

Stefano Mambretti  
Ademar Nogueira do Nascimento  
(Organizadores)

Gestão e Tecnologia do

# SANEAMENTO BÁSICO:

Uma abordagem na Perspectiva  
Brasileira e Internacional



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

Stefano Mambretti  
Ademar Nogueira do Nascimento  
(Organizadores)

Gestão e Tecnologia do

# SANEAMENTO BÁSICO:

Uma abordagem na Perspectiva  
Brasileira e Internacional



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# Gestão e tecnologia do saneamento básico: uma abordagem na perspectiva brasileira e internacional

**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Stefano Mambretti  
Ademar Nogueira do Nascimento

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G393 Gestão e tecnologia do saneamento básico: uma abordagem na perspectiva brasileira e internacional / Organizadores Stefano Mambretti, Ademar Nogueira do Nascimento. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0639-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.396221110>

1. Saneamento. 2. Água. 3. Drenagem. 4. Esgoto. I. Mambretti, Stefano (Organizador). II. Nascimento, Ademar Nogueira do (Organizador). III. Título.

CDD 363.72

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## PREFÁCIO

Diante de um mundo em rápida mudança, onde promover a sustentabilidade ambiental exige qualificadas habilidades técnicas e invocam a importância da atualização das leis, consideramos importante apresentar uma visão geral sobre o estado da arte da pesquisa, dos projetos e da gestão e tecnologia do serviço integrado de água e destinação de esgotos, juntamente com alguns exemplos de implementação no Brasil e no exterior.

Nesse sentido consideramos muito útil, devido às recentes mudanças legislativas, apresentar o novo marco legal brasileiro, juntamente com as atualizações normativas ocorridas nos Estados Unidos e na Itália. Entendemos que o desenvolvimento e a cooperação multi-países nesse segmento é de fundamental importância para a disseminação de técnicas de racionalização e otimização dos serviços de água e esgoto, de modo a proporcionar melhorias na qualidade de vida das populações com a universalização de tecnologias e gestão de sistemas de referência internacional.

A origem deste presente projeto remete-se à longa e profícua colaboração acadêmica entre a Universidade Federal da Bahia (Brasil) e o Politecnico di Milano (Itália), e posteriormente estendido a profissionais e pesquisadores do Brasil, Itália e Estados Unidos.

Esperamos que o conteúdo deste livro, de caráter transversal, possa ser útil aos profissionais que atuam em diferentes áreas do planejamento dos recursos hídricos e saneamento ambiental, visto que, ao se reconhecer a sua interdisciplinaridade, foram incluídos conteúdos tanto de engenharia, quanto normativo, de gestão e de tecnologias aplicadas, proporcionando uma ampla compreensão técnica para soluções desta relevante problemática ambiental universal.

Stefano Mambretti

Ademar Nogueira do Nascimento

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### OTIMIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Gianfranco Becciu  
Stefano Mambretti  
Mariana Marchioni

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211101>

### **CAPÍTULO 2..... 27**

#### PRÁTICAS DE GESTÃO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Gianfranco Becciu  
Stefano Mambretti  
Luiz Fernando Orsini Yazaki  
Mariana Marchioni

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211102>

### **CAPÍTULO 3..... 49**

#### DRENAGEM E MANEJO DAS ÁGUAS EM GRANDES CIDADES BRASILEIRAS: O CASO DO MUNICÍPIO DE SALVADOR (BRASIL)

Lafayette Dantas da Luz  
Patrícia Campos Borja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211103>

### **CAPÍTULO 4..... 81**

#### ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTO NOS ESTADOS UNIDOS: A ESTRUTURA REGULATÓRIA E SERVIÇO PÚBLICO/PRIVADO

David W. Schnare

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211104>

### **CAPÍTULO 5..... 99**

#### O MARCO REGULATÓRIO E SISTEMA DE GESTÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA URBANA E ÁGUAS RESIDUAIS NA ITÁLIA

Alessandro de Carli  
Sara Zanini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211105>

### **CAPÍTULO 6..... 124**

#### A PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL, APÓS ALTERAÇÕES NO MARCO LEGAL E REGULATÓRIO DO SANEAMENTO BÁSICO PELA LEI Nº 14.026/2020

Abelardo de Oliveira Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211106>

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>162</b>
O SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL: VISÃO GERAL DA ESTRUTURA JURÍDICA DE PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS	
Lucas Custódio	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211107">https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211107</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>181</b>
A QUESTÃO “ÁGUA”: O RECURSO NO MUNDO, A NECESSIDADE DE UM PARADIGMA DIFERENTE, O ENVOLVIMENTO DA POPULAÇÃO	
Gianfranco Becciu	
Camyllyn Lewis	
Stefano Mambretti	
Mariana Marchioni	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211108">https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211108</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>206</b>
TÉCNICAS DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA	
Layane Priscila de Azevedo Silva	
Ademar Nogueira do Nascimento	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211109">https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211109</a>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>240</b>
<b>SOBRE OS AUTORES</b> .....	<b>241</b>

## PRÁTICAS DE GESTÃO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

**Gianfranco Becciu**

**Stefano Mambretti**

**Luiz Fernando Orsini Yazaki**

**Mariana Marchioni**

### 1. INTRODUÇÃO

A urbanização provoca sensíveis alterações no regime das águas superficiais e subterrâneas e nas suas características qualitativas. Principalmente nas áreas densamente povoadas, ocorrem significativas modificações no ciclo hidrológico e na qualidade da água, de maneira que se torna indispensável uma atenta consideração na definição das intervenções, seja de proteção hidráulica seja de saneamento das áreas urbanas. Os principais aspectos dessas alterações são:

- o desequilíbrio no balanço hidrológico das águas superficiais e subterrâneas, devido à menor infiltração das águas pluviais no subsolo e da simultânea coleta difusa da água pelo lençol;
- o aumento das vazões e dos volumes do escoamento das águas pluviais, que devem ser conduzidos para o sistema de drenagem e depois transportados aos receptores

finais, devido à maior impermeabilização e à maior velocidade do escoamento superficial durante as chuvas;

- a piora da qualidade das águas superficiais, devido aos poluentes difusos na atmosfera e nas superfícies urbanizadas e veiculados pelo escoamento das águas pluviais.

Para exemplificar essas modificações, a Figura 1 traz a comparação entre o balanço hidrológico em um cenário pré e pós-urbanização para um caso específico, no qual se observa no cenário urbanizado uma redução na parcela da precipitação que volta para a atmosfera através da transpiração vegetal e evaporação de 40% a 25% e na infiltração de 50% no cenário pré-urbanização para 30% no cenário pós-urbanização. No cenário pós-urbanização, para o exemplo apresentado, 45% da precipitação é escoada através da rede de drenagem.

Diante dessas alterações que aumentam os problemas e os riscos hidráulico e ambiental, deve-se considerar que o escoamento das águas pluviais que se formam nas áreas urbanas durante os eventos de chuva pode ser regularmente coletado, conduzido, depurado e descarregado pelo sistema de drenagem somente dentro de certos limites.

Um primeiro limite, de caráter técnico, está vinculado às características dos processos

bioquímicos das estações de tratamento, para os quais não são aceitáveis vazões de tempo de chuva maiores que algumas vezes a vazão média do esgoto sanitário em tempo seco. Uma excessiva diluição das águas a serem tratadas, de fato, causaria uma progressiva redução de eficiência dos processos de oxidação biológicos e, portanto, maiores riscos de poluição dos corpos hídricos receptores.



Figura 1: Exemplo de balanço hidrológico para um cenário pré-urbanização (esquerda) e pós-urbanização (direita).

Fonte: adaptada de Becciu e Paoletti (2010).

Um segundo limite, de caráter hidráulico e econômico, está ligado às próprias dimensões dos coletores que conduzem as águas pluviais e que não podem ser adequados à condução dos escoamentos de todos os possíveis eventos chuvosos futuros. De um lado, de fato, a aleatoriedade dos processos de chuva resulta que também os coletores de grandes dimensões possam tornar-se insuficientes para enfrentar os casos de eventos mais raros e intensos do que aqueles do projeto. Por outro lado, a contínua adequação das dimensões dos coletores em função da natureza crescente dos escoamentos provocada pela expansão das áreas urbanizadas não é economicamente sustentável.

Na ausência de intervenções, a gestão da drenagem urbana está, portanto, destinada a tornar-se sempre mais problemática e complexa, com um aumento progressivo dos riscos não apenas de alagamento, mas também do tipo ambiental, em relação às cargas de poluentes veiculadas pelo escoamento superficial direto. Essas águas, de fato, são eliminadas localmente através da infiltração ou despejadas nos corpos hídricos receptores, constituindo, assim, um perigo concreto para os lençóis aquíferos e os ecossistemas fluviais a jusante das áreas urbanas.

É, portanto, necessário elaborar estratégias de controle do escoamento das águas pluviais capazes de reduzir esses riscos, garantindo ao mesmo tempo a eficiência hidráulica e sanitária do sistema de drenagem e um mínimo de impacto ambiental.

## 2 . EVOLUÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

As estratégias de controle do escoamento das águas pluviais evoluíram no tempo devido à maior conscientização do impacto das áreas urbanas sobre as áreas a jusante, ao aumento dos problemas causados pela forte dinâmica urbanística das grandes cidades, observados nas últimas décadas.

O tipo mais elementar e mais antigo de estratégia está baseado no conceito de que as águas pluviais não têm um conteúdo significativo de poluentes, ao contrário do esgoto sanitário. Premissa que, vale ressaltar, não é necessariamente válida, pois ao lavar as superfícies da área urbana o escoamento superficial tende a carrear sedimentos que servem como vetores para contaminantes podendo apresentar concentrações em níveis próximos ao esgoto sanitário, como podemos ver na Tabela 1. De qualquer forma, partindo dessa premissa nos sistemas separados, portanto, as águas pluviais são despejadas diretamente, por exemplo, em um corpo hídrico, enquanto o esgoto sanitário é levado para um sistema de tratamento antes do seu despejo. Nesse caso, o risco de insuficiência hidráulica do sistema e, portanto, de alagamento, está ligado principalmente à capacidade de vazão da rede coletora, enquanto o risco ambiental está associado exclusivamente à eficiência da estação de tratamento.

Tabela 1: Constituintes anuais (tonm) em água de escoamento superficial e esgotos.

	Água de escoamento superficial <sup>(1)</sup>	Esgoto rede mista <sup>(2)</sup>	Esgoto industrial <sup>(3)</sup>
<b>Zinco (Zn)</b>	217,7	32,14	59,9
<b>Chumbo (Pb)</b>	59,9	2,5	14,2
<b>Cobre (Cu)</b>	51,3	9,5	57,6
<b>Nitrogênio</b>	13.607,0	5443,3	Não disponível
<b>Fosforo</b>	544,3	51,3	Não disponível
<b>DBO<sup>(4)</sup></b>	4309,0	635,0	Não disponível

(1) Região metropolitana de Washington DC.

(2) Blue Pains, Washington DC. Inclui rede de drenagem e rede doméstica servindo uma população de 2 milhões de habitantes.

(3) Maryland e Virgínia 1987 inventário de descarga tóxica.

(4) Demanda biológica de oxigênio.

Fonte: adaptada de Sansalone e demais autores (2005).

Nos sistemas unitários, as águas pluviais supostamente não poluídas, teriam um efeito positivo de diluição do esgoto sanitário. O controle tem, portanto, um objetivo principalmente quantitativo, e a redução do risco hidráulico é realizada por extravasores de cheia que despejam nos corpos hídricos receptores as águas que excedem a capacidade de condução do sistema de drenagem à jusante. O risco ambiental e o seu controle estão, assim, associados ao grau mínimo de diluição do esgoto sanitário para o qual é considerado aceitável iniciar o despejo das águas mistas.

Este tipo de estratégia parece inadequada, principalmente do ponto de vista dos riscos ambientais. De fato, exceto em casos particulares de áreas urbanas principalmente residenciais e com baixa densidade populacional e de tráfego veicular, as águas pluviais são caracterizadas, devido à passagem pela atmosfera e à lavagem das superfícies impermeáveis, por substâncias poluentes que, devido à quantidade e ao tipo, tornam-se perigosas para o ambiente se despejadas diretamente. Além disso, as falhas de conexão nos sistemas separados tornam também impossível excluir do despejo direto parte dos poluentes veiculados pelo esgoto sanitário. A evolução natural das estratégias de controle é representada, portanto, pela introdução de extravasores de cheia, também nas redes coletoras dos sistemas separados e pela adoção de valores de diluição mínima mais cautelosos para o despejo mesmo para os sistemas unitários.

O aumento, frequentemente intenso e não planejado, das áreas urbanizadas, tem levado a um aumento significativo dos volumes e das vazões a serem transportadas e à impossibilidade econômica e também técnico-gerencial de adequar continuamente a rede de coletores do sistema de drenagem.

No Brasil, de acordo com o diagnóstico apresentado pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), realizado em 2020 com ano base 2019, prevalece o sistema separado em 54% dos municípios, unitário em 23% e o restante não possui ou não sabe informar o tipo de rede. Um detalhamento dos formulários respondidos observou, porém, que nos casos em que foi informado o lançamento de esgoto na rede de drenagem possivelmente se trata de um sistema concebido como rede separada e, devido a problemas de planejamento ou implantação, recebe também esgoto, inclusive sendo verificado altos índices de poluição nos recursos hídricos dos municípios citados. Participaram do SNIS (2019) um total de 3653 municípios, representando 66% do total de municípios brasileiros e 83% da população urbana.

Com a intenção de reduzir os volumes despejados e interceptar a maior parte da massa poluente veiculada pelo escoamento superficial, iniciou-se a associação aos extravasores de cheia a reservatórios temporários, geralmente com dimensões relativamente pequenas e com função principal de controle ambiental: eles se limitam a armazenar apenas a primeira parte dos escoamentos durante um evento chuvoso, a assim chamada

“primeira chuva”, a qual supõe-se que concentre a maior parte da massa de poluentes.<sup>1</sup> Em alguns casos, associam-se a esses reservatórios de primeira chuva reservatórios de maior dimensão, chamados “tanques pulmão”, capazes de efetuar também uma verdadeira e adequada regularização da onda de cheia gerada no sistema de drenagem pelo evento chuvoso.

Essas estratégias tradicionais visam principalmente um controle a jusante do escoamento das águas pluviais, ou seja, intervêm nas águas já conduzidas pelo sistema de drenagem. Isso implica, essencialmente, controlar o despejo para fora das águas excedentes com relação à capacidade de condução e de tratamento do sistema. Considerando os dados do SNIS (2019), foram verificados 174 (4.765) municípios da amostra e 11 (43.31%) capitais que declararam possuir reservatórios de detenção ou retenção.

### 3 . TENDÊNCIAS ATUAIS DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

A evolução histórica das estratégias de controle do escoamento das águas pluviais evidencia uma graduação de intervenções que permitem, por certo período de tempo, adequar a eficiência do sistema às variações das demandas sem a necessidade de grandes modificações na rede de coletores e na estação de tratamento. Essas técnicas são conhecidas são denominadas na literatura científica como *Best Management Practices* (BMPs), *Low impact developments* (LIDs) ou *Sustainable Urban Drainage Systems* (SuDS). Contudo, fica evidente que, com o aumento da extensão das áreas urbanizadas, esse tipo de estratégia torna-se sempre menos eficaz em relação ao aumento dos volumes e das vazões a serem controladas e, mais cedo ou mais tarde, será necessário intervir também com este tipo de modificação para evitar o aumento descontrolado dos já citados riscos ambientais e de inundações.

Diante das dificuldades de se efetuar periodicamente a adequação do sistema de drenagem, ligadas a motivos econômicos e técnico-organizacionais, nos últimos anos, foram propostas estratégias alternativas que se baseiam no conceito de Sistema de Drenagem Urbano Sustentável (em inglês SUDS, *Sustainable Urban Drainage System*). Essa nova abordagem da drenagem urbana parte de conceitos de invariância hidráulica e reequilíbrio hidrológico e baseia-se no controle difuso do escoamento das águas pluviais (URBONAS; STAHRÉ, 1993; WILSON; BRAY; COOPER, 2004; WOOD-BALLARD et al., 2007).

---

<sup>1</sup> Nesta primeira parte do escoamento, estimada em apenas 5 mm, concentra-se a maior parte dos poluentes associados aos sólidos em suspensão. Contudo, a presença de substâncias transportadas em solução e a ocorrência de fenômenos de resuspensão dos sólidos sedimentados nos condutos (*First Foul Flush*) podem determinar a retenção nos reservatórios de captação de águas pluviais de uma parte significativa da massa de poluentes transportada pelas águas pluviais.



Figura 2: Benefícios atingidos da drenagem sustentável.

Fonte: adaptada de Woods-Ballard e demais autores (2007).

O ponto de partida é a vontade de eliminar ou ao menos reduzir as modificações no escoamento devido à urbanização. A sensível redução das áreas verdes e da vegetação e o correspondente aumento das áreas impermeáveis conduzem, como se sabe, de um lado, à diminuição da evaporação e da infiltração e, do outro lado, ao aumento dos volumes e das vazões dos escoamentos superficiais. Essas modificações causam um aumento do risco de insuficiência da rede de drenagem artificial (esgoto) e da rede de drenagem natural (cursos d'água) ainda presente nas áreas urbanas ou a jusante delas. O objetivo da invariância hidráulica é o de reverter as vazões e os volumes do escoamento superficial aos valores de pré-urbanização. O objetivo do reequilíbrio hidrológico é mais amplo, estendendo-se à invariância hidráulica e também ao melhoramento dos valores de infiltração preexistentes, para uma melhor salvaguarda dos recursos hídricos subterrâneos e da evapotranspiração, com efeitos positivos sobre o microclima (Figura 2).

Esses objetivos podem ser alcançados com novas estratégias que visam principalmente um controle *a montante* do escoamento das águas pluviais, ou seja, que intervenham nas águas de escoamento superficial antes do seu ingresso no sistema de drenagem. O controle nesses casos, portanto, não é mais sobre o despejo pelo sistema de drenagem, mas sobre o ingresso no mesmo.

Além de agir na vazão e volume do escoamento das águas pluviais, os sistemas utilizados para esse tipo de controle agregam uma série de benefícios adicionais ao manejo das

águas pluviais como melhora a qualidade da água através da remoção de contaminantes, benefícios ambientais, como promover a biodiversidade, mitigação do fenômeno das ilhas de calor, redução de consumo de água potável para fins não potáveis e outros benefícios ligados à educação ambiental, à beleza estética, a oportunidades de recreação e relações públicas, entre outros (ECHOLS; PENNYPACKER, 2015; URBONAS; STAHR, 1993; WOODS-BALLARD et al., 2007). Veja os exemplos da Figura 3.

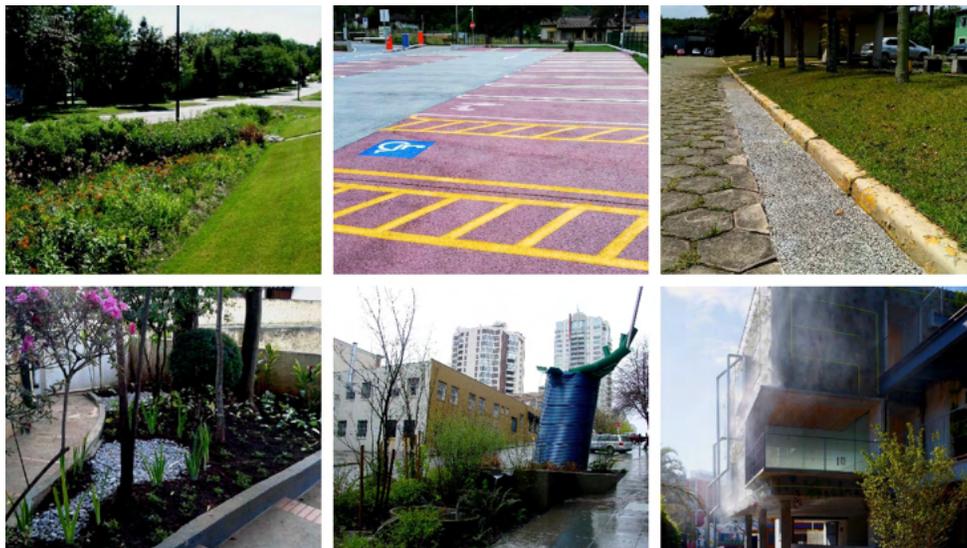


Figura 3: Exemplos de sistemas construtivos utilizados no controle a montante das águas pluviais.

Fonte: acervo pessoal.

#### 4 . ESTRATÉGIAS DE ADMINISTRAÇÃO AMBIENTAL DOS CURSOS D'ÁGUA

Os receptores dos despejos de águas urbanas reagem de modo diferente ao impacto que atua sobre eles. Em primeiro lugar, deve-se distinguir entre as substâncias biodegradáveis, que estão sujeitas a fenômenos de transformação e redução espontâneos (autodepuração) do conteúdo poluente no receptor, e as outras substâncias não biodegradáveis, que estão sujeitas a fenômenos danosos de acúmulo progressivo. Em segundo lugar, esses processos ocorrem com cinéticas muito diferentes em função da reposição hídrica, das características hidrodinâmicas do receptor, da consequente diluição que ele assegura e dos complexos fenômenos hidrobiológicos e químico-físicos presentes no corpo hídrico. É importante enfatizar que, no caso de substâncias tóxicas perigosas para os fenômenos de bioacúmulo, assumem relevância não tanto as atenuações das concentrações decorrentes da diluição assegurada pelo receptor, mas também as massas absolutas das substâncias lançadas no receptor. Nesses casos, portanto, a atenuação

do impacto deve ser tentada operando de modo a reduzir não tanto as concentrações, mas as massas absolutas, reduzindo, ou melhor, eliminando, em primeiro lugar, as fontes de poluição e, em segundo lugar, reduzindo essas massas com eficientes instalações de tratamento localizadas a montante do despejo.

Também é necessário distinguir entre as diferentes situações ligadas à destinação de uso do receptor. Em comparação com os despejos urbanos em tempo de chuva, os efeitos nas águas balneárias, nas águas utilizadas para piscicultura etc. são bem diferentes.

O caráter intermitente do despejo de águas pluviais impõe, portanto, estratégias de controle totalmente diferentes daquelas utilizadas para os despejos contínuos no tempo, como os efluentes das estações de tratamento.

É importante tentar definir as estratégias de controle definindo não padrões de despejo – ou valores de concentração máxima admissíveis nos despejos –, mas padrões para os corpos hídricos receptores (enquadramentos) determinados com base nos objetivos de qualidade das águas dos receptores.

Algumas importantes estratégias de controle apontam para a redução da carga complementar despejada nos receptores por parte dos despejos de tempo chuvoso, salientando que o fator preponderante está mais ligado a essa carga complementar do que ao efeito intermitente da série de eventos de despejo individuais. Esse critério passa a ter interesse quando o receptor é particularmente sensível aos fenômenos de acúmulo progressivo nas águas ou no bioma e, portanto, às massas do poluente de interesse despejadas complementarmente em um determinado período de tempo. Com base nessa hipótese e mediante a simulação modelística de uma longa série de precipitações, calculam-se os balanços médios anuais das massas poluentes despejadas complementarmente pelas águas urbanas e, com base nelas, são definidas as estratégias de controle visando à obtenção de uma redução percentual prefixada dessas massas.

Uma outra abordagem de estratégia de controle, visando os danos a que pode estar sujeito o ecossistema nos eventos de despejo individuais, leva em consideração os limites de tolerância nas comparações com esses fenômenos intermitentes de impacto, também em função da possibilidade de recuperação espontânea da qualidade que o receptor pode assegurar. Esse segundo tipo de critério ganha, portanto, interesse quando o receptor é sensível aos eventos de despejo individuais ligados à intermitência do fenômeno chuvoso, por serem suficientes um ou mais eventos para determinar um inaceitável, mesmo se transitório, comprometimento ambiental.

Com relação a isso, pode-se citar os “Intermittent Standards”, propostos pelo manual inglês *Urban Pollution Management* (UPM) (FOUNDATION FOR WATER RESEARCHES, 1994, 1999), no qual, levando em conta que cada episódio de despejo produz uma deterioração temporária da qualidade do receptor, são definidos os valores toleráveis de

duração, frequência e os limites de concentração dessa deterioração em função da garantia da vida ictiológica no mesmo receptor. Particularmente, o procedimento UPM refere-se a dois padrões, denominados, respectivamente, Fundamental Intermittent Standards (FIS) e Derived Intermittent Standards (DIS).

O FIS estabelece as concentrações limite, mínima, no caso do oxigênio dissolvido (OD), e máxima, no caso do nitrogênio amoniacal na forma não ionizada ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), para vários tempos de retorno e para vários tempos de persistência ( $T_p$ ). A Tabela 2 trata especificamente desse manual e mostra os limites de tolerância para alguns peixes para uma duração e para uma frequência média maior que as indicadas.

Tabela 2: *Fundamental Intermittent Standards (FIS)*<sup>2</sup>.

Tempo de retorno	Concentração mínima de OD [ $\text{mg}_{\text{OD}}/\text{l}$ ]			Concentração máxima de $\text{NH}_3\text{-N}$ [ $\text{mg}_{\text{NH}_3\text{-N}}/\text{l}$ ]		
	1 hora	6 horas	24 horas	1 hora	6 horas	24 horas
1 mês	4,0	5,0	5,5	0,150	0,075	0,030
3 meses	3,5	4,5	5,0	0,225	0,125	0,050
1 ano	3,0	4,0	4,5	0,250	0,150	0,065

Fonte: adaptada de Foundation for Water Researches (1994).

Mesmo que, a rigor, a condição de conformidade seja obtida quando são alcançados os padrões relativos a cada duração e a cada tempo de retorno, os estudos de Crabtree e demais autores (1993) mostram que o tempo de retorno  $T = 1$  ano parece ser o mais crítico na maior parte das situações (no sentido que se esses padrões são alcançados, geralmente também o são para um e três meses de tempo de retorno). Naturalmente, a série histórica das concentrações nos cursos d'água, seja reconstruída com modelos ou medida no campo, deve ser suficientemente longa para que se possam determinar os tempos de retorno efetivos. Além disso, embora as séries históricas apresentem um consistente “reagrupamento” de eventos em um período específico do ano – isso ocorre tipicamente nos meses de estiagem, nos quais as temperaturas são altas e as vazões baixas –, o cálculo do tempo de retorno deve ser feito levando em consideração somente os períodos em que ocorrem esses reagrupamentos. A escolha do tempo de persistência mais crítico é menos intuitiva: de fato, a duração de um evento de desvio pelos extravasores de cheia de esgoto é, em geral, inferior a 6 horas, além disso, observa-se com frequência uma ainda mais breve duração da parte significativa do polutograma se ocorrer o fenômeno denominado “first flush” (a primeira carga poluidora): estas considerações permitem

<sup>2</sup> Valores limite inferiores da concentração de oxigênio dissolvido OD e  $\text{NH}_3\text{-N}$  amoniacal que não devem ser reduzidos com uma frequência média maior do que a indicada, para garantir a vida ictiológica, conforme o procedimento Urban Pollution Management (UPM).

escolher  $T_p = 1$  hora. Contudo, os níveis mínimos de oxigênio dissolvido tendem a ocorrer depois que a massa poluente foi transportada por certa distância a jusante do despejo, período durante o qual se verificam fenômenos de mistura e dispersão que tendem a alongar no tempo e no espaço a forma do polutograma. Por essas razões, considera-se como limite mais crítico no UPM aquele associado a um tempo de persistência  $T_p = 6$  horas. A comprovação dos padrões de OD e de  $N-NH_3$  requer a simulação da maior parte dos processos de transporte e transformação dos poluentes dentro do curso d'água. Deve-se, portanto, dispor de informações precisas sobre as características hidrodinâmicas da corrente – geometria do leito, velocidade da corrente, profundidade, dispersão –, nos processos qualitativos – taxas de decaimento, presença de processos como a fotossíntese, interação com os sedimentos.

Com a finalidade de fornecer padrões de qualidade que sejam de utilização mais imediata, o manual UPM define os padrões “derivados” – *Derived Intermittent Standard* (DIS), que se referem à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e ao Nitrogênio total (N), parâmetros que são de emprego mais fácil, devido ao fato de que os modelos dos sistemas de drenagem urbano fornecem como resultado esses mesmos indicadores. Os limites DIS foram deduzidos de maneira que, quando as condições reproduzem esses limites, os padrões FIS também são verificados, desde que, para a sua determinação, sejam feitas algumas hipóteses cautelares. Por exemplo, os DIS para  $DBO_5$  (Figura 4) são curvas de isoconcentração limite expressas em função das condições hidrodinâmicas da corrente representada pelo declive médio do curso d'água e pela relação média entre a largura e a força hídrica. Com base nas considerações anteriores feitas para os FIS, elas foram calculadas assumindo-se um tempo de retorno de 12 meses e um tempo de persistência de 6 horas, o que, portanto, permite definir a concentração limite máxima de DBO que não deve ser ultrapassada no curso d'água em média mais de uma vez por ano para uma duração maior que 6 horas. A mesma figura mostra também que, quando o ponto representativo se encontra na área sombreada superior, não é necessária nenhuma modelação da qualidade do curso d'água, sendo ele dotado de características hidrodinâmicas que garantem uma oxigenação e uma autodepuração adequada e espontânea. Contudo, quando isso não acontece – cursos d'água com baixo declive e com baixo valor da relação entre a largura e a força hídrica, portanto com menor capacidade de oxigenar a corrente –, a aplicação do procedimento requer que seja preparada uma complexa modelação quali-quantitativa do conjunto esgoto-tratamento-curso d'água, para verificar, com base em uma longa série de eventos climáticos, se a deterioração qualitativa respeita os limites de concentração-duração-frequência requeridos pelos DIS.

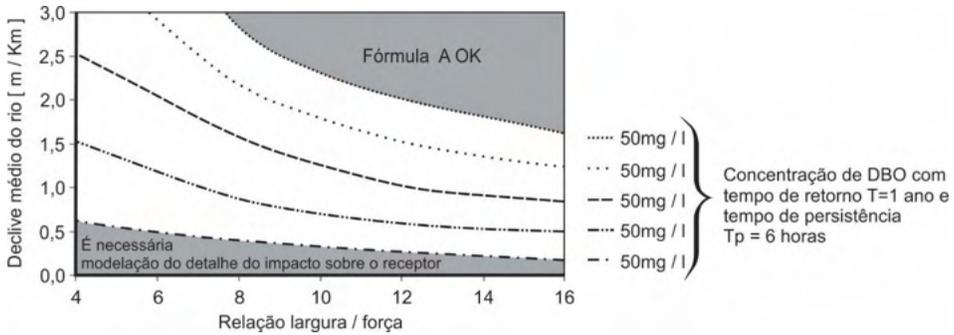


Figura 4: *Derived Intermittent Standard* (DIS) da UPM: limites de concentração de DBO no curso d'água, para T = 1 ano e TP = 6 horas.

Fonte: adaptada de Foundation for Water Researches (1994).

Esse procedimento, portanto, é mais vantajoso porque define “padrões intermitentes” de tempo chuvoso com base nos limites de tolerância para a vida ictiológica do curso d'água receptor dos poluentes transitórios, provocados pelos despejos intermitentes em tempo de chuva. Os padrões intermitentes, portanto, têm uma lógica completamente diferente com relação a qual se baseiam os limites de admissibilidade dos despejos contínuos no tempo. Isso também indica que é incorreto, seja conceitualmente ou para fins práticos, a adoção de normas de despejos de tempo chuvoso com base na utilização dos citados limites de admissibilidade relativos aos despejos contínuos.

## 5 . CLASSIFICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE CONTROLE NA FONTE

Essas técnicas podem ser classificadas de vários modos. Uma das classificações mais difundidas baseia-se na distinção entre os esquemas de controle na fonte (*source control*) e os de controle centralizado (*centralised control*). Nos primeiros, o escoamento não é imediatamente despejado no sistema de drenagem, mas é armazenado, tratado e, às vezes, usado localmente para fins de irrigação; nos segundos, contudo, as providências com relação aos fluxos são tomadas dentro do próprio sistema de drenagem, inclusive a uma grande distância das áreas onde os fluxos são gerados.

Uma outra classificação baseia-se na sua localização com respeito ao sistema de drenagem. Ela distingue, portanto, intervenções em linha (*in-line measures*), que são aplicadas a todo o volume do escoamento, e intervenções fora de linha (*off-line measures*), que desviam apenas uma parte do volume do escoamento, isolando-o do sistema drenante e não influenciando a parte restante do evento de cheia. Em tempo seco, nos primeiros, no caso em que são inseridos em um sistema drenante unitário, afluem por vazões de esgoto sanitário. Nos segundos, no entanto, permanecem secos na maior parte do tempo e recebem aflusos apenas durante os eventos de chuva.

Por fim, uma classificação mais recente distingue entre intervenções estruturais, que compreendem a construção de estruturas para a gestão das águas urbanas – como valas de infiltração, tanques de retenção etc. –, e intervenções não estruturais, que incluem procedimentos, atividades e regulamentos que não requerem a construção direta de obras na bacia. As intervenções estruturais de dividem-se principalmente em três tipos de estruturas (Figura 5):

- estruturas de infiltração;
- estruturas de armazenamento;
- sistemas vege



Figura 5: Exemplo de intervenções estruturais de BMP em um condomínio em Oxfordshire, Reino Unido<sup>3</sup>

Fonte: acervo pessoal.

## 5.1 Estruturas de infiltração

As estruturas de infiltração demonstraram ser as mais eficazes entre todas as intervenções de BMP, na remoção dos poluentes contidos nas águas de chuva e na redução das vazões máximas e dos volumes afluentes. São frequentemente associadas a intervenções de infiltração do escoamento, com a finalidade de reduzir posteriormente os agentes poluentes presentes principalmente nas águas de primeira chuva. Entre as medidas de infiltração mais utilizadas, temos:

<sup>3</sup> As figuras apresentam pavimentação permeável (estruturas de infiltração), reservatório de retenção (armazenamento) e trincheira de infiltração (sistemas vegetais).

- valas de infiltração;
- poços de drenagem;
- bacias de infiltração;
- pavimentos permeáveis;
- bueiros filtrantes.

O efeito de mitigação dessas estruturas está ligado ao acúmulo temporário do volume do escoamento e à sua dispersão no terreno durante e após o evento de chuva. O fator principal que influencia as capacidades, o projeto e a execução dessas estruturas é a capacidade de infiltração do terreno. Por exemplo, uma estrutura de infiltração construída sobre um solo muito permeável (areia) requer espaços limitados e desempenha um papel muito importante na redução dos picos de vazão, principalmente durante eventos de chuva de baixa frequência. Ao contrário, se o terreno for pouco permeável – argila ou areia compactada –, a infiltração pode ser desprezível e tais estruturas terão a única função de retenção de parte dos volumes de escoamento, relançando-os no terreno em intervalos de tempo mais longos.



Figura 6: Exemplo de bacia de infiltração localizado no MIT, Estados Unidos.

Fonte: adaptada de Echols e demais autores (2015).

As vantagens da infiltração incluem:

- a redução das vazões máximas e dos volumes de escoamento superficial;
- a recarga no lençol subterrâneo, que permite o reabastecimento de torrentes, rios, lagos e estuários;
- a remoção dos poluentes presentes nas águas urbanas;
- a diminuição da probabilidade de alagamentos e fenômenos erosivos a jusante;
- a possibilidade de usar a água para outras finalidades.

Uma outra vantagem das estruturas de infiltração é a sua capacidade de ser útil para múltiplos usos. Áreas recreativas, parques e estacionamentos são excelentes locais para as estruturas de acúmulo temporário.

As principais desvantagens das estruturas de infiltração podem ser resumidas como segue:

- elevado custo de implantação, principalmente nas áreas residenciais de maior valor ou nas áreas de interesse turístico;
- quando não corretamente dimensionadas, essas estruturas apresentam uma forte tendência ao entupimento que reduz bastante a sua eficiência e vida útil;
- não sendo normalmente ligadas ao sistema drenante, essas estruturas podem aumentar a probabilidade de fenômenos locais de alagamento;
- possível poluição das águas do lençol freático;
- a recuperação e o tratamento dos sedimentos coletados nas estruturas de infiltração podem ter custos elevados.

A possibilidade de poluição do lençol deve ser atentamente considerada, principalmente se as águas do lençol são utilizadas para consumo humano ou para finalidades agrícolas. É, portanto, oportuno a condução de pesquisas geológicas para estabilização se o local for adequado para a instalação das estruturas de infiltração. O mau funcionamento destas é, de fato, frequentemente associado a uma estimativa incorreta da velocidade de infiltração ou a uma remoção insuficiente de sedimentos, que provoca a sua obstrução.

Com relação ao clima, na presença de baixas temperaturas, o terreno pode congelar, reduzindo, assim, a infiltração. Em geral, o funcionamento desses sistemas pode ser garantido mantendo-se livre a abertura da estrutura da neve e do gelo.

Por fim, são levantadas preocupações com relação à eficácia de longo prazo dessas estruturas. Numerosos estudos têm demonstrado uma vida breve dos sistemas de infiltração, com mais de 50% de probabilidade de desgaste parcial ou total após cinco anos.

A vida útil dessas estruturas pode ser aumentada efetuando-se uma cuidadosa avaliação geológica, a ser realizada antes da construção, e elaborando-se um plano de inspeção e de manutenção. Particularmente, é necessário verificar se o tipo de terreno e a posição do lençol são adequados para a instalação de uma estrutura de infiltração. A introdução de pré-tratamentos e uma manutenção regular – por exemplo, a remoção e a substituição do material de preenchimento obstruído – aumentam a eficiência e a vida dos sistemas de infiltração.

Com relação ao dimensionamento dos sistemas de infiltração, não existe atualmente um procedimento universalmente aceito; teoricamente, isso deve ser efetuado comparando-se as vazões que chegam ao sistema – portanto, o hidrograma de cheia do projeto – com a capacidade de infiltração do terreno e com um eventual volume armazenado no sistema. Essa comparação é usualmente realizada utilizando a equação da continuidade, que representa o balanço das vazões que entram e saem para o meio filtrante, na qual, por simplicidade, é desprezada a evaporação.

## 5.2 Estruturas de armazenamento

As estruturas de armazenamento representam a família mais numerosa de técnicas de mitigação de alagamentos. Esses dispositivos têm a função de represar provisoriamente uma parte dos volumes hídricos originados pelos eventos chuvosos, para depois enviá-los para tratamento ou para retorná-los para a rede de jusante e para o receptor final, com vazão reduzida e compatível com este.

As principais funções dessas estruturas são de acúmulo de água, equalização da onda de cheia, tratamento e, às vezes, disponibilização do volume d'água infiltrado.

Uma classificação básica permite a identificação de dois tipos de estrutura:

- estruturas de detenção,
- estruturas de retenção.

Nas primeiras, todo o fluxo, ou apenas uma parte dele, é temporariamente armazenado e gradualmente liberado para o sistema de drenagem. Esse tipo de abordagem permite o abatimento das vazões máximas do hidrograma de cheia, mas não intervêm na redução dos volumes totais das águas. As estruturas de detenção, restituindo ao sistema de esgoto uma vazão inferior àquela que entra, têm a capacidade de mitigar a insuficiência hidráulica da rede de drenagem urbana. Desse modo, a rede de drenagem é capaz de conduzir a água recebida de aglomerações urbanas sem a necessidade de redimensionar os coletores de esgoto.

Nas segundas, contudo, todo o volume do fluxo proveniente da área servida, ou uma parte dele, é retido por um período mais longo, o qual não é liberado para o sistema de drenagem, mas é disperso – por evaporação ou infiltração –, ou reutilizado, por exemplo, para

fins de irrigação. O longo tempo de residência hidráulica permite a remoção dos poluentes.

As estruturas de armazenamento são projetadas para desempenhar mais de uma função: retenção de eventos com elevada frequência – melhoria da qualidade da água – e detenção para os eventos com baixa frequência – proteção contra o alagamento –, controlando os despejos com a finalidade de regular o fluxo.

Essas estruturas podem ser colocadas em linha ou fora de linha com respeito ao sistema drenante: no primeiro caso, elas recebem as vazões do período seco e as de cheia, desviando-as para o corpo hídrico receptor quando foi superada a capacidade do simples de acúmulo; no segundo, elas acolhem as vazões que são desviadas pela rede de esgoto para o sistema de acúmulo por meio de uma estrutura de desvio, por exemplo, um extravasor.

As estruturas de armazenamento agem tanto sobre a qualidade como sobre a quantidade das águas de chuva: elas favorecem, de fato, a remoção de sólidos em suspensão, metais e nutrientes dissolvidos e, ao contrário das estruturas de infiltração, não apresentam inconvenientes devidos à obstrução.

Um problema dessas estruturas é o elevado custo de construção e manutenção, a qual consiste na frequente remoção de folhas e detritos que se acumulam na bacia. Além disso, elas requerem amplos espaços para a sua instalação e podem ser a causa de odores persistentes se a sua utilização estiver associada a uma manutenção insuficiente. Por esses motivos, a sua inserção em áreas já densamente urbanizadas não é aconselhável.

A construção dessas extensas bacias de detenção pode também provocar a destruição do *habitat* sensível para a vida aquática e terrestre. Por esse motivo, são necessárias avaliações ambientais com a finalidade de escolher o local onde se acredita que ocorrerá o menor impacto sobre o ambiente. Em alguns casos, são também necessárias obras de mitigação dos inevitáveis impactos ambientais.

Assim como para as estruturas de infiltração, também para essas estruturas há necessidade de considerar a possibilidade de poluição do lençol, especialmente se ele for utilizado para finalidades potáveis ou agrícolas.

Para analisar a eficiência na remoção de poluentes, é necessário separar os dois sistemas diferentes. Nas estruturas de retenção, a eficiência depende do volume do fluxo que é desviado e conduzido para elas. Em geral isso varia entre 70% e o 90% sem diferença entre os vários poluentes. Nas estruturas de detenção, existe a presença de água em movimento e nelas a eficiência de remoção de poluentes é inferior aos sistemas de retenção. Particularmente:

- sólidos em suspensão: 40% - 80%;
- DBO: 30%/60%;
- substâncias em suspensão: menos que 10%;
- metais dissolvidos e micropoluentes: menos que 20 %;

A remoção das substâncias em suspensão pode ser incrementada mantendo-se uma camada d'água na base da estrutura de detenção. Dessa maneira, forma-se uma colônia biológica que filtra a primeira parte do fluxo, reduzindo a concentração de substâncias em suspensão por meio da absorção.

A remoção dos resíduos gerados na bacia é fundamental para o correto funcionamento dos reservatórios de detenção e de retenção.

A remoção de sedimentos, detritos e de águas altamente poluídas traz notáveis benefícios para a estética e para a qualidade das águas, entre as quais a redução de odores desagradáveis, de sólidos em suspensão e de substâncias biodegradáveis que alcançam as águas receptoras. Em geral, os reservatórios requerem pelo menos uma inspeção anual para avaliação das suas condições: uma bacia deve ser limpa apenas se a profundidade dos depósitos for maior ou igual a um terço da profundidade média. A limpeza pode ser realizada manualmente ou por meio de equipamentos apropriados.

No caso de reservatórios de concreto fechados, diversos estudos têm demonstrado que os sistemas mais eficazes e de menor custo para a remoção dos rejeitos são os que utilizam o fluxo d'água a alta velocidade: os aparelhos mais difundidos com base nesse procedimento são as comportas de expurgo e as descargas basculantes.

As primeiras águas a serem despejadas são retidas como reserva na bacia de acúmulo e liberadas por um mecanismo apropriado, dando origem a uma onda de elevada velocidade, que remove energicamente os detritos acumulados nos aparelhos presentes ao longo de todo o percurso do despejo. O mecanismo opera despejando a água por meio de uma comporta de expurgo acionada hidráulicamente, a qual cria jatos d'água que removem os sólidos e os detritos do fundo da bacia.

As descargas basculantes, usadas na América do Norte no início dos anos 1990, são recipientes cilíndricos posicionados sobre a parede posterior do tanque em correspondência com a máxima altura d'água no projeto: o recipiente é preenchido até uma dada profundidade e portanto gira em torno de um eixo central extravasando a água no tanque e produzindo a corrente de despejo.

Existem no comércio outras tecnologias com base na criação de um jato que lava os sedimentos do fundo do reservatório, a principal diferença está na maneira como é acumulada a água necessária para a lavagem dentro do reservatório.

### **5.3 Sistemas vegetais**

Os sistemas vegetais são constituídos de áreas cobertas de vegetação e têm o objetivo principal de interceptar e infiltrar as águas pluviais. Fazem parte dessa categoria os canais plantados e os filtros vegetais. São também comumente chamados de "infraestruturas verdes".

Os canais plantados são valas pouco profundas, geralmente com seção trapezoidal

ou parabólica, cuja superfície é revestida por uma borda de vegetação. As águas pluviais fluem com baixa velocidade, favorecendo assim a sedimentação dos sólidos em suspensão, enquanto as espécies vegetais utilizadas têm a função de estabilizar as margens do canal – para proteção contra erosão –, de facilitar a infiltração de parte dos fluxos – produzindo também um certo efeito de equalização – e de efetuar o tratamento das águas, reduzindo a carga de sólidos em suspensão e de nutrientes.

Os canais plantados são comumente usados como técnica de mitigação autônoma para a drenagem dos fluxos gerados ao longo de estradas e de grandes artérias de rodovias, podendo substituir os tradicionais canais de estradas. A alimentação dos canais plantados é feita diretamente das áreas contíguas impermeáveis.

Os resultados que podem ser alcançados com a introdução dos canais plantados são:

- remoção dos poluentes na forma suspensa mediante a filtração através da superfície plantada;
- redução da velocidade do fluxo superficial da água de chuva e o conseqüente abatimento dos picos de vazão;
- redução do volume do fluxo graças à infiltração (apenas para canais a seco).

Podem ser combinados com outras técnicas de melhores práticas de gestão, reunindo geralmente o pré-tratamento e/ou a condução: colocadas, por exemplo, a montante de uma estrutura de infiltração, removem boa parte dos sólidos em suspensão, de modo a preservar de obstrução os sistemas de infiltração.

Além disso, pode-se distinguir canais a seco e canais úmidos.

Nos canais a seco, é colocada na base uma camada de material filtrante composta por 50% de areia e 50% de argila lodosa e, embaixo disso, uma camada de cascalho com 15 cm, dentro da qual é montado um tubo drenante de PVC de diâmetro 10 cm, longitudinal ao canal, para retirar o líquido infiltrado. Essas estruturas fornecem benefícios qualitativos e quantitativos associados respectivamente aos fenômenos de filtração e infiltração da água de chuva. São frequentemente inseridos em pequenas áreas residenciais, em áreas com pouca permeabilidade do solo e nas bordas das estradas. Neste último caso, é necessário estudar o controle de possíveis fenômenos de inundação, com a finalidade de respeitar as normas de segurança para proteção dos usuários das estruturas viárias.

Os canais úmidos apresentam trechos permanentemente submersos, nos quais está presente a vegetação. Para garantir o represamento permanente, são previstas travessias fluviais de concreto equipadas com aberturas de drenagem. Essas estruturas são aplicáveis apenas em pequenas áreas residenciais, porque as detenções frequentes podem provocar problemas como a presença de insetos e odores persistentes.

Com relação à remoção dos poluentes, o canal a seco fornece um bom tratamento para a água de chuva graças à filtragem dos poluentes suspensos e à absorção dos materiais dissolvidos. Nos canais úmidos, contudo, a lâmina d'água permanente permite a remoção dos contaminantes na forma dissolvida, através de mecanismos biológicos, e dos que estão na forma suspensa, por sedimentação.

As principais vantagens da utilização dessas técnicas são:

- melhoria da qualidade das águas lançadas no sistema drenante (particularmente no caso de eventos chuvosos frequentes);
- redução do volume do escoamento (se as características do terreno permitirem a infiltração);
- redução da vazão de pico.
- As principais desvantagens dos canais plantados são:
  - não são aplicáveis a áreas de encosta, úmidas ou com tendência à erosão;
  - difícil implantação em zonas densamente urbanizadas;
  - a cobertura vegetal deve ser apropriada às características climáticas da área;
  - possíveis riscos para a saúde pública que podem ser gerados pela retenção das águas.

A vida útil dos sistemas plantados é diretamente proporcional à frequência de manutenção. Se forem corretamente dimensionados e controlados, eles terão uma duração indefinida.

A manutenção dos sistemas consiste na inspeção anual das rampas laterais para o controle da área plantada e a conservação das áreas lavadas.

É necessário prever operações periódicas de corte das plantas para a manutenção de uma altura inferior a 15 cm. Se o volume ocupado pelos sedimentos superar 25% do volume de projeto, é necessário prever a remoção. Além disso, é oportuno arar ou cultivar o fundo arenoso se ele drenar em menos de 48 horas e prever a rega nos períodos secos.

O uso de fertilizantes deve ser reduzido ao mínimo.

Os filtros vegetais têm um funcionamento similar aos canais plantados, com exceção do fato de que eles são normalmente caracterizados por declividades muito baixas e que distribuem os fluxos sobre superfícies muito extensas, promovendo assim o movimento laminar através do tapete de plantas de modo a ampliar a capacidade filtrante da vegetação. Para incrementar essa função, a vegetação utilizada nos filtros vegetais é selecionada de modo a melhorar a absorção de nutrientes e de metais pesados.

Eles se tornam muito eficazes quando são executados em combinação com outras técnicas como, por exemplo, as estruturas de infiltração. Os filtros vegetais, de fato, reduzem parte dos poluentes suspensos, que são um dos maiores responsáveis pela obstrução dos poros nos tanques de infiltração.

Essas práticas vegetais necessitam de uma grande disponibilidade de espaço, porque ocupam uma área em planta igual a 5-10% da superfície da bacia a ser tratada. Servem apenas áreas com extensão da ordem de 5 hectares ou menos e com declividade média de 2-6%, declives maiores são desaconselhados porque induzem à formação de um fluxo concentrado não desejado e uma erosão mais acentuada na área a ser drenada.

Como nos sistemas de infiltração, é necessário localizar a estrutura a pelo menos 0,70-1,5 m do lençol, para evitar a poluição.

Os filtros vegetais são adequados para gerir a água de chuva proveniente de estradas, tetos e estacionamentos muito pequenos.

O clima também pode influenciar o desempenho dos filtros: em zonas áridas são necessários maiores custos de gestão, entre os quais podemos citar a irrigação mais frequente; em climas frios, deve-se utilizar espécies vegetais resistentes ao sal, devido à técnica de espalhar esse produto sobre as estradas para evitar a formação de gelo.

Os filtros vegetais podem ser densamente plantados com uma variedade de espécies resistentes à erosão. Geralmente, prefere-se gramas, arbustos e árvores autóctones, que não requerem o uso de fertilizantes e são, além disso, mais resistentes aos climas áridos. Abaixo dos filtros, pode ser inserido um tubo de drenagem. Para garantir um tratamento adequado da água que entra no sistema, pode-se fazer a largura do filtro maior ou igual a 20% do comprimento, ou pode-se fixá-lo acima ou igual a 2.7 m. O tempo de residência hidráulica está, também nesse caso, compreendido entre 5 e 9 minutos; a inclinação da superfície do filtro vegetal não deve superar 10%, a altura da lâmina d'água não deve exceder 12 mm e a velocidade do escoamento através da superfície plantada não deve superar 0,5 m/s, para garantir uma sedimentação adequada durante os eventos chuvosos regulares.

Além do melhoramento estético da área de implementação, essas estruturas constituem uma técnica eficaz de tratamento qualitativo das águas urbanas originadas de superfícies impermeáveis. A construção e a manutenção são simples e econômicas.

Os filtros vegetais não são apropriados para receber o fluxo de água de chuva proveniente de áreas extensas, porque não são eficazes para volumes e/ou velocidades de fluxo elevadas, podendo, por isso, dar origem a fenômenos de erosão.

Não são aplicáveis em zonas particularmente sujeitas à erosão ou onde o crescimento da vegetação é de difícil gestão. Além disso, requerem superfícies em planta de grandes dimensões, proporcionalmente à área a ser drenada.

A manutenção consiste na inspeção do sistema duas vezes ao ano para controlar a

possível presença de fenômenos de erosão e danos à vegetação.

É necessário prever intervenções periódicas de remoção de detritos e rejeitos, que se acumulam principalmente ao longo das estradas.

Estudos conduzidos por Colwell e demais autores em 2000 concluíram que a altura da vegetação não influi no desempenho da remoção de poluentes, portanto, a poda é executada uma ou duas vezes ao ano. Ela é necessária principalmente para a remoção de grama e da vegetação tipo bosque.

## 6 . CONCLUSÕES

A água é essencial para vida humana sendo consumida diretamente, utilizada na preparação dos alimentos, na higienização, na agricultura e uma série de atividades industriais e outros usos. A presença de água na forma de rios e lagos impulsionou o crescimento de inteiras civilizações, enquanto a tecnologia em construir canais e aquedutos permitiu o crescimento de impérios como o Império Romano. A chuva, parte do ciclo hidrológico, é essencial na agricultura e o aproveitamento da água da chuva utilizando acúmulo em cisternas é conhecido desde a antiguidade fazendo exemplo ao uso no sul da Itália e na China, por exemplo. No ambiente urbano, a chuva ajuda a limpar as superfícies do acúmulo de sedimentos carregados de contaminantes, permite a sobrevivência da vegetação urbana e a recarga do aquífero. Porém, a água da chuva é relacionada em frequência ao risco hidrológico principalmente considerando as inundações e todos os transtornos e prejuízos humanos e econômicos de consequência. Dessa forma, o conceito do manejo das águas pluviais fica limitado a drenar a água da chuva afastando-a do centro urbano o mais rapidamente possível, evitando danos às pessoas e às propriedades. A alta concentração de poluentes devido à lavagem das superfícies, principalmente estradais, somada às ligações ilegais da rede de esgoto na rede de drenagem e a baixa qualidade de águas de grande parte dos rios urbanos tornam a água da chuva um risco para a saúde pública justificando o conceito de afastamento de águas da gestão denominado higienista.

Essa filosofia, porém, é considerada atualmente obsoleta sendo incentivada uma gestão sustentável, em que se atua na redução da vazão e volume do escoamento superficial gerados de um evento de precipitação através de medidas compensatórias da fonte, atuando também na redução da carga de poluentes. Esse conceito se fortalece em transformar a água da chuva de resíduo a recurso agregando uma série de benefícios no seu manejo, seja para o meio ambiente, promovendo a biodiversidade, a resiliência climática e a melhor gestão dos recursos hídricos seja para a comunidade com benefícios estéticos, oportunidades de recreação, educação ambiental. Muitos desses sistemas também atuam no tratamento das águas pluviais através de processos físicos e químicos. Classificados neste capítulo em sistemas de infiltração, de armazenamento ou vegetais, os

sistemas compensatórios já são uma realidade no Brasil e no mundo mencionados em plano diretores e legislações de meio ambiente e saneamento e normativas. Dessa forma, em fase de consolidação, se torna necessário incentivar as melhores práticas na implantação desses sistemas, a aplicabilidade das legislações existentes e promover incentivos para a adoção de tais sistemas para atingir o objetivo da gestão integrada da água no ambiente urbano melhorando a qualidade do território e da comunidade que nele reside.

## REFERÊNCIAS

BECCIU, G.; PAOLETTI, A. **Fondamenti di costruzioni idrauliche**. Torino: Wolters Kluwer Italia, 2010.

CRABTREE, P. *et al.* UPM application methodology: final report. **Foundation of Water Research**, London, 1993.

ECHOLS, S.; PENNYPACKER, E. **Artful rainwater design**: creative ways to manage stormwater. Washington, D.C.: Island Press, 2015.

FOUNDATION FOR WATER RESEARCHES. **Urban Pollution Management Manual**. Marlow: FWR, 1994.

FOUNDATION FOR WATER RESEARCHES. **Urban Pollution Management Manual**. 2. ed. Marlow: FWR, 1998.

PETER, F. *et al.* The effect of group homes on neighborhood property values. **Land Economics**, Madison, v. 76, n. 4, p. 615-637, 2000.

SANSALONE, J. *et al.* Event-based stormwater quality and quantity loadings from elevated urban infrastructure affected by transportation. **Water Environment Research**, Alexandria, v. 77, n. 4, p. 348-365, 2005.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília, DF: SNIS, 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Página Inicial**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 1 fev. 2020.

URBONAS B.; STAHR P. **Stormwater**: best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

WILSON, S.; BRAY, R.; COOPER, P. **Sustainable drainage systems**: hydraulic, structural and water quality advice. London: Ciria, 2004.

WOODS-BALLARD, B. *et al.* **The SUDS manual**. London: Ciria, 2007. v. 697.

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

Gestão e Tecnologia do

# SANEAMENTO BÁSICO:

Uma abordagem na Perspectiva  
Brasileira e Internacional

  
Ano 2022

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

Gestão e Tecnologia do

# SANEAMENTO BÁSICO:

Uma abordagem na Perspectiva  
Brasileira e Internacional



  
Atena  
Editora  
Ano 2022