhor se adaptam às características da região. A definição da altura demanda avaliação geotécnica do local para o cálculo correto de dimensões do muro de contenção.

Esta solução pode ser construída mecânica ou manualmente, conforme a dimensão das pedras, e com colocação de material vivo. Durante a construção, as pedras são colocadas em terra vegetal, enquanto plantas ou estacas são colocadas nos interstícios entre as pedras.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Em taludes e encostas que precisam de estabilização.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Esta solução tem sua principal utilização em encostas e taludes, podendo até ser utilizada em

margens fluviais verticalizadas devido a sua resistência.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

como a maior parte do material da contenção é

composto por pedras, esta solução é indicada para velocidades de até 3,0m/s.



GEOMETRIA:

Altura admitida:

esta estrutura de contenção é indicada para encostas com até 10m de altura atuando como uma SbN majoritariamente utilizada em cortes. Para espessura existem várias variáveis, como tipo do solo, diâmetro das pedras, altura do muro etc. Costuma variar entre 30cm e 1m.

Declividade:

devido ao tipo de estrutura e material esta solução é mais indicada para locais com declividades de taludes e encostas maiores, não sendo recomendada a sua utilização em terrenos mais suaves, situação na qual o custo-benefício da solução é menos atrativo em função da perda da efetividade da solução.

TIPO DE VEGETAÇÃO:

São plantadas espécies de trepadeiras juntamente com substrato propício durante o levantamento do muro para que estas ajudem no escoamento superficial e na infiltração. Suas raízes se desen-

volvem pelos vazios deixados pelas pedras formando uma espécie de trama que ajuda na sustentação do muro e impede a passagem de material carreado vindo de trás da contenção.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Pedras:

que possam ser alinhadas e argamassadas gerando paredes ou muros estruturais.

Tubos de drenagem:

a estrutura deve incluir drenos para escoar a chuva infiltrada no solo, aliviando a estrutura de empuxos adicionais gerados pela água da chuva.

Vegetação:

as plantas, em um primeiro momento, não possuem uma função estrutural. Após o seu desenvolvimento assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais adequadas para solos úmidos são ideais. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

MANUTENÇÃO:

Os cuidados com a manutenção devem ser dirigidos à infraestrutura do muro de contenção. Deve-se realizar intervenção e manutenção no muro quando blocos estiverem soltos ou caírem.

CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação entre R\$250,00 e R\$400,00 por m³.

DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

A execução de muro de pedra com vegetação não requer maiores dificuldades na sua implantação.

- Muro de Pedra com Vegetação -

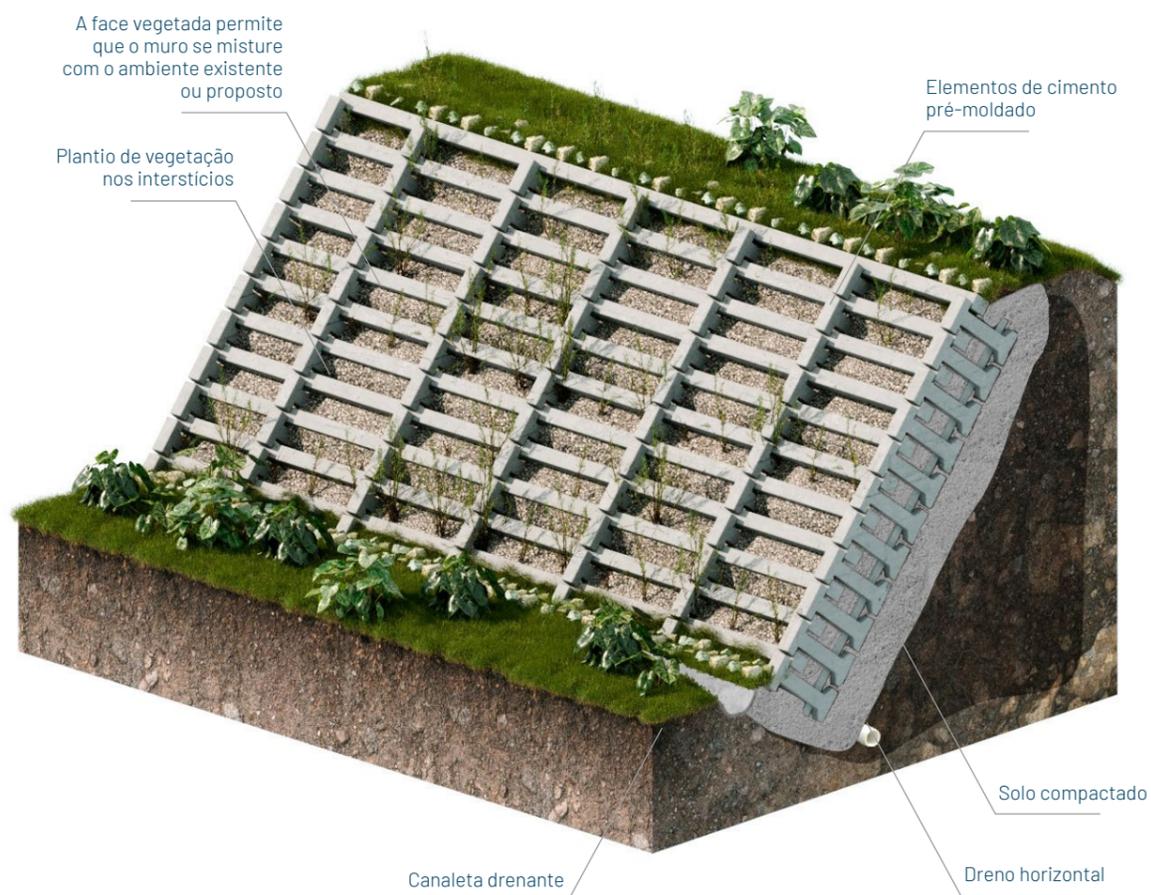


Figura 58 Muro de contenção em pedra com plantas arbustivas autóctones em enrocamento vivo, Local: Rio Uruguai a jusante do vertedouro da UHE Itá, Brasil (Projeto: Rita Sousa, Junior Dewes e Fabrício Sutili, fotos: Junior Dewes e Rita Sousa).



Figura 59 Muro de pedras vegetado Trilho das Vinhas em Cascais, Portugal (foto: Ana Coelho, 2023)

- Muro de Suporte Tipo Cribwall Pré-Moldado com Vegetação -



O Muro De Suporte Tipo Cribwall Pré-Moldado com Vegetação geralmente é utilizado em encostas, especialmente em função de sua alta resistência. Sua estrutura pode ser simples ou dupla, feita de elementos pré-fabricados de concreto.

Durante a execução, os elementos são preenchidos com material granular, podendo-se plantar nos espaços vazios plantas enraizadas – com o método de faixas de vegetação – com terra vegetal.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Em encostas íngremes com necessidade de consolidação.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Esta solução tem sua principal utilização em encostas, podendo até ser utilizada em taludes mais íngremes, devido a sua estrutura suportar

melhor o material a ser contido com o gradil e a vegetação.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

esta solução não é indicada para margens fluviais. Para os escoamentos superficiais, os fluxos d'água com velocidades elevadas são suportadas pela

estrutura de concreto, porém pode ocorrer o carreamento do material de preenchimento, sendo assim indicado para velocidades de até 3,0 m/s para os elementos pré-fabricados em concreto.



GEOMETRIA:

Altura admitida:

esta estrutura de contenção é indicada para encostas mais altas em relação ao nível do seu pé, devido ao método executivo do conjunto da trama da estrutura pré-moldada com a vegetação plantada, que garante um fator de segurança tolerável até 20 m de altura.

Declividade:

devido ao tipo de estrutura e material esta solução é mais indicada para locais com declividades maiores, estas podendo chegar até a 70 graus de inclinação da encosta ou do talude.

Figura 60 Muro de suporte tipo "Cribwall" pré-fabricado com vegetação (Fonte: Guajava 2023).

TIPO DE VEGETAÇÃO:

A vegetação utilizada nessa solução tem a função de criar um efeito de armadura no terreno, conferindo no decorrer do desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas, o qual contribuirá para a estabilização conferida inicialmente pela estrutura pré-fabricada. Para tal, são indicadas as espécies gramíneas, trepadeiras e também as arbustivas.

Demais dados técnicos:

O desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas irá criar um efeito de armadura no terreno, o qual contribuirá para a drenagem e estabilização do sistema;

As vigas e colunas devem ser interconectadas de maneira a formar uma estrutura estável e resistente, sendo dispostas no sentido sub-horizontal e longitudinal em relação ao talude;

Entre as camadas o preenchimento deve ser realizado com solo compactado ou material granular (pedras britadas e areia), podendo ser o material eventualmente retirado das próprias encostas durante a execução.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Travessas, vigas e estacas:

os elementos pré-moldados têm função estrutural e têm como objetivo assegurar a estabilidade da estrutura. O uso da vegetação na solução tem a função de consolidar a estabilidade da contenção, obtida com a formação das raízes. Os elementos devem ser interconectados de maneira a formar uma estrutura estável e resistente em forma de "fogueira".

Tubos de drenagem:

a estrutura deve incluir tubos drenos para escoar as águas pluviais e evitar erosão do solo.

MANUTENÇÃO:

Verificação de integridade estrutural: é importante regularmente verificar a integridade estrutural da estrutura do cribwall para garantir que ele esteja em boas condições e não apresente sinais de falhas, trincas ou rupturas. Caso seja necessário, é preciso realizar manutenções preventivas na estrutura.

Terra vegetal local:

entre as camadas deve ser aplicado solo compactado, que pode ser do material retirado de áreas adjacentes durante a preparação da contenção.

Vegetação:

as plantas, em um primeiro momento, não possuem uma função estrutural, após o seu desenvolvimento assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais adequadas para solos úmidos são ideais. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação³⁷ entre R\$ 1.000,00 e R\$2000,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Vegetação adequada:

disponibilidade de espécies vegetais (autóctones) adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.

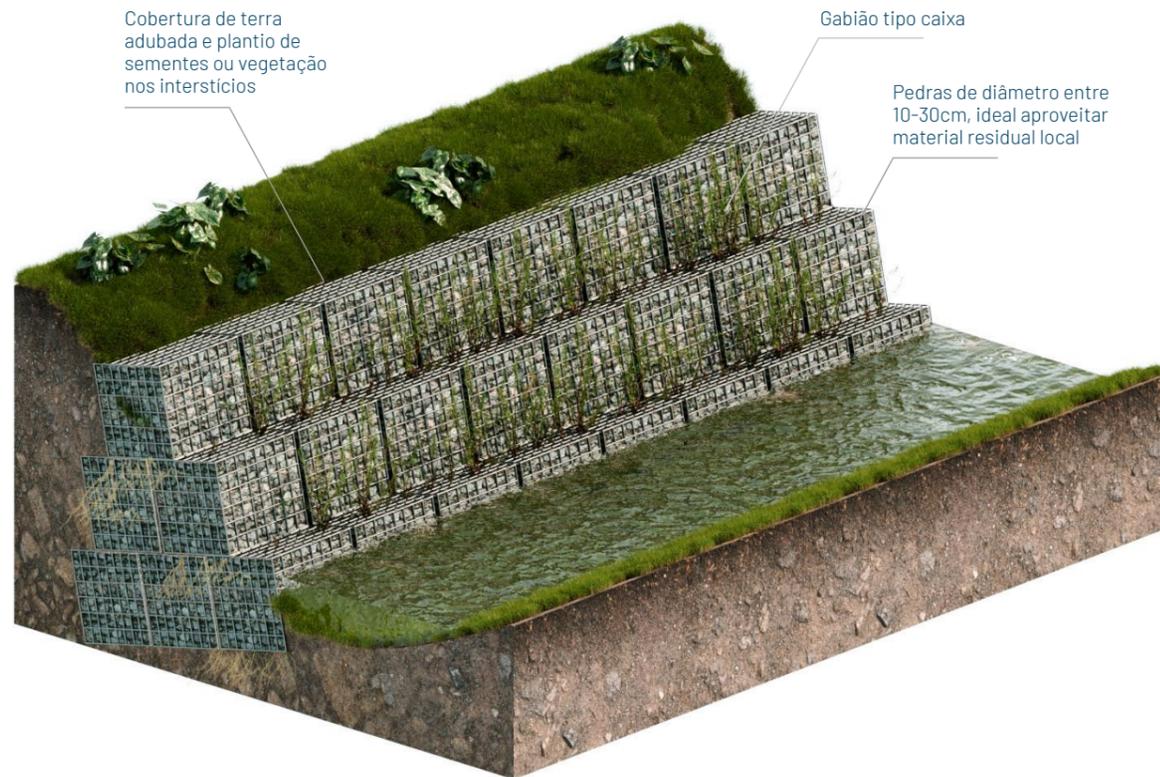
- Muro de Suporte Tipo Cribwall Pré-Moldado com Vegetação -



Figura 61 Muro de Suporte Tipo Cribwall Pré-moldado com Vegetação. Fonte: United Crib Blocks Constructions

³⁷ De acordo com a altura, área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra.

- Muro de Gabiões com Vegetação -



Muro De Gabiões Com Vegetação são estruturas de contenção formadas por grandes gaiolas metálicas pré-fabricadas, com qualquer forma, preenchidos com blocos de pedra. Entre cada elemento individual colocam-se estacas de plantas e plantas enraizadas em terra vegetal adubada.

Em estruturas longitudinais são utilizados para a proteção de margens, enquanto em estruturas transversais são utilizados para a estabilização da base de declives instáveis.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Principalmente para proteção de margens ou estabilização de bases de declives instáveis.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Esta solução tem sua principal utilização em taludes e margens fluviais, sendo utilizada especialmente em taludes mais íngremes ou margens

fluviais verticalizadas, devido a sua estrutura suportar melhor o solo a ser contido com o gabião e a vegetação.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

para os escoamentos superficiais, os fluxos d'água com velocidades elevadas são suportadas pela

estrutura metálica e preenchimento em pedras, podendo ocorrer o carreamento do material de preenchimento e do preparo da terra vegetal quando as velocidades superarem 2,5 m/s.



GEOMETRIA:

Altura admitida:

esta estrutura de contenção é indicada para encostas mais altas em relação ao nível do seu pé, devido ao método executivo do conjunto da trama com a vegetação plantada que garante um fator de segurança tolerável até 20m de altura.

Declividade:

devido ao tipo de estrutura e material, esta solução é mais indicada para locais com alturas e declividades maiores, inclusive superiores a 70 graus de inclinação do talude ou encosta.

Figura 62 Muros de gabiões com vegetação (Fonte: Guajava, 2023).

TIPO DE VEGETAÇÃO:

São plantadas espécies de trepadeiras, juntamente com substrato propício, durante o levantamento do muro, para que estas ajudem no escoamento superficial. Suas raízes se desenvolvem pelos vazios deixados pelas pedras formando uma espécie de trama que ajuda na sustentação do muro e impede a passagem de material carreado vindo de trás da contenção.

Execução:

rápida e simples, com efeito de contenção imediata. Permite a utilização de pedras encontradas no local, reduzindo os custos na execução.

Solução permeável:

permite passagem de água entre as pedras; não precisa de drenagem auxiliar³⁸.



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Tela metálica:

utilizada para conter o preenchimento e dar forma ao dispositivo de gabião, comumente utilizado em formatos cúbicos com arestas de 0,5m ou 1m.

Pedras:

pode-se utilizar pedra de mão ou costumeiramente rachão para realizar o preenchimento das telas. Deve-se atentar para a granulometria das pedras utilizadas, pois as pedras devem ser maiores do que as aberturas da tela metálica.

Tubos de drenagem:

a estrutura deve incluir tubos drenos para escoar as águas pluviais e evitar erosão do solo.

Vegetação:

as plantas, em um primeiro momento, não possuem uma função estrutural. Após o seu desenvolvimento, assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais adequadas para solos úmidos são ideais. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.



MANUTENÇÃO:

Demandará manutenção para garantir a segurança da estrutura, especialmente após a movimentação de terra próxima à contenção implantada.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação³⁹ entre R\$200,00 e R\$300,00 por m².

³⁸ A necessidade de inclusão de drenagem auxiliar deve ser avaliada pelo técnico responsável pela obra.

³⁹ De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Execução:

a execução do muro de gabião com vegetação não requer maiores dificuldades na sua implantação, pois é constituído de elementos pré-fabricados.

- Muro de Gabiões com Vegetação -



Figura 63 Muro de gabião com vegetação espontânea, Goiânia/GO (Acervo Belgo Soluções Geotech, foto: Flávio Fontes da Cruz, 2024).

- Gabiões Planos / Colchão -

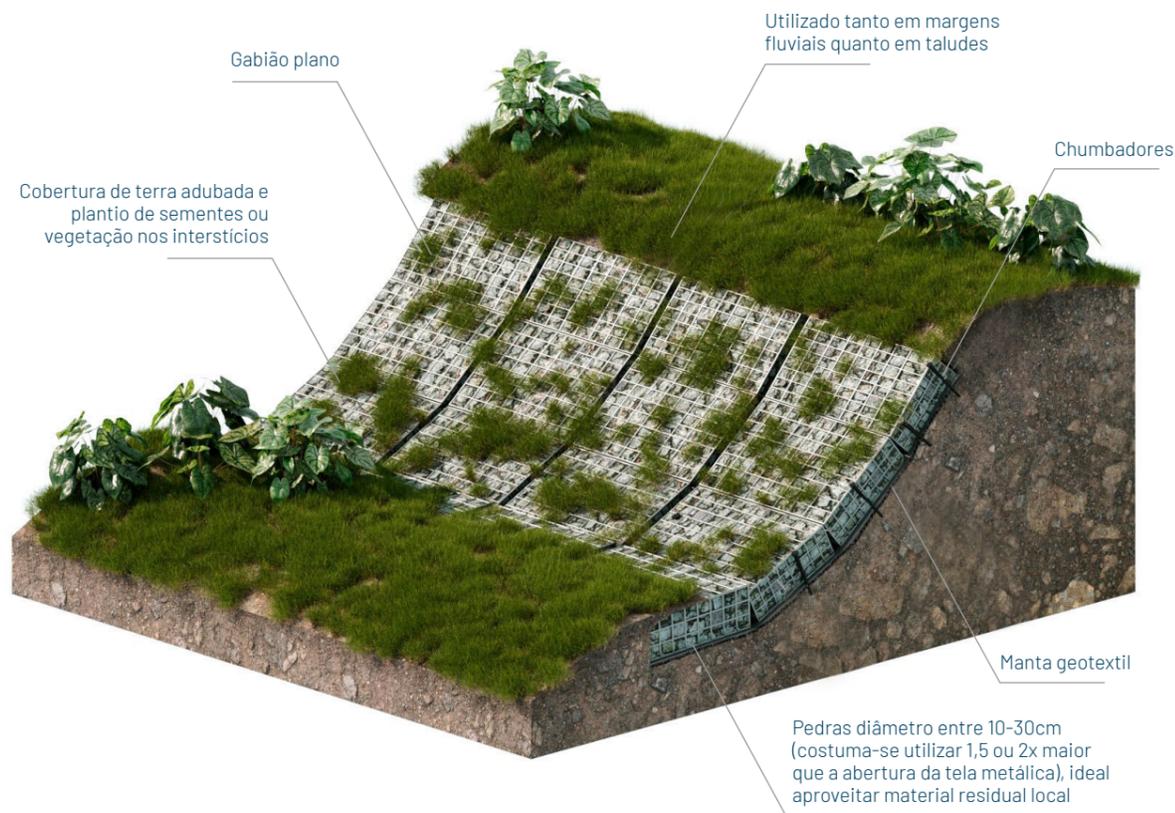


Figura 64 Gabiões planos (Fonte: Guajava. 2023).

Os gabiões planos são instalados em locais onde há a presença de declives rochosos, com pedras e/ou pouca vegetação e pretende-se obter um crescimento extensivo da vegetação, o que é obtido por meio de gabiões metálicos retangulares, que devem ser ancorados. A rede metálica superior é costurada à inferior (tipo colchão de malha metálica) e preenchida com pedras, se possível obtida no local para auxiliar na redução de custos e transporte de materiais. O plano de gabiões deve ser envolto em geotêxtil onde este estiver em contato com o solo, servindo de filtro para impedir o carreamento do preenchimento.

Uma cobertura de terra adubada e o plantio de sementes de espécies adequadas ao local são indicados para contribuir para que a cobertura vegetal se desenvolva mais rapidamente. A vegetação, quando desenvolvida, criará uma malha através de suas raízes que fortalecerá a proteção do declive.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Em declives com necessidade de incluir vegetação e em margens de rios.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

Esta solução tem sua principal utilização em taludes e margens fluviais, inclusive em declividade íngremes de até 70 graus devido a sua estrutura

suportar melhor o material a ser contido com o gabião e a vegetação.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

para os escoamentos superficiais, os fluxos d'água com velocidades elevadas são suportadas pela

estrutura metálica e preenchimento em pedras, podendo ocorrer o carreamento do material de preenchimento e do preparo da terra vegetal quando as velocidades superarem 2,5 m/s.



GEOMETRIA:

Altura admitida:

esta estrutura de contenção é indicada para encostas mais altas em relação ao nível do seu pé,

devido ao método executivo do conjunto da rede metálica com a vegetação plantada, que garante um fator de segurança tolerável até 5m de altura.

Declividade:

devido ao tipo de estrutura e material, esta solução é mais indicada para locais com alturas e declivida-

TIPO DE VEGETAÇÃO:

São plantadas espécies de gramíneas ou trepadeiras, juntamente com substrato propício, durante o levantamento do muro para que estas ajudem no escoamento superficial. Suas raízes se desenvolvem pelos vazios deixados pelas pedras formando uma espécie de trama que ajuda na sustentação do muro e impede a passagem de material carreado vindo de trás da contenção.

Outros dados técnicos:

Diferencia-se do gabião tipo caixa por possuir grande área e pequena espessura, fazendo com que seu uso seja apropriado para revestimento e proteção, mas não para contenção;

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Tela metálica:

utilizada para conter o preenchimento e dar forma ao dispositivo de gabião, comumente utilizado em formatos de manta com espessura entre de 10cm e 30cm;

Pedras:

pode-se utilizar pedra de mão ou costumeiramente rachão para realizar o preenchimento das telas;

Vegetação:

as plantas, em um primeiro momento, não possuem uma função estrutural. Após o seu desenvolvimento assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais adequadas para solos úmidos são ideais. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

des maiores, que podem chegar a 70 graus de inclinação do talude ou encosta.

A flexibilidade do material permite que seja instalado em situações de solo mole, ou seja, com baixa capacidade de carga sem risco de rompimento;

A utilização de gabião plano como revestimento não impede a percolação da água entre rio/solo, mantendo assim o nível do lençol freático existente;

Quando em contato com a água, o arame é suscetível à corrosão, portanto necessita de camada de galvanização e polímero para se prolongar a vida útil do material

Geotêxtil:

para que cumpra a função de filtro, deve-se utilizar o tipo não tecido, produto que apresenta suas fibras dispostas em orientação aleatória, o que impede a livre passagem de água através do geossintético. Os geotêxteis são de fácil instalação, baixo custo, pequena espessura e possibilitam o controle de qualidade permitindo propriedades hidráulicas adequadas, características essas que endossam a utilização deste material em sistemas filtrantes.



MANUTENÇÃO:

Demandam manutenção quando apresentarem rompimento da estrutura. O tempo para que isto ocorra dependerá de fatores como: presença de água; presença de salinidade; abrasão provocada por vento e/ou água; exposição a contaminantes; e resistividade do solo.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação⁴⁰ entre R\$200,00 e R\$300,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Execução:

a execução de gabiões planos não requer maiores dificuldades na sua implantação pois são constituídos de elementos pré-fabricados.

- Gabiões Planos / Colchão -

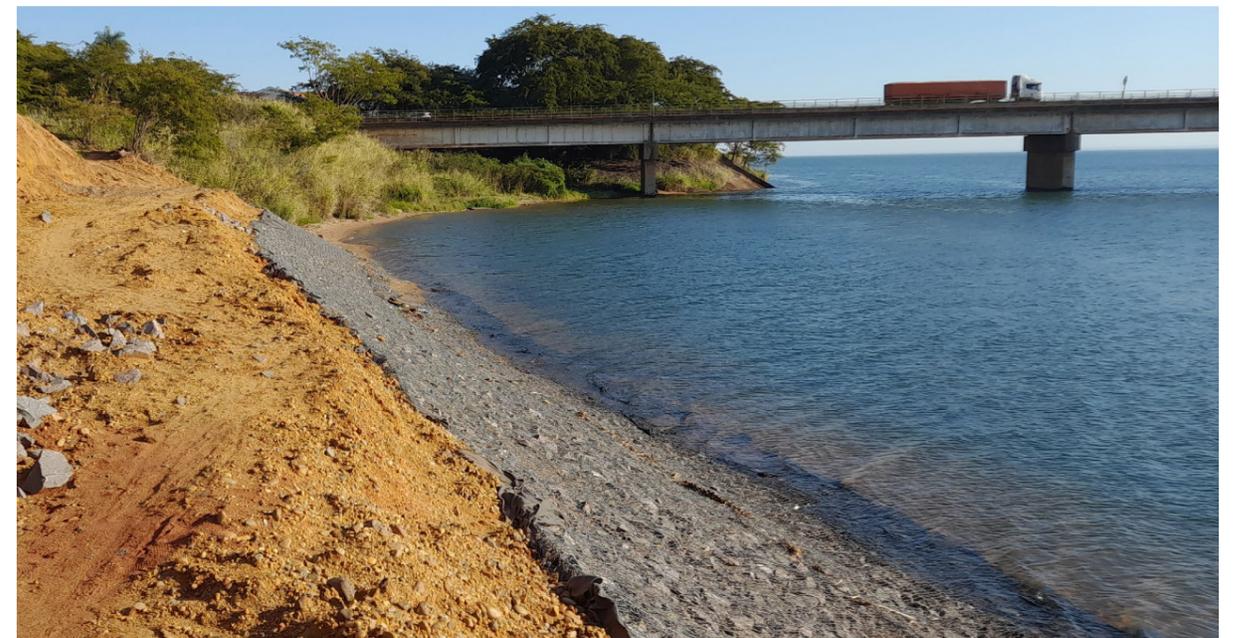


Figura 65 Gabião plano em Presidente Epitácio/SP (Acervo Belgo Soluções Geotech, foto: Flávio Fontes da Cruz, 2024).

⁴⁰ De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra

- Solo Grampeado Verde -

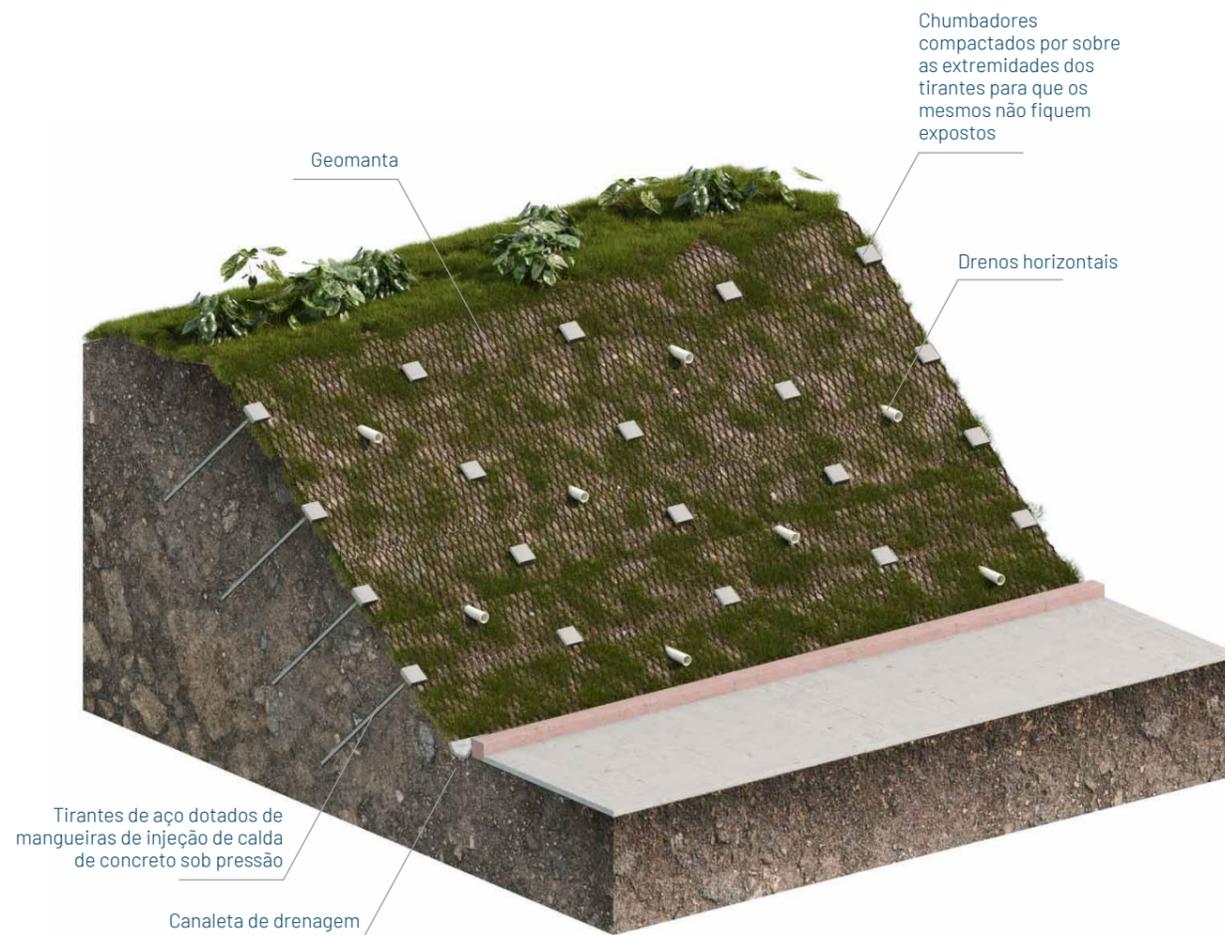


Figura 66 Solo Grampeado Verde (Fonte: Guajava, 2023)

As contenções em solo grampeado verde são técnicas utilizadas para estabilizar taludes e encostas e evitar deslizamentos de terra. Elas são compostas por uma série de elementos, como grama, plantas, tela e grampos fixados por meio de injeção de calda de cimento, que são instalados no solo para formar uma espécie de “malha” que ajuda a conter o solo local.

As contenções em solo grampeado verde são uma opção mais natural e paisagisticamente agradável do que outras técnicas de estabilização de encostas mais convencionais, como muretas ou barreiras de concreto. Além disso, elas também podem ser mais eficazes em áreas com solos instáveis, pois a vegetação ajuda a absorver a água e suas raízes criam uma malha superficial, o que pode ajudar a evitar novos deslizamentos.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Encostas ou taludes com declividades elevadas, de até 70 graus, exceto em locais onde há afloramento do leito rochoso.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

As contenções em solo grampeado verde possuem grande adaptabilidade quanto ao tipo de terreno a serem implantadas, sendo que ocorre uma perda em sua efetividade e custo benefício quando utilizadas em margens fluviais, já que nessas áreas tem-se uma dificuldade executiva em função da

entrada dos maquinários (equipamentos de perfuração para instalação dos grampos, retroescavadeiras para movimentação de materiais, andaimes) e pessoal em margens alagadas e íngremes, tornando-se uma alternativa menos atrativa nesses casos.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

o material que constitui a malha de grampos e a tela superficial são resistentes a fluxos de água incidentes na SbN, porém o preenchimento da

malha (solo, areia, pedras) já não suporta fluxos d'água com velocidades elevadas, pois esse fluxo causa carreamento do material de preenchimento, sendo assim indicado para velocidades de até 2,5m/s.

GEOMETRIA:

Altura admitida:

utilização é indicada para taludes mais altos em relação ao nível do seu pé, sendo possível a execução de até 20m de altura; porém, ocorre uma perda em sua efetividade e custo-benefício quando utilizadas em locais com alturas menores, já que o custo de mobilização do pessoal e equipamentos é o mesmo para pequenas ou grandes áreas.

Declividade:

devido à flexibilidade desta estrutura de contenção, sua utilização é indicada tanto para terrenos mais suaves quanto íngremes, com até 70 graus de declividade.

TIPO DE VEGETAÇÃO:

Gramíneas ou trepadeiras ajudam a absorver a água precipitada no terreno e suas raízes criam

uma malha superficial, o que pode ajudar a evitar novos deslizamentos.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Grampos:

são usualmente feitos de metal ou plástico e são fixados no solo através de perfurações mecanizadas;

Tela:

a manta que recobre a face do talude pode ser executada em tela metálica ou geotêxtil e assim o sistema como um todo trabalha na estabilização do local;

Vegetação:

as plantas, em um primeiro momento, não possuem uma função estrutural. Após o seu desenvolvimento assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo. Espécies vegetais adequadas para solos úmidos são ideais. Atentar-se às condições climáticas locais para a escolha das espécies.

MANUTENÇÃO:

Os cuidados com a manutenção devem ser dirigidos à estrutura. Recomenda-se que seja feito um teste de arrancamento dos grampos para garantir que estes tenham sido instalados conforme o projeto e que seja feito reparo imediato quando houver qualquer abertura na tela ou desgaste.

CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação⁴¹ entre R\$ 800,00 e R\$1000,00 por m².

⁴¹ De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra.



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Vegetação adequada:

disponibilidade de espécies vegetais adequadas para solos úmidos.

Qualificação de técnicos:

disponibilidade no mercado de técnicos capacitados com os conhecimentos específicos para análise correta de todas as informações e posterior acompanhamento na execução.

- Solo Grampeado Verde -

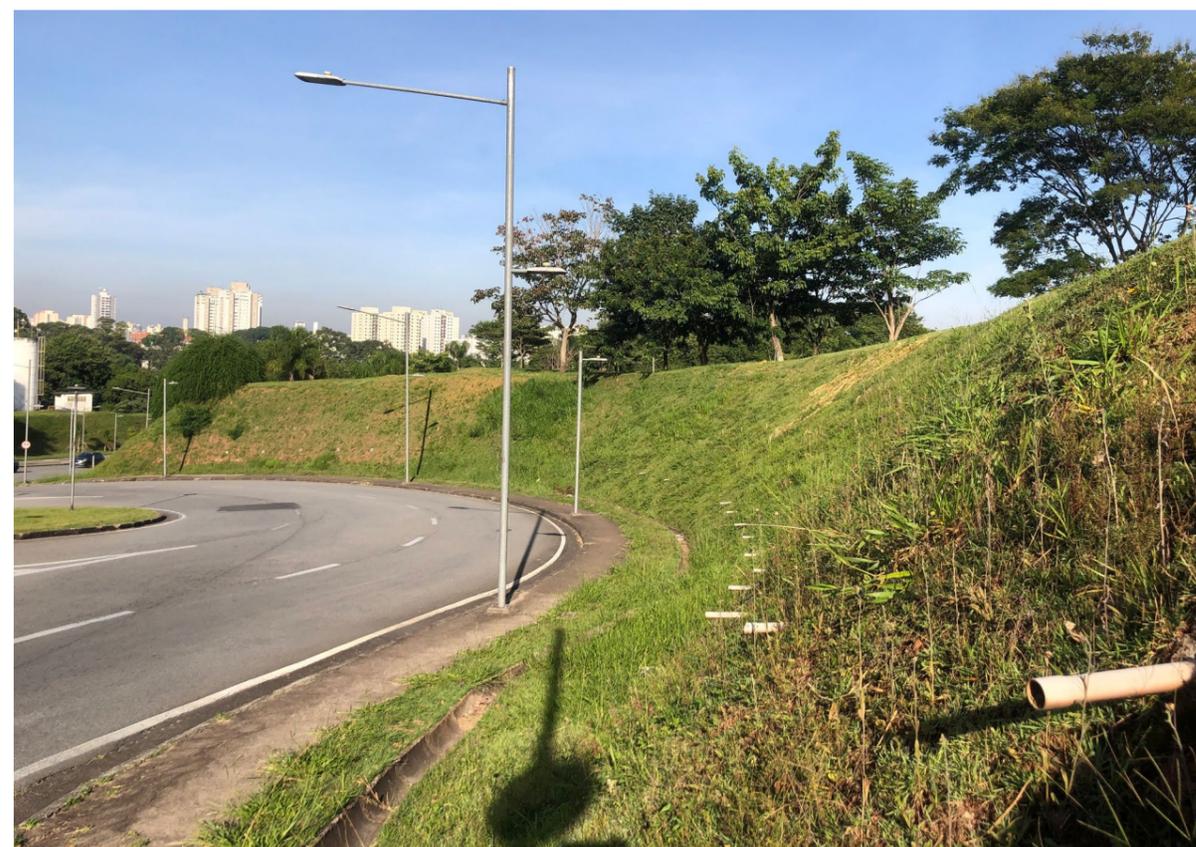


Figura 67 Solo grampeado na na Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira, Universidade de São Paulo (foto: Sarah Daher, 2024).

- Contenção em Geocélulas -

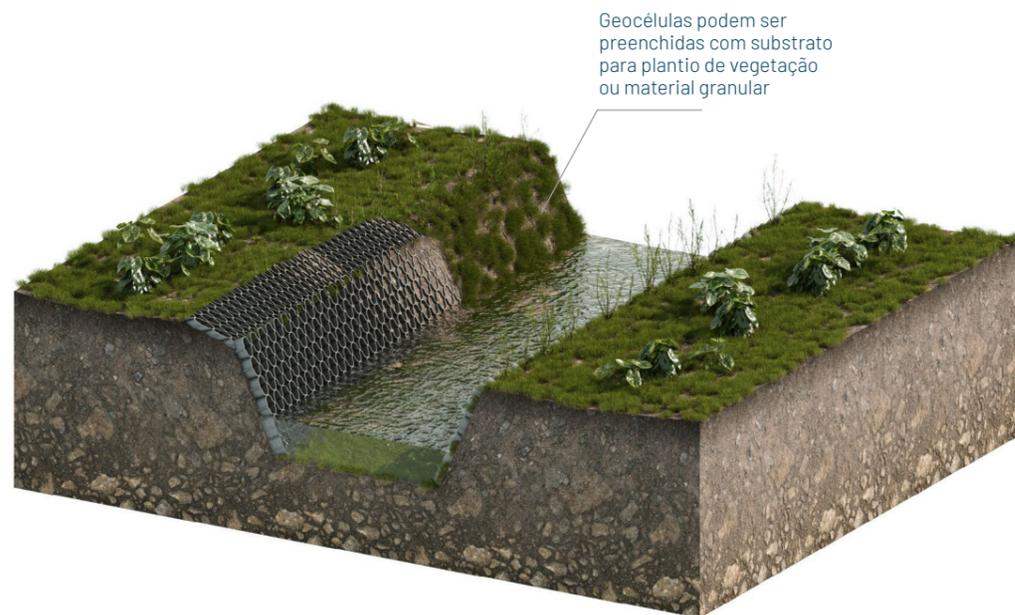


Figura 68 Contenção superficial em Geocélulas (Fonte: Guajava, 2023).



Figura 69 Contenção estrutural em Geocélulas (Fonte: Guajava, 2023).

A Contenção em Geocélulas é uma técnica utilizada para estabilizar taludes e margens fluviais, evitando deslizamentos de terra. Elas são compostas por uma série de elementos, como geocélulas (camada colmeia, malha geossintética), areia, pedras, solo, grampos e plantas. A manta de geocélulas pode ser estendida sobre o local a ser contido, sendo ancorada com grampos ou chumbadores no solo que prendem o geossintético ao maciço, ou pode ser executada em camadas sobrepostas, atuando como uma estrutura que foi executada após endentamento no talude, assim uma camada dá suporte à outra até que seja atingida a altura necessária.

As geocélulas são usualmente fabricadas em PEAD ou poliéster, com sua malha possuindo um formato celular geralmente de hexágonos, mas havendo outras formas geométricas. Elas são colocadas no solo em camadas, para formar uma espécie de "malha" que ajuda a conter o solo local. A malha possui uma altura variável, onde é possível fazer o preenchimento das células. O preenchimento pode ser de areia, solo ou brita, sendo então adicionado por cima das geocélulas para preencher os espaços entre elas e formar uma superfície sólida. As plantas podem ser inseridas na superfície para ajudar a manter a estabilidade do solo e melhorar a aparência do talude.



PARÂMETROS TÉCNICOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA:



LOCALIZAÇÃO ESTRATÉGICA:

Taludes com declividade elevada, margens fluviais e locais onde há instabilidade.



CARACTERÍSTICAS DO TERRENO:

As contenções em taludes com geocélulas são uma opção eficaz para estabilizar taludes íngremes e margens fluviais com solos instáveis. Elas são

leves, fáceis de transportar e de instalar, e podem ser adaptadas a diferentes tipos de terreno e condições locais.



HIDRÁULICA:

Limites de velocidade de escoamento admitido:

o material da malha é resistente a fluxos de água incidentes na SbN, porém o preenchimento das células (solo, areia, pedras) já não suporta fluxos

d'água com velocidades elevadas, pois esse fluxo causa carreamento do material de preenchimento, sendo assim indicado para velocidades de até 2,5 m/s.

GEOMETRIA:

Altura admitida:

devido à flexibilidade desta estrutura de contenção, sua utilização é indicada tanto para taludes mais altos em relação ao nível do seu pé quanto para margens fluviais mais profundas, sendo possível a execução de até 20m de altura.

Declividade:

devido à flexibilidade desta estrutura de contenção, sua utilização é indicada tanto para taludes mais suaves quanto íngremes, porém ocorre uma perda em sua efetividade e custo-benefício quando se passa de 70 graus de declividade, tornando-se uma alternativa menos atrativa nesses casos.

TIPO DE VEGETAÇÃO:

A vegetação plantada na superfície cria uma espécie de malha com ramos e raízes ajudando no escoamento das águas superficiais e no carreamento de materiais.

Pode ser executada em camadas sobrepostas ou na superfície de taludes para atuar na contenção;

O material a ser escolhido para preenchimento pode variar de acordo com o local.

Demais dados técnicos:



MATERIAIS NECESSÁRIOS:

Manta de geocélulas:

esse geotêxtil tem função estrutural nesta SbN e serve para contenção do preenchimento, possuindo espessura entre 5cm a 30cm.

Material para preenchimento das células:

camada utilizada para o preenchimento das geocélulas, geralmente com brita nº3, mas podendo ser substrato vegetal, areia ou solo compactado.

Chumbadores para fixação da manta de geocélulas:

são usualmente feitos de metal ou plástico, fixados no solo através de perfurações entre 20cm e 1m, servindo como parte do sistema de suporte das geocélulas.

Vegetação:

as plantas, em um primeiro momento, não possuem uma função estrutural. Após o seu desenvolvimento assumem um papel de suporte estrutural através de sua trama radicular. As raízes profundas das plantas também criam canais pelos quais as águas pluviais se infiltram no solo.



MANUTENÇÃO:

Apesar de as geocélulas possuírem uma longa vida útil e serem resistentes a danos causados por água, vento e intempéries, recomenda-se fazer reparos em sua membrana caso haja falhas na costura ou na fixação da mesma no solo, para que seja mantida a capacidade funcional da SbN.



CUSTO DA IMPLANTAÇÃO:

Variação⁴² entre R\$ 500,00 e R\$ 700,00 por m².



DESAFIOS POSSÍVEIS NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO:

Instalação:

a instalação das geocélulas requer habilidade, equipamentos e mão de obra qualificada para garantir que elas estejam posicionadas corretamente seguindo o projeto.

Drenagem:

é importante garantir que principalmente a drenagem superficial do talude esteja funcionando corretamente, para evitar acúmulo de água e erosão do solo e preenchimentos.



Figura 70 Geocélula para controle de erosão superficial na Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira, Universidade de São Paulo (Projeto Paulo Pellegrino, Daniel Falconi, Silvio Motta e Stefanie Gonzaga, foto: Daniel Falconi, 2023).

⁴² De acordo com a área, projeto e configuração da SbN, materiais e mão de obra.



Parque Orla do Piratininga Niterói/RJ (Foto Dione Maria Marinho Castro, 2023).

Passo 3 Definição de espécies vegetais para as SbN

A escolha adequada das espécies vegetais em projetos de espaços livres que utilizam SbN é de extrema importância, pois as especificidades da vegetação impactam diretamente na eficiência e eficácia dos diferentes sistemas.

No entanto, em se tratando de projetos em espaços públicos, como parques lineares e fluviais, outras características da vegetação tornam-se bastante relevantes, como: a capacidade de propiciar experiência benéfica e estética da paisagem; contribuir para o equilíbrio ecológico e preservação da biodiversidade, especialmente considerando-se a conectividade das áreas verdes dentro de corredores ecológicos.

Os principais atributos esperados da vegetação são:

- ter a capacidade para biorretenção de águas;
- de absorver nutrientes;
- realizar fitorremediação de poluentes;
- estabilizar o solo e sustentar a camada de solo a longo prazo.

Os critérios gerais para escolha da vegetação estão relacionados aos seguintes fatores:



Clima: a vegetação adequada para cada SbN é variável de acordo com as regiões onde estão instaladas. Deve-se considerar na escolha as condições climáticas regionais e a resiliência das espécies diante das condições de umidade, seca e ocorrência de tempestades. A priori, as espécies autóctones são mais resistentes às condições climáticas locais e oferecem melhor desempenho.



Solo: a escolha da vegetação deve considerar a camada de solo utilizada para a biorretenção. Por exemplo, em solos com maior concentração de orgânicos a variedade de espécies adequadas será maior, ao passo que para solos com drenagem rápida (seja por dispositivos de subdrenagem ou por ter solos nativos com altas taxas de infiltração) haverá menos opções de plantas.



Presença de poluentes: a escolha da vegetação deve considerar os diferentes poluentes do solo e das águas. Especialmente nas wetlands, as espécies macrófitas oferecem importantes benefícios por sua tolerância aos ambientes eutrofizados e sua alta capacidade de absorção dos poluentes. Especificamente na implantação das Wetland e Ilhas filtrantes a escolha de vegetação merece atenção especial. Por se tratar de sistemas permanentemente ou parcialmente alagados, devem ser utilizadas plantas macrófitas aquáticas, plantas palustres ou plantas que resistem a períodos de

alagamento. As macrófitas aquáticas exercem uma função ecológica primordial para a manutenção desses ecossistemas. A escolha das macrófitas está estritamente relacionada às características dos efluentes a serem tratados e da sua disponibilidade na região em que a Wetland será implantada, portanto deve-se priorizar espécies nativas adaptadas às condições locais, para um melhor desempenho.



Manutenção e manejo: as espécies que demandam menor manutenção devem ser priorizadas. As macrófitas emergentes, por exemplo, podem permanecer por longos ciclos nos alagados, sem necessidade de poda ou manutenção da zona de raízes. As espécies flutuantes são mais fáceis de serem removidas nos sistemas de fluxo superficial, permitindo um manejo constante da biomassa conforme o crescimento da planta e a maior remoção de nutrientes. Assim, seja qual for a SbN, devem ser priorizadas na escolha as espécies que demandam baixa manutenção, minimizando a necessidade de corte, poda, capina e irrigação. Também deve ser evitado o uso de fertilizantes ou pesticidas.



Porte da vegetação: plantas de variados portes são utilizadas em SbN, mas o projeto deve considerar a altura da planta na fase adulta. A escolha das espécies arbóreas, por exemplo, deve ser feita na fase de concepção do projeto, considerando os aspectos do solo que permitam crescimento saudável das árvores e suas raízes ao longo do tempo. Se houver árvores previamente no local, suas raízes devem ser protegidas das camadas minerais das SbN para não gerar instabilidade.



Visibilidade: a localização das árvores deve considerar as infraestruturas existentes, respeitando os recuos necessários. Em instalações onde há intersecções com passagens de pedestres e calçadas, por exemplo, a altura máxima de plantas maduras deve ser de aproximadamente 60 cm, para não comprometer a visibilidade dos pedestres. Se estiverem plantadas no fundo da instalação, a altura da planta pode ser maior, desde que não ultrapasse os 60 cm em relação ao nível da rua. O volume da copa e ramificações ao longo da vida da árvore também devem ser considerados para garantir altura livre adequada, tanto na calçada quanto na beira da estrada.



Quantidade de plantas: a densidade do plantio vai variar de acordo com o porte da espécie e sua capacidade de propagação, podendo variar de 4 a 8 mudas por m², sendo que para alguns casos de espécies de propagação rápida, como a *Typha domingensis*, em condições ambientais adequadas, pode-se considerar o plantio de 2 mudas por m². Um plantio com densidade adequada é importante para o fechamento do sistema e para evitar manutenção contra espécies invasoras.



Sustentabilidade econômica: a escolha de vegetação também deve considerar a sustentabilidade econômica. Recomenda-se, por exemplo, o incentivo ao cultivo de espécies de valor comercial como: forragem para alimentação animal; espécies para produção de fármacos e produtos cosméticos; espécies para produção de fibras para uso artesanal ou industrial, como a taboa; e espécies florísticas comerciais, como estrelícia, antúrio, agapanto e lírio amarelo (MATOS; MATOS, 2021).

Na Tabela 4 estão sintetizadas as características específicas necessárias para cada SbN.

Tabela 4 Atributos da vegetação por tipo de SbN.

Tipologia de SbN	Atributos da vegetação
Jardim de Chuva Canteiro Pluvial	<ul style="list-style-type: none"> capacidade para suportar o volume de água esperado para o sistema; capacidade para suportar exposição direta do sol; resiliência para suportar períodos de extrema umidade e seca; ser autóctone (sinergia com clima, solo e condições de umidade locais e não uso de fertilizantes e produtos químicos); exigência de pouca manutenção; capacidade para desempenhar mecanismos de fitorremediação.
Biovaletas Escada hidráulica vegetada	<ul style="list-style-type: none"> capacidade de suportar o volume de água esperado para o sistema; resiliência para suportar períodos de seca; alta taxa de evapotranspiração (auxílio na retirada de maior volume de água em curto espaço de tempo); exigência de pouca manutenção; raízes profundas e espessas com alta produção de biomassa e remoção de orgânicos; capacidade de desempenhar mecanismos de fitorremediação.
Terraços de Chuva Step Pool	<ul style="list-style-type: none"> ser vegetação ripária nativa do local; adaptadas a solos temporariamente ou permanentemente úmidos e sujeitos a inundações periódicas; possuir boas condições hídricas, mas sem excesso de água.
Pôlder Vegetado Bacia de Detenção Bacia de Retenção Bacia de Infiltração Bacia de Sedimentação Reservatório Anfíbio Wetland Ilha Filtrante	<ul style="list-style-type: none"> ser nativa e adaptada às condições locais; exigência de pouca manutenção; capacidade de sobreviver às cargas de poluição e de sedimentos; capacidade e desempenho dos mecanismos de biorretenção e fitorremediação; ser macrófitas (espécies emergentes ou flutuantes) ou terrestres com sistemas densos de raízes ou rizomatosas e cultivadas por hidroponia.

Muitas espécies botânicas utilizadas em SbN têm como característica de destaque o potencial de biorretenção de poluentes e fitorremediação. Nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas algumas delas que foram identificadas em estudos (PINHEIRO, 2017⁴³)

e em projetos com SbN consultados na região Sudeste brasileira. Nessa lista, encontram-se espécies nativas e algumas exóticas naturalizadas e cultivadas, como descritas no item **Contribuição para a conservação da biodiversidade**.

⁴³ Consultado (PINHEIRO, 2017) e em visita técnica ao projeto do Parque da Orla Piratininga da cidade de Niterói/RJ em 2022.

Tabela 5 Espécies vegetais utilizadas em Jardim de Chuva, Canteiro Pluvial e Biovaleta.

Espécies utilizadas em jardim de chuva, canteiro pluvial e biovaleta origem: N (Nativa) Na (Naturalizada) C (Cultivada)				
Nome científico Nome popular	Origem	Domínio fitogeográfico*	Forma de vida	Ação potencial
<i>Dichondra microcalyx</i> (Hallier f.) Dinheiro-em-penca	N	Mata Atlântica, Pampa	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, e SDT
<i>Neomarica caerulea</i> (Ker Gawl.) <i>Sprague</i> Falso-íris	N	Mata Atlântica	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, e SDT
<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski Vedélia, picão-da-praia	N	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, e SDT
<i>Solidago</i> sp (L) Solidago	N	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa	Herbácea	Fitorremediação de hidrocarbonetos totais do petróleo (TPH), solventes, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
<i>Costus spiralis</i> (Jacq.) Roscoe Caatinga, cana-branca, jacuanga, cana-de-macaco	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, sólidos dissolvidos totais
<i>Heliconia psittacorum</i> L.f. Helicônia-papagaio, tracoá, planta-papagaio	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, sólidos dissolvidos totais
<i>Ctenanthe setosa</i> (Roscoe) <i>Eichler</i> Maranta-cinza, tenante	N	Mata Atlântica	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, sólidos dissolvidos totais
<i>Alternanthera brasiliana</i> Lutiela	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica	Herbácea semi-erecta	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, sólidos dissolvidos totais
<i>Festuca</i> L. Grama	N	Mata Atlântica, Pampa	Herbácea	Fitorremediação de compostos orgânicos, TPH; HPA, BTEX
<i>Stenotaphrum secundatum</i> (Walter) Kuntze Grama-inglesa, grama-santo-agostinho	N	Caatinga, Mata Atlântica	Herbácea	Tratamento de compostos orgânicos HTP, HPA
<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P. Beauv. Gramam missioneira, grama tapete	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica	Herbácea	Remediação de compostos orgânicos TPH

Espécies utilizadas em jardim de chuva, canteiro pluvial e biovaleta origem: N (Nativa) Na (Naturalizada) C (Cultivada)				
Nome científico Nome popular	Origem	Domínio fitogeográfico*	Forma de vida	Ação potencial
<i>Allamanda cathartica</i> L. Alamanda amarela, carolina, dedal-de-dama	N	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica	Arbusto Trepadeira	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, sólidos dissolvidos totais
<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby Senna, Mata-pasto, cassia	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal	Arbusto	Tratamento de TPH
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav. Picão-branco, fazendeiro	Na	Mata Atlântica	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, sólidos dissolvidos totais
<i>Vertivera zizanioides</i> (L.) Nash Vertiver, capim-vertiver, pachuli	Na	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica	Herbácea	Fitorremediação de metais Al, Mn, Mg, As, Cd, Cr, Ni, Cu, Pb, Hg, Se, Zn, pesticidas; HTP; e explosivos
<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern. Mostarda-da-índia	Na	Mata Atlântica	Herbácea	Tratamento de HPAs; As; Cu, Cd, Cr (VI), Ni, Zn; Ni; Se; Hg; Compostos inorgânicos
<i>Hemerocalis x hybrida</i> Bergmans Lírio-de-um-dia, hemerocale, lírio-de-são-josé	C	-	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, e SDT. Fitorremediação de hidrocarbonetos do Petróleo
<i>Zea mays</i> L. Milho	C	-	Herbácea	Tratamento para TPH; explosivos; pesticidas; e Cd
<i>Alocasia macrorrhizos</i> (L.) G. Don Orelha-de-elefante taiá-rio-ran-co; taioba	C	-	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, e SDT
<i>Dietes bicolor</i> Sweet ex klatt Moréia bicolor, dietes, moreia	C	-	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, e SDT
<i>Dianella ensifolia</i> L. DC Dianela, dracena guarda-chuva	C	-	Herbácea	Biorretenção de óleos e graxas, matéria orgânica, nitrato, nitrito, Fe, Zn, Cu e Cd, e SDT

Com informações de Pinheiro, M. B., 2017 e dados de origem de espécies* da base FLORA E FUNGA DO BRASIL (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2023). Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

Tabela 6 Espécies vegetais utilizadas em alagados construídos (wetlands).

Espécies utilizadas em alagados construídos (Bacia de Detenção, Retenção, Infiltração, Sedimentação, Reservatório Anfíbio, Wetlands, Ilhas Filtrantes)				
Nome científico Nome popular	Origem	Domínio fitogeográfico*	Forma de vida	Ação potencial no meio ambiente
<i>Ceratophyllum demersum</i> L. Rabo-de-raposa	N	Amazônia, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Macrófita submersa	Tratamento de metais Cd, As e Ni; Fe, Zn, Mn, Ni, Pb e Cd, (DBO), amônia, nitrato e P; N e P; farmacêuticos; explosivos; 137Cs, 60Co, 32P, 134Cs, 89Sr; compostos organofosforados e organoclorados, clorobenzenos
<i>Azolla filiculoides</i> Lam. Musgo d'água, samambaia d'água	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal	Macrófita flutuante	Tratamento de Pb; Hg; Cr e As
<i>Salvinia minima</i> Baker Salvinia minima	N	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal	Samambaia flutuante	Tratamento de Pb; e N e P de ambiente eutrofizado
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Aguapé, murumuru, mururé, parecí, pavoia, rainha-dos lagos	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Macrófita flutuante	Fitorremediação de nutrientes N e P; metais Pb, As, Hg, Zn, Se, Cr, Cd, Ni, Cu; metais pesados, compostos orgânicos e inorgânicos (amônia, nitrato e fósforo), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), turbidez e resíduos da indústria; Hidrocarbonetos; Cr, Cu, Cd, Ni, Zn, Hg
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdec Pinheirinho d'água	N	Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Macrófita submersa enraizada	Tratamento de compostos orgânicos, explosivos; radionuclídeos 137Cs, 60Co e 54Mn
<i>Pistia stratiotes</i> L. Alface d'água	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal	Macrófita flutuante	Tratamento de metais As, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb, Cr, Mn, compostos orgânicos aromáticos e nitrato; antibióticos
<i>Potamogeton</i> L. Limo mestre	N	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Semidecidual, Restinga	Macrófita submersa enraizada	Fitorremediação de organoclorados e explosivos; pesticidas
<i>Typha latifolia</i> L. Taboa	N	Amazônia, Mata Atlântica	Macrófita emergente	Fitorremediação no tratamento de metais Zn, Pb, As e Cd; As, Zn, Cu e Ni; na remoção de compostos orgânico, DBO e DQO; tratamento de efluentes da indústria têxtil; explosivos; e possui capacidade de remover pesticidas, explosivos e farmacêuticos

Espécies utilizadas em alagados construídos

(Bacia de Detenção, Retenção, Infiltração, Sedimentação, Reservatório Anfíbio, Wetlands, Ilhas Filtrantes)

Nome científico Nome popular	Origem	Domínio fitogeográfico*	Forma de vida	Ação potencial no meio ambiente
<i>Typha domingensis</i> Pres. Taboa, taboa-estreita	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Macrófita emergente	Tratamento de metais Cr, Ni, Zn e P; metais pesados, Sólidos Suspensos Totais (SST), DBO; Nitrogênio Kjeldahl, Al, Fe, Zn e Pb
<i>Typha angustifolia</i> L. Taboa	N	Cerrado, Mata Atlântica	Macrófita emergente	Tratamento da DBO, SDT e metais Pb, Mn, Zn e Cu; e tratamento de esgoto
<i>Bolboschoenus robustus</i> Junco de pântano, junco costeiro	N	Mata Atlântica, Pampa	Macrófita aquática	Tratamento de Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (TPH). Obs: sementes servem de alimento para aves aquáticas, além de abrigo para caranguejos e para reprodução de patos
<i>Thalia geniculata</i> L. Caeté	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Macrófita aquática	Biorretenção de Fe, Mn, Cd, Ni, Pb, Cu, Mg
<i>Canna indica</i> L. Beri, Biri, Bananeirinha	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Herbácea	-
<i>Pontederia cordata</i> Mururé, Aguapé	N	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Aquática	-
<i>Sagittaria montevidensis</i> Aguapé-de-flecha, Sagitária	N	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa	Aquática	Fitorremediação de Cu
<i>Cyperus papyrus</i> L. Mini papyrus	Na	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Aquática	-

Com informações de Pinheiro, M. B., 2017 e dados de origem de espécies* da base FLORA E FUNGA DO BRASIL (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2023). Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

Especificamente em taludes e no margeamento de cursos d'água é imprescindível a introdução de espécies que auxiliam a combater a erosão e que contribuem na recuperação de mata ciliar. Para essa restauração ecológica, há uma grande variedade de espécies nativas. O governo do

estado de São Paulo, por exemplo, elaborou uma lista (BARBOSA, LM et al., 2017) com mais de 2.951 espécies de todas as formas de vida vegetal, sendo as espécies arbóreo-arbustivas especialmente indicadas para a produção de mudas pelos viveiros.

Adequação ecológica em parques e jardins públicos

Além de atuar no funcionamento de SbN, a vegetação em parques e espaços públicos exerce outros papéis, como o de estruturar a paisagem, de proporcionar bem-estar humano – por meio dos diversos serviços ecossistêmicos e por sua importância simbólica e cultural – e de contribuir para a conservação da biodiversidade, uma vez que é abrigo e fonte de alimento para a fauna.

Dadas as especificidades e complexidades ecológicas de cada região, a escolha das espécies no projeto de parques deve ser respaldada sempre pelo conhecimento técnico de experientes paisagistas, engenheiros florestais, botânicos e ecólogos. Considerado a dinâmica da interação entre as espécies, a vegetação do parque deve ser alvo de contínuos estudos e monitoramento, de maneira a reorientar manejos e novos plantios.

Sob visão ecológica sistêmica, três critérios se entrelaçam na escolha da vegetação em projetos paisagísticos de parques:

Promoção de bem-estar à população e educação ambiental

A vegetação dos parques promove diretamente o bem-estar dos visitantes, seja pelo conforto térmico promovido pela sombra da copa de árvores, pelo aroma e detalhes estéticos e compositivos da paisagem e até por aspectos simbólicos para uma determinada região ou cultura. Para potencializar esses benefícios, a escolha da vegetação de parques deve permear a possibilidade de ações socioeducativas, como jardins sensoriais ou medicinais, jardins para polinizadores (borboletários e meliponários), passeios de observação de pássaros, entre outros.

Contribuição para a conservação da biodiversidade

O bioma de origem é o requisito básico na escolha de espécies em projetos paisagísticos de parques. As espécies nativas devem ser privilegiadas em relação às exóticas, uma vez que apresenta vantagens tanto do ponto de vista ecológico como econômico:

Vantagens das espécies nativas:

Contribuem para conservação da biodiversidade (oferta alimentos e abrigo à fauna); são de fácil acesso e reprodução em viveiros municipais; conferem maior adaptabilidade ao clima e solo; possuem melhor desenvolvimento metabólico; produzem mais flores e frutos saudáveis.

Desvantagens das espécies exóticas:

São suscetíveis à propagação descontrolada; ameaçam espécies nativas do bioma; exigem mais esforços (e custos) para controle; são mais suscetíveis às doenças e pragas. Espécie exótica, de acordo com a Convenção sobre Diversidade Biológica, é aquela que se encontra fora de sua área de distribuição natural e não é originária de um bioma. As exóticas podem ser classificadas como “naturalizadas”, “cultivadas” ou “invasoras”. São consideradas “invasoras” as espécies que, com alta taxa de reprodução, ameaçam ecossistemas, habitats e espécies nativas. Elas se reproduzem de forma descontrolada, concorrendo com as espécies nativas e ameaçando sua existência. Há ainda as exóticas “naturalizadas”, que se reproduzem naturalmente em um novo bioma, porém sem ameaçar a sobrevivência de espécies nativas, e as “cultivadas”, que foram reproduzidas com auxílio humano, fora da sua área de distribuição natural.

Cabe destacar que nem todas as espécies exóticas apresentam potencial de causar desequilíbrio ecológico ou ameaçar a conservação dos biomas nativos. Contudo, **toda e qualquer espécie exótica em área de conservação necessita de constante e adequado controle e manejo para que não se torne invasora.**

Vários municípios brasileiros e suas unidades de conservação estabelecem listas de espécies exóticas invasoras em seus domínios, periodicamente atualizadas, as quais devem ser consultadas pelas equipes responsáveis pelos projetos e manejo de parques. Além de ameaçar biomas nativos, as “invasoras” demandam alto custo aos cofres públicos para o necessário controle biológico em unidades de conservação. Os exemplos mais conhecidos são da espécie *Leucena* (*Leucaena leucocephala*), originária da América Central, e da australiana *Palmeira-seafortia* (*Archontophoenix cunninghamiana*). Na ausência de um plano nacional único para controle de espécies invasoras, muitos municípios brasileiros e suas unidades de conservação estabelecem o levantamento de espécies exóticas invasoras e ações para o manejo e supressão.

Atração de fauna polinizadora

Os polinizadores e a polinização oferecem serviços ecossistêmicos (POTTS et al., 2016; COSTANZA et al., 2017) com funções regulatórias (ajudam a manter a variabilidade genética de populações de plantas nativas que sustentam a biodiversidade e as funções ecossistêmicas), de provisão alimentícia (fornecem frutos, sementes, mel, entre outros alimentos) e cultural (promove valores culturais relacionados ao conhecimento tradicional).

Em espaços livres de uso público, como os parques e jardins, as espécies botânicas com flores e frutos que atraem fauna polinizadora – como abelhas, pássaros, borboletas, besouros, morcegos, entre outros – merecem atenção especial, devido à contribuição dada à conservação da biodiversidade (MMA, 2006) e pelas experiências benéficas que podem proporcionar ao público visitante, como contemplação e experimentação sensorial da natureza e seus processos (MORAES, 2020).

Nesse sentido, os projetos paisagísticos amigáveis aos polinizadores permitem a criação de espaços que funcionam como “escolas-vivas” – os chamados “jardins para polinizadores” – que são cenários propícios às atividades de educação ambiental e de observação e conservação da biodiversidade.

Espécies para atração de polinizadores

A seguir estão listadas algumas espécies selecionadas de estudos de áreas verdes quanto à interação de flora e fauna com ação polinizadora no domínio da região Sudeste brasileira (GOBATTO; PEREIRA; CHAGAS, 2021). Elas estão identificadas por nome científico, família botânica, nome popular e classificadas quanto a sua: origem (nativas, cultivadas e naturalizadas); tipo de vida (herbácea, arbustiva, arbórea, palmácea, aquática e macrófita); características botânicas (porte, luminosidade e período de floração); usos paisagísticos; e tipo de polinizadores visitantes.

Herbáceas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) x D (Diâmetro).



Nº	01	02	03	04	05
Nome científico	<i>Pachystachys lutea</i> Nees [Acanthaceae]	<i>Ruellia brevifolia</i> (Pohl) C. Ezcurra [Acanthaceae]	<i>Ruellia makoyana</i> Jacob-Makoy ex Closon [Acanthaceae]	<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski [Asteraceae]	<i>Bidens sulphurea</i> [Asteraceae]
Nome popular	Camarão amarelo	Pingo-de-sangue	Planta-veludo	Vedélia; Picão-da-praia	Cosmo amarelo
Origem	N	N	N	N	N
Porte (A x D)	1,00 x 0,50	0,70 x 0,50	0,30 x 0,45	0,60 x 0,20	0,80 x 0,30
Iluminação	Pleno Sol Meia-Sombra	Pleno Sol Meia-Sombra	Meia-Sombra	Pleno Sol Meia-Sombra	Pleno Sol
Floração	Primavera Verão	Ano Todo	Primavera Verão	Ano todo	Ano todo
Uso paisagístico	Cerca-viva Maciços	Maciços	Maciços	Maciço Cobertura de Talude	Maciço Canteiro
Polinizador ou visitante	Abelha Beija-flor	Abelha Beija-flor	Abelha Beija-flor	Abelha Borboleta	Abelha Borboleta

Crédito de imagens: 1) Sviatlana Zyhmantovich; 2) Mirwanto Muda; 3) Firn; 4) Wirestock; 5) Sarno Markosasi. (Fonte: istockphoto.com)

Herbáceas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) × D (Diâmetro).



N°	06	07	08	09	10
Nome científico	<i>Heliconia hirsuta</i> "Burle marxii" [Heliconiaceae]	<i>Salvia guaranitica</i> A. St-Hill ex Benth [Lamiaceae]	<i>Salvia splendens</i> Sellow ex Wied-Nuew [Lamiaceae]	<i>Arachis repens</i> Handro [Leguminosae]	<i>Nothoscordum gracile</i> (Aiton) Stearn [Amaryllidaceae]
Nome popular	Caeté Pacová pequena	Sálvia-azul	Sálvia-vermelha	Grama-amendoim	Alho-silvestre Cebolinha-de-perdiz
Origem	N	N	N	N	N
Porte (A × D)	2,00 × 1,00	1,60 × 0,20	0,80 × 0,20	0,20 × 0,30	0,80 × 0,30
Iluminação	Pleno Sol Meia-Sombra	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol
Floração	Verão Outono	Primavera Verão	Ano todo	Primavera Verão	Outono Inverno
Uso paisagístico	Maciço Renque	Cerca-viva Isolada	Maciço Canteiro	Cobertura de solo	Maciço Jardim Medicinal
Polinizador ou visitante	Beija-flor	Abelha Beija-flor Borboleta Libélula	Abelha Beija-flor Borboleta Libélula	Abelha	Abelha

Crédito de imagens: 6) Rahmad Wijaya; 7) Photohampster; 8) Liane M; 9) Julio Cesar Pires; 10) Deny Novan; (Fonte: istockphoto.com)

Herbáceas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) × D (Diâmetro).



N°	11	12	13	14	15
Nome científico	<i>Thunbergia mysorensis</i> [Acanthaceae]	<i>Clivia miniata</i> Regel [Amaryllidaceae]	<i>Bulbine frutescens</i> (L.) Willd. [Asphodelaceae]	<i>Ageratum conyzoides</i> L. [Asteraceae]	<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam. [Asteraceae]
Nome popular	Sapatinho-de-judia	Clivia	Bulbine	Mentrasto Erva-de-são-joão	Margarida
Origem	Na	Na	Na	Na	Na
Porte (A × D)	20,00 × 1,00	0,60 × 0,40	0,30 × 0,30	1,00 × 0,30	0,60 × 0,20
Iluminação	Pleno Sol	Meia-sombra	Pleno Sol	Pleno Sol Meia-sombra	Pleno Sol Meia-sombra
Floração	Primavera Verão	Primavera	Ano todo	Outono	Verão Outono
Uso paisagístico	Pergolado	Bordadura	Bordadura Maciço	Canteiro Jardim Medicinal	Canteiro Bordadura Maciço
Polinizador ou visitante	Abelha Beija-flor	Abelha	Abelha Borboleta	Abelha Borboleta	Abelha Borboleta

Crédito de imagens: 11) Kateryna Kukota; 12) Natalie Board; 13) Igaguri_1; 14) Bush Alex; 15) Iva Vagnerova. (Fonte: istockphoto.com)

Herbáceas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) × D (Diâmetro).



N°	16	17	18	19	20
Nome científico	<i>Tagetes filifolia</i> Lag. [Asteraceae]	<i>Podranea ricasoliana</i> (Tanfani) Sprague [Bignoniaceae]	<i>Aechmea blanchetiana</i> [Bromeliaceae]	<i>Tradescantia pallida</i> Boom [Commelinaceae]	<i>Malvaviscus arboreus</i> Cav. [Malvaceae]
Nome popular	Cravinho-da-serra	Sete-léguas	Bromélia	Coração-roxo Trapoeraba-roxa	Malvavisco Hibisco-colibri
Origem	Na	Na	Na	Na	Na
Porte (A × D)	0,90 × 0,30	10,00 × 1,00	1,00 × 0,60	0,25 × 0,10	4,00 × 1,00
Iluminação	Pleno Sol Meia-sombra	Pleno Sol	Meia-sombra	Pleno Sol	Pleno Sol
Floração	Ano todo	Ano todo	Verão	Ano todo	Ano todo
Uso paisagístico	Maciço Canteiro Cobertura de talude	Pergolado	Isolada Canteiro	Bordadura Cobertura de solo	Cerca-viva Bordadura
Polinizador ou visitante	Abelha Borboleta	Abelha Borboleta Besouros Pássaros	Abelha Besouros Pássaros	Abelha	Abelha Beija-flor Borboleta Pássaros

Crédito de imagens: 16) Martina Unbehauen; 17) Santi Wiwatchaikul; 18) Simona Flamigni; 19) Armankose; 20) E46AV22; (Fonte: istockphoto.com)

Herbáceas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) x D (Diâmetro).



N°	21	22	23	24	25
Nome científico	<i>Ipomoea horsfalliae</i> Hook. [Asteraceae]	<i>Pelargonium x hortorum</i> L.H.Bailey [Geraniaceae]	<i>Pentas lanceolata</i> (Forssk.) Deflers [Rubiaceae]	<i>Cobaea scandens</i> Cav. Polemoniace	<i>Persicaria capitata</i> H. Gross [Polygonaceae]
Nome popular	Ipomeia-rubra Trepadeira-cardeal	Gerânio	Show-de-estrelas Estrela-do-Egito	Cobeia Estefânia	Tapete-inglês
Origem	C	C	C	C	C
Porte (A x D)	6,00 x 1,00	0,60 x 0,30	0,60 x 0,30	4,00 x 0,30	0,20 x 0,15
Iluminação	Pleno Sol	Meia-sombra	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol Meia-sombra
Floração	Primavera Verão	Primavera Verão	Verão Outono	Verão	Ano todo
Uso paisagístico	Pergolado	Canteiro Bordadura	Maciço Bordadura	Pergolado	Cobertura de solo Cobertura de talude
Polinizador ou visitante	Abelha Borboleta Beija-flor	Abelha Borboleta	Beija-flor Borboleta	Abelha	Abelha

Crédito de imagens: 21) Albin Raj; 22) Michael Meijer; 23) Dani VG; 24) Weisschr; 25) Teddiviscious; (Fonte: istockphoto.com)

Arbustivas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) x D (Diâmetro).



Nº	26	27	28	29	30
Nome científico	Callistemon viminalis (Sol.ex. Gaertn) G. Don [Myrtaceae]	Bougainvillea spectabilis Willd. [Nyctaginaceae]	Thunbergia erecta (Benth.) T. Anderson [Acanthaceae]	Allamanda laevis Markgr [Apocynaceae]	Osmanthus fragans (Thunb.) Lour. [Oleaceae]
Nome popular	Escova-de-garrafa	Primavera	Manto-de-rei	Alamanda arbustiva	Jasmim-do-imperador
Origem	C	N	N	N	Na
Porte (A x D)	15,00 x 2,00	5,00 x 2,00	3,00 x 0,50	3,00 x 1,00	4,00 x 2,00
Iluminação	Pleno Sol	Outono Inverno	Pleno Sol Meia-sombra	Pleno Sol	Pleno Sol
Floração	Primavera Verão	Outono Inverno	Ano todo	Ano todo	Primavera Verão
Uso paisagístico	Isolado Cerca-Viva	Cerca-viva Pergolado	Maciço Cerca-viva	Cerca-viva	Isolado
Polinizador ou visitante	Beija-flor Pássaros	Beija-flor Borboletas	Abelha Beija-flor	Abelha Beija-flor	Abelha

Crédito de imagens: 26) K. Samurkas; 27) Jian Yi Liu; 28) Wahid Hasyim Asyari; 29) Chi Wai Chevy Wan; 30) (Fonte: istockphoto.com)

Arbustivas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) x D (Diâmetro).



N°	31	32	33	34	35
Nome científico	<i>Duranta erecta</i> L. [Verbenaceae]	<i>Lantana camara</i> L. [Verbenaceae]	<i>Rosa x grandiflora</i> Hort. [Rosaceae]	<i>Holmskioldia sanguinea</i> Retz [Lamiaceae]	<i>Ixora coccinea</i> L. [Rubiaceae]
Nome popular	Pingo-de-ouro	Cambará-amarelo	Rosa, Rosa arbustiva	Chapéu-chines	Ixora-coral
Origem	Na	Na	C	C	C
Porte (A x D)	1,50 x 1,00	2,00 x 0,60	2,00 x 0,50	5,00 x 3,00	3,00 x 0,50
Iluminação	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol
Floração	Primavera Verão	Ano todo	Ano todo	Primavera Verão	Outono Inverno
Uso paisagístico	Maciço Renque	Maciço Canteiro	Maciço Isolado	Cerca-viva	Maciço Cerca-viva Renque
Polinizador ou visitante	Borboleta	Borboleta	Abelha Beija-flor	Beija-flor	Abelha Beija-flor

Crédito de imagens: 31) K. Samurkas; 32) Jian Yi Liu; 33) Wahid Hasyim Asyari; 34) Chi Wai Chevy Wan; 35). (Fonte: istockphoto.com)

Arbóreas e Palmáceas

ORIGEM:

N (Nativa)

Na (Naturalizada)

C (Cultivada)

PORTE:

A (Altura fase adulta) × D (Diâmetro).



N°	36	37	38	39	40	41
Nome científico	<i>Senna alata</i> (L.) Roxb. [Solanaceae]	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine [Myrtaceae]	<i>Cordia superba</i> [Boraginaceae]	<i>Cordia ecalyculata</i> [Boraginaceae]	<i>Peltoporum dubium</i> [Fabaceae]	<i>Psidium guajava</i> [Myrtaceae]
Nome popular	Fedegoso Cassia candelabro	Araçá-amarelo	Babosa branca	Café de Bugre	Canafístula	Goiaba
Origem	N	N	N	N	N	N
Porte (A × D)	3,00 × 0,80	6,00 × 3,00	7,00 × 4,00	16,00 × 5,00	25,00 × 5,00	6,00 × 3,00
Iluminação	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol
Floração	Outono	Inverno Primavera Verão	Primavera Verão	Primavera Verão	Verão	Primavera Verão
Uso paisagístico	Isolado Bosque	Isolado Bosque	Isolado Bosque	Isolado Bosque	Isolado Renque	Isolado Pomar Bosque
Polinizador ou visitante	Abelha	Abelha Passáros	Abelha	Abelha	Abelha	Abelha Passáros

Crédito de imagens: 36) Mansum008; 37) Oscar Yoshinori Toyofuku; 38) Nathalia de Franca Guimaraes; 39) Walter Medina (CC); 40) Nataly Hanin; 41) Sommai photo. (Fonte: istockphoto.com)

Arbóreas e Palmáceas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) × D (Diâmetro).



N°	42	43	44	45	46	47
Nome científico	<i>Eugenia brasiliensis</i> [Myrtaceae]	<i>Marlierea edulis</i> [Myrtaceae]	<i>Inga vera</i> subsp. <i>affinis</i> [Fabaceae- Mimosoideae]	<i>Bauhinia forficata</i> [Fabaceae- Cercideae]	<i>Paubrasilia echinata</i> [Fabaceae/ Caesalpinioideae]	<i>Senna multijuga</i> [Fabaceae/ Caesalpinioideae]
Nome popular	Grumixama	Cambucá	Ingá	Pata de Vaca	Pau-Brasil Ornamental	Pau Cigarra
Origem	N	N	N	N	N	N
Porte (A × D)	15,00 × 4,00	20,00 × 4,00	10,00 × 4,00	9,00 × 4,00	25,00 × 5,00	10,00 × 4,00
Iluminação	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol
Floração	Primavera Verão	Primavera Verão	Inverno Primavera Verão	Primavera Verão	Primavera Verão	Verão Outono Inverno
Uso paisagístico	Isolado Renque	Isolado Pomar Mata Ciliar	Isolado	Isolado Renque	Isolado	Isolado Renque
Polinizador ou visitante	Abelha Pássaros	Abelha	Abelha	Abelha	Abelha	Abelha

Crédito de imagens: 42) Murilo Gualda; 43) Nancy Ayumi; 44) g01xm; 45) Alfribeiro; 46) Julcéia Camillo; 47) PeterEtchells. (Fonte: istockphoto.com)

Arbóreas e Palmáceas

ORIGEM:

N (Nativa)

Na (Naturalizada)

C (Cultivada)

PORTE:

A (Altura fase adulta) x D (Diâmetro).



N°	48	49	50	51	52	53
Nome científico	<i>Libidibia ferrea</i> [Fabaceae/ Caesalpinioideae]	<i>Tibouchina mutabilis</i> [Melastomataceae]	<i>Syagrus romanzoffiana</i> [Arecaceae]	<i>Euterpe edulis</i> [Arecaceae]	<i>Mauritia Flexuosa</i> [Arecaceae]	<i>Acrocomia aculeata</i> [Arecaceae]
Nome popular	Pau-Ferro	Manacá-da-serra	Jerivá	Jussara	Buriti	Macaúba, Mucajá
Origem	N	N	N	N	N	N
Porte (A x D)	15,00 x 4,00	12,00 x 3,00	15,00 x 4,00	12,00 x 4,00	35,00 x 4,00	15,00 x 4,00
Iluminação	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol
Floração	Primavera Verão	Verão	Primavera Verão	Primavera Verão	Verão Outono	Primavera Verão
Uso paisagístico	Isolado Renque	Isolado Renque	Isolado Renque	Isolado	Isolado Renque	Isolado Renque
Polinizador ou visitante	Abelha	Abelha Borboleta	Abelha Pássaros Pequenos roedores	Abelha Pássaros	Pássaros Besouros	Pássaros Besouros

Crédito de imagens: 48) Elis Cora; 49) Cassia Bars; 50)/51) Nancy Ayumi; 52) Oscar Yoshinori Toyofuku; 53) Marianogueira. (Fonte: istockphoto.com)

Aquáticas e Macrófitas

ORIGEM:
 N (Nativa)
 Na (Naturalizada)
 C (Cultivada)
 PORTE:
 A (Altura fase adulta) × D (Diâmetro).



N°	54	55	56	57	58
Nome científico	Cyperus papyrus L. [Cyperaceae]	Thalia geniculata L. [Marantaceae]	Canna indica L. [Cannaceae]	Sagittaria montevidensis [Alismataceae]	Pontederia cordata [Commelinales]
Nome popular	Papyrus	Caeté	Beri, Biri, Bananeirinha	Sagitária Aguapé-de-flecha	Mururé, Aguapé
Origem	Na	Na	N	N	N
Porte (A × D)	1,00 × 0,50	2,00 × 0,40	1,20 × 0,30	0,90 × 0,40	0,90 × 0,40
Iluminação	Pleno Sol	Pleno Sol Meia sombra	Pleno Sol	Pleno Sol	Pleno Sol Meia Sombra
Floração	Primavera, Verão Outono	Primavera Verão Outono	Primavera Verão	Primavera Verão	Verão
Uso paisagístico	Lagos Borda de Lagos	Lagos Borda de Lagos	Maciços Bordaduras Renques	Lagos	Lagos
Polinizador ou visitante	Abelha Beija-flor Mariposa	Abelha Beija-flor	Borboleta Beija Flor Morcego	Libélular	Abelhas
Recomendações de manejo	A despeito das vantagens ecológicas das espécies citadas – seja pelas propriedades de fitorremediação ou de atração e visitação de fauna polinizadora – é recomendável o monitoramento constante no intuito de identificar se há crescimento anormal ou reprodução descontrolada, suas causas e se são necessárias ações de manejo, como supressão ou substituição de espécies.				

Crédito de imagens: 54) Noppharat; 55) kendoNice; 56) Jobrestful; 57) shihina; 58) kj2011. (Fonte: istockphoto.com)



Parque Urbano da Orla do Guaíba em Porto Alegre/RS, escritório Jaime Lerner Arquitetos Associados (Foto: Marcelo Donadussi, 2023)

Passo 4 Mensuração dos Serviços Ecossistêmicos e Benefícios Sociais Pós-Implantação

Embora não haja unanimidade na comunidade científica quanto ao entendimento das áreas verdes urbanas como parte de um ecossistema, é crescente o interesse na compreensão sobre provisionamento dos serviços ecossistêmicos por áreas verdes urbanas (SANDRE, 2022), particularmente dentro do contexto da rede de infraestrutura verde de espaços livres públicos (parques, florestas e praças urbanas e árvores associadas ao sistema viário) e privados (áreas ajardinadas privadas).

Este Catálogo considera a concepção de áreas verdes urbanas como parte de um ecossistema e que, portanto, provêm serviços ecossistêmicos. Nesse sentido, também considera que as SbN presentes em áreas verdes fornecem vários serviços ecossistêmicos, sejam eles culturais, de provisão ou de regulação (Tabela 7), e que há uma complexidade inerente a sua mensuração em áreas urbanas.

Para mais detalhes sobre a mensuração dos serviços ecossistêmicos sugerimos o material da série:

Metodologia para quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de Soluções baseadas na Natureza (SbN) adotadas na implantação de parques lineares e fluviais.

Ele traz um levantamento das principais metodologias internacionais de quantificação de impactos de benefícios de SbN; uma avaliação dessas metodologias quanto a sua aplicabilidade na quantificação de benefícios ambientais, econômicos e sociais de SbN associadas a Parques Lineares e Fluviais; compilação de indicadores para mensuração de benefícios de ordem ambiental, social e econômica promovidos pela implementação e gestão de parques lineares e fluviais.

Tabela 7 Serviços Ecosistêmicos (SE) urbanos realizados por SbN em projetos de infraestrutura verde em espaços livres. (Fonte: SANDRE, 2022, baseados em de COSTANZA et al., 2017).

Categorias	Tipo de se	Descrição
Culturais	Recreação, espirituais, educacionais, patrimônio	Voltados à apreciação estética, valores recreativos, educacionais, paisagens culturalmente importantes
Provisão	Alimentação	Plantas comestíveis
	Fibra e energia	Presença de espécies com potencial uso de madeira, combustível ou matéria-prima
Regulação	Regulação hídrica Água (proteção contra inundações e alagamentos e melhoria da qualidade)	Quantidade de água (diminuição do escoamento superficial e dos riscos de inundação) Qualidade (papel da biota e processos abióticos na remoção ou quebra de matéria orgânica, nutrientes xênicos e compostos)
	Regulação da qualidade do ar	Redução da poluição Capacidade do ecossistema de extrair substâncias químicas da atmosfera (ozônio, partículas sólidas)
	Regulação do clima local	Influência dos ecossistemas na temperatura local por meio de cobertura vegetal
	Regulação do clima global	Influência dos ecossistemas na temperatura global por meio de cobertura vegetal pela redução das concentrações de gases de efeito estufa (enfoque exclusivo em sequestro de carbono)
	Polinização e dispersão	Abundância e efetividade de agentes polinizadores, possibilitando a fertilização de flores e a produção de frutos, legumes e grãos
	Controle biológico de pragas	Controle de pragas por regulação trófica

VARIÁVEIS PARA MENSURAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

O estudo de provisão de serviços ecossistêmicos procura estimar o efeito positivo gerado pelo projeto no incremento de processos ecológicos benéficos para a sociedade humana, como, por exemplo: o aumento de sequestro de carbono; a melhoria no conforto ambiental; ou, ainda, o aperfeiçoamento da drenagem urbana a partir da implantação de uma SbN.

As estimativas de geração de benefícios por incremento de serviços ecossistêmicos usualmente envolvem a oferta potencial desses serviços – enquanto a capacidade máxima hipotética otimizada de uma área específica de fornecer um conjunto específico de benefícios dentro de um determinado período.

Esta variável difere, por exemplo, da capacidade efetiva de uma área específica de fornecer um conjunto específico de benefícios dentro de um determinado período realmente utilizado (BURKHARD et al., 2012), informação que só pode ser obtida mediante monitoramento detalhado dos processos ecológicos, algo nem sempre possível por razões orçamentárias e operacionais.

As estimativas de benefícios advindos do incremento da provisão de Serviços Ecosistêmicos por SbN geralmente vão se basear em simplificações e aproximações, ainda que seja fundamental buscar-se a máxima redução das incertezas durante este processo de inferência.

Neste âmbito, o **sequestro e armazenamento de carbono** terrestre é talvez o mais amplamente reconhecido de todos os serviços ecossistêmicos (EGGLESTON, 2006).

Para um cálculo detalhado de volume de carbono armazenado e de taxas de sequestro de carbono, são necessários estudos empíricos e equações matemáticas que levem em conta fatores como arranjo de plantio urbano, efeito de borda e variabilidade de espécies e espécimes. Por exemplo, a capacidade de sequestro de carbono e interceptação de água da chuva de uma árvore variam não só conforme a espécie, mas entre espécimes (tamanho da copa, maturidade, condições edáficas) e seu local de plantio.

É necessário entender, para tanto, o que difere no retorno de um conjunto exclusivo de um elemento arbóreo a um conjunto com uma riqueza deles e quais são os melhores arranjos espaciais para cada uma das SbN (por exemplo, jardins de chuva) para a biomassa (SANDRE, 2022).

Para simplificar o processo de geração de estimativas quantitativas dos processos de armazenagem e sequestro de carbono, podem ser utilizados modelos que calculam os volumes armazenados e/ou as taxas de acúmulo de carbono na vegetação mediante a utilização de duas variáveis básicas: 1) os valores médios de armazenagem de carbono para cada SbN por unidade de área (valores obtidos na literatura ou mediante mensurações em campo) e 2) a extensão territorial da área sobre intervenção. Um exemplo é o modelo InVEST Carbon Storage and Sequestration (TALLIS, 2010; STANFORD UNIVERSITY, 2022), que pode considerar até 4 diferentes “reservatórios de carbono” (biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, solo e biomassa morta).

Já a **interceptação das águas das chuvas** varia conforme o arranjo do plantio de árvores, de maneira que a copa reduz o escoamento superficial e a erosão do solo pela amenização do impacto das gotas das chuvas, e as raízes, que crescem e se decompõem, aumentam a capacidade de

infiltração de água no solo e promovem sua purificação por percolação (XIAO et al., 1998). A influência da vegetação no recebimento e redistribuição das chuvas é significativa, dentro do contexto do balanço hídrico de uma determinada área. As coberturas florestais podem influenciar expressivamente na recarga hídrica do solo, dependendo de fatores concorrentes, como porosidade do solo, relevo, índice de umidade anterior, entre outros.⁴⁴

Uma vez que árvores isoladas têm maior probabilidade de apresentar menor porcentagem de interceptação (devido à velocidade do vento, que diminui a precipitação interna em certos locais abaixo da copa), sugere-se decrescer 15% na sua capacidade em áreas urbanas (SANDRE, 2022).

Agrupamentos arbóreos têm a possibilidade de alterar o **microclima local** (BROADBENT et al., 2018), ao devolverem às camadas mais baixas da atmosfera a água da chuva na forma de vapor d'água, tornando as condições de umidade e temperatura mais confortáveis para as pessoas.

O potencial da **polinização** é considerado como Serviço Ecosistêmico especialmente quando associado à produção de alimentos. A valoração econômica global do serviço ecosistêmico da polinização foi estimado mundialmente entre US\$ 235 bilhões e US\$ 577 bilhões (POTTS et al., 2016).

Na **Tabela 8** são descritos os Serviços Ecosistêmicos por demanda e oferta de projeto de paisagem, considerando-se que a demanda por Serviços Ecosistêmicos é a quantidade de um serviço exigido ou desejado pela sociedade (VILLAMAGNA et al., 2013).

⁴⁴ A interceptação de carbono consiste na fração da precipitação retida nas folhas e ramos das árvores (que retorna à atmosfera como vapor); a transprecipitação ou precipitação interna (que é a porção da chuva que atravessa o dossel, chegando ao solo na forma de gotas); escoamento pelo tronco; a precipitação efetiva é a soma desses dois últimos fluxos hídricos (ARCOVA et al., 2003). O cálculo da interceptação se dá pela subtração da Precipitação total (medida em terreno aberto) da precipitação interna (chuva que atinge o solo, tanto pelas gotas que passam diretamente pelas aberturas existentes entre as copas, como as que respingam dessas) e do escoamento pelo tronco das árvores.

Tabela 8 Descrição de Serviços Ecosistêmicos por demanda e oferta de projeto de paisagem. (Fonte: SANDRE, 2022).

Serviço ecosistêmico	Fatores que influenciam a demanda	Indicadores futuros Fatores que influenciam a oferta
Conforto térmico e ambiental [*]	Densidade populacional exposta a temperaturas extremas	Diferença de temperatura (°C) do ar e superficial entre as áreas ensolaradas, sombreadas e/ou próximas a elementos hídricos
	Temperatura equivalente percebida (TEP)	Diminuição da temperatura pela cobertura das árvores (°C) Temperatura equivalente percebida (TEP)
Redução da concentração de gases do efeito estufa	Aumento da emissão de gases relacionados ao efeito estufa	Quantidade de carbono (CO ₂) acima do solo que absorvida e armazenada por árvores em termo de biomassa, teor de carbono (kg/espécie)
	Redução de cobertura arbórea urbana	Sequestro de carbono (kg.ano ⁻¹)
	Estocagem de carbono tCha ⁻¹	
Regulação de inundações e alagamentos	Precipitação local e capacidade de interceptação (m ³ ano ⁻¹)	Proporção de Superfície permeável/impermeável de unidade homogênea de uso da terra em que a água não pode se infiltrar %
	Capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo (mm); e de retenção de água pelo solo da vegetação (ton.km ⁻²);	Aumento da capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo (mm); capacidade de retenção de água pelo solo da vegetação (ton.km ⁻²);
	Alto escoamento superficial (mm)	Precipitação interceptada por árvores; diminuição do escoamento superficial (mm)
	Áreas expostas a inundações	Fitorremediação (papel da biota e processos de remoção ou quebra de matéria orgânica e compostos)
	População exposta ao risco de inundação (% por unidade de área) e contaminação das águas pluviais e fluviais por fontes pontuais ou difusas	
Regulação da qualidade do ar	População exposta à concentração limiar de poluentes (proximidade à fonte de emissão e sua intensidade)	Taxas anuais médias de remoção de poluentes com aumento de cobertura arbórea (g/m ² e kg.ha ⁻¹ ano ⁻¹)
	Concentração, distribuição espacial, obstáculos à dispersão e fluxo de poluentes	Capacidade do uso do solo e de espaços livres de interceptar a poluição enquanto obstáculo à dispersão

*Conforto Térmico é quantificado como a redução na temperatura da superfície e do ar resultante da presença de espaço livre verde, ou seja, a diferença entre as temperaturas modeladas para a um espaço livre impermeável e um espaço verde. Uma série de variáveis pode influenciar no conforto térmico. Monteiro e Alucci (2007) levantaram o estado da arte das pesquisas sobre conforto térmico em espaços abertos e selecionaram modelos desenvolvidos especificamente para espaços abertos; apresentando um comparativo, criticam seu uso e adequação e analisam suas equações e etapas de cálculo (ex. temperatura equivalente fisiológica - Physiological Equivalent Temperature, PET de Höppe, 1999), ferramentas iniciais para projeto de espaços abertos (ex. projeto Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces - RUROS).



Benefícios para a Gestão Pública

Considerando os benefícios para a gestão pública, a aplicação das SbN deve atender aos parâmetros legais para a proteção ao meio ambiente ecologicamente equilibrado assegurado no artigo 225 da Constituição Federal de 1988. É fundamental recordar que União, Estados, Distrito Federal e Municípios devem também combater a poluição em qualquer de suas formas, o que reforça a exigência da adoção dessas SbN sempre que possível no âmbito da gestão urbana. Em detalhe, são indicados alguns benefícios diretos e indiretos do uso das SbN para a gestão pública:

- Possibilidade de preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico no âmbito da gestão urbana;
- Controle de atividades potencialmente causadoras de significativa degradação do meio ambiente;
- Conhecimento e emprego de técnicas, métodos e substâncias que promovam qualidade de vida e conservação do meio ambiente;
- Potencial para que sejam desenvolvidas ações de educação ambiental junto aos gestores públicos;
- Defesa da fauna e da flora no contexto urbano.



Benefícios Econômicos

No âmbito dos benefícios econômicos a implementação das SbN auxiliam os seguintes fatores:

- Redução dos custos de manutenção da paisagem, pois ao se utilizar espécies adequadas e já adaptadas ao clima e solo locais (preferencialmente nativas), tende-se a ter menor necessidade de cuidados a médio e longo prazo;
- Melhorias na ambiência, paisagem e qualidade de vida local, valorizando, assim, propriedades privadas e públicas que estão próximas destas localidades;
- Possibilidade de diversificação de usos por diferentes órgãos da gestão pública municipal, ligados aos temas de saúde, educação, e outros, auxiliando no desenvolvimento urbano;
- Oportunidade para utilização das SbN, como parques lineares, em eventos públicos e privados, que movimentam a economia local (principalmente o comércio);
- Atração de empresas e investidores pela melhoria de aspectos paisagísticos e aumento da qualidade de vida locais;
- Redução nos gastos públicos com mitigação de alagamentos, a exemplo da possibilidade de infiltração e redução da velocidade do escoamento superficial e resolução de demais transtornos usualmente vistos em dias de chuvas intensas nas cidades, que impactam diretamente nos custos de diversos setores dos municípios para retomar ao estágio de normalidade, notadamente os setores de comércio e de prestação de serviços.



Benefícios Sociais

O aumento de áreas verdes, mediante a implementação das Soluções baseadas na Natureza (SbN) – calçadas, canteiros, áreas residuais, praças, rios, parques, entre outras – pode trazer diversos benefícios sociais às comunidades residentes diretamente afetadas por tais intervenções, bem como benefícios bastante concretos na escala dos municípios.

Na escala local, os benefícios podem ser verificáveis no campo da mobilidade, saúde, educação formal e não formal, cultura, esportes e lazer e habitação:



Saúde: o estímulo às atividades físicas está relacionado ao combate ao sedentarismo, condição associada ao ambiente construído nas cidades. Mais espaços verdes contribuem para mais uso do tempo livre com atividades físicas. Ademais, há aspectos da saúde que transcendem o biológico, trazendo também aos moradores a “percepção” de bem-estar que colabora com a saúde mental. Além disso, os espaços públicos gerados por tais intervenções podem ser usados por programas municipais de saúde da família, ligados às Unidades Básicas de Saúde (UBS) locais, bem como aos Centros de Atenção Psicossocial (CAPS).



Educação formal e não formal: as Soluções Baseadas na Natureza são campo fértil para o ensino formal, ao estimular a incorporação destas discussões sobre o espaço físico local ao programa curricular das escolas em cada território. As mais diversas disciplinas do currículo escolar podem incorporar conteúdos referentes à biologia, geografia/geologia, matemática, história, educação física, artes, língua portuguesa, dentre outras, tendo como referência as intervenções de SbN realizadas em cada território. Além disso, as associações locais, por meio de atividades de educação não formal, podem estimular o uso dos espaços e o cuidado, gerando sentimento de pertencimento, por meio de programas que atinjam desde crianças, adolescentes, jovens, adultos até idosos: festas, eventos temáticos, atividades comunitárias, grupos de atividades temáticas (skate, hip-hop, grafite, futebol, basquete e outras atividades esportivas). Dentre outras estratégias de educação não formal, estas são realizáveis nestes espaços gerados, bem como em hortas urbanas, espaços de permacultura e agroecologia urbanas.



Cultura, esportes e lazer: mais espaços verdes nos quais a população possa estabelecer vínculos de sociabilidade estimulam a participação cultural, as atividades esportivas e o uso mais diversificado do tempo livre por meio de diversos lazeres. Os espaços gerados por tais intervenções podem se articular com os grupos culturais e equipamentos públicos locais, e promover o cuidado com o espaço por meio do uso público.



Habitação: os espaços públicos gerados podem levar a uma maior percepção de bem viver na localidade, desde que outras políticas urbanas estejam articuladas, como coleta e tratamento de resíduos sólidos, esgotamento sanitário, limpeza urbana, calçamento de ruas e instalação de equipamentos públicos (escolas, creches, centros de saúde, dentre outros).

Na escala municipal, esses benefícios locais podem contribuir com a construção de um município mais resiliente às mudanças climáticas, com maior qualidade de vida e com um maior sentimento de pertencimento de seus moradores. A geração de mais espaços verdes no município contribui também com soluções de políticas públicas locais e intersetoriais, fazendo com que a ação do poder público municipal seja mais efetiva, eficaz e eficiente.

Espaços verdes auxiliam na integração de propostas de saúde, educação, cultura, esportes e lazer e podem promover uma ação mais consistente dos programas das escolas públicas locais, unidades básicas de saúde e outros equipamentos de cultura, esportes e lazer já existentes no território.

Cabe destacar que tais benefícios sociais das SbN se dão quando elas são articuladas a políticas públicas e planos urbanísticos.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as SbN

Em setembro de 2015 os 193 Estados membros da ONU, incluindo o Brasil, se comprometeram a um Plano de Ação universal, até o ano de 2030, para sanar questões de diversos setores como: pobreza, fome, miséria, desigualdades, doenças, violência, desemprego, degradação ambiental, esgotamento de recursos naturais, entre outros.

Estes compromissos estão vinculados a um total de 17 objetivos - os Objetivos de Desenvolvimento

Sustentável - e 169 metas a serem alcançadas até a Agenda 2030.

Os ODS abrangem as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2023)⁴⁵; cada país possui suas metas nacionais considerando suas circunstâncias e devem incorporar medidas, ações e projetos em políticas, programas e planos de governo.

As SbN apresentadas neste Catálogo estão relacionadas diretamente aos 6 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, a seguir elencados:



ODS 3 - BOA SAÚDE E BEM-ESTAR: Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.

⁴⁵ Informações da página Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>



ODS 6 - ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO: Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos.



ODS 11 - CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.



ODS 13 - AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA: Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.



ODS 14 - VIDA NA ÁGUA: Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável



ODS 15 - VIDA TERRESTRE: Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.

O grau de interação de cada SbN com essas ODS pode variar de Baixa Interação a Média e Alta Interação, como descrito na Tabela 9.

Tabela 9 Grau de interação entre dispositivo do Sistema Modular de SbN e ODS.

Sistemas modulares de SbN	Objetivos de desenvolvimento sustentável						Grau de aptidão para receber dispositivos de SbN:
	ODS3 saúde e bem-estar	ODS6 água potável e saneamento	ODS11 cidades e comunidades sustentáveis	ODS13 ação contra a mudança global do clima	ODS14 vida na água	ODS15 vida terrestre	
Jardim de chuva	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Não recomendado Possível Recomendado
Canteiro Pluvial	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	
Biovaleta	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	
Terraço de chuva	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	
Escada hidráulica vegetada	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	
Poço de infiltração	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	
Bacia de Detenção	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	
Bacia de Retenção	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	
Bacia de Infiltração	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	Possível	Recomendado	
Wetland	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Possível	
Reservatório Anfíbio	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Possível	Recomendado	
Polder Vegetado	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	Recomendado	
Step Pool	Possível	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Possível	



Parque Areião Goiania (Foto: Francine, 2015)

2 Panorama das soluções baseadas na natureza (SbN) no Brasil

Nos últimos anos, tem havido um aumento significativo nos projetos de Soluções baseadas na Natureza (SbN) no contexto brasileiro. Essas soluções representam uma abordagem inovadora que visa proteger os ecossistemas e a sua biodiversidade diante dos desafios das mudanças climáticas e da degradação ambiental.

Os projetos abrangem uma ampla gama de estratégias e técnicas que utilizam os conhecimentos fornecidos pela natureza para resolver desafios socioambientais. No contexto brasileiro, as SbN têm demonstrado seu potencial de não apenas promover a conservação da biodiversidade, mas também gerar benefícios econômicos, sociais e culturais para as comunidades locais, conforme já apontado ao longo deste Catálogo.

Assim, o avanço das SbN no Brasil reflete um compromisso crescente com a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável. A incorporação dessas abordagens inovadoras em políticas públicas e práticas de planejamento urbano é fundamental para enfrentar os desafios atuais e criar cidades mais resilientes às mudanças climáticas e aos eventos de chuva extremos, por exemplo.

Apesar de diversos projetos terem seguido e se inspirado em casos de sucesso pelo mundo, nota-se que cada cenário tem suas peculiaridades que vão além da parte técnica e das áreas de implantação das SbN. É necessário considerar o cenário social, econômico e cultural, as questões climáticas e ambientais locais e focalizar não apenas no cenário nacional mais abrangente, mas, em igual medida, no regional e em diferentes

escalas de projeto. Isso porque, no Brasil, há uma diversidade de biomas, tipos de solo, fauna e estruturas políticas, administrativas e culturais que interferem diretamente na implantação e manutenção das SbN.

A sociedade brasileira é rica em diversidade de formas de convivência com o território. Nos centros urbanos, por exemplo, boa parte da população carece da convivência cotidiana com áreas verdes e, muitas vezes, não têm uma relação simbólica e afetiva com as águas fluviais e menos ainda com as águas pluviais. Projetos que propõem criar áreas de lagos, reabrir córregos ou optar por não impermeabilizar suas margens podem ser vistos com desconfiança pela população. Na cidade de São Paulo, por exemplo, no imaginário do paulistano, as águas são vinculadas ao esgoto e às inundações.

Há que se construir um cenário de reeducação ambiental especialmente voltado à importância dos fluxos naturais no ambiente urbano e do protagonismo da água nas cidades.

Os projetos de SbN devem primar por convidar o sujeito a realizar o percurso das águas, em uma caminhada de descobertas e reflexão sobre o trajeto que as águas revelam: por que não contemplar os córregos e, por um instante, parar e ouvir o som das suas águas?

Para além dos muitos benefícios estruturais relacionados às questões hídricas e de conforto

térmico, a abertura de um córrego na cidade é uma forma de reconectar simbolicamente as pessoas à água. A visualização de um córrego, com a vegetação de suas margens recuperadas, é um trabalho pedagógico que objetiva retomar a consciência da população sobre o lugar que habitam. É relevante associar ao movimento de lazer e contemplação, no imaginário da população, a presença possível dos córregos, rios e riachos no cotidiano da cidade, e não mais relegá-los ao esquecimento ou ao esgotamento sanitário (FCTH, 2021).

Com o objetivo de avaliar o panorama de projetos brasileiros de SbN e os desafios para sua implantação, neste capítulo são apresentados casos das cidades de **Belo Horizonte**, **Londrina**, **São Paulo** e **Rio de Janeiro**, que constituem modelos de aplicação em diversas escalas de planejamento e projeto. Como veremos nos estudos de caso deste capítulo, em cidades como Londrina, as pessoas convivem com os parques em fundos de vale e estão acostumadas com a presença permanente dos rios; lá a necessidade passa a ser a preservação e a importância de a vegetação nativa ser mantida e cultivada.

Quanto aos **desafios administrativos de implantação e gestão das SbN**, como veremos, estes são comuns em muitas cidades brasileiras. Esses desafios são atinentes não somente ao ato de convencer os tomadores de decisão de prefeituras a adotarem SbN, mas também, durante a implantação, de adotarem mudanças de paradigma usuais do direcionamento do escoamento superficial das águas. Por exemplo, na execução de jardins de chuva, verifica-se a dificuldade do corpo técnico da Prefeitura em aceitar mudanças simples, como manter o nível da terra abaixo do padrão do passeio e remover as guias, que são

usuais em canteiros de calçadas; para eles havia o grande receio de que as águas pluviais destruíssem os jardins.

Em muitas cidades, a proposição de materiais diferentes ao concreto nas margens dos córregos enfrenta dificuldade de aceitação. São necessários o diálogo permanente com os atores e tomadores de decisão e a apresentação de estudos científicos comprobatórios de que o plantio adequado de espécies pode ser suficiente para garantir a estabilidade das margens e a boa qualidade das águas. Por outro lado, a população local deve compreender e reconhecer a importância da recuperação das margens dos córregos e, para tanto, é necessário um trabalho de conscientização a respeito da vegetação a ser mantida, para que possam confiar na estrutura a ser implantada.

Nesse âmbito, é possível observar uma pluralidade de políticas públicas que fundamentam as operações das SbN. É possível compreender as políticas públicas como respostas às necessidades sociais e ambientais através de ações do Estado, por meio de programas, ações, leis e outros atos normativos. É imprescindível que a estrutura de elaboração de uma política pública considere aspectos funcionais e sequenciais para que possam atender o bem comum e cumprir a sua função originária, além de possuir previsão legal. Desse modo a relação entre o Estado e a sociedade constituem o centro de formação das políticas públicas e o seu acompanhamento vigilante durante suas execuções e reformulações

Do ponto de vista jurídico, é importante lembrar a abrangência das políticas públicas para o desenvolvimento urbano sustentável por meio da utilização das SbN e ter em vista que as Políticas

Ambientais e urbanísticas possuem competência compartilhada, ou seja, comum às esferas federal (e.g. Política Nacional do Meio Ambiente), estadual (eg. Código Estadual do Meio Ambiente) e municipal (eg. Política Ambiental Municipal). Nesse sentido, torna-se patente a necessidade de que suas operações envolvam diferentes autoridades e instrumentos legais próprios (como leis, decretos, resoluções entre outros) e direcionem uma gestão ambiental inclusiva.

No **âmbito do Direito Ambiental**, cuja relação jurídica se dá entre o homem e o meio ambiente, através de mecanismos diretivos, cogentes, proibitivos e sancionatórios, a Constituição Federal, em seu dispositivo 225, define o meio ambiente como um bem jurídico de uso comum da sociedade, que precisa ser equilibrado e protegido para que possa garantir qualidade de vida necessária à população, de forma que direcione a ação do Poder Público, em conjunto com a sociedade, para o dever de preservar e defender esse bem. E um dos meios para instrumentalizar esse preceito constitucional é através das políticas públicas, que devem ser realizadas nos âmbitos federal, estadual e municipal.

No **âmbito municipal**, a depender da cidade e da previsão do Plano Diretor, é possível observar o desenvolvimento de uma política ambiental que busca preservar o meio ambiente a partir das SbN. Algumas iniciativas e decisões da Administração pública contemplam a adoção de SbNs (EVERS et al., 2022):

- **Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro: jardins de chuva de Copacabana;
- **São Paulo**, São Paulo: a cidade ultrapassou a marca de 200 jardins de chuva – Lei Municipal nº 17.578/2021;

- **Belo Horizonte**, Minas Gerais: 3 jardins de chuva implementados e 60 em implementação. São previstos criação de parques lineares e arborização no plano diretor de 2019 – Lei nº 11.181, de 8 de agosto de 2019;
- **Campinas**, São Paulo: implementação de parques lineares, corredores ecológicos e arborização urbana – Decretos Municipais nº 19.167/15, nº 19.173/16, nº 19.226/16 e Resolução 03/2018;
- **Contagem**, Minas Gerais: implementação de jardim de chuva – Projeto Interct Bio – ICLEI;
- **Fortaleza**, Ceará: implementação de parque linear Raquel de Queiroz – Decreto Municipal nº 13.764/2016;
- **Salvador**, Bahia: implementação de telhados verdes – Decreto Municipal nº 29.100/2017;
- **Sobral**, Ceará: Parque Pajeú, que representa uma solução completa de demanda ambiental com urbanização, com jardim filtrante, tratamento de esgoto e outras soluções de SbN – Lei Complementar 60/2018;
- **Goiânia**, Goiás: implementação de jardins de chuva – Decreto Municipal nº 2.887/2019.

Nota-se que o poder público municipal tem atuado de forma local, através de medidas administrativas que visam à aplicação de SbNs em políticas urbanas sustentáveis e através da interação entre planos diretores, planos municipais de ação climática e da atuação das Secretarias de Meio Ambiente⁴⁷.

⁴⁶ Com relação à matéria urbanística, cujo objeto é intervenção estatal orientada a ordenar os espaços habitáveis (SILVA, José Afonso da. *Direito Urbanístico Brasileiro*. 5ed. São Paulo: Malheiros, 2006, p. 44), busca-se atender à coletividade sempre respeitando a legalidade do estatuto jurídico. Sob esse aspecto, o artigo 182 da Constituição Federal estabelece que a política urbana deverá ser executada no âmbito municipal, com objetivo de resguardar as garantias de bem-estar social e cumprir a função social das cidades. O Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257/2001, regulamenta os artigos os 182 e 183 da Constituição Federal ao estabelecer: as diretrizes gerais da política urbana, para a qual ressalta-se a garantia do direito a cidades sustentáveis, em seu artigo 2º, inciso I; o estabelecimento dos planos diretores municipais como instrumentos de viabilização das políticas públicas urbanas municipais, em seu artigo 4º, inciso I; e participação social como fator da gestão democrática dos projetos de desenvolvimento urbano, no mesmo artigo 2º, inciso II.

⁴⁷ O Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257/2001, regulamenta os artigos os 182 e 183 da Constituição Federal ao estabelecer: as diretrizes gerais da política urbana, para a qual ressalta-se a garantia do direito a cidades sustentáveis, em seu artigo 2º, inciso I; o estabelecimento dos planos diretores municipais como instrumentos de viabilização das políticas públicas urbanas municipais, em seu artigo 4º, inciso I; e participação social como fator da gestão democrática dos projetos de desenvolvimento urbano, no mesmo artigo 2º, inciso II.

A integração com demais secretarias, como as de obras e infraestrutura, mostra-se um caminho importante para a promoção de interdisciplinaridade das políticas públicas, e pode ser realizada por meio de instrumentos legais de planejamento urbano, que visem a manutenção do ecossistema urbano de maneira equilibrada e menos degradada com a participação da sociedade civil por meio de consultas e audiências públicas.

As diferentes necessidades e características regionais direcionam a discussão por diferentes caminhos. Outras características também impactam no desenvolvimento das Políticas Públicas, tais como: o orçamento municipal; a renda econômica da população; a mobilização da sociedade civil em torno do tema; as áreas prioritárias para conservação; entre outras características que compõem a municipalidade regional. Por essa razão, as políticas públicas devem ser criadas de forma integrada e coordenada entre os diferentes entes federais do país.

Em suma, observa-se a importância da promoção de políticas públicas municipais que visem à implementação das SbNs através de sua incorporação aos planos diretores, constituintes do principal instrumento de gestão administrativa municipal, além de integrar as diferentes secretarias de modo a efetivar a gestão ambiental. As SbNs se constituem como o meio de desenvolvimento sustentável mais alinhado aos objetivos contemporâneos de desenvolvimento urbano através de um ecossistema resiliente devidamente amparado por uma estrutura jurídica que o efetive.



Parque Estadual da Cantareira, vista Pedra Grande, São Paulo/SP (Luiz Barrionuevo, 2020).



Imagem de satélite da cidade de São Paulo. Fonte: Google Earth.



Projeto na cidade de
São Paulo | SP

Projeto na cidade de São Paulo/SP

FICHA TÉCNICA:

Área de Infiltração Saracura, Bacia hidrográfica do Anhangabaú

Caderno de Drenagem da Bacia hidrográfica do Anhangabaú, 2021

Autores: Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, responsável pelo projeto, junto à Fundação Centro Tecnológico Hidráulica (FCTH) e à Prefeitura de São Paulo

A cidade de São Paulo tem projetos importantes vinculados à implantação de SbN. Muitos deles fazem parte dos Cadernos de Drenagem, desenvolvidos pela Fundação do Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) para a Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (Siurb). Tais cadernos vão além de simples planos diretores de drenagem pois, além de proporem e estabelecerem graus de prioridade e risco relacionados a obras hidráulicas para o controle de inundações, apresentam intervenções com ganhos ambientais, tecnológicos e urbanísticos, apostando em soluções de drenagem urbana sustentável e multidisciplinar.

Um dos projetos de destaque é a Área de Infiltração Saracura. O projeto localiza-se na bacia hidrográfica do córrego Anhangabaú que sofre constantemente com inundações próximas à foz do Saracura. São vários os fatores que contribuem para a recorrência destes eventos: a alta impermeabilização do solo; a canalização massiva dos córregos; idade e capacidade de escoamento da infraestrutura de drenagem, com risco de ruína.

De forma a solucionar esta situação, medidas estruturais de utilização de reservatórios – embora necessários na bacia do Anhangabaú, em função da gravidade do problema – têm apresentado entraves à sua construção devido ao grande

impacto que confeririam, por exemplo, no sistema de transportes da região durante a etapa de construção das estruturas (GONÇALVES et al., 2018). Nesse âmbito, a Área de Infiltração do Saracura atua como um sistema de reservação e infiltração descentralizada, que retarda e diminui o escoamento superficial contribuindo para minimizar inundações a jusante. Além disso, essa solução apresenta ainda o benefício de ser mais simples de ser construída quando comparada a medidas estruturais convencionais.

Desta forma, o projeto, localizado nos arredores da Av. Nove de Julho, foi concebido enquanto um modelo de retardamento do escoamento de águas pluviais. Para tanto, foi realizado um diagnóstico que primou por selecionar a SbN ideal a cada trecho do projeto, considerando sua adequação frente à declividade da rua e do talude, bem como do tipo de solo e permeabilidade.

Iniciado um evento de chuva, as águas pluviais percorrerão as biovaletas, localizadas às ruas Eng. Monlevade e Prof. Picarolo, com seu escoamento superficial retardado em vista de pequenas barreiras inseridas nesta SbN. Uma vez na Av. Nove de Julho, as águas são destinadas à galeria de águas pluviais sob o leito carroçável.

Em momentos de chuva extremos, o escoamento superficial das biovaletas será direcionado a poços de infiltração localizados sob as calçadas das ruas supracitadas. Para permitir que a água infiltre no solo, tais poços são perfurados em suas paredes laterais e abertos no fundo. Ainda, são previstas pedras no entorno das paredes do poço para otimizar a infiltração da água. Caso ocorra um evento de chuva em dias subsequentes, o que ocasionará um aumento do grau de saturação do solo, um extravasor permitirá escoar a água por entre os poços e depois para a galeria de águas pluviais da Av. Nove de Julho.



Figura 71 Planta da Área de Infiltração Saracura localizando as SbN: biovaletas, terraços de chuva, poços de infiltração, canteiro pluvial e reservatório subterrâneo (Fonte: Prefeitura de São Paulo, FCTH, 2021).

Simultaneamente, os terraços de chuva, enquanto SbN localizadas em ambos os taludes, atuam de forma a retardar o escoamento superficial das águas pluviais para o fundo de vale. Para conter a água, aproveita-se a declividade do terreno junto a uma contenção de pedras que acompanha as curvas de nível. Quando a água atinge o nível máximo do terraço é encaminhada para biovaletas que a levam para o terraço de chuva seguinte.

Uma vez na Av. Nove de Julho, as águas pluviais encaminham-se para um reservatório estanque sob as calçadas de ambos os lados da avenida. Após, passam por um filtro de areia grossa e brita e são direcionadas ao sistema de águas pluviais. Destaca-se que tal reservatório é vedado pois o solo do fundo de vale não é ideal para infiltração das águas pluviais. Por fim, ao centro da Av. Nove de Julho é inserido um canteiro pluvial com barreiras para direcionar e diminuir a velocidade do escoamento superficial das águas de chuva.

Gonçalves et al. (2018) estimaram que é possível conter o volume de 4 mil m³ de águas pluviais a partir da construção de 7 mil m³ de SbN. Os autores concluíram que o projeto é eficaz em reduzir o volume do escoamento excedente para TR 2, com melhorias previstas tanto na mancha de inundação à montante da Praça Quatorze Bis, quanto nos resultados verificados nos hidrogramas⁴⁸.

Tabela - Precipitação total acumulada nas SbN com chuva de TR 2. Para mais detalhes dos cálculos hidráulicos, ver Gonçalves (Fonte: Gonçalves et al., 2018).



Figura 72 Detalhamento da localização das SbN (Fonte: Prefeitura de São Paulo, FCTH, 2021).

DISPOSITIVO	LOCAL	QUANTIDADE	PROFUNDIDADE (m)	ÁREA UNITÁRIA (m ²)	ÁREA TOTAL (m ²)	TIPOLOGIA PCSWMM - MÉTODO I	VOLUME DE VAZIOS (m ³) - MÉTODO II
Reservatórios sob a calçada	Av. Nove de Julho	2	2	600	1.200	Cisterna (dispositivo impermeável)	1.650
Poços de infiltração	R. Prof. Picarolo e Eng. Monlevada	23	5	12,25	282	Trincheira de infiltração	1.400
Terraços de chuva	R. Prof. Picarolo e Eng. Monlevada	9	1	80	720	Trincheira de infiltração	520
Canteiro pluvial	Av. Nove de Julho	1	1,3	510	510	Trincheira de infiltração	270
Jardim de chuva	Rotatória da R. Carlos Comenale	1	3	170	170	Jardim de chuva	230
Biovaletas	R. Prof. Picarolo e Eng. Monlevada	4	0,4	230	920	Biovaleta	-
Total:		40		1.602	3.802		4.070

⁴⁸ Os dados foram calculados a partir do diagnóstico da bacia hidrográfica, calibrado do modelo hidráulico-hidrológico PCSWMM com os dados de monitoramento fluviométrico medidos no posto da Av. Nove de Julho, e da simulação de SbN. Para detalhes, ver Gonçalves et al., 2018.



Figura 73 Corte do projeto, com destaque para a proposição de uma nova SbN: terraço de chuva (Fonte: Prefeitura de São Paulo, FCTH, 2021).

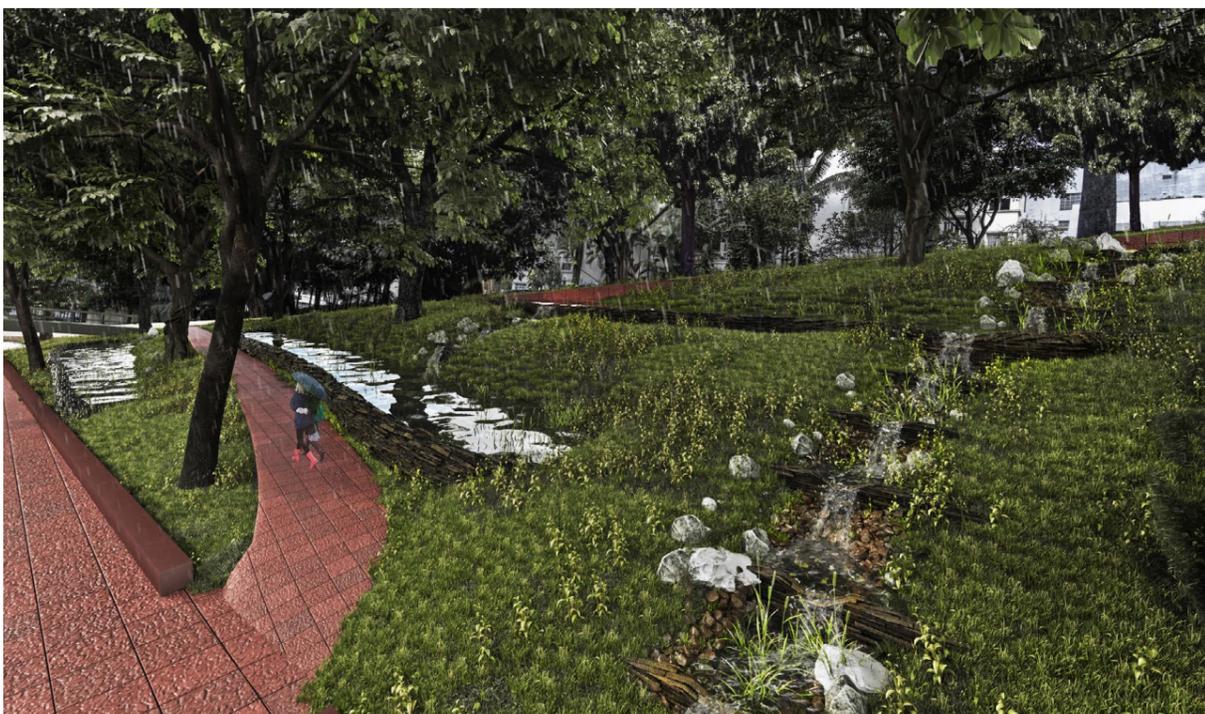


Figura 74 Perspectiva das SbN, com foco no terraço de chuva e nas biovaletas (Fonte: Prefeitura de São Paulo, FCTH, 2021).

De forma a promover uma dimensão didática para o projeto, foram inseridos caminhos no talude para que a população possa visualizar o funcionamento do modelo. Ainda, este local é um importante marco turístico de São Paulo, que tem nas suas imediações o Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand (MASP), projetado pela arquiteta Lina Bo Bardi. Sob o museu, onde aos domingos ocorre uma feira de antiguidades, será possível contemplar o modelo de infiltração proposto. Outro ponto de destaque é o Mirante Nove de Julho, onde atualmente é localizado um café que atrai inúmeros turistas, em busca de um local para avistar o vale.



Figura 75 Área de Infiltração Saracura localizando as SbN: biovaletas, terraços de chuva, poços de infiltração, canteiro pluvial e reservatório subterrâneo

Essas SbN associam medidas de retenção e de infiltração, devidamente dimensionadas para proporcionar o abatimento das cheias. Iniciado um evento de chuva, as águas pluviais percorrem as biovaletas, localizadas nas ruas Eng. Monlevade e Prof. Picarolo, tendo a velocidade reduzida por meio de pequenas barreiras inseridas nesta SbN.

Essas SbN associam medidas de retenção e de infiltração, devidamente dimensionadas para proporcionar o abatimento das cheias. Iniciado um evento de chuva, as águas pluviais percorrem as biovaletas, localizadas nas ruas Eng. Monlevade e Prof. Picarolo, tendo a velocidade reduzida por meio de pequenas barreiras inseridas nesta SbN.

O escoamento superficial das biovaletas, por sua vez, será direcionado a poços de infiltração localizados sob as calçadas e também para as biovaletas, posicionadas nos taludes, que irão conduzir parte desse escoamento para os terraços de chuva.

Para permitir que a água infiltre no solo, os poços de infiltração são perfurados em suas paredes laterais e abertos no fundo. Ainda são previstas pedras no entorno das paredes, para potencializar a infiltração da água. Um extravasor permitirá o escoamento da água por entre os poços para a galeria de águas pluviais da Av. Nove de Julho e também para o terraceamento nos taludes.

Os terraços de chuva, SbN localizada em ambos os taludes da Av. Nove de Julho, foram projetados de forma a retardar o escoamento superficial.

Para conter a água, aproveita-se a declividade do terreno junto a uma contenção de pedras que acompanha as curvas de nível, delineando os terraços de chuva. Quando a água atinge o nível máximo de um terraço, ela é encaminhada para biovaletas que a levam para o terraço de chuva seguinte. Uma vez na Av. Nove de Julho, as águas pluviais encaminham-se para um reservatório estanque sob as calçadas de ambos os lados da avenida. Depois disso, passam por um filtro de areia grossa e brita e são direcionadas ao sistema de águas pluviais. Destaca-se que tal reservatório é impermeável, pois o solo do fundo de vale não é ideal para infiltração das águas pluviais.

Por fim, ao centro da Av. Nove de Julho, é inserido um canteiro pluvial com barreiras para direcionar e diminuir a velocidade do escoamento superficial.

Para se promover uma dimensão didática para o projeto, foram inseridos caminhos no talude para que a população possa visualizar seu funcionamento.⁴⁹

⁴⁹ Mais informações estão detalhadas em vídeo, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pvHbSSmWyB8&t=4s>



Imagem de satélite da cidade de Belo Horizonte. Fonte: Google Earth.



Projeto na cidade de
Belo Horizonte | MG

Projeto na cidade de Belo Horizonte/MG

FICHA TÉCNICA:

Jardim de chuva da Lagoa do Nado

Iniciativa: Projeto INTERACT-BIO implementado pelo ICLEI (do inglês, International Council for Environmental Initiatives), Governos Locais pela Sustentabilidade e o Ministério do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear do Governo da Alemanha e Prefeitura de Belo Horizonte

Autores: Arquitetura da paisagem – Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo e professores Paulo Pellegrino e Silvio Motta; Engenharia Civil – Geasa Engenharia

A cidade de Belo Horizonte é frequentemente citada como referência em SbN devido a suas iniciativas e práticas inovadoras no campo da gestão sustentável de recursos hídricos e ambientais. Essas iniciativas demonstrando os benefícios sociais, econômicos e ambientais que podem ser alcançados por meio da integração de estratégias de SbN no planejamento urbano.

Um de seus projetos icônicos é o jardim de chuva do Parque Lagoa do Nado. O parque, localizado na região norte da cidade, possui uma área de aproximadamente 300 mil m² e é uma importante área de lazer e preservação ambiental para a população local.

A escolha do Parque Lagoa do Nado foi estratégica tanto em termos técnicos quanto sociais: no local há recorrentes inundações em eventos de chuva extremos, bem como é um espaço com grande circulação de pessoas, o que estimula o conhecimento da população desta SbN.

O Jardim de Chuva foi projetado para coletar as águas pluviais provenientes das áreas urbanizadas

ao redor do parque. Sua função é reter, infiltrar e tratar as águas do escoamento superficial, minimizando o risco de inundações à jusante. A água percola por entre o sistema em uma série de pequenas bacias que permitem sua detenção temporária, que é então gradualmente infiltrada no solo ou direcionada para a lagoa existente no parque.

Além de cumprir sua função principal de gerenciamento das águas pluviais, o Jardim de Chuva no Parque Lagoa do Nado também apresenta outros benefícios. Ele contribui para a melhoria da qualidade da água, uma vez que a água é filtrada e tratada pelos materiais e plantas presentes no jardim. Além disso, o projeto valoriza o aspecto estético e paisagístico do parque, integrando-se harmoniosamente ao ambiente e oferecendo um espaço agradável para os visitantes.

O Jardim de Chuva no Parque Lagoa do Nado é um exemplo bem-sucedido de como as Soluções baseadas na Natureza podem ser implementadas em áreas urbanas para lidar com os desafios relacionados às águas pluviais. Ele demonstra a importância de integrar a natureza ao planejamento urbano, promovendo a sustentabilidade ambiental e proporcionando benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a comunidade local.

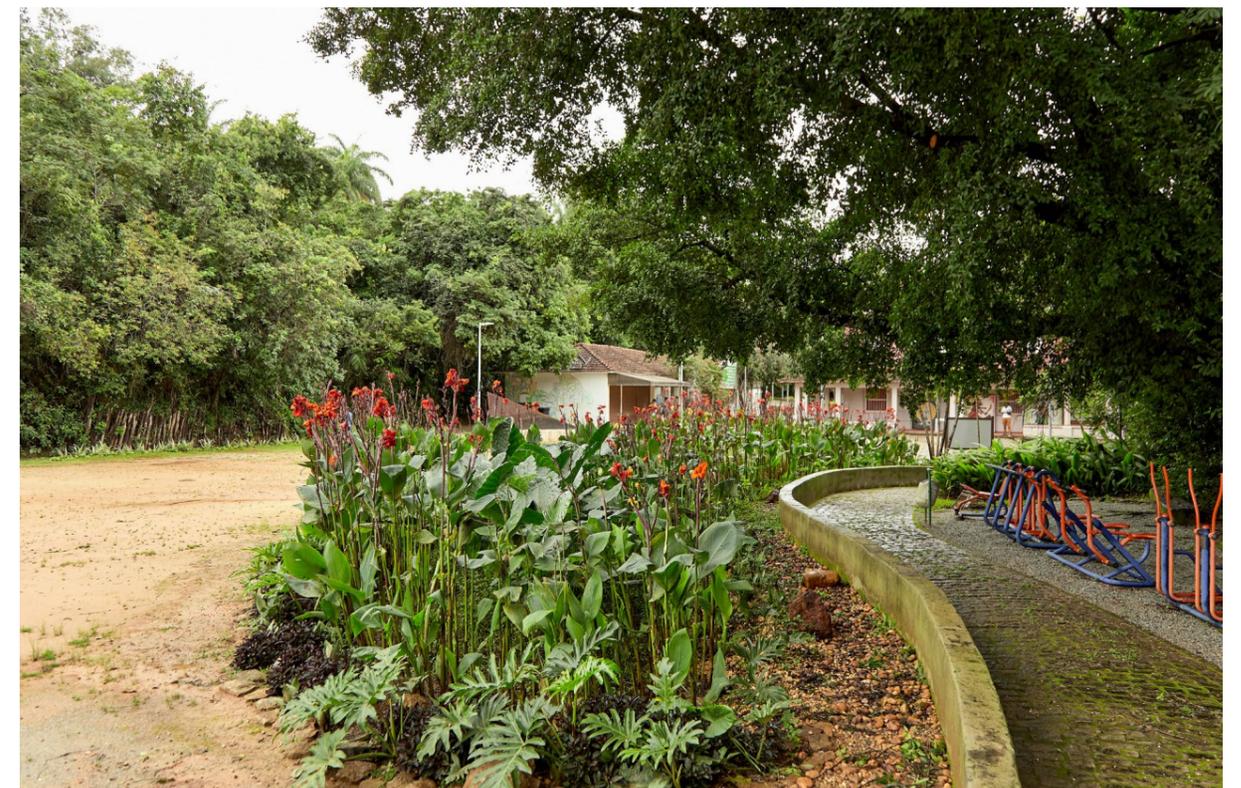


Figura 76 Fotos do projeto do jardim de chuva da Lagoa do Nado (Fonte: Guajava. Fotógrafo: Meridiano filme).

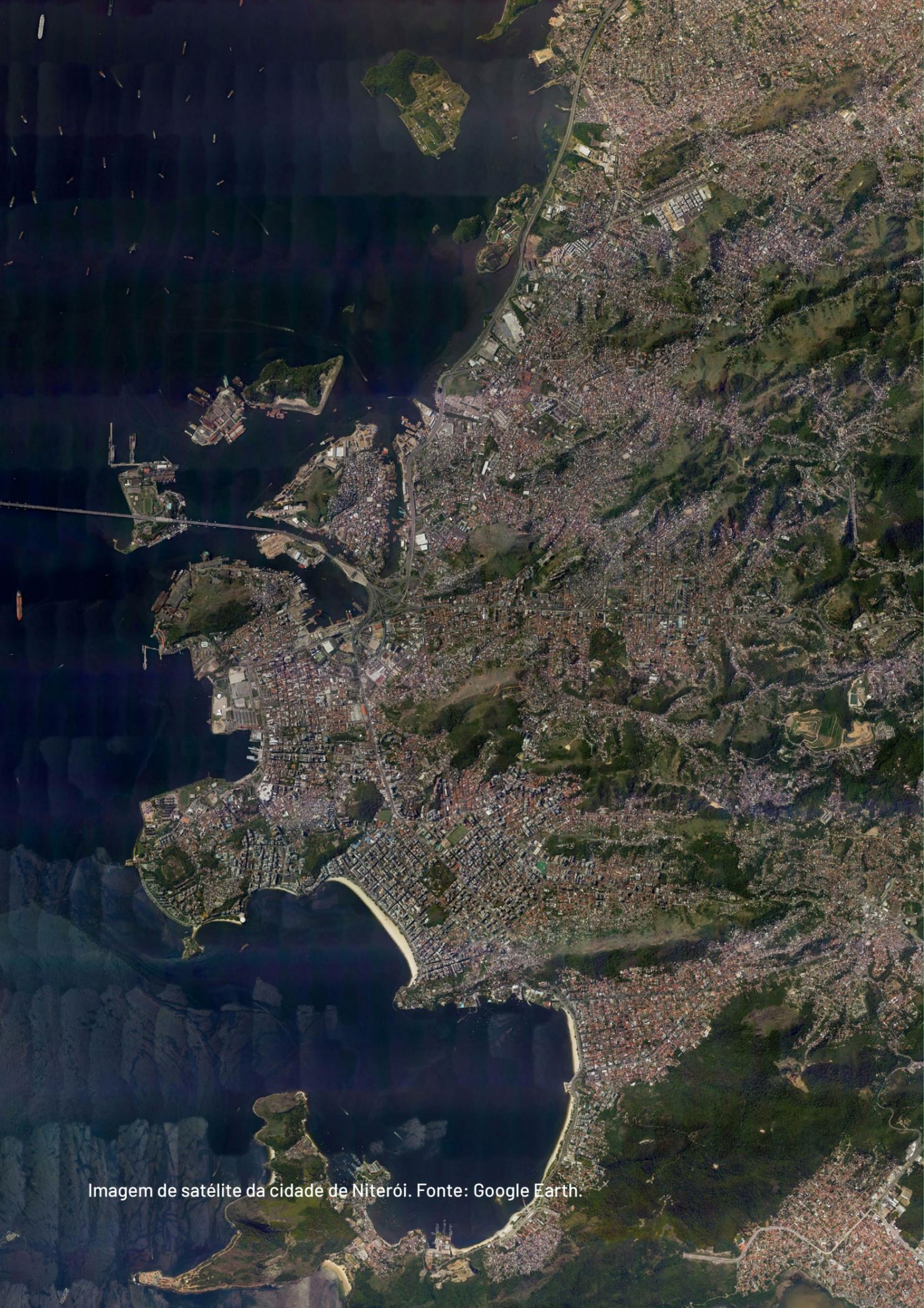


Imagem de satélite da cidade de Niterói. Fonte: Google Earth.



Projeto na cidade de Niterói | RJ

Projeto na cidade de Niterói/RJ

FICHA TÉCNICA:

Parque Orla Piratininga – POP

Iniciativa: Prefeitura municipal de Niterói, Programa Região Oceânica Sustentável – PRO Sustentável

Autores: Prefeitura Municipal de Niterói & Equipe do PRO Sustentável – Consórcio Ilhas de Piratininga (Phytorestore, Embyá Paisagens e Ecossistemas, Kaan Architekten, Village Construções)

O Parque Orla Piratininga – POP é um parque público de 680 km² construído na margem da Lagoa de Piratininga, criado com o propósito de, por meio de Soluções baseadas na Natureza, oferecer à população um ambiente que priorize e aproxime as pessoas do meio natural, ainda que em um contexto urbano, estimulando o sentimento de pertencimento do cidadão com aquele espaço. O projeto faz parte do Programa Região Oceânica Sustentável que possui os núcleos, conforme a localização territorial: Núcleo Lagoa de Piratininga; Núcleo Jacaré Bairro Sustentável; Núcleo Praias, Núcleo Recuperação do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga; Núcleo Fortalecimento de Unidades de Conservação; Núcleo Sistema Cicloviário, cuja coordenação é do Programa Niterói de Bicicleta e Núcleo Pavimentação e Drenagem, que está sob responsabilidade da EMUSA (PREFEITURA DE NITERÓI, 2023).

O POP foi planejado de forma a proteger e recuperar os ecossistemas da Lagoa de Piratininga e o seu entorno, recuperar a qualidade ambiental de suas águas, além de oferecer equipamentos de lazer, recreação, contemplação, cultura e educação ambiental. Os desafios de desenvolvimento do POP são a descarga direta de esgotos, sedimentos, contaminação por poluição difusa e resíduos

sólidos que chegam na lagoa de Piratininga através dos rios Cafubá, Arrozal e Jacaré.

Em cerca de 3 km lineares à Lagoa de Piratininga, foram implantados três sistemas de alagados construídos com a finalidade de tratar as águas que aportam à Lagoa de Piratininga, oriundas das pequenas bacias hidrográficas urbanas dos rios Cafubá, Arrozal e Jacaré (esta última já recebendo obras para a sua renaturalização). Embora a Região Oceânica, em Niterói, conte com rede de coleta de esgotos canalizados para duas ETEs, são muitas as ligações clandestinas.

Cada sistema de alagado é constituído de vertedouro (grande tanque, em média, com cerca de 600 m²) que recebe as águas na foz de cada rio, bacia de sedimentação e jardins de macrófitas para a fitorremediação em uma área de, aproximadamente 35.000 m².

As águas do vertedouro são direcionadas para uma bacia de sedimentação que tem como objetivo permitir a precipitação dos sedimentos antes que suas águas sejam encaminhadas aos jardins filtrantes. Assim, as bacias de sedimentação minimizam a poluição difusa que escoam para a Lagoa de Piratininga, por meio dos rios contaminados, retraindo diversos elementos que contribuem para o assoreamento da lagoa.

As bacias necessitam de manutenção periódica, incluindo acesso de veículos e equipamentos para realização dos serviços. Já nos jardins de macrófitas é realizado o processo de fitorremediação das águas. Foram plantadas doze faixas de macrófitas em cada um dos três jardins, que perfazem no seu conjunto cerca de 12.000 m².

As espécies macrófitas absorvem nutrientes provenientes da matéria orgânica através das raízes e realizam evapotranspiração, criando um ambiente dentro dos próprios jardins para o desenvolvimento de bactérias que realizam a quebra de partículas poluentes (PREFEITURA DE NITERÓI, 2023).



Figura 77 Imagens ilustrativas do projeto do Parque Orla Piratininga (Fonte: Embyá, 2019).

O objetivo da instalação do sistema filtrante foi o de avaliar a qualidade da água, após todas as etapas de filtragem, e verificar um bom funcionamento para que não mais sejam lançadas na Lagoa as águas contaminadas, com carga orgânica proveniente do lançamento irregular de esgoto doméstico. Após todas as etapas de filtragem,

desde a bacia de sedimentação aos jardins filtrantes, a água é lançada à Lagoa de Piratininga. Desta forma, cada sistema foi implantado na foz de cada rio para viabilizar o tratamento de efluentes e lodos, com o diferencial de utilizar vegetação como elementos do sistema.

Além dos alagados construídos, compostos de vertedouro, bacia de sedimentação e jardins de macrófitas para a fitorremediação, o POP possui 3.300 m de biovaletas como sistemas de biorretenção para controle de poluentes, aumento de infiltração no solo e retenção de volumes de água, contribuindo na mitigação de alagamentos. Essas infraestruturas funcionam como sistema de drenagem e são construídas com brita, areia, dreno e vegetação que contribuem para a drenagem das águas pluviais.

O sistema Cafubá, já concluído, foi o primeiro a ser plantado, o que ocorreu em setembro de 2022, seguindo as determinações do projeto executivo. Desde o início do plantio, foram necessárias ações de manutenção como desassoreamento do vertedouro, supressão de brachiárias entre os jardins, alterações no nível de água dos jardins, remoção de vegetação que não resistiu à variação do nível de águas nos jardins e das espécies que eclodiram mais rapidamente que o esperado. A eficácia no tratamento da água, indicada pelo monitoramento feito a cada mês, na saída final dos jardins filtrantes, demonstram o sucesso da técnica de Soluções baseadas na Natureza.

Até a conclusão deste Catálogo, estavam implantados: os jardins filtrantes do sistema Cafubá, com macrófitas plantadas; a estrutura dos jardins filtrantes nos sistemas do Rio Arrozal e do Rio Jacaré, porém sem plantio e com biovaletas no trecho do Camboatá até a ilha do Tibau. Ainda que a obra do parque não esteja concluída, com todos seus sistemas em funcionamento, é possível identificar benefícios ambientais e sociais. No âmbito dos benefícios ambientais, é possível constatar: a redução da poluição difusa das águas; habitats para abelhas nativas e demais insetos identificados (como borboletas e libélulas); retenção de águas de escoamento superficial (auxiliando na mitigação de alagamentos); aumento da biodiversidade da flora nativa e ecossistemas locais; e valorização do entorno do parque por meio das mudanças realizadas. Destaca-se que os sistemas de alagados construídos, em apenas 1 ano de funcionamento, já representam berçários naturais de aves, além de suporte para anfíbios, répteis e mamíferos.



Figura 78 Parque Orla do Piratininga, Niterói (Foto: Alex Ramos, 2023)



Figura 79 Parque Orla do Piratininga, Niterói (Foto: Dionê Maria Marinho Castro, 2023)

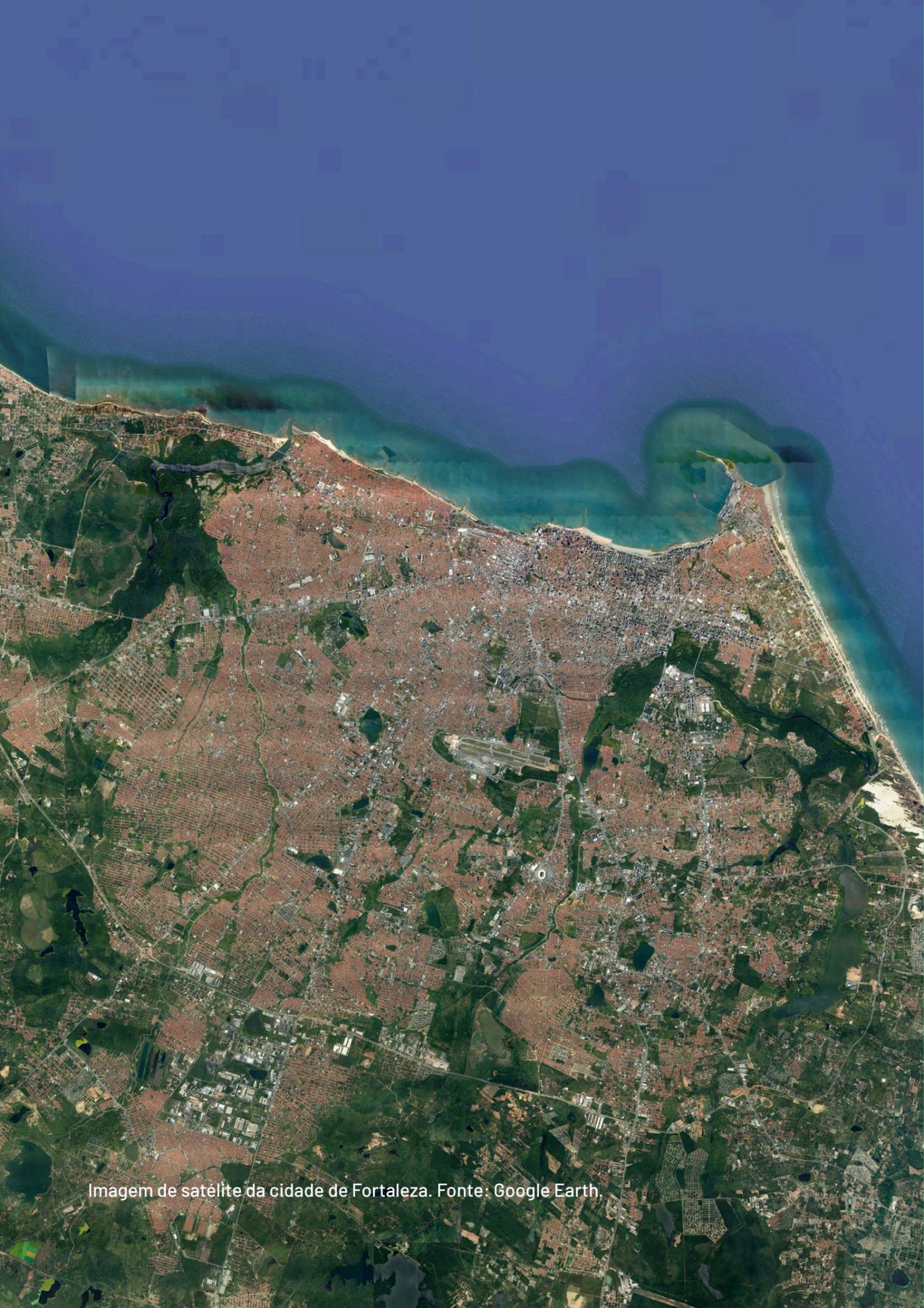


Imagem de satélite da cidade de Fortaleza. Fonte: Google Earth.



Projeto na cidade de Fortaleza | CE

Projeto na Cidade de Fortaleza-CE

FICHA TÉCNICA:

Parque Rachel de Queiroz

Iniciativa: Prefeitura municipal de Fortaleza, Programa Fortaleza Cidade Sustentável (FCS)

Autores: Arquitetura da paisagem – Architectus S/S

O Parque Rachel de Queiroz faz parte do Programa Fortaleza Cidade Sustentável que, por sua vez, está inserido na política ambiental do município⁵⁰.

De acordo com a Prefeitura de Fortaleza (2023), o objetivo do programa municipal é promover a integração do ambiente natural e do ambiente construído na cidade de Fortaleza, impactando de forma positiva na saúde ambiental e na segurança urbana da população. Assim, por meio de investimentos estruturantes em infraestrutura urbana e ambiental, há o fortalecimento da capacidade de gestão municipal.

A requalificação do parque é uma das premissas do programa. O Parque Rachel de Queiroz possui 200 hectares e passa por 8 bairros. O programa de necessidades inclui equipamentos e soluções de lazer, travessias, limpeza, dragagem e recuperação da mata ciliar e rio, com tratamento de efluentes por meio de implemento de Soluções Baseadas na Natureza. O parque foi dividido em 19 trechos, dos quais 6 já foram executados (até o primeiro semestre de 2022).

Vale destaque para o sexto e último trecho finalizado, que está localizado em área de preservação municipal alagada. Antes das intervenções, esta área estava abandonada, servindo de depósito de lixo e esgoto clandestino, trazendo diversos problemas sociais e ambientais. O projeto do Parque Raquel de Queiroz adotou para este trecho a drenagem como eixo estruturador, considerando seu caráter de área alagada/alagável.

Para a melhoria da qualidade da água do Riacho Cachoeirinha – que corta o terreno do parque e tinha histórico de alagamentos frequentes, pela sobrecarga do sistema convencional de escoamento das águas pluviais – foi utilizada a técnica de wetlands para realizar a filtragem através de microorganismos fixados na superfície do solo e raízes das plantas.

Mesmo com pouco tempo após a finalização das obras deste trecho, muitos benefícios já foram identificados nos âmbitos sociais, ambientais e econômicos, como: melhoria das condições de desenvolvimento da fauna e flora locais; interação da população com a nova paisagem; opções de lazer para a população; despoluição das águas; e mitigação das ocorrências de alagamentos no terreno e entorno.

As soluções planejadas com múltiplas funções, abrangendo diversas necessidades, tendem a se tornar infraestruturas de extrema importância em diversos eixos, auxiliando assim tanto a população que irá desfrutar daquele local quanto do município, que irá poupar recursos futuros de manutenções recorrentes de limpeza das águas e mitigação de danos causados pelos alagamentos, dentre outros.



Figura 80 Parque Rachel de Queiroz, trecho 6 antes das intervenções. (Fonte: Archdaily, 2022).



Figura 81 Parque Rachel de Queiroz, trecho 6 após intervenções. (Fonte: Archdaily, 2022).

⁵⁰ Detalhes do Programa Municipal estão disponíveis em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/362-programa-fortaleza-cidade-sustentavel>



Imagem de satélite da cidade de Londrina. Fonte: Google Earth.



Projeto na cidade de Londrina | PR

Projeto na cidade de Londrina/PR

FICHA TÉCNICA:

Revitalização da nascente do Lago Cabrinha

Iniciativa: Projeto INTERACT-BIO implementado pelo ICLEI (do inglês, International Council for Environmental Initiatives), Governos Locais pela Sustentabilidade e o Ministério do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear do Governo da Alemanha e Prefeitura de Belo Horizonte

Autores: Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo e professores Paulo Pellegrino e Silvio Motta; Engenharia Civil – Geasa Engenharia

O projeto de revitalização da nascente do Lago Cabrinha foi pensado a partir do uso de Soluções Baseadas na Natureza (SbN). O projeto foi desenvolvido dentro do projeto INTERACT-Bio, do ICLEI América do Sul. No Brasil, além de Belo Horizonte, Campinas e Londrina foram as outras duas cidades escolhidas para a implementação dessa iniciativa, promovida em parceria com a organização internacional ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade e com o Ministério do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear do Governo da Alemanha.

Iniciado em outubro de 2021, o projeto envolveu o rearranjo de rochas basálticas, que haviam sido colocadas no Lago Cabrinha pela Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização, assim como a recuperação das suas margens com o plantio de vegetação ripária e rizomatosa, formando uma barreira de contenção para reduzir a velocidade da água das chuvas.

As pedras foram acomodadas de modo a formar pequenas piscinas escalonadas, sendo a primeira mais profunda que as seguintes, a partir da técnica do step pool, explicada neste Catálogo. A estrutura permite mitigar possíveis inundações e deslizamentos de terra, bem como controlar a poluição difusa antes que chegue ao lago.

Durante o processo, a equipe de projeto desenvolveu, em parceria com a Prefeitura, um importante trabalho de interlocução com a população local e grupos acadêmicos. Houve também o envolvimento da iniciativa privada (empresas e fornecedores de materiais e serviços da região) na facilitação para a implantação do projeto, expandindo os conhecimentos das práticas de SbN no mercado de engenharia e arquitetura e transformando as práticas em soluções escalonáveis.

Outra iniciativa que vale destaque no projeto foi o trabalho de divulgação e educação ambiental, visando estimular a conscientização e engajamento da população na manutenção e preservação das intervenções e na compreensão da importância das SbN.

Com estes exemplos citados, pode-se vislumbrar que há diversos desafios no cenário brasileiro a respeito da escolha e aprovação de projetos, da execução correta e manutenção específica de diversas SbN, bem como da falta de incentivo e legislação que apoiem a educação ambiental e a replicação das soluções.

Esses, no entanto, são alguns projetos que servem de como panorama da aplicação da SbN no país, com o intuito de motivar a utilização dessas soluções em busca de um equilíbrio eficiente entre os serviços urbanos, a sustentabilidade e a redução de potenciais riscos de desastres oriundos das mudanças climáticas e degradação ambiental.



Figura 82 Lago Cabrinha, Londrina (Fonte: Guajava. Fotógrafo: Meridiano filmes, 2022).



Imagem de satélite da cidade de Sobral. Fonte: Google Earth.



Projeto na cidade de Sobral | CE

Projeto na cidade de Sobral/CE

FICHA TÉCNICA:

Jardins Filtrantes do Riacho Pajeú, em Sobral, Ceará

Iniciativa: Prefeitura Municipal de Sobral, através do Programa de Desenvolvimento Socioambiental de Sobral (Prodesol), com recursos do Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe (CAF)

Autores: Idealização - Secretaria do Urbanismo, Habitação e Meio Ambiente (Seuma), Secretaria de Infraestrutura (Seinfra) e Agência do Meio Ambiente (AMA)

Projeto: Hidrobotânica Ambiental

O município de Sobral está localizado na região Norte do Ceará, a 232 km da capital do estado, Fortaleza. Sua sede urbana originou-se de uma vila construída às margens do Rio Acaraú, principal corpo hídrico da cidade e importante elemento paisagístico, cultural e econômico. Nas últimas décadas, no entanto, o processo de crescimento urbano acelerado e a demorada ampliação das infraestruturas urbanas resultaram, infelizmente, na degradação desse rio e de outros recursos hídricos da cidade.

Um dos corpos hídricos que alimentam o Rio Acaraú é o Riacho Pajeú. Este último, em sua origem, era um córrego de fluxo intermitente que se tornou perene com o tempo, decorrente do desaguamento indevido de efluentes e de águas servidas em seu curso. Ele atravessa quatro bairros populosos de Sobral, alcançando mais de 50 mil pessoas, e dois parques urbanos – o Parque Pajeú e o Parque da Cidade.

Em razão do desaguamento indevido de efluentes e de águas servidas em seu curso, o Pajeú chega ao Rio Acaraú com uma alta concentração de matéria orgânica, o que, através de processos bioquímicos, reduz o oxigênio da água e afeta a fauna e a flora local. Além disso, esses processos produzem gases do efeito estufa e odores desagradáveis. O Riacho transformou-se, portanto, em um potencial poluente do Acaraú.

Apesar da área de alimentação do Riacho Pajeú possuir sistema de coleta de esgotos, que direciona os efluentes para as estações de tratamento, ainda existem inúmeros domicílios que não estão devidamente interligados à rede e/ou que através de ligações clandestinas lançam seus efluentes e águas servidas diretamente à rede pluvial da região, encaminhando essa contribuição indevida para o riacho.

Essas águas que chegam ao riacho por meio da rede de drenagem pluvial apresentam alta concentração de elementos poluentes, que podem ser medidos por diversos parâmetros, entre eles a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO. De acordo com estudo realizado no ano de 2018, o Riacho Pajeú apresentava 110 vezes o valor de DBO recomendado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Para solucionar a situação de poluição de recursos hídricos, são necessárias diversas intervenções, tendo como as mais tradicionais a ampliação da rede coletora e de tratamento de esgoto e o combate às ligações clandestinas à rede pluvial urbana – intervenções essas também implementadas por Sobral.

Diante do desafio, visando a melhoria ambiental desse recurso hídrico de Sobral, a Prefeitura, no ano de 2018, iniciou o planejamento do projeto de Jardins Filtrantes do Riacho Pajeú, com o objetivo de adotar uma alternativa ecológica, estética e econômica para a despoluição das águas do riacho e do solo.



Figura 83 Jardins Filtrantes do Riacho Pajeú, Sobral (Fonte: Prefeitura Municipal de Sobral, 2023)

O projeto parte da implementação de alagados construídos, e dos Sistemas de alagados naturais, utilizando-se da fitorremediação para despoluição do corpo hídrico.

Os alagados construídos são áreas escavadas em terreno natural e/ou sobre aterros, impermeabilizadas e preenchidas com substrato poroso, com o objetivo de formar um alagado construído onde as espécies vegetais serão introduzidas.

Neste alagado e através do meio poroso que o preenche, o efluente percorre toda a sua extensão lentamente, proporcionando a transformação dos elementos orgânicos e inorgânicos existentes. As plantas, além de retirarem do meio os elementos químicos transformados em minerais pelos micro-organismos, ainda devolvem ao meio aquático oxigênio e, por meio de processos bioquímicos, irão promover assim o desejado tratamento das águas servidas.

Já os Sistemas de Alagados Naturais consistem no aproveitamento de áreas alagadas naturalmente para o tratamento dos efluentes, por meio da implementação de intervenções que melhorem e/ou aumentem a capacidade natural dessas áreas ao realizar os processos bioquímicos necessários para o tratamento das águas. Nesse sentido, foram implementados 12 mil m² de jardins filtrantes, percorrendo 1,19 km lineares.

Para tanto, realizaram-se obras de escavação, impermeabilização e assentamento, além da implementação de vegetação específica para a filtragem e para o tratamento dos efluentes.

Os Jardins Filtrantes do Riacho Pajeú não requerem bombeamento, pois a água percorre o sistema por meio da gravidade, o que torna o processo mais barato e de fácil manutenção. O projeto foi idealizado pela Prefeitura de Sobral, por meio da Secretaria do Urbanismo, Habitação e Meio Ambiente (Seuma), e detalhado pelo escritório Hidrobotânica Ambiental.

Já a execução foi realizada por meio da Secretaria da Infraestrutura (Seinfra). Sua viabilização aconteceu por intermédio do Contrato de Empréstimo - CFA 10569, firmado entre a Prefeitura de Sobral e o Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe (CAF), através do Programa de Desenvolvimento Socioambiental de Sobral (Prodesol). Os custos de sua implementação, à época, giraram em torno de R\$ 2,3 milhões.

A operacionalização e manutenção dos Jardins Filtrantes é realizada pela Agência Municipal do Meio Ambiente (AMA), que efetua de forma sistemática os serviços de limpeza, poda, plantio e manutenção, bem como a coleta das amostras de água que são submetidas à avaliação laboratorial mensalmente.

Após a conclusão da obra de construção, os Jardins Filtrantes implementados passaram por fase de adensamento e diversificação da vegetação, tanto nos tanques construídos como nos alagados naturais do leito do Riacho Pajeú. Como resultado, ainda ao fim de 2020, ano da sua instalação, era possível observar, ao final dos 14 tanques construídos, a saída de uma água mais limpa e sem odor.

Além da melhoria observada na qualidade da água, a solução também beneficiou a recuperação da fauna local, transformando o leito do riacho e as áreas dos parques em receptáculo à vida animal.



Figura 84 Amostras coletadas antes e após o tratamento. (Fonte: Prefeitura Municipal de Sobral)



Nos tanques vegetados observa-se a presença de muitas aves que utilizam o espaço do projeto como parte integrante do seu habitat. A presença de vida selvagem é um bom indicativo de que os jardins estão bem integrados ao ecossistema natural.

Paralelamente à implementação dos Jardins Filtrantes ocorreram, também, intervenções nos parques entrecortados pelo riacho, tendo sido realizadas a reforma e requalificação do Parque da Cidade e a construção do Parque Pajeú, assim proporcionando melhoria da qualidade urbana na região de forma ampla e conectada.



Figura 85 População e visitantes, Jardins Filtrantes Riacho Pajeú (Fonte: Prefeitura Municipal de Sobral, 2023)

Os parques receberam quadras para realização de esportes, quiosques, playground, mobiliário urbano, ciclovias e ciclofaixas sinalizadas. O Parque da Cidade foi contemplado, até mesmo, com pista de bicross.

Dos aspectos sociais, têm-se que os moradores de Sobral, principalmente aqueles que residem no entorno do Parque da Cidade e do Parque Pajeú, aderiram de forma positiva e utilizaram os parques para práticas desportivas e de lazer. Na área dos parques são desenvolvidas atividades educacionais por meio de visitantes, escolas e universidades, objetivando as trocas de experiências e o desenvolvimento de possíveis pesquisas e projetos de extensão.

O processo de planejamento e de construção dos Jardins Filtrantes promoveu um grande aprendizado para o corpo técnico das diversas secretarias envolvidas no projeto, tendo em vista que passaram a executar e operacionalizar uma tecnologia nova implantada nas áreas públicas de Sobral.



Parque zoobotânico Mangal das Garças em Belém/PA, arquiteta paisagista: Rosa Klíass (Foto: J Brarymi, 2022)

Considerações finais

Este Catálogo apresentou um método para seleção de SbN em espaços livres públicos, reunindo informações técnicas, exemplos de aplicação, serviços ecossistêmicos prestados e os desafios para sua implantação.

As SbN constituem uma parte relevante do desenvolvimento urbano alinhado aos objetivos contemporâneos de cidades resilientes, sustentáveis e biofílicas.

Nesse sentido, é oportuno lembrar que planos e projetos para o ambiente urbano devem contemplar uma visão de sua complexidade (e singularidades socioambientais), incorporando e conectando as SbN aos outros elementos e processos do ecossistema – à arborização urbana, por exemplo – numa perspectiva infraestrutural e sistêmica.

A participação da sociedade como processo formativo de uma cultura socioambientalmente centrada será sempre um fator de grande importância para o êxito dos planos e projetos implementados. É um direito das populações e contribui para a criação de espaços livres públicos mais imaginativos e responsivos.

Por fim, espera-se que este material possa contribuir para a formação de gestores públicos e demais atores interessados na promoção de desenvolvimento sustentável para as cidades, reunindo informações que venham auxiliar a tomada de decisão, a ampliar a resiliência do ambiente urbano e prover a sociedade com soluções eficientes, inspiradas na natureza, e com benefícios sociais, ambientais e econômicos.

Referências

- AACG – Anne Arundel County Government. **Design Guidelines for Step Pool Storm Conveyance**. 2 ed. Nov, 2010 (Online).
- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Projeto Técnico: Reservatório de Detenção**, 2013 (Online). Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. de; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha-São Paulo. **Revista Árvore**, v. 27, p. 257-262, 2003.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BARBOSA, L. M. et al. **Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2017.
- BONATTI, G.; MARONGIU, I.; 2013. **Soil Bio-engineering Techniques for Slope Protection and Stabilization - Natural Resource Management Handbook**. Financed by the Humanitarian Aid and Civil Protection Department of the European Commission (ECHO) ed. Kujand, Tajikistan: Cesvi.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável** (Online). Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br>. Acesso em: jan. 2023.
- BROADBENT, Ashley M. et al. The cooling effect of irrigation on urban microclimate during heatwave conditions. **Urban climate**, v. 23, p. 309-329, 2018.
- BURKHARD, B.; KROLL, F.; NEDKOV, S.; MÜLLER, F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. **Ecological indicators**, v. 21, p. 17-29, 2012.
- CITY OF PORTLAND. **Stormwater Management Manual**. Portland: Bureau of Environmental Services, 2020.
- COHEN-SHACHAM, E. et al. Nature-based solutions to address global societal challenges. **IUCN: Gland, Switzerland**, v. 97, p. 2016-2036, 2016.
- CORMIER, N.; PELLEGRINO, P. R. M. Infraestrutura Verde: Uma estratégia paisagística para a água Urbana. **Paisagem e Ambiente**, v. 25, p. 127-142, 2008.
- COSTANZA R. et al. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem services**, v. 28, p. 1-16, 2017.
- EGGLESTON, S. Estimation of Emissions from CO2 Capture and Storage: the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: **Presentation at the UNFCCC workshop on carbon dioxide capture and storage**. 2006.
- EISENBERG, Bernd; POLCHER, Vera. Nature Based Solutions-Technical Handbook. **Personal Communication**, 2019.

- EVERS, H. et. al. **Soluções baseadas na natureza: exemplos implementados por cidades brasileiras** (Online). WRI. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-exemplos-implementados-por-cidades-brasileiras>. Acesso em: 31 out. 2022
- FERNANDES, J.; FREITAS, A.; 2011. **Introdução à Engenharia Natural**. Portugal: EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.
- FCTH/SIURB-PMSP. **Cadernos de Bacia Hidrográfica**. São Paulo: FCTH/SIURB, 2022.
- FCTH/SIURB-PMSP. **Caderno de bacia hidrográfica: bacia do córrego Anhangabaú**. São Paulo: FCTH/SIURB, 2021. 264 p.
- GOBATO, A. A.; CHAGAS, L. S.; DE SOUZA PEREIRA, R. É o arboreto do Jardim Botânico do Rio de Janeiro Hotspot Urbano para Polinizadores? **Biodiversidade**, v. 20, n. 2, 2021.
- GONÇALVES, F. C.; Tominaga, E. N. S.; Algodoal, P.; Sandre, A. A.; Pombo, R. M. R.; Sosnoski, A.; Pion, S. M.; Conde, F.; Garcia, J. I. B.; Barros, M. T. L. de. **Avaliação de dispositivos de drenagem de baixo impacto (LIDS) para fins de planejamento: um estudo de caso na Bacia do córrego Saracura (São Paulo)**. XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2018.
- HELGARD, Z. **Ingenieurbiologie: Handbuch Bautypen**. 1. ed. Zurich: vdf Hochschulverlag, 2007.
- HERZOG, C.; ROZADO, C. **Diálogo Setorial UE-Brasil sobre soluções baseadas na natureza. Contribuição para um roteiro brasileiro de soluções baseadas na natureza para cidades resilientes** (Online). Bélgica: Comissão Europeia. Disponível em: <https://oppla.eu/sites/default/files/docs/Portuguese-EU-Brazil-NBS-dialogue-low.pdf>. Acesso em: jul. 2019.
- IUCN – International Union for Conservation of Nature. **Defining Nature-based Solutions**, 27 set. 2016 (Online). Disponível em: <http://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions/about>. Acesso em: 19 dez. 2019.
- JBRJ – Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Flora e Funga do Brasil** (Online). Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso em: 4 jan. 2023.
- MACHADO, P.; WADT, P. **Terraceamento**. Embrapa. 29 set. 2021 (Online). Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-de-terras-altas/terraceamento>.
- MAGNOLI, M. M. O parque no desenho urbano. **Paisagem e Ambiente**, n. 21, p. 199–213, 2006.
- MATOS, M.; MATOS, A. A. importância do substrato poroso e atuação das macrófitas no desempenho dos wetlands construídos no Tratamento de Águas Residuárias. In: **Wetlands Construídos como Ecotecnologia para o Tratamento de Águas Residuárias**. Curitiba: Brazil Publishing, 2021.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Bibliografia brasileira de polinização e polinizadores**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões Teóricas de Conforto Térmico em Espaços Abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 43–58, 2007.
- MORAES, D. F. **Fragmentos verdes na Avenida Paulista: análise dos espaços livres sob o viés do urbanismo biofilico**. 2020.
- ONU HABITAT III. **Nova Agenda Urbana: Declaração de Quito sobre Cidades e Assentamentos Humanos Sustentáveis para Todos**. 2016. (Online) Disponível em: <http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Portuguese-Angola.pdf>.
- PAVLINERI, N.; SKOULIKIDIS, N. T.; TSIHRINTZIS, V. A. Constructed floating wetlands: a review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. **Chemical Engineering Journal**, v. 308, p. 1120–1132, 2017.
- PELLEGRINO, P. R. M. et al. A paisagem da borda: uma estratégia para a condução das águas, da biodiversidade e das pessoas. **Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras**. PROURB, Rio de Janeiro, p. 57–76, 2006.
- PINHEIRO, Maitê Bueno. **Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: identificação de critérios para seleção de espécies**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- POTTS, S. G. et al. **The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production**. 2016.
- PREFEITURA DE CAMPINAS. **Resolução Nº 12 de 22 de outubro de 2015**. Campinas: Biblioteca Jurídica. 22 out. 2015 (Online). Disponível em: <https://bibliotecajuridica.campinas.sp.gov.br/index/visualizaroriginal/id/129068>. Acesso em: jan. 2023.
- PREFEITURA DE FORTALEZA. **Programa Fortaleza Cidade Sustentável** (Online). Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/362-programa-fortaleza-cidade-sustentavel>. Acesso em: jan. 2023.
- PREFEITURA DE NITERÓI. **Parque Orla Piratininga**. Pró-Sustentável. (Online). Disponível em: <http://www.prosustentavel.niteroi.rj.gov.br/>. Acesso em: 3 jan. 2023.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Prefeitura de São Paulo ultrapassa a marca de 200 jardins de chuva na cidade**. 23 set. 2022 (Online). Disponível em: <https://www.capital.sp.gov.br/noticia/prefeitura-de-sao-paulo-ultrapassa-a-marca-de-200-jardins-de-chuva-na-cidade>. Acesso em: 6 out. 2022.
- RIGHETTO, A. M. (org.). **Manejo de águas pluviais urbanas: manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: Abes, 2009.
- RUSSEL, J. M. et al. Lake ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau severely altered by climatic warming and human activity. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 576, n. 15, ago. 2021.
- SANDRE, A. A. **Landscape information modeling: um conceito para projetos de paisagens multifuncionais**. 2022. 241 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. I. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 5–18, 2005.

- SEZERINO, P. H. et al. **Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.
- SEZERINO, P. H.; PELISSARI, C. (org.). **Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras**. 1. ed. Curitiba: Brazil Publishing, 2021. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2021/02/E-book-WETLANDS-BRASIL-Experiências-Brasileiras-1.pdf>.
- SHARIFI, A. et. al. **Wetlands: Earth's Kidneys**. J. Lamar and B.G. Lockaby (ed.), Auburn Speaks. Auburn University, Auburn, AL, 140-3, 2013.
- SMDU - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana**. v. 1, 2 e 3. São Paulo: SMDU, 2012.
- SCHIECHTL, H.; 1980. **Bioengineering for land reclamation and conservation**. Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press.
- SOUSA, R. S.; 2015. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural**. Dissertação de Mestrado—Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria.
- SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J.; 2017. Aspectos Técnicos das Plantas utilizadas em Engenharia Natural. **Ciência & Ambiente**, v. 46/47, p. 31-71.
- STANFORD UNIVERSITY. **InVEST Carbon Storage and Sequestration Model** (Online) 2022. Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest-models/carbon>.
- STUDER, R.; ZEH, H.; 2014. **Soil Bioengineering: Construction Type Manual**. 2a ed. Zurich: vdf Hochschulverlag an der ETH
- TAKAVAKOGLU, Vasileios et al. Screening Life Cycle Environmental Impacts and Assessing Economic Performance of Floating Wetlands for Marine Water Pollution Control. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9, n. 12, p. 1345, 2021.
- TALLIS, Heather et al. The natural capital project. **Bulletin of the British Ecological Society**, v. 41, n. 1, p. 10-3, 2010.
- UACDC - University of Arkansas Community Design Center. **Low Impact Development, a design manual for urban areas** (Online) 2010. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/uacdc/LID-Manual_Excerpt.pdf.
- UNEP - United Nations Environment Programme. **Nature-based Solutions: Opportunities and Challenges for Scaling Up**. Nairobi: UNEP, 2022.
- VILLAMAGNA, A. M. et. al. Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. **Ecological Complexity**, v. 15, p. 114-121, 2013.
- XIAO, Qingfu et al. Rainfall interception by Sacramento's urban forest. **Journal of Arboriculture**, v. 24, p. 235-244, 1998.
- ZHAO, B. et al. Mapping coastal wetlands of China using time series Landsat images in 2018 and Google Earth Engine. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 163, 2020.



www.citygapfund.org/

Since its launch in 2020, the City Climate Finance Gap Fund provides technical assistance to cities in low- and middle-income countries to support the early preparation of climate-smart infrastructure projects, including energy, transport, waste, water, wastewater and nature-based solutions (NbS).