

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Drenagem Urbana Sustentável

Análise do uso do *Retrofit*

Hugo do Vale Christofidis



Orientadora: Maria Augusta Bursztyn

Dissertação de Mestrado

Brasília

22 de setembro de 2010

Christofidis, Hugo do Vale

Drenagem Urbana Sustentável: Análise do uso do *Retrofit*.
Christofidis, Hugo do Vale

Brasília, 2010.

163 p. : il. Drenagem Urbana Sustentável; Retrofit;
Sustentabilidade Urbana; Drenagem Pluvial

Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento
Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias, somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Assinatura

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL:

ANÁLISE DO USO DO *RETROFIT*

Hugo do Vale Christofidis

Dissertação de Mestrado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Políticas e Gestão Ambiental, opção acadêmica.

Aprovado por:

Maria Augusta Bursztyn (Doutora), (Universidade de Brasília - CDS)
(Orientadora)

Oscar de Moraes Cordeiro Netto (Doutor), (Universidade de Brasília - CDS)
(Examinador Interno)

Teresa Lúcia Muricy de Abreu (Doutora), (Instituto de Meio Ambiente – IMA - Bahia)
(Examinador Externo)

Brasília, 22 de setembro de 2010.

Dedico esta dissertação à Juliana, minha esposa, pela paciência e colaboração durante a sua elaboração e à minha filha Helena, pelo olhar doce e meigo que retirava todo o cansaço do dia, a quem pretendo deixar um mundo mais sustentável.

Agradecimentos:

Agradeço, primeiramente, ao meu pai, Demétrios, por toda a paciência e carinho com que me ensinou a proteger o meio ambiente, cuidar da água e se importar com este planeta, e à minha mãe, Ana Maria, por ter me agraciado com o ímpeto com o qual me lanço nessa saga de fazer a minha parte para melhorar o mundo em que vivemos.

Também agradeço à minha irmã Marina pela adaptação das figuras desta dissertação, com as quais obtive uma identidade visual limpa e simples e por todo o apoio que me deu nessa jornada. Em tempo, agradeço à minha orientadora Dute, pelo tempo e paciência em me mostrar o norte para alcançar este objetivo.

Especiais agradecimentos à Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap) e à Topocart - Topografia Engenharia e Aerolevantamentos pelo fornecimento de dados digitalizados, imagens e informações a respeito do estudo de caso, sem os quais a presente análise não seria possível.

Por fim, mas não menos importantes, agradeço aos membros da minha família e amigos pelo apoio fornecido em todos os momentos, pela paciência e compreensão em minhas ausências. Obrigado a todos.

"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim."

Chico Xavier

Resumo

A presente dissertação demonstrou que a drenagem urbana sustentável é uma componente importante na busca da sustentabilidade do ambiente urbano e que o *Retrofit* é uma ferramenta eficiente para alcançar esse objetivo. Para tanto foi apresentada uma metodologia de *Retrofit* de infraestrutura urbana que permite adaptar sistemas de drenagem urbana tradicionais em sistemas sustentáveis. Essa metodologia foi desenvolvida por uma organização não-governamental (ONG) americana e foram propostas algumas pequenas alterações na metodologia com o intuito de adaptá-la à realidade técnico-institucional brasileira. Foi realizado, então, um estudo de caso teórico da implementação dessa metodologia no Polo de Modas do Guará II, no Distrito Federal. Com isso, pode ser comprovada a sua eficiência no alcance da sustentabilidade do sistema de drenagem pluvial e na indução da sustentabilidade urbana. Concluiu-se que a metodologia permite a adaptação da rede de drenagem urbana tradicional para que esta se torne uma rede de drenagem urbana sustentável de forma eficiente e controlada, garantindo economia de recursos, melhoria contínua do ambiente e compatibilização com a realidade das cidades brasileiras.

Palavras-chave: drenagem urbana sustentável; *retrofit*; drenagem pluvial; sustentabilidade urbana.

Abstract

The present thesis demonstrates that the sustainable urban drainage system is an important component to achieve urban sustainability and that the retrofit is an efficient tool to reach this goal. Therefore it was presented a retrofit methodology for urban infrastructures that allows to adapt traditional urban drainage systems into sustainable ones. This methodology was developed by a North American NGO, in which some changes were proposed intending to adapt it to the Brazilian technical and institutional reality. A theoretical case study was performed to evaluate the implementation of this methodology in the Guara II fashion region, in the Federal District of Brazil. Thus the efficiency of reaching the sustainability on drainage systems and induction of urban sustainability could be verified. It is concluded that this methodology allows the adaptation of traditional drainage systems into sustainable drainage systems in a efficient and controlled way, guarantying resources economy, continuous environmental improvement and compatibilization with Brazilian cities needs.

Keywords: Sustainable Urban Drainage Systems; Retrofit; Rainwater drainage; Urban Sustainability.

Resume

Cette thèse démontre que les systèmes de drainage urbain durable et les équipements utilisés à cette fin sont des éléments importants de la gouvernance urbaine et la méthodologie du Retrofit (rénovation ou ajustement ex post) est un outil efficace pour réaliser le drainage durable et intégrée de l'eau à l'environnement urbain. Une méthodologie est présentée pour l'infrastructure dans un environnement urbain qui se composait de la conversion des systèmes classiques de drainage urbaine sur des systèmes de drainage durables. Cette méthodologie a été développée par une ONG en Amérique du Nord, de sorte que certaines propositions ont été faites tout au long de cette étude dans le but d'adapter les techniques aux institutions brésiliennes et sa réalité technique. Une étude théorique sur la question ont eu lieu dans la région de confection de mode du Guara II, situé dans le district fédéral du Brésil. Cette simulation a montré l'efficacité du Retrofit pour l'adaptation des systèmes de drainage urbain dans l'induction de systèmes de drainage durable pour la viabilité urbaine. Enfin, nous concluons que la méthodologie du Retrofit est un moyen efficace d'atteindre des objectifs multiples liés au drainage urbain durable en utilisant l'infrastructure existante en assurant l'économie des ressources, l'optimisation constante et la recherche de meilleures pratiques de gestion et la compatibilité avec des besoins des villes brésiliennes et des centres urbains.

Mots-clefs: systèmes de drainage urbain durable; Retrofit; drainage de l'eau de pluie; développement urbain durable

Resumen

Esta tesis demuestra que los sistemas de drenaje urbano sostenible y equipos usados para este fin son componentes importantes para la gestión urbana y que la metodología de Retrofit (adaptación a posteriori) es una herramienta eficaz para alcanzar el drenaje sostenible y la Gestión Integrada del Agua en el medio urbano. Una metodología de infraestructura de Retrofit se presentó en un centro urbano que consistió en la conversión de los sistemas urbanos de drenaje convencional en Sistemas Sostenibles de Drenaje. Esta metodología fue desarrollada por una ONG de América del Norte, por lo que algunas propuestas se han hecho a lo largo de este estudio con el objetivo de adaptar las técnicas a las instituciones brasileñas y su realidad técnica. Un estudio teórico sobre el asunto se llevó a cabo en la Región del polo de moda de Guara II, ubicado en el Distrito Federal de Brasil. Esta simulación demostró la eficacia del Retrofit para la adaptación de los sistemas urbanos de drenaje en sistemas de drenaje sostenible induciendo la sostenibilidad urbana. Finalmente se concluye que la adaptación de la metodología es una manera eficaz de alcanzar objetivos múltiples relacionados con drenaje urbano sostenible utilizando la infraestructura ya instalada y garantizando la economía de recursos, la optimización constante y la búsqueda de mejores prácticas de manejo y la compatibilidad con las necesidades de las ciudades y centro urbanos Brasileños.

Palabras clave: Drenaje Urbano Sostenible; Retrofit; Drenaje pluvial; Sostenibilidad urbana.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Vazões do Projeto do Canal do Rio Tietê entre as pontes Bandeiras e Osasco.	55
Tabela 2.2: Distribuição de vazão de projeto em diferentes seções ao longo do curso do Tietê em São Paulo.....	55
Tabela 3.1: Custo de implantação de pavimentos porosos.....	78
Tabela 5.1: Valores do Coeficiente k.	129
Tabela 5.2: Dados das simulações, por alternativas de estudo.	133
Tabela 5.3: Classificação dos equipamentos segundo os parâmetros escolhidos.	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Tripé da sustentabilidade (SEMANA DO MEIO AMBIENTE, 2008, traduzida).....	22
Figura 1.2: Divisão da água precipitada em dois cenários, adaptada de Tucci e Orsini (2005).	44
Figura 2.1: Detalhes do escoamento natural.....	52
Figura 2.2: Esquema do ciclo Hidrológico (ANA, 2007).	53
Figura 2.3: Esquema apresentando o impacto de um projeto de sistema de drenagem com expansão urbana posterior, adaptada de Tucci e Orsini (2005).....	57
Figura 3.1: Pavimento poroso desenvolvido na USP (CORREIO BRAZILIENSE, 2010).	79
Figura 3.2: Trincheira de infiltração.	81
Figura 3.3: Lagoa de retenção.....	88
Figura 3.4: Valas de infiltração e detenção de escoamento.....	89
Figura 3.5: Zoneamento de áreas inundáveis, adaptada de Tucci (2005).	95
Figura 3.6: Corte esquemático do zoneamento de enchentes em um rio, adaptada de Tucci (2005).....	96
Figura 3.7: Comparação entre tubulações de sistemas de drenagem urbana (CHRISTOFIDIS, 2005).	101
Figura 4.1: Bacia do Rio Norwalk. (TPL, 2003a)	114
Figura 5.1: Paisagismo proposto para a Praça C que auxiliará no alcance do sistema de drenagem urbana sustentável.	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1: Pegadas ecológicas para algumas nações e seus respectivos balanços.....	26
Quadro 3.1: Comparação dos sistemas de drenagem urbana com o escoamento natural.	99
Quadro 3.2: Diagnóstico econômico da gestão da drenagem em Porto Alegre.	103
Quadro 4.1: Comparação de sistemas de planejamento.	109
Quadro 4.2 : Etapas de <i>retrofit</i> , objetivos e tarefas associadas.	111
Quadro 5.1: Preocupações da população, impacto real e soluções que devem ser adotadas para sanar os problemas de <i>retrofit</i>	143
Quadro 5.2: Parâmetros de análise para o <i>retrofit</i> do Polo de Modas do Guará II	146

LISTA DE FOTOS

Foto 2.1: Córrego Guará, trecho próximo à EPGU, onde se vê a degradação resultante de lançamentos acima da capacidade de escoamento da sua calha natural (CHRISTOFIDIS, 2009a).....	66
Foto 2.2: Córrego Samambaia no cruzamento com a EPVP (CHRISTOFIDIS, 2009b).....	67
Foto 3.1: Telhado verde instalado no teto da academia de esgrima de Filadélfia (MILLER e EPA, 2000).....	76
Foto 3.2: Jardim de chuva, modelo de biorretenção (KANSAS, N/D).....	86
Foto 5.1: Ortofotocarta do Polo de Modas do Guará II, adaptada. (TOPOCART, 2009).....	127
Foto 5.2: Praça C na situação existente.....	138
Foto 5.3: Boca de lobo entupida na área do Polo de Modas do Guará II (CHRISTOFIDIS, 2010).....	151

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1: Método Racional.....	60
Equação 5.1: Velocidade de escoamento sobre superfícies.....	129
Equação 5.2: Equação da intensidade de chuva em Brasília/DF.	130

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	11
Lista de Figuras	12
Lista de Quadros	13
Lista de Fotos	14
Lista de Equações	15
Sumário	16
Introdução	16
1 Sustentabilidade e urbanização.....	21
1.1 Sustentabilidade	21
1.2 Sustentabilidade urbana	27
1.3 Urbanização no Brasil.....	30
1.4 Impactos da urbanização sobre o meio físico.....	40
1.5 Fatores responsáveis pelas inundações urbanas.....	42
1.6 Outros fatores a serem considerados.....	45
1.7 Considerações finais do capítulo.....	48
2 Drenagem urbana: base comparativa	50
2.1 Escoamento superficial natural.....	50
2.2 Drenagem urbana tradicional	53
2.3 Considerações finais do capítulo.....	67
3 Drenagem urbana sustentável.....	70
3.1 Princípios da drenagem sustentável.....	71
3.2 Elementos.....	73

3.3	Comparação entre os sistemas	98
3.4	Considerações finais do capítulo	102
4	<i>Retrofit</i> de drenagem urbana	105
4.1	Evolução das infraestruturas de saneamento.....	105
4.2	Retrofit.....	107
4.3	Metodologia	109
4.4	Caso internacional.....	113
4.5	Metodologia adaptada à realidade brasileira	116
4.6	Considerações finais do capítulo.....	123
5	Estudo de caso de <i>retrofit</i>.....	125
5.1	Caracterização da área	125
5.2	Retrofit.....	127
5.2.1	Etapa 1: pré-retrofit.....	128
5.2.2	Etapa 2: diagnóstico	134
5.2.3	Etapa 3: levantamento de dados secundários	135
5.2.4	Etapa 4: análises de campo.....	136
5.2.5	Etapa 5: inventário	139
5.2.6	Etapa 6: validação	141
5.2.7	Etapa 7: avaliação	148
5.2.8	Etapa 8: conclusão e execução	148
5.2.9	Etapa 9: acompanhamento.....	149
5.3	Considerações finais do capítulo.....	152
	Conclusão	154
	Bibliografia.....	158

INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial tem aumentado a pressão sobre os recursos naturais, especialmente sobre a água que é um recurso essencial para a manutenção da vida. A alteração da disponibilidade quantitativa e qualitativa, e da dinâmica natural do fluxo de escoamento desse fluido causa transtornos em diversas partes do globo. Podem-se citar a falta de acesso à água potável e ao saneamento básico, as enchentes e as secas entre os principais problemas.

Apesar de ocorrerem em áreas diversas, esses problemas são potencializados em áreas urbanizadas, alterando radicalmente o meio natural. Atualmente, cerca de 50% da população mundial vive em cidades, o que corresponde a, aproximadamente, 3,3 bilhões de pessoas. Dessa forma, nota-se que o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos urbanos pode permitir maior equilíbrio do meio ambiente, até mesmo em áreas de ocupações urbanas densas (UFNPA, 2008, p. 90).

No Brasil, a urbanização ocorreu rapidamente, de 1950 a 2008, a população urbana saltou de 55,9% para 86%. Esse aumento tem acarretado a formação de grandes cidades e levado a um cenário recorrente nos dias atuais. São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e outras cidades de médio e grande porte têm sofrido frequentemente com inundações, enchentes, deslizamentos de terra, falta de água para abastecimento, epidemias, congestionamentos etc. Muitas vezes, as ocorrências ultrapassam o limite de uma determinada cidade e afetam toda a bacia hidrográfica (IBGE, 2007; UFNPA, 2008).

A falta de planejamento urbano, na maior parte das metrópoles brasileiras, é um dos fatores que contribui fortemente para esse cenário. A ocupação urbana mesmo quando ordenada sofre problemas crônicos, tais como a ausência de fiscalização, recursos insuficientes para a implantação completa da infraestrutura dos loteamentos, visão política desenvolvimentista e fragmentada, além da falta de visão sistêmica do ambiente a ser ocupado. Os aspectos técnicos são moldados de acordo com a vontade política e as análises ambientais só são consideradas se não causarem aumento de custos das obras, ou forem exigidas como parte do

procedimento de licenciamento, caso contrário são desconsideradas ou minimizadas.

O aumento da área impermeabilizada nas cidades tem intensificado os eventos hidrológicos críticos, as cheias são cada vez mais freqüentes e ocorrem mais rápido, as secas são mais duradouras e comprometem o abastecimento urbano e a manutenção dos ecossistemas naturais. O efeito de concentração dos escoamentos afeta a população, os corpos de água e o ambiente natural.

Nota-se que aumentar a sustentabilidade das áreas urbanas implica observar diversos aspectos, ressaltando-se o adequado uso e a ocupação do solo, o correto e efetivo manejo dos recursos hídricos e a educação ambiental que conscientize a população dos efeitos que a ocupação irregular de áreas de proteção e o uso inadequado dos recursos hídricos podem causar.

A drenagem sustentável é composta por um conjunto de infraestruturas que introduz elementos de compreensão e respeito à dinâmica natural da água, além de apresentar soluções que levam à priorização da infiltração em vez do escoamento superficial, propiciando uma tendência de retorno à condição natural. Constitui-se, assim, em forma de mitigação dos problemas acarretados pela implantação da área urbana, tornando-se forte indutora de recuperação socioambiental. A construção de sistemas de drenagem urbana sustentável permite maior controle sobre os eventos hidrológicos e melhora a qualidade do ambiente natural e urbano.

Diversas cidades brasileiras já possuem redes de drenagem urbana, no entanto, faz-se necessária uma metodologia que permita que a infraestrutura existente seja aproveitada em parte. O *retrofit* é uma solução já adotada em outros países para permitir essa mudança no paradigma de projeto e gestão das águas pluviais urbanas sem que se abdique do uso das infraestruturas existentes. Ela permite inserções pontuais no sistema previamente instalado, de forma que transforme uma infraestrutura que causa fortes impactos no meio físico em uma estrutura sustentável.

O correto planejamento urbano, ou seja, o planejamento que considera os aspectos econômicos e, também, ambientais, culturais e sociais, pode ser feito de

duas formas. A primeira por meio de um estudo detalhado dos impactos e dos recursos naturais, identificando as medidas de preservação destes antes de implantar o sistema. A segunda é a implantação de medidas compensatórias ou preventivas, baseadas em conceitos válidos e testados anteriormente para reduzir os impactos já gerados por uma ocupação urbana consolidada (MOTA, 1981).

Esta dissertação trata principalmente do segundo caso, em que a infraestrutura implantada será modificada com o intuito de reduzir os impactos causados pela ocupação urbana desregrada e pela infraestrutura desatualizada. Porém, o uso da metodologia aqui identificada também permite que se adotem medidas preventivas anteriores à ocupação urbana, possibilitando um planejamento completo e integrado das infraestruturas.

Objetivo Geral

Examinar como a drenagem urbana sustentável pode contribuir para o alcance da sustentabilidade no ambiente urbano, avaliando o *retrofit* enquanto ferramenta possível para alcançar esse objetivo.

Para a realização desse trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Analisar conceitos existentes em bibliografias com o intuito de identificar elementos da sustentabilidade urbana e ambiental; quais os impactos a urbanização exerce sobre o sistema natural de drenagem, destacando os principais problemas e soluções normalmente adotados no Brasil.
2. Comparar os sistemas tradicionais e os sistemas sustentáveis de drenagem urbana.
3. Discutir a metodologia de *retrofit* adotada nos Estados Unidos da América e sugerir adaptações à realidade brasileira.
4. Desenvolver um estudo de caso teórico de *retrofit* aplicado a um sistema de drenagem no Distrito Federal.

As questões norteadoras desta pesquisa buscam responder as seguintes indagações:

1. Como a drenagem sustentável pode contribuir para a melhoria do ambiente urbano e natural?
2. Qual a contribuição do *retrofit* sobre os sistemas de drenagem urbana tradicionais?

Para concretizar os objetivos desta dissertação foi feita uma extensa revisão bibliográfica em livros, teses e manuais de diversos autores consagrados acerca dos tópicos inerentes a essas questões, tais como os conceitos de sustentabilidade, de sustentabilidade urbana, escoamento superficial, drenagem urbana tradicional e sustentável e a discussão de uma metodologia de *retrofit* adaptada para aplicação em território nacional.

Como forma de avaliar a aplicação da metodologia, foi feito um estudo de caso teórico no Polo de Modas do Guará II, no Distrito Federal. Foram obtidos dados na Novacap e na empresa Topocart, para que pudessem ser feitas as simulações necessárias e a caracterização da área. Como complemento aos estudos, foram feitas visitas de campo ao local escolhido e também a outros locais no Distrito Federal.

No Capítulo 1, são apresentados conceitos de sustentabilidade, tanto no âmbito geral quanto no contexto urbano, cuja análise parte de conceitos bem estabelecidos no meio acadêmico. É feita abordagem específica sobre como atingir a sustentabilidade em um meio urbano, dando especial atenção à drenagem urbana.

Esse capítulo trata, também, da urbanização brasileira e como esta contribuiu para a geração de impactos sobre o meio ambiente; os problemas que ela acarreta no meio físico e os principais fatores responsáveis pelas inundações urbanas.

No segundo capítulo, foram estudados dois aspectos do escoamento superficial. O escoamento natural foi analisado com o intuito de criar uma base comparativa que pudesse ser confrontada com as análises da drenagem urbana tradicional e da drenagem urbana sustentável.

Nesse capítulo, também são apresentados os conceitos e elementos usados no planejamento da drenagem urbana tradicional e como esses conceitos impactam o meio ambiente ou o meio urbano. São considerados os pontos positivos e negativos desse sistema.

O terceiro capítulo é dedicado às bases conceituais da drenagem urbana sustentável, à descrição e ao funcionamento dos principais equipamentos aplicados

durante a sua instalação. Ao término do capítulo, foi feita uma comparação entre os sistemas de drenagem natural, tradicional e sustentável, com o intuito de demonstrar que, mesmo não retornando à condição natural, a drenagem sustentável se aproxima mais da drenagem natural do que a drenagem tradicional, e pode contribuir significativamente para a recuperação e manutenção de áreas ripárias e reequilibrar o ciclo hidrológico.

No quarto capítulo, foi discutida a metodologia de *retrofit* para os sistemas de drenagem urbana tradicional. Essa metodologia permite que se façam alterações pontuais no sistema mantendo-se uma parte da estrutura existente. Essas modificações propostas permitem atualizar um sistema de drenagem urbana tradicional para um sistema de drenagem urbana sustentável.

Como base para o estudo foi usado o relatório de uma organização não governamental americana, que aplica essa metodologia de acordo com a realidade dos EUA. Foram feitas propostas de alterações pontuais na metodologia descrita para adaptação à realidade brasileira, tanto no campo institucional quanto técnico.

O quinto capítulo avalia um estudo de caso do sistema de drenagem do Polo de Modas do Guará II e expõe que, mesmo após a implantação de um sistema de Drenagem Tradicional, é possível inserir elementos sustentáveis por meio do *retrofit*. O estudo de caso foi completamente teórico, o que inviabilizou a conclusão de algumas etapas, entretanto este não se invalida, pois os resultados de sua aplicação podem ser verificados com base em exemplos de outros locais que obtiveram sucesso na sua aplicação.

Dessa forma, na conclusão, avalia-se que a metodologia de *retrofit* pode se tornar um instrumento eficiente na busca da sustentabilidade urbana, com especial ênfase à drenagem urbana, pois permite que as cidades brasileiras mudem o paradigma da drenagem urbana tradicional para o da drenagem urbana sustentável sem que estas se desfaçam de suas infraestruturas existentes.

1 SUSTENTABILIDADE E URBANIZAÇÃO

Neste capítulo serão estudados os conceitos de sustentabilidade. A abordagem se iniciará com o conceito de uma forma geral, mais ampla e depois tratará da sustentabilidade urbana e os fatores que promovem ou dificultam sua implantação.

A análise do processo brasileiro de urbanização é importante nesse aspecto, pois demonstra qual o período de maior crescimento das cidades, quais os fatores que influenciaram esse processo e quais problemas foram e ainda são enfrentados por essas cidades.

Também serão tratados os impactos causados pelo meio urbano sobre o meio natural, destacando os principais problemas encontrados nas cidades e qual a forma de revertê-los, sobretudo no tocante à drenagem urbana, destacando o impacto causado pela urbanização, especificamente com relação à drenagem natural e algumas causas das inundações.

1.1 SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade tem sido extensamente debatido desde o seu surgimento. Segundo Ribas (2003) ainda assim, falta a esse conceito um conteúdo preciso. Alguns autores, como Boff, acreditam que os conceitos de *desenvolvimento* e *sustentabilidade* não podem coexistir, pois o primeiro demanda concorrência e o segundo parte do princípio de solidariedade, como se houvesse condições de se praticar uma “concorrência solidária” (RIBAS, 2003).

Tudela (2003, *apud* RIBAS, 2003) afirma que o paradigma do desenvolvimento sustentável atua em três planos, o **conceitual**, que engloba as relações entre diversos componentes da realidade, o **espacial**, que é o intercâmbio da matéria, da energia e da informação que uma cidade estabelece com outros territórios, e o **temporal**, que considera os interesses incertos das futuras gerações. A compatibilização desses três planos é um dos principais desafios do desenvolvimento sustentável (TUDELA, 2003 *apud* RIBAS, 2003, p.17-18).

No conceito de sustentabilidade, ressalta-se o tripé da sustentabilidade, no qual está inserida a interação holística dos aspectos ambientais, sociais e econômicos. Em inglês, é conhecido como 3Ps, de *People*, *Planet* e *Profit*, que em português podem ser traduzidos como Pessoas, Planeta e Provento (ou Lucro). A Figura 1.1 demonstra como se comporta o tripé da sustentabilidade.

O **aspecto social** é representado pelas pessoas e constitui o tratamento do capital humano, o acesso a empregos, à educação, à saúde, a um ambiente ecologicamente equilibrado, à cultura e ao lazer, por exemplo.

O **aspecto ambiental** é representado pelo planeta e trata do capital natural disponível à determinada sociedade, também determina a capacidade de determinado local sustentar a sua biodiversidade. Por exemplo, a exploração de uma região para a prática de determinada atividade econômica não pode desconsiderar os danos causados ao meio ambiente. É importante o planejamento no curto, médio e longo prazo para poder manter a sustentabilidade desse empreendimento, levando-se em conta os custos ambientais.

O **aspecto econômico** representa o provento e leva em consideração a busca pelo lucro, mas essa busca não pode causar desequilíbrio nos aspectos ambientais e sociais, ou seja, não se podem explorar os recursos ambientais e humanos à sua exaustão, pois isso põe em risco a própria sustentabilidade da atividade econômica.



Figura 1.1: Tripé da sustentabilidade (SEMANA DO MEIO AMBIENTE, 2008, traduzida).

Observam-se, a partir da integração dos aspectos do tripé da sustentabilidade, três condições intermediárias que ocorrem quando dois deles se encontram: Suportável, Viável e Justa.

Ao se considerar a interseção dos aspectos planeta e pessoas, observa-se um ambiente suportável, ou seja, levando-se em consideração as necessidades das pessoas e do meio ambiente, em que é possível dimensionar as atividades humanas de uma forma que o planeta suporte a vida sem ser destruído no processo, e ao mesmo tempo as pessoas tenham suas necessidades atendidas, tanto no presente quanto no futuro.

Se ocorrer a interseção dos aspectos planeta e proventos, verifica-se um ambiente viável, pois está se levando em conta qual a capacidade que o planeta tem de suportar sua exploração para que uma atividade econômica prospere, ao mesmo tempo considera-se na atividade econômica o custo de degradação ambiental no custo de produção para que este seja reparado. Com isso é garantida a longevidade do empreendimento e do planeta

Ao se considerar a interseção dos aspectos pessoas e proventos, observa-se um ambiente justo, pois são levados em consideração o valor da pessoa no ambiente de produção e a valoração econômica de suas atividades. Assim, não pode haver atividade econômica que degrade o ambiente humano e esta deve prover o ser humano com conforto e atender aos seus anseios e necessidades.

Na junção desses três aspectos é que se encontra a sustentabilidade, ou seja, um ambiente suportável, viável e justo em que o planeta, as pessoas e os proventos sejam garantidos sem que para isso nenhum deles seja preterido em relação ao outro e, dessa forma, possam atender as necessidades das gerações atuais sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

Apesar de uma ampla percepção do termo sustentabilidade, diversos autores que tratam o assunto concordam que a discussão acerca da validade ou aplicabilidade do conceito de desenvolvimento sustentável pouco influencia na sua aceitação. Esse conceito, conhecido também como equidade intergeracional, ainda está em debate, entretanto a definição do Relatório Brundtland ainda é a que tem

melhor aceitação no meio técnico e popular. "Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que atende às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas necessidades." (WCED, 1987).

Segundo Philippi Júnior *et. al.* (2005) a quantidade e a complexidade dos temas que envolvem a gestão do desenvolvimento sustentável são elevados e necessitam de pesquisas sobre a influência que o processo atual de desenvolvimento tem no meio ambiente, bem como que seus resultados sejam incorporados às políticas públicas.

Ressalta-se que a cada processo de implementação de Agenda 21¹, local ou nacional, ocorrem melhorias nesse conceito, tendo premissas e princípios novos incorporados à sua definição. Consta-se que o conceito de desenvolvimento sustentável é um **processo**, em constante evolução, que deve se adaptar às realidades e especificidades locais. A sustentabilidade de uma ação difere nas partes distintas do globo e deve ser analisada dentro de um contexto válido (MMA e IBAMA, 2000).

A Agenda 21 destaca em seu capítulo 40 que a informação deve chegar a todos os níveis, desde tomadores de decisão locais a internacionais, da sociedade às organizações para que se possa caminhar rumo ao desenvolvimento sustentável (CNUMAD, 1992).

Segundo Roberto Guimarães, os aspectos e dimensões associados à sustentabilidade aparecem de forma isolada, ou combinada, nas diversas dinâmicas do processo de construção social do desenvolvimento sustentável, e destaca sete dinâmicas socioambientais (MMA e IBAMA, 2000):

¹ A **Agenda 21** pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (MMA, 2010).

- a) **Sustentabilidade ecológica:** relaciona-se à base física do processo de crescimento e à conservação e uso racional dos recursos naturais.
- b) **Sustentabilidade ambiental:** refere-se à capacidade de suporte dos ecossistemas em absorver os impactos gerados pelas atividades humanas.
- c) **Sustentabilidade demográfica:** diz respeito à capacidade de suporte que um determinado território possui para atender a população ali alocada.
- d) **Sustentabilidade cultural:** necessidade de manter a diversidade cultural no globo, mantendo-se uma identidade de povos diversos.
- e) **Sustentabilidade social:** promove a melhoria da qualidade de vida, por meio da redução da exclusão social.
- f) **Sustentabilidade política:** fortalecimento da cidadania plena dos indivíduos e da governabilidade em escala local e global.
- g) **Sustentabilidade institucional:** relaciona-se à criação e ao fortalecimento de instituições cujo aparato e operação promovam a sustentabilidade.

Para avaliar a sustentabilidade dos países foram criados diversos indicadores que ajudam a verificar até que ponto as atividades econômicas estão sendo sustentáveis. Um desses indicadores é a pegada ecológica, que é uma estimativa da área média de terra produtiva que uma nação, população ou economia necessita para suprir suas necessidades (PHILIPPI JÚNIOR; MALHEIROS *et al.*, 2005)

Caso a pegada ecológica seja maior que a área atual da nação, pode-se inferir que ela está importando recursos de outra nação. Se a nação exportadora apresentar uma pegada menor que a sua área disponível, pode-se alegar que há uma situação de sustentabilidade, pois seria possível as duas nações prosperarem sem degradação. Entretanto, isso não é suficiente para que se faça essa afirmação.

No Quadro 1.1, são apresentados dados referentes à pegada ecológica de alguns países com a finalidade de ilustrar esse indicador e exemplificar como interpretá-lo. A pegada ecológica representa o padrão de consumo médio atual de determinada nação, logo, nota-se por meio do Quadro 1.1 que na Nova Zelândia o

padrão de consumo é maior que o dos Estados Unidos, entretanto, a Nova Zelândia ainda possui mais espaço para crescimento que o Brasil. Sozinha, a Nova Zelândia poderia, praticamente, suprir todo o déficit de área produtiva do Japão, por exemplo.

Quadro 1.1: Pegadas ecológicas para algumas nações e seus respectivos balanços.

País	Pegada ecológica (ha/habitante)	Capacidade disponível (ha/habitante)	Saldo (+) ou déficit (-) (ha/habitante)
Austrália	8,1	9,7	+1,6
Bangladesh	0,7	0,6	-0,1
Brasil	2,6	2,4	-0,2
China	1,2	1,3	+0,1
Alemanha	4,6	2,1	-2,5
Indonésia	1,6	0,9	-0,7
Japão	6,3	1,7	-4,6
Nova Zelândia	9,8	14,3	+4,5
Rússia	6,0	3,9	-2,0
Estados Unidos	8,4	6,2	-2,1

Fonte: (MEADOWS, 1998)

Esse modelo usa a capacidade de suporte local e correlaciona seus indicadores para informar a dependência e importância do comércio local, regional e global, usando a quantidade de terra produtiva como unidade de medida, esta unidade de medida aumenta o potencial de comunicação e entendimento das pessoas (PHILIPPI JÚNIOR; MALHEIROS *et al.*, 2005).

O governo brasileiro tem incorporado os conceitos de sustentabilidade em suas políticas públicas, exemplos disso são os textos das legislações mais recentes que adotam explicitamente, os conceitos de desenvolvimento sustentável, tais como a Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), o Estatuto das Cidades, Lei nº 10.257/01 (BRASIL, 2001) e a Lei Nacional de Saneamento Básico, Lei nº 11.445/07 (BRASIL, 2007).

A Lei Federal nº 9.433/97 destaca em seus princípios a gestão dos recursos hídricos sem dissociar a quantidade da qualidade, a adequada gestão dos recursos hídricos em face das diferenças físicas, bióticas, demográficas etc. Os sistemas de gestão de recursos hídricos devem ser integrados com a gestão ambiental de estuários e zonas costeiras. Também deve haver articulação entre os diversos setores afetados pela gestão, em âmbito regional, estadual e nacional.

O Estatuto das Cidades, Lei Federal nº 10.257/2001, já inclui em seus princípios a proteção, a preservação e a recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio histórico, cultural, artístico, paisagístico e arqueológico. O planejamento urbano não pode se dissociar dos aspectos ambientais, devendo esses aspectos ser considerados na elaboração de Planos Diretores (BRASIL, 2001).

1.2 SUSTENTABILIDADE URBANA

A **sustentabilidade urbana** se relaciona com a capacidade de a cidade prover aos seus habitantes um ambiente em que as dinâmicas socioambientais, destacadas por Roberto Guimarães, coexistam (MMA e IBAMA, 2000).

A noção de desenvolvimento urbano sustentável traz consigo conceitos teóricos de difícil conciliação, entre eles a análise ambiental e a análise urbana, que convergiram na proposta de desenvolvimento sustentável. Essas duas análises têm objetivos diferentes, a primeira é fundamentada no âmbito público, o que é comum a todos e que possui dominialidade coletiva, enquanto a segunda foca principalmente a propriedade privada e os aspectos sociais e econômicos (RIBAS, 2003).

Na análise da sustentabilidade urbana, as cidades podem ser consideradas sistemas abertos, com elevado potencial de externalidades. Atualmente uma cidade raramente pode ser considerada autossuficiente, ou seja, produz todos os insumos que são consumidos e processa todos os produtos de suas atividades dentro de sua área. Dessa forma, analisar a sustentabilidade urbana se torna tarefa complexa, pois exige o estudo de muitas variáveis.

É necessário incluir os sistemas urbanos na discussão sobre sustentabilidade por serem agentes altamente transformadores do ambiente natural e apresentarem alta capacidade de consumo de recursos naturais e produção de resíduos (RIBAS, 2003).

A sustentabilidade é uma qualidade do processo social, que pode ser exigida tanto da esfera privada – incluindo atividades que estimulem a redução do consumo de materiais e a reciclagem – quanto da esfera pública – com a implantação e

gestão de políticas públicas indutoras da sustentabilidade e iniciativas que estimulem a sustentabilidade (MMA e IBAMA, 2000).

Girardet (1989) classifica as megalópoles, como São Paulo, Calcutá, Nova Iorque e Cidade do México, como cidades biocidas, pois são centros intensivos de consumo de energia e de recursos naturais, assim como de produção de resíduos. Com a crescente globalização, a pegada ecológica dessas cidades abandonou o âmbito regional e tem se estendido para o global (GIRADET, 1989, *apud* MMA e IBAMA, 2000).

A proposta de Girardet para romper o ciclo destrutivo das cidades é de que estas devem prover-se com o máximo possível de recursos internamente, reduzindo a importação de insumos e a exportação de resíduos, e, conseqüentemente, diminuir as externalidades causadas. Apesar da utopia dessa proposta, em face de uma globalização crescente de produtos e serviços, essa discussão tem gerado frutos. O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) tem patrocinado diversos manuais de gestão urbana acerca desse tema.

As Agendas Habitat I (1976) e Habitat II (1996) demonstram a forte tendência das políticas urbanas para evitar o inchaço das cidades e promover a fixação da população no meio rural. Segundo Janice Perlman, 90% da ajuda internacional para o desenvolvimento, no ano 2000, era destinada à área rural, mesmo a maioria das pessoas vivendo em ambientes urbanos. Atualmente, cerca de 50% da população mundial vive em cidades, o que corresponde a aproximadamente 3,3 bilhões de pessoas (MMA e IBAMA, 2000; UFNPA, 2009).

Após a Rio-92 e a Agenda Habitat II, houve mudança brusca na direção das políticas públicas, principalmente devido ao fracasso das políticas de fixação da população no campo, independentemente do contexto econômico e político, parece que a cidade é a maneira como os seres humanos escolheram para viver em sociedades (MMA e IBAMA, 2000).

A tentativa de fixação da população no campo parece não condizer com o comportamento social de busca por melhores condições de vida. Ao juntar uma pequena soma em dinheiro, ou por falta de condições de vida no local onde moram,

as pessoas tendem a migrar do campo para a cidade para tentar dar mais conforto, educação, saúde e melhor moradia para suas famílias.

A mudança no paradigma da gestão urbana, apresentado no relatório Cidades Sustentáveis, conta com nove marcos de gestão que devem ser alterados para garantir a sustentabilidade urbana (MMA e IBAMA, 2000).

- a) Mudança de escala das cidades.
- b) Incorporação das dimensões ambientais nas políticas setoriais urbanas.
- c) Criação de sinergias nas ações de gestão.
- d) Planejamento estratégico.
- e) Descentralização de ações administrativas e recursos.
- f) Incentivo à inovação e pesquisa.
- g) Inclusão de custos ambientais e sociais.
- h) Indução de novos hábitos.
- i) Fortalecimento da sociedade civil e dos canais de participação.

Esses marcos derivam diretamente de teorias de renomados urbanistas, como Malta e Wilhelm e, também, avançam na discussão ao incluir estratégias sociais e ecológicas como tópicos essenciais na gestão urbana (MMA e IBAMA, 2000).

Entre os marcos de gestão apresentados destaca-se o de **mudança na escala das cidades**, incluindo a redução do tamanho das cidades, a sua maior compactação e densidade, auxílio na redução de custos de implantação de infraestrutura e também do impacto ambiental causado pelas cidades de grande porte.

O marco de **planejamento estratégico** é essencial para que se possam estudar formas alternativas de ampliar a cidade, reduzir os impactos causados e também orientar políticas de expansão e fiscalização. O planejamento urbano associado ao da bacia hidrográfica são partes essenciais de um sistema sustentável de drenagem urbana.

Segundo Mota (2005), o uso de áreas, urbanas ou rurais, deve considerar os condicionantes do meio físico, biológico e antrópico, tendo como base um

planejamento ambiental. Esse planejamento pode ser feito em diferentes níveis, local, regional ou nacional, mas, invariavelmente, obterá melhores resultados ao considerar a variável ambiental.

1.3 URBANIZAÇÃO NO BRASIL

A formação de grandes cidades no Brasil tem levado a um cenário recorrente nos dias atuais. São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e outras cidades de grande porte têm sofrido frequentemente com inundações, enchentes, deslizamentos de terra, falta de água para abastecimento, epidemias, congestionamentos, violência etc.

Um dos fatores que leva a esse cenário é a falta de planejamento urbano na maioria das metrópoles brasileiras. A ocupação urbana, mesmo quando ordenada, sofre problemas crônicos, como a falta de recursos para a implantação completa de um loteamento, visão política desenvolvimentista e fragmentada, e falta de visão sistêmica do ambiente a ser ocupado, desconsiderando os aspectos ambientais em favor de aspectos econômicos e sociais.

A urbanização do Brasil iniciou-se tardiamente em relação ao cenário internacional cujos processos começaram a partir do início do século XIX. Somente no final desse século, a migração de parte da população brasileira para as cidades foi verificada.

A prioridade do Brasil era a produção agrícola para exportação e a importação dos produtos manufaturados. Desde a sua colonização não existia no Brasil demanda interna suficiente para incentivar a produção industrial nem para justificar a sua implantação.

Como a maior parte dos produtos de consumo era importada, o Brasil assumiu no cenário internacional um papel de exportação de insumos primários, que eram usados na produção de produtos manufaturados, posteriormente importados para o seu abastecimento interno. Tal relação com o cenário internacional foi mantida até o início do século XX.

Com a quebra das bolsas americanas foi necessário iniciar uma industrialização nacional capaz de substituir os produtos importados. Instaurou-se uma política protecionista que aumentava o preço dos produtos finais, mas não do maquinário e dos insumos para produzi-los internamente. Esse cenário foi decisivo para a instauração de um parque industrial no Brasil, sendo este um dos fatores que incentivou a migração maciça do campo para as cidades (PRADO JÚNIOR, 1999).

Com isso, no começo do século XX, teve início o fenômeno da urbanização brasileira, que se tornou mais significativa partir da década de trinta. Segundo Vilela e Suzigan (1973 *apud* BRITO; HORTA *et al.*, 2002) São Paulo e Rio de Janeiro eram responsáveis por mais de 50% da população urbana no Brasil do início do século XX.

No censo demográfico de 1940, destaca-se que 31,2% da população brasileira residia em cidades, incrementando-se, sistematicamente, durante as décadas seguintes e, em 1970, a população urbana ultrapassa a rural, com 55,9% da população à época. Em 2000, o grau de urbanização chega a 81,2%, segundo o censo do IBGE (IBGE, 2007).

Diversos países desenvolvidos passaram por esse processo de urbanização. Inglaterra, Estados Unidos e Japão, por exemplo, tiveram taxas de urbanização maciças, atingindo de 85% a 95% de sua população. Apesar de no ano 2000 já existirem estados brasileiros com graus de urbanização de 90%, como São Paulo e Rio de Janeiro, o país possui ainda um potencial razoável de transferência da população rural para as cidades (BRITO; HORTA *et al.*, 2002).

Semelhante a outros países em desenvolvimento, o Brasil tem como destaque a velocidade com que foi feito o processo de urbanização, bem superior a dos países citados anteriormente. Na segunda metade do século XX, a população urbana cresceu 7,33 vezes, passando de 18,78 milhões para 137,7 milhões, tendo uma taxa média anual de crescimento de 4,1% (BRITO; HORTA *et al.*, 2002)

O crescimento da população urbana teve seu auge entre as décadas de 1950 e 1980, tendo as duas primeiras décadas do período maior impacto sobre o todo, apesar do restante, ainda assim, ser significativo.

Mesmo com a taxa de fecundidade se mantendo alta até a década de 1960, a maior parte do crescimento demográfico urbano pode ser explicado pelo fluxo migratório rural-urbano. Entre 1960 e 1980 este fluxo migratório foi responsável por aproximadamente 53% do crescimento da população urbana. Se forem considerados os filhos que esses imigrantes tiveram após sua chegada esse valor pode ser aumentado para 65%. (BRITO; HORTA *et al.*, 2002).

Essa migração pode ser observada pelo fato de que na década de 1940, aproximadamente, 47% da população urbana residia em cidades com menos de 20 mil habitantes, caindo para 19% em 2000. Em contrapartida, as cidades que possuíam entre 100 e 500 mil habitantes e com mais de 500 mil habitantes tinham 14,6% e 21,6%, respectivamente, em 1940 e em 2000, passaram a ter algo em torno de 25% e 32% (BRITO; HORTA *et al.*, 2002)

Essa ocupação urbana concentrada coloca o Brasil no mesmo contexto de países da América Latina, que sofrem com os chamados problemas urbanos, assim identificados (MMA e IBAMA, 2000):

- Crescimento desordenado e, por vezes, fisicamente concentrado.
- Ausência, ou carência, de planejamento.
- Demanda por recursos e serviços, de toda ordem, não atendidos.
- Obsolescência da estrutura física.
- Padrões de gestão atrasados.
- Agressões ao meio ambiente.

Alguns desses problemas urbanos são detalhados a seguir.

a) Ausência, ou carência, de planejamento urbano

A forma de urbanização que as cidades brasileiras seguiram foi altamente predatória. Na maioria das cidades não houve planejamento para a ocupação do solo e nem avaliações para definir quais áreas deveriam ser protegidas ou conservadas. Em diversos casos, não existiam, na época de implantação das cidades, os conceitos de proteção e preservação, nem a sua necessidade.

A ocupação das cidades era regulada somente pelo poderio econômico e utilitarista do mercado e da sociedade. Dessa forma, não havia uma preocupação de planejar a cidade com o intuito de preservar o meio ambiente ou regradar a ocupação de áreas de risco. A análise da expansão era baseada somente em aspectos técnicos que facilitassem a implantação de infraestruturas de saneamento ou transportes e formas de absorver o enorme contingente de pessoas que migraram do campo para a cidade.

Essa situação começou a se tornar insustentável devido à grande pressão sobre os recursos naturais. Os três fatores básicos para a crise gerada nos ambientes urbanos são: crescimento populacional, o crescimento da demanda de matéria e energia, e os resíduos gerados e lançados no meio ambiente.

Notou-se, então, a necessidade de estabelecer critérios objetivos de ocupação urbana para o regramento e controle do crescimento das cidades. Algumas cidades elaboraram seus planos diretores, mesmo antes da obrigatoriedade, seguindo os passos de cidades de países desenvolvidos.

O Estatuto das Cidades estipulou que cidades com mais de 20 mil habitantes devem aprovar um plano diretor de ocupação em um prazo de até cinco anos de sua aprovação, ou seja, em 2001. Pode-se considerar que esse prazo era amplo e suficiente para que todos os municípios executassem seus planos.

Porém, muitos municípios tiveram problemas para executá-los devido à troca de prefeitos, à falta de recursos ou conhecimento técnico, a dificuldades na contratação de consultorias especializadas. Sendo assim, o prazo foi estendido para 2008. A última pesquisa do Ministério das Cidades, em 2007, aponta que 36,2% dos 1.682 municípios com essa obrigatoriedade estavam com seus Planos Diretores aprovados, 49,8% estavam em desenvolvimento ou em aprovação e os restantes não estavam em elaboração ou não informaram os resultados (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

A legislação ambiental, também, é relativamente recente e em diversos aspectos sua aplicação em situações já estabelecidas é difícil. A sua instauração tardia não permitiu a correta proteção de áreas sensíveis. Pode-se citar nesse

exemplo o Código Florestal, que estabelece uma área de proteção permanente (APP), às margens dos corpos hídricos. As APPs são faixas de terra que devem permanecer preservadas, com matas ciliares, com o intuito de proteger os corpos hídricos, não podendo ser ocupadas e nem ter nenhuma atividade em seu interior.

Em áreas rurais, a aplicação dessa lei é facilmente alcançada, pois a ocupação das margens, ou a sua recomposição, é possível pela baixa densidade da ocupação e o menor custo de recuperação. Entretanto, em áreas urbanas, esta não é a realidade.

A não ocupação dessas áreas acaba resultando na ocupação irregular por pessoas que não possuem condições de adquirir um lote ou casa em uma área regular. A ocupação se inicia de forma clandestina e um dos seus fatores contribuintes é a vegetação que concilia os ocupantes.

Os diversos atrativos das áreas, como proximidade dos centros de trabalho e disponibilidade de terras, convidam mais moradores que não têm condições de se fixar em outros locais e a população local incha. A sua remoção é difícil, pois o contingente de pessoas é elevado, e o custo sociopolítico da retirada se torna impeditivo.

A clandestinidade da ocupação faz com que essas áreas não tenham nenhuma capacidade para receber infraestruturas. Como não existem normas de gabarito, afastamentos ou outras normas urbanísticas, o poder público, mesmo que queira, não consegue atender satisfatoriamente a população ali alocada, e esta começa a sofrer com constantes alagamentos, inundações, em consequência da falta ou inadequação da infraestrutura urbana.

Outro problema da não destinação da área de APP em regiões urbanas é que os governantes enxergam essas áreas como locais para expansão de outras infraestruturas urbanas, principalmente a de transportes. Na cidade de São Paulo, por exemplo, os rios Tietê e Pinheiros foram retificados e suas margens estão ocupadas com vias expressas para aliviar o trânsito. Diversos cursos d'água foram aterrados ou canalizados para permitir a construção de casas e avenidas sobre eles.

A recuperação ou reversão dessa situação, além de ter alto custo econômico, acarretaria diversos transtornos sociais à cidade (BARTALINI, 2009).

Estudos recentes de como adequar a legislação ambiental à situação urbana têm sido alvo de diversas discussões. Muitos projetos de lei foram apresentados para tentar adequar o uso de APPs em áreas urbanas. Além disso, o problema não pode ser resolvido sem ampla discussão popular acerca do tema. A maioria das discussões, entretanto, não contempla a eliminação das APPs em áreas urbanas e sim uma flexibilização de seu uso, proibido na legislação em vigor (ARAUJO, 2002; MIRANDA, 2008).

A ocupação de APPs ocorre, principalmente, em consequência da falta de planejamento para a cidade no longo prazo, que contemple a integração da urbanização, os transportes e outras infraestruturas, sendo as soluções adotadas para resolver um problema já instalado na cidade e que necessita de ação imediata. Apesar do elevado custo, diversas cidades ao redor do mundo já têm assumido o compromisso de recompor as margens dos rios urbanos para condições próximas às que existiam antes da ocupação. Para executar tais ações são necessários extenso planejamento e soluções alternativas para reduzir os custos sociais dessas obras. Ao término de tais ações, nota-se que os custos são recompensados pelo retorno ambiental, econômico e social à população.

b) Padrões de gestão atrasados

Em diversas cidades, a ausência de planejamento é um forte vetor de ocupações irregulares e degradação ambiental, entretanto este não é o único fator que deve ser analisado. Mesmo em cidades em que existe planejamento urbano consistente há problemas crônicos de ocupações irregulares por falhas na fiscalização e, também, por causa do ambiente político.

O sentimento de impunidade e descrença da população na fiscalização e controle do Estado sobre o território resulta dessas falhas, permitindo maior ocupação de áreas sensíveis e a consequente degradação do meio ambiente. O custo de recuperação dessas ações é muito maior que o custo de manutenção de uma estrutura física de fiscalização eficiente.

Como exemplo, pode-se citar o Distrito Federal. Brasília é uma cidade planejada, a sua ocupação foi tecnicamente bem elaborada e seria facilmente aplicável, pois não existiam demandas anteriores e, caso fosse feita a correta fiscalização, não se configuraria a ocupação fora das áreas permitidas.

Entretanto, durante o seu planejamento não foram levadas em consideração questões pertinentes, como o fato de que as pessoas que participaram da construção da Capital Federal não retornariam aos seus locais de origem. Em outras palavras, os trabalhadores da construção civil e as pessoas que migraram para o DF para dar suporte aos trabalhadores não iriam, ao término dos serviços, voltar para casa e abandonar as chances e oportunidades aqui criadas.

Com isso foram sendo formados diversos assentamentos e invasões fora do planejamento original. Esse fato forçou a criação de algumas cidades satélites antes do tempo previsto, que, segundo o planejamento oficial, deveria ocorrer somente após a completa ocupação do Plano Piloto.

Um exemplo próximo é a cidade satélite de Ceilândia. Criada como Campanha de Erradicação de Invasões (CEI), sofreu durante muitos anos com a criminalidade e o abandono do poder público. Após anos de instalação é que foi sendo criada a infraestrutura necessária à melhor qualidade de vida da população, e, mesmo quando implantada, a abrangência dos equipamentos não era plena ou a sua implantação não era completa.

Outro exemplo recente é a ocupação da Colônia Agrícola Vicente Pires, projetada inicialmente como área agrícola para abastecimento do Plano Piloto e entorno com alimentos produzidos localmente. A área foi criada no fim dos anos de 1980, com 358 chácaras de tamanhos variáveis de 2 a 4 hectares e uma ocupação em torno de 2 a 3 mil pessoas.

Atualmente, a área está ocupada com mais de 70 mil habitantes. Os lotes que foram cedidos aos proprietários pelo poder público, por uma cessão de direito de uso, foram subdivididos e vendidos pelos ocupantes. Apesar de não serem donos efetivos da área, a procura foi intensa, os danos ambientais severos e os ganhos financeiros dessas pessoas foram elevados.

Recentemente, diversas casas foram demolidas por estarem dentro dos raios determinados pela legislação ambiental como Área de Proteção Permanente, seja das margens dos córregos seja de nascentes. Mesmo assim, houve vários protestos e problemas durante a execução dos serviços e, principalmente, na recuperação das áreas ocupadas, que nunca retornam a sua configuração original.

Apesar dessa ação, os impactos da ocupação irregular são sentidos em áreas distantes, como é o caso do Lago Paranoá, que sofre com o assoreamento causado pelo carreamento de sólidos gerados pela ocupação de Vicente Pires (ADASA, 2009).

Outro problema relacionado a padrões de gestão atrasados é que a política e o planejamento do sistema urbano e as políticas de implantação de infraestruturas são feitas e executadas de forma fragmentada e desconexa. O sistema de abastecimento de água é planejado e executado por secretaria/agência diferente da que planeja e executa o sistema de coleta de águas pluviais, que, por sua vez, é diferente da que planeja e executa o sistema viário, o sistema de distribuição de energia elétrica, as obras e assim por diante.

O planejamento da implantação dos sistemas é feito setorialmente e, em geral, desconsidera o planejamento dos outros setores, causando diversos problemas, como o asfaltamento de avenidas antes da instalação de sistemas de saneamento, o que acarretará outros problemas na época da implantação destes. Assim, para que se possam instalar as infraestruturas de saneamento será preciso destruir a via e depois reconstituí-la, aumentando, consideravelmente, os custos e os transtornos.

Frequentemente, o planejamento urbano não é respeitado e as concessionárias ficam sem orientação para elaborar uma programação de ocupação consistente e conseguir planejar seus investimentos coerentemente para atender a demanda de determinada área.

Nos sistemas de distribuição de energia elétrica, por exemplo, considerando uma ocupação menos densa da população em determinada área, a concessionária dimensiona a instalação de equipamentos para atender a essa demanda, não suportando aumento repentino de demanda causado pela divisão desordenada de

lotes. Essa ação demanda planejamento de investimento no local para ampliar a infraestrutura para atender esse aumento.

Uma situação recorrente em sistemas de drenagem urbana é que o projeto não leva em consideração as possibilidades de expansões futuras e acabam por projetar somente para a situação existente, ou de curto e médio prazo. Dessa forma, a posterior expansão da cidade, a jusante ou a montante do ponto planejado, pode forçar um colapso da rede de drenagem urbana e acarretar prejuízos à população e à cidade.

Uma tendência que tem se configurado nos países desenvolvidos é o tratamento do efluente pluvial em estações de tratamento de esgotos, adaptadas para tal fim, ou dentro da própria rede de drenagem pluvial por meio de bacias de detenção adaptadas para propiciar um tratamento semelhante ao de lagoas de estabilização, biorretenção ou tratamentos químicos.

c) Obsolescência da estrutura física existente

A visão política desenvolvimentista e fragmentada dos governantes e a falta de visão sistêmica do ambiente a ser ocupado acarretam situações insustentáveis na gestão urbana, como as tecnologias de infraestruturas inadequadas à realidade em que foram inseridas ou o uso de tecnologias obsoletas.

Como exemplos citam-se, novamente, os sistemas de drenagem pluvial implantados na maioria das cidades brasileiras, os quais não estão mais em uso em diversos países desenvolvidos desde a década de 1970 devido aos problemas que eles acarretaram ao meio ambiente e ao ambiente urbano (TUCCI, 2003).

As premissas desses sistemas não permitem um crescimento urbano de forma sustentável e precisam ser alteradas. Para tanto, é necessário alterar a forma de planejar sistemas de drenagem urbana desde as universidades, para que os novos profissionais não se formem com uma mentalidade e conhecimento desatualizados.

Autores brasileiros, como Tucci, Pômpeo e Canholi, têm proposto há várias décadas o uso das tecnologias de compensação adotadas nos países

desenvolvidos. Cabe ressaltar que essas propostas já se encontram defasadas, em alguns casos, devido às revisões sofridas por esses dispositivos nos países em que são adotadas. Os países desenvolvidos têm feito adaptações em suas instalações para melhorar, ainda mais, as condições do lançamento dos efluentes em corpos hídricos, incorporando o tratamento destes, o reaproveitamento de água, e ações que permitem, também, mitigar o efeito de ilhas de calor nas cidades. Essas alterações também propiciam melhor recomposição dos ecossistemas afetados.

A adoção de tecnologias ultrapassadas no Brasil ainda é regra geral, continuamente são contratados projetos para a recuperação das situações causadas pela implantação desses sistemas, ou pior, sua implantação parcial, cujo potencial é mais devastador do que a implantação completa de um sistema tradicional.

Como exemplo da obsolescência dos sistemas destaca-se que em 2005, como parte de um projeto da Novacap, foram executados sete Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (Prads) todos eles referentes a implantação inadequada de sistemas de drenagem pluvial no Distrito Federal, ou a não implantação de sistema algum.

Um dos Prads foi elaborado para o Setor O, na Ceilândia, com o intuito de recuperar uma voçoroca de, aproximadamente, 7 km de extensão, causada pela instalação incompleta de um sistema de drenagem pluvial.

Todo o sistema de coleta tinha sido executado, mas o lançamento final não foi concluído, lançando os efluentes em uma área inadequada que ao longo dos anos, devido às condições topográficas locais, formou uma voçoroca que chegava a ter 22 m de profundidade e 23 m de largura em seu trecho mais crítico.

O investimento usado na instalação desse sistema de drenagem urbana, somado aos custos da recuperação ambiental necessária devido a sua não conclusão, e à degradação ambiental, que é de difícil contabilização, tendem a ultrapassar os custos de implantação de um sistema sustentável de drenagem urbana, incluindo neles os de implantação do sistema, manutenção dos equipamentos e dos possíveis incentivos fiscais.

1.4 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE O MEIO FÍSICO

A implantação de assentamentos urbanos em qualquer área altera inevitavelmente o seu aspecto natural. Mesmo que feita de forma ordenada, a urbanização afeta todos os recursos naturais presentes, desde a fauna e a flora até os recursos hídricos, a qualidade do ar e, até mesmo, o microclima e os regimes de ventos.

As vocações do meio físico nem sempre são consideradas durante a implantação de uma cidade. A principal preocupação é a possibilidade de suprimento das necessidades humanas, sendo o meio físico moldado substancialmente de forma a supri-las.

A capacidade de transformação do ambiente físico por ocupações humanas na criação de seu espaço social é de grande vulto e magnitude, e, diversas vezes, muito maiores que o necessário para suprir as necessidades básicas e diretas, como proteção de intempéries e provimento de benefícios como alimentação, saneamento e transporte. Essa transformação é um dos principais problemas causados pelas ocupações urbanas (RIBAS, 2003).

Geralmente, a cidade é vista como um sistema fechado e somente as ações internas a ela devem ser analisadas. O planejamento das ocupações desconsidera aspectos ambientais e os impactos causados pela modificação do ambiente, tanto interna quanto externamente à cidade.

Essa consideração não poderia estar mais equivocada, pois, para adaptar o meio natural aos seus desígnios, o homem retira dele matéria e energia para suas atividades e lhe devolve produtos e resíduos. Essa retirada e devolução de resíduos nem sempre ocorrem na área interna à cidade. Assim, uma cidade não pode ser analisada como um sistema fechado, ela depende de outras áreas, seja para fornecer matéria-prima para suas atividades seja para destinar os resíduos delas resultantes (MOTA, 1981).

Uma cidade deve ser considerada como um ecossistema composto de dois sistemas principais, interrelacionados e interdependentes, o **natural**, que contém o

meio físico e biológico, é o que supre as necessidades biológicas, essenciais à sobrevivência da população urbana e que contemplam a água, o ar, o espaço, a energia etc.; e o **sistema cultural**, que supre as necessidades culturais, abrangendo a organização político-administrativa, composta do sistema econômico e das necessidades como transporte, educação, saúde etc. (MOTA, 1981).

Segundo Mota (1981), compete ao ser humano a ocupação ordenada do solo de forma que o ambiente físico seja racionalmente utilizado, proporcionando um ambiente urbano equilibrado (MOTA, 1981).

Reis (1996 *apud* RIBAS, 2003) ressalta as distorções causadas pelo processo de urbanização brasileiro na formação das cidades como: a) urbanização acelerada, b) concentração crescente, c) escala excepcional do processo, d) agravamento das desigualdades sociais e espaciais (REIS, 1996 *apud* RIBAS, 2003).

Em consonância com o acima listado, nota-se que o modelo de gestão urbana existente tem se mostrado incapaz de prover à população as infraestruturas necessárias, como saneamento, transportes, saúde e educação, por falta de recursos ou problemas legais.

Geralmente, a população urbana de baixa renda é a que está mais exposta aos problemas gerados pela degradação ambiental, caracterizando-o como socioambiental. Essa exposição é consequência direta da falta de oportunidades e conhecimento dessa parcela da população.

Entretanto, esses problemas não podem ser vinculados somente à população de baixa renda, pois grande parte deles incute riscos a todos e são produzidos pela parcela da população com maior poder aquisitivo (RIBAS, 2003).

Segundo Wilhelm, existe uma sequência de acontecimentos que podem ser observados em diversos assentamentos brasileiros. Inicialmente, ocorre o **desmatamento**, fator inevitável para a ocupação urbana, entretanto ocorre indiscriminadamente e sem uma política adequada de arborização ou implantação de parques (WILHEIM, 1993 *apud* MOTA, 2003).

Após o desmatamento, seguem as ações de **terraplenagem** que são necessárias para o preparo e parcelamento dos terrenos. A terraplenagem arrasa a drenagem natural do terreno e aumenta o carreamento de resíduos sólidos para os corpos hídricos. Em seguida, ocorre a **erosão** que deforma o solo e assoreia os rios.

A falta de espaço em determinadas cidades levou o poder público a aprovar **aterros** em áreas costeiras e lacustres, e até mesmo a ocupação de **várzeas** em áreas de inundações dos rios, submetendo a população alocada ao flagelo de inundações periódicas.

A legislação e o poder público também foram permissivos com as ocupações irregulares. O déficit habitacional brasileiro pressionou o meio ambiente na ocupação irregular de áreas que deveriam ser preservadas; encostas, topos de morro e áreas ripárias foram ocupadas indiscriminadamente. Durante épocas de chuvas intensas, essas áreas são atingidas com deslizamentos e enchentes.

Em abril de 2010, mais de 100 pessoas morreram e 1.400 ficaram desabrigados no estado do Rio de Janeiro em consequência das chuvas que ocorreram na região. Segundo informações da Defesa Civil, de dezembro de 2009 a janeiro de 2010, mais de 70 pessoas morreram e 22 mil se encontram desabrigadas no estado de São Paulo. Em 2008, mais de 135 pessoas morreram e 37 mil ficaram desabrigadas ou desalojadas no estado de Santa Catarina (DIÁRIO CATARINENSE, 2008; FOLHA ONLINE, 2010; MARCHEZI; TRINDADE *et al.*, 2010).

Além dos impactos causados pelas enchentes, ocorrem outros fatores, como elevação da temperatura, impermeabilização excessiva, mudanças nos regimes de chuvas, concentração da poluição do ar, do solo da água e sonora, bem como depredação de áreas externas à cidade para suprir as necessidades de construção da malha urbana (MOTA, 2003).

1.5 FATORES RESPONSÁVEIS PELAS INUNDAÇÕES URBANAS

Vários fatores contribuem para ocorrência de inundações urbanas, desde alterações climáticas que afetam a formação de nuvens e a forma de precipitação,

eventos climáticos globais até a ocupação irregular de áreas inundáveis pela população.

Naturalmente, existem flutuações na precipitação, o tempo em que o homem monitora as precipitações é muito curto em relação ao tempo em que estas ocorrem no globo. É impossível prever, com exatidão, qual a precipitação de determinada área, tendo em vista que os registros históricos não representam nem um milionésimo dos eventos que já ocorreram na Terra.

Essa imprecisão dos dados, mesmo assim, não impede que estes sejam usados no dimensionamento das redes de drenagem urbanas, mas são fatores que podem causar o colapso do sistema, caso ocorra um evento periódico de grande magnitude que não esteja incluído no período monitorado.

Esses registros históricos são importantes para que se possa estimar como se comportam as chuvas em algumas áreas. Mesmo não sendo possível afirmar qual a vazão máxima de uma área, podem-se estimar e dimensionar os sistemas e equipamentos de drenagem com base na média histórica.

Barros (2005) cita diversos fatores contribuintes para a ocorrência de inundações urbanas:

- O aumento do escoamento superficial para um mesmo índice de precipitação devido à impermeabilização descontrolada da superfície e à ocupação de áreas prioritárias para a recarga de lençóis freáticos torna o sistema projetado obsoleto.
- Aumento do quantitativo de sedimentos carregados pelas águas pluviais, Esses sedimentos são provenientes da erosão de solos desmatados para o parcelamento do solo e resultam do lançamento de resíduos sólidos e lixo nos canais de drenagem, que entopem e reduzem sua capacidade de escoamento.
- Os Planos Diretores não consideram as características hidráulicas da bacia e não inserem em seu conteúdo regras de ocupação e impermeabilização que permitam controlar a ocupação urbana.

- A construção de obras de arte, tais como viadutos e pontes sobre córregos, não respeita as características destes e podem causar obstruções ao escoamento.
- A inexistência de legislação específica para a drenagem urbana, e, quando existe, não permite a correta fiscalização e o controle das ocupações e obras irregulares;
- A área de abrangência dos projetos é definida erroneamente, ao não considerar a bacia hidrográfica, transferindo a vazão e, conseqüentemente, as inundações de uma cidade para outra.
- A falta de informações hidrológicas confiáveis atrapalha o dimensionamento do sistema.
- A inexistência de um órgão gestor e coordenador especificamente da drenagem, ficando a gestão pulverizada em diversos órgãos que não trabalham de forma coordenada.
- Eventos hidrometeorológicos extraordinários, acima do risco assumido para a obra projetada.

Em sua análise, os fatores que mais contribuem para a ocorrência de inundações são a falta de planejamento urbano, a ocupação desordenada e falta de controle do poder público. A Figura 1.2 mostra os impactos causados pela urbanização na divisão da água precipitada sobre o solo em dois cenários, o natural e o urbanizado.

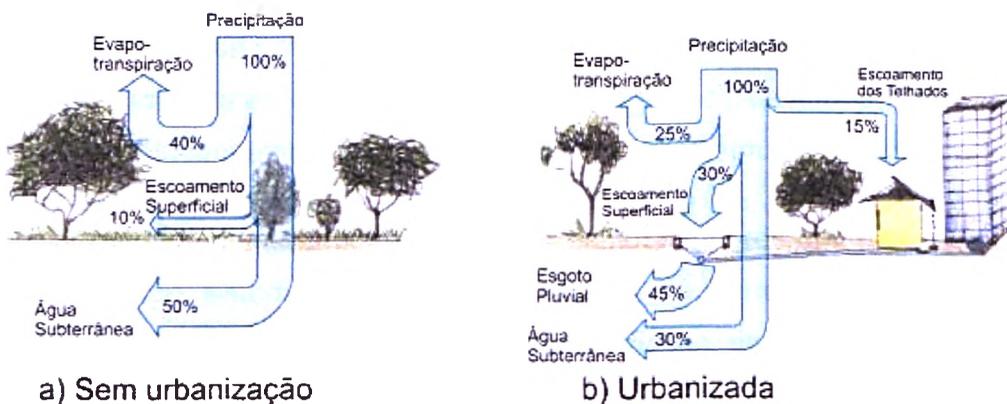


Figura 1.2: Divisão da água precipitada em dois cenários, adaptada de Tucci e Orsini (2005).

Infere-se que o correto planejamento e o controle sobre as ocupações urbanas podem contribuir, em grande parcela, para a melhoria do ambiente urbano, pois propiciará uma ocupação regulamentada que permitirá resguardar a população de eventos críticos, como deslizamentos e inundações, além de promover melhoria no ambiente natural ao resguardar áreas de preservação e amortecimento de eventos críticos.

1.6 OUTROS FATORES A SEREM CONSIDERADOS

Há uma dificuldade intrínseca de desenvolver diretrizes gerais para garantir a sustentabilidade das cidades, principalmente pelas suas peculiaridades regionais. Entretanto, uma análise mais detalhada aponta para tendências de problemas ambientais comuns, assim como uma nova abordagem de políticas de desenvolvimento que considerem aspectos ambientais e sociais.

A sustentabilidade do desenvolvimento urbano deve abordar aspectos diversos: a ocupação irregular dos solos, a construção de parques para preservação ambiental e lazer dos habitantes, a impermeabilização excessiva gerada com a ocupação humana, a disfunção organizacional da cidade que acarreta congestionamentos e alargamento das vias, a deposição final de lixo em espaço adequado, o tratamento de esgotos, o aumento da segurança, a oferta de emprego, a solidariedade e a civildade da sua população, a ocupação de áreas públicas de forma adequada, a educação e conscientização ambiental da população, entre outros (MMA e IBAMA, 2000).

As cidades de porte médio no Brasil ainda não têm os mesmos problemas das grandes metrópoles, mas os problemas existentes nelas devem ser observados para que se possa, em tempo, prever soluções para um eventual crescimento.

Tais medidas podem partir da criação de planos diretores que destinem áreas para expansão do sistema viário, para a criação de corredores exclusivos de transporte público ou de massa, áreas para a criação de parques, normas de densidade, loteamentos e ocupações do solo.

Diversas cidades de pequeno porte sofrem com a migração excessiva para as cidades médias e grandes, e com o considerável atraso tecnológico de suas infraestruturas e serviços. Em cidades que contam com patrimônio histórico cultural, podem haver conflitos entre a manutenção desse patrimônio e a pressão exercida pelo poder econômico para ocupação e exploração dessas áreas.

Em muitos casos, ocorre descuido do poder público com a conservação desse patrimônio, como é o caso de Salvador em que boa parte de casarões históricos tombados estão em estado deplorável de conservação e põem em risco a vida dos seus habitantes.

Em cidades que possuem patrimônios naturais, algumas sofrem com a sazonalidade da demanda por infraestrutura, pois, geralmente, sua população chega a decuplicar nas temporadas. Esse aumento repentino de população colapsa a rede de infraestrutura tendo em vista que esta não foi planejada para receber tal contingente de pessoas.

Normalmente, ocorrem falhas no abastecimento de água e energia elétrica, enormes congestionamentos, falta de suprimentos e degradação significativa do ambiente. Nos casos em que a cidade suporta esse aumento sazonal, o custo de ampliação dos sistemas de infraestrutura é pago, geralmente, somente pelos moradores.

Apesar de o aporte de recursos dos turistas ser considerável para o comércio, o rebaixamento da qualidade de vida põe em risco a sustentabilidade do local pelo gradual abandono dos turistas, que passam a frequentar outros locais por causa da falta de condições que o ambiente degradado passa a ter (MMA e IBAMA, 2000).

Segundo o Relatório Cidades Sustentáveis (2000), as principais questões intra-urbanas que afetam a sustentabilidade das cidades brasileiras são:

- Acesso a terra e déficit habitacional.
- Saneamento Ambiental.
- Transporte e Trânsito.
- Emprego.

Apesar de serem complementares e inter-relacionados, somente será abordada nesta análise, mais profundamente, a questão do saneamento por ser o aspecto mais afeto a esta dissertação.

O saneamento no Brasil possui grandes discrepâncias em relação aos seus serviços. Cerca de 91% da população urbana possuía sistemas de abastecimento de água em 2003, entretanto, nesses domicílios não existem informações sobre quais recebem água de forma contínua, ou com qualidade adequada para o consumo (BRASIL, 2006).

A rede coletora de esgotos teve uma cobertura teoricamente ampla, cerca de 75% dos domicílios urbanos possuem coleta de esgotos. Entretanto, da mesma forma que no abastecimento de água, essa informação é parcial e não indica qual o percentual dos esgotos coletados tratado adequadamente ou encaminhado à destinação correta. Segundo o Caderno Setorial de Saneamento do Plano Nacional de Recursos Hídricos, apenas 35% dos esgotos coletados são tratados, mesmo que de forma inadequada (BRASIL, 2006).

A rede de coleta de resíduos sólidos parece ser a de melhor atendimento entre os serviços de saneamento, pois cerca de 96% dos resíduos sólidos produzidos no meio urbano possuem coleta. Entretanto, nesse índice não são informados a frequência da coleta, o tipo de destinação e como são manejados os resíduos especiais. O aspecto mais preocupante é o da destinação dos resíduos, pois cerca de 21% dos resíduos sólidos coletados são depositados em vazadouros a céu aberto (BRASIL, 2006).

No tocante às redes de drenagem urbana, 79% dos municípios possuem rede de drenagem pluvial, sendo a maioria feita por sistema separador absoluto (em que a drenagem pluvial e o esgoto sanitário correm separadamente). Cabe ressaltar que, mesmo em um sistema separador, absoluto existem cruzamentos entre as redes que reduzem a eficiência de ambos. Mesmo com esse percentual de rede de atendimento, o impacto da drenagem urbana ainda é alto no meio ambiente, como será visto no próximo capítulo (BRASIL, 2006).

Do total de internações em hospitais públicos ou licenciados, mais de 65% delas são decorrentes da falta de saneamento básico. Com essa informação, fica claro que o investimento em saneamento tem efeito direto no sistema de saúde. Estima-se que, a cada R\$4,00 investidos em saneamento, são economizados R\$10,00 em internações hospitalares. Leptospirose, malária, esquistossomose, dengue, leishmaniose e cólera são exemplos de doenças relacionadas à falta de saneamento ou a enchentes (CORDEIRO, 1995 *apud* MMA e IBAMA, 2000).

Fica evidente que o planejamento urbano é um instrumento importante no tocante à sustentabilidade urbana, tendo que levar em consideração aspectos ambientais, sociais e econômicos de forma integrada para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável.

1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Muitos aspectos estão envolvidos na sustentabilidade urbana, e a drenagem pluvial é somente um dos que devem ter sua sistemática de implantação modificada. Uma mudança no paradigma de planejamento urbano, de modo global, é necessário para o alcance da sustentabilidade urbana. Não é possível continuar a planejar sistemas de forma desconexa como tem sido adotado atualmente.

A ocupação urbana de uma região deve ser planejada, com o estabelecimento de metas e estudos anteriores à sua implantação, permitindo que se façam as adequações necessárias às infraestruturas urbanas. Apesar de ser um cenário ótimo, essa não é a realidade brasileira.

Conforme a análise realizada foi verificado que a urbanização brasileira ocorreu de forma muito rápida e não permitiu que o poder público respondesse de forma adequada a suas exigências. O poder público está sempre instalando equipamentos para atender a demanda atual sem ter tempo, ou subsídios, para planejar e estudar a demanda futura, e quando o faz, pode não haver vontade política de implementá-la, pessoal devidamente equipado e aparelhado ou mão de obra suficiente para o serviço.

A incapacidade do poder público de acompanhar o ritmo de crescimento das grandes cidades, seja por volume restrito de capital para investimentos, seja por insuficiência de técnicos capacitados para promover o planejamento e a fiscalização, seja pela velocidade de expansão acelerada ou mesmo falta de vontade política, acabou por criar um passivo, tanto de infraestrutura quanto ambiental, que não pode ser ignorado.

A instituição do planejamento e da fiscalização do ambiente urbano contribuiria substancialmente para a sua melhoria. A instauração de uma entidade institucional forte para o controle e o gerenciamento da ocupação urbana e dos sistemas urbanos de forma integrada contribuiria para alcançar este objetivo. A economia gerada pela implantação do saneamento poderia ser suficiente para operacionalizar essa instituição e garantir um ambiente urbano sadio e equilibrado.

Os impactos gerados pelas ocupações urbanas não podem mais ser ignorados e tratados com descaso. A escala dos problemas ambientais está alcançando um volume elevado e o custo de reparação está próximo a um ponto sem retorno, em que, mesmo que se consiga não degradar mais o meio ambiente, as medidas não seriam suficientes para impedir o colapso do sistema.

Não é possível discorrer mais como seria o ambiente ideal de planejamento, por exemplo, em um local fictício ou a ser implantado futuramente. É necessária uma metodologia que permita a sua aplicação tanto às situações futuras quanto às existentes. O objeto desta dissertação trata de uma metodologia de planejamento para os sistemas de drenagem urbana com o enfoque principal na drenagem urbana, ressalta-se que existem diversos pontos de integração com outras políticas que afetam o meio urbano.

2 DRENAGEM URBANA: BASE COMPARATIVA

Neste capítulo serão abordados temas relativos à drenagem urbana e sua comparação com um sistema natural de escoamento pluvial. Como é planejada a drenagem urbana tradicional, quais são suas premissas e os principais benefícios e problemas acarretados com a sua implantação serão também aqui estudados.

Serão demonstradas algumas características do escoamento superficial natural, que servirão de base de comparação para analisar as diferenças entre a drenagem urbana tradicional (DUT) e a drenagem urbana sustentável (DUS).

Na análise da DUT serão tratados tópicos de como é feito o dimensionamento dos sistemas e os impactos gerados após a sua implantação. Essa análise irá subsidiar a comparação entre os sistemas de DUT e de DUS. Após a explanação do sistema da DUT, serão analisados os benefícios e problemas do sistema.

2.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL NATURAL

A análise dos sistemas de drenagem urbana realizou-se a partir de uma base comparativa que apontasse características vantajosas ou desvantajosas em relação à dinâmica do ambiente natural. A literatura indica diversos impactos causados ao meio ambiente pela urbanização, entretanto neste tópico há o propósito de delimitar os aspectos qualitativos e quantitativos de um ambiente pré-urbanizado para, com isso, poder afirmar quais os métodos de manejo das águas pluviais urbanas que causam menor impacto ao meio ambiente.

Em um ambiente urbanizado, a dinâmica de interceptação e escoamento da precipitação é diferente da que ocorre em um ambiente natural, ainda não afetado pela ação antrópica. No meio ambiente original, a precipitação é interceptada pela vegetação, pelos solos e pelos corpos hídricos, e escorre pela superfície até evaporar, infiltrar ou interceptar um corpo hídrico.

No solo, a parte da precipitação que ocupa as camadas subsuperficiais tende a contribuir para o ciclo hidrológico com a evaporação, a transpiração pela vegetação,

o escoamento superficial e a infiltração, onde parte da água passa a alimentar os lençóis freáticos e, por percolação, flui para alimentar cursos de água, fontes ou trechos inferiores, podendo atingir os aquíferos em camadas mais profundas.

Nas situações em que a precipitação acontece sucessivamente em curtos períodos de tempo, ocorre a saturação do solo. Começa, então, a se formar uma massa de água que permite o escoamento sobre a superfície dos solos, vencendo depressões e obstáculos.

Esse escoamento, inicialmente, é laminar, difuso e lento. Ocorre, normalmente de cotas mais elevadas para cotas mais baixas e, à medida que escoam, vai moldando o solo, cria caminhos preferenciais de escoamento das águas, pequenos regatos e talvegues. Ao atingir os talvegues, o escoamento tem comportamento mais próximo ao que ocorre em um canal. As águas desses canais naturais vão se juntando até formarem um curso de água de maior porte.

As copas das árvores interceptam as precipitações e retardam o seu escoamento, a água escoam pela copa, depois pelo tronco e, posteriormente, fica armazenada entre as raízes, onde infiltra e é absorvida pelas plantas para depois ser evapotranspirada. A água que fica retida em depressões no solo tende a infiltrar e abastecer os lençóis freáticos e os aquíferos mais profundos; parte dessa água evapora para a atmosfera.

A água que escoam superficialmente e subsuperficialmente nos lençóis freáticos são as principais responsáveis pela variação do nível dos rios. Já as águas que escoam subsuperficialmente nos aquíferos profundos se encarregam da manutenção do nível dos cursos d'água em períodos de estiagem. O esquema da Figura 2.1 representa este tipo de escoamento.

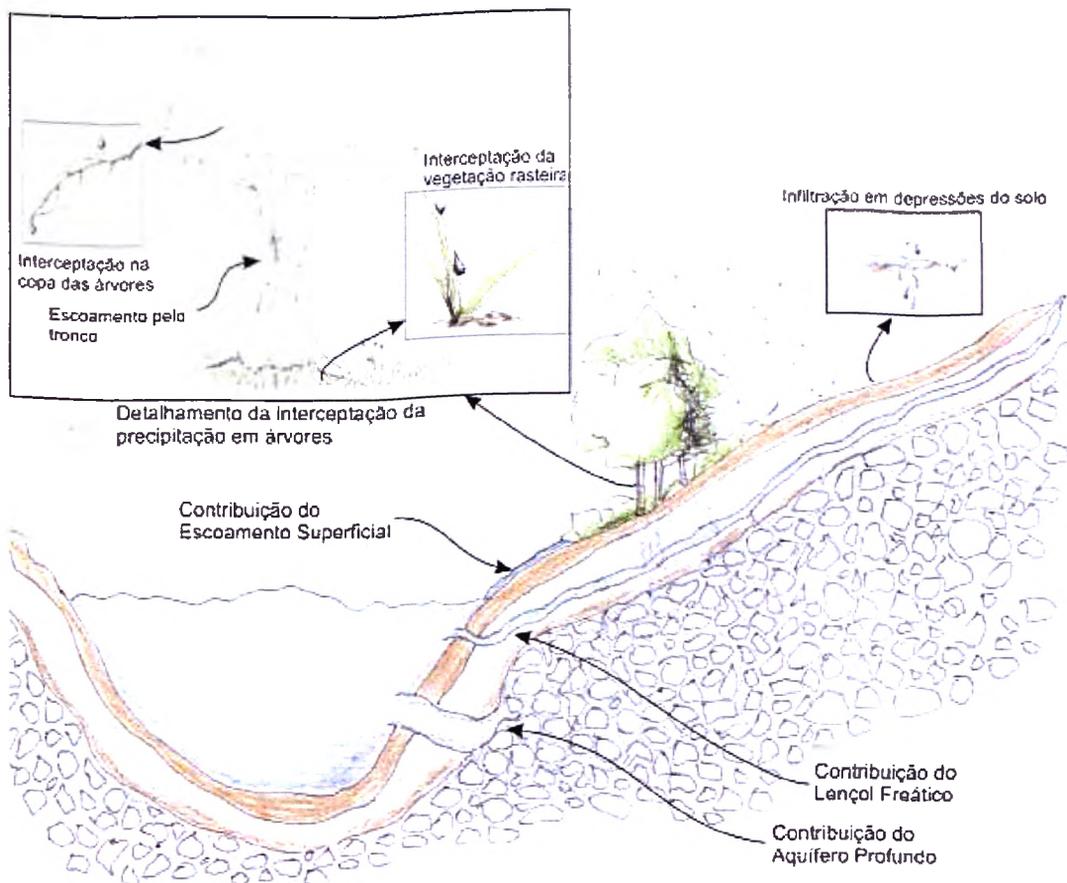


Figura 2.1: Detalhes do escoamento natural.

Essa configuração possibilita diversos processos naturais que garantem a manutenção do ecossistema, como a evaporação, a absorção pela vegetação, a transpiração, a ingestão da água por animais e a infiltração. Cada um desses processos compõe o ciclo hidrológico, mostrado esquematicamente na Figura 2.2.

A água da infiltração é essencial na recarga dos aquíferos subterrâneos, que, por sua vez, são os principais responsáveis pela manutenção dos níveis dos rios e lagos durante épocas de estiagem.

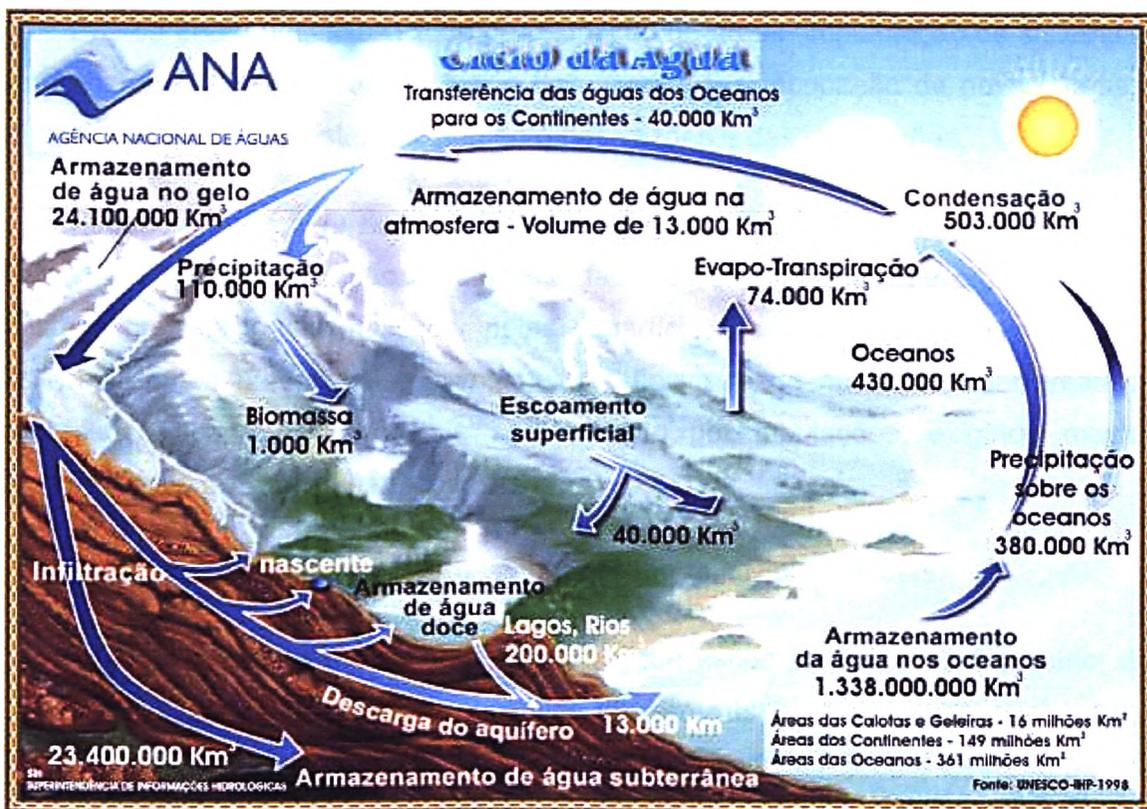


Figura 2.2: Esquema do ciclo Hidrológico (ANA, 2007).

2.2 DRENAGEM URBANA TRADICIONAL

A metodologia de concepção da drenagem urbana tradicional é baseada em alguns preceitos ultrapassados, como projetar sistemas que permitam o rápido escoamento da precipitação pluviométrica, a concentração dos volumes e vazões, e o lançamento pontual dos efluentes coletados nos corpos receptores. Essas premissas causam impactos de elevada intensidade no meio ambiente que, com a expansão do tamanho das cidades, se tornam sistemas insustentáveis no longo prazo.

Segundo Tucci (2005), a Drenagem Urbana Tradicional, da forma que ainda é atualmente praticada e adotada no Brasil, segue dois princípios errôneos:

- a) A drenagem mais eficiente é a que transfere a vazão precipitada para a jusante o mais rápido possível.
- b) A microdrenagem e a macrodrenagem são projetadas por trechos sem um enfoque global e avaliação de impactos e consequências.

Cria-se então um ciclo vicioso de ocupação de áreas, implantação de sistemas de drenagem, aumento das vazões e das inundações, ocupação de novas áreas, implantação de novos sistemas, aumento das vazões e das inundações.

Segundo Tucci e Orsini (2005), a impermeabilização de solos por telhados, ruas, calçadas, compactação do solo etc. faz com que a água, que anteriormente infiltrava no solo, passe a escoar pelas superfícies impermeáveis e condutos do sistema. Com a urbanização, o volume que ficava retido no solo, nas plantas e depressões acaba por escoar e ser coletado por tubulações, exigindo maior capacidade do sistema para escoar a água.

Ocorrem, assim, as seguintes conseqüências iniciais e diretas:

- a) Durante a precipitação, a vazão que escoar para os rios é superior à natural, elevando o seu nível de forma brusca, causando enchentes, carreando resíduos sólidos e contaminando as águas. Esse aumento pode ser seis a sete vezes ao da vazão natural (TUCCI, 2003).
- b) Os níveis dos lençóis freáticos são reduzidos e, conseqüentemente, o nível dos rios no período de estiagem, podendo acarretar racionamentos em algumas cidades.
- c) Redução da evapotranspiração devido ao escoamento rápido das águas e pequena retenção no solo e nas plantas.
- d) Os custos das soluções estruturais adotadas podem ser até dez vezes superiores ao de outras soluções de compensação e amortização de vazões na fonte (TUCCI, 2003).

A cidade de São Paulo é um exemplo disso. O Tietê, principal rio da capital paulista, teve sua calha alterada diversas vezes ao longo dos anos. Os primeiros projetos nesse sentido datam do final do século XIX. Em menos de um século, as vazões de pico do canal do Tietê aumentaram mais de seis vezes, conforme pode ser visto na Tabela 2.1. O aumento da população de 200 mil habitantes no início do século XX para quase 17 milhões no início do século XXI, o crescimento urbano caótico e a escalada da impermeabilização foram fatores primordiais nesse resultado (BARROS, 2005).

Tabela 2.1: Vazões do Projeto do Canal do Rio Tietê entre as pontes Bandeiras e Osasco.

Ano do Projeto	Vazão (m³/s)
1894	174
1925	400
1968	650
1986	1.148

Fonte: DAEE (1999 *apud* BARROS, 2005).

A Tabela 2.2 mostra, em um estudo preliminar, as vazões esperadas no leito do Tietê, caso ocorra o mesmo tipo de ocupação desordenada nas áreas de cabeceira como ocorreu no restante da bacia. Nota-se que as vazões praticamente dobram em um período de no máximo 10 anos (BARROS, 2005).

Tabela 2.2: Distribuição de vazão de projeto em diferentes seções ao longo do curso do Tietê em São Paulo.

Trecho	Vazão do Tietê com o cenário atual (m³/s)	Vazão do Tietê com o cenário crítico em 2020* (m³/s)
Penha	498	1060
Foz do Cabuçu de Cima	561	1190
Foz do Aricanduva	640	1450
Foz do Tamanduatei	997	2020
Foz do Pinheiros	1048	2170
Foz do Barueri	1188	2560
Edgard de Souza	1434	2680

Fonte: DAEE (1999 *apud* BARROS, 2005).

Além desses problemas, as canalizações podem ser feitas sem os cuidados ambientais, resultando em alterações, e até mesmo inversões, no sentido do escoamento natural das águas de uma região, lançando sobre um corpo hídrico a vazão que antes iria para outro, aumentando bastante a vazão no primeiro e tendendo a reduzir a vazão no segundo.

Essa situação foi abordada por Christofidis em artigos publicados em 2004 e 2006. O autor faz a comparação dos corpos hídricos com o corpo humano, citando que o corpo hídrico pode emagrecer quando adutoras subtraem vazões significativas de água de mananciais e não a devolvem imediatamente.

Um corpo hídrico pode ser considerado obeso quando ocorre nele descarga excessiva de água, em geral, proveniente de períodos de chuvas intensas. A enfermidade ocorre quando são lançados no corpo hídrico resíduos que fazem com

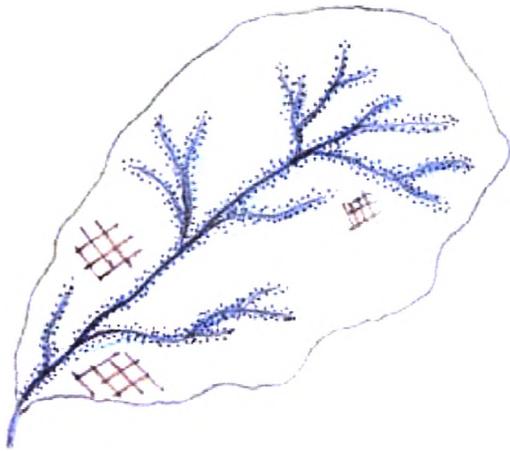
ele reduza, e até perca, sua capacidade de manter a vida. Outra situação apontada se refere ao aborto do corpo hídrico, resultado da degradação e destruição de nascentes e matas ciliares, ou áreas de recargas de aquíferos. Essas ações não permitem que os lençóis freáticos e aquíferos sejam recarregados definhando e morrendo com tempo (CHRISTOFIDIS, 2004; 2006).

A vazão lançada pelos sistemas de drenagem urbana tradicional pode ser considerada como uma overdose. O volume de água lançado é maior que a capacidade que o corpo hídrico pode suportar e a água lançada possui qualidade inferior, adoecendo o corpo hídrico.

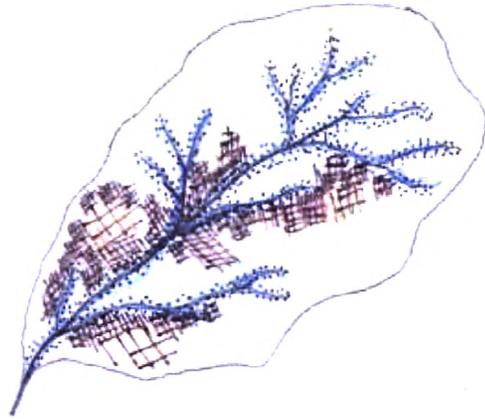
Uma situação muito comum na ocupação de cidades brasileiras é a representada na Figura 2.3 em que se observam dois estágios distintos. No primeiro, a cidade sofre com inundações constantes. São áreas geralmente ocupadas por pessoas de baixa renda devido ao baixo valor da terra, e zonas de risco por estarem sujeitas às constantes inundações. O poder público, na maioria dos casos de forma errônea e com visão parcial do problema, resolve canalizar e retificar os cursos de água como sendo uma solução para reduzir a frequência de inundações, estabilizar as suas margens e proteger a população.

Essa ação cria a falsa sensação de segurança. As áreas que apresentavam alto risco de alagamento e cujas terras deveriam estar disponíveis para serem ocupadas pelas águas em situações de elevação dos níveis dos rios passam a ser percebidas como áreas seguras e acabam sendo valorizadas e ocupadas com edificações de uso nobre. A população de baixa renda ali alocada é expulsa e busca outras áreas na bacia para ocupar, normalmente, a montante da cidade.

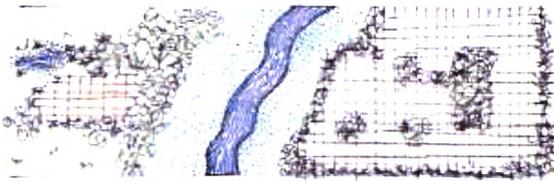
Essa ocupação acarretará o aumento da vazão e inundações freqüentes provocando o colapso da ampliação da calha feita anteriormente, pois esta foi dimensionada com a área a montante não urbanizada.



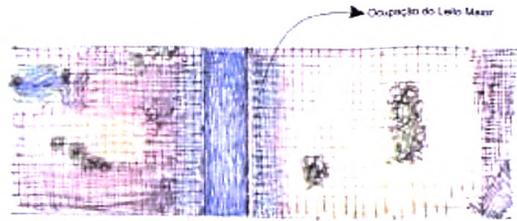
a. Bacia no 1º estágio



c. Bacia desenvolvida



b. Área de inundação no 1º estágio



d. Área de inundação ocupada.

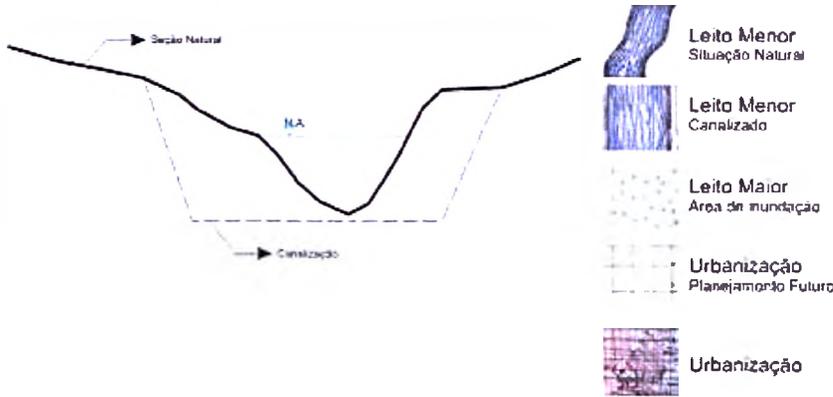


Figura 2.3: Esquema apresentando o impacto de um projeto de sistema de drenagem com expansão urbana posterior, adaptada de Tucci e Orsini (2005).

No intuito de evitar novas inundações, a solução da drenagem urbana tradicional é ampliar os canais existentes, mas como as áreas laterais aos vales dos corpos hídricos encontram-se ocupadas só resta aos agentes públicos implementar projetos que levem a aprofundar os canais de escoamento dos cursos de água. Os custos desse tipo de ação são extremamente elevados, chegando a US\$50 milhões/km, e crescem exponencialmente com a expansão urbana (TUCCI e BERTONI, 2003).

Outro aspecto significativo relacionado com o modelo de drenagem urbana tradicional diz respeito à contaminação das águas pluviais e ao carreamento de resíduos sólidos, de diversas origens, pelo sistema. Tucci (2003) cita os principais fatores de poluição resultantes do aumento da capacidade de carreamento dos sistemas de drenagem em uma cidade:

- a) Poluição existente no ar que é precipitada junto com a chuva.
- b) Lavagem das superfícies urbanas contaminadas com metais e componentes orgânicos.
- c) Resíduos sólidos, representados por elementos erodidos carreados e lixo urbano.
- d) Esgoto cloacal não coletado, que escoar nas ruas ou é ligado clandestinamente ao sistema de drenagem urbana.

Os três primeiros itens podem causar contaminação superior à decorrente de esgoto cloacal nos primeiros instantes de uma tormenta. A situação somente tem melhorias significativas após os primeiros 25 mm de lâmina de precipitação, pois estes carreiam os resíduos que estavam depositados sobre telhados, calçadas e vias.

A presença de resíduos sólidos na rede de drenagem é responsável por obstruções no escoamento, podendo acarretar entupimento de estruturas e causar inundações, bem como poluição difusa por resíduos não coletados pelo órgão responsável, pelos excrementos de animais no meio urbano, pela poluição causada pelo carreamento de sólidos como solo e inseticidas, herbicidas e metais pesados presentes em áreas urbanas (CHAMPS, 2009).

Os poluentes que ocorrem nas áreas urbanas variam muito, desde compostos orgânicos até metais pesados altamente tóxicos. Alguns poluentes são resultantes de produtos usados para diferentes funções no ambiente urbano como inseticidas, fertilizantes, chumbo, óleos provenientes de vazamentos e desgastes de componentes de veículos, fuligem da queima de combustíveis e processos industriais. Esses poluentes podem ser encontrados nas superfícies lavadas pelas

águas pluviais, os quais, por meio das galerias de águas pluviais, são lançados nos corpos hídricos receptores, geralmente sem tratamento (TUCCI, 2005).

Os mecanismos estruturais componentes da drenagem urbana tradicional são subdivididos em duas grandes categorias, a microdrenagem e a macrodrenagem. A primeira é a responsável pelo escoamento superficial, pela coleta e concentração dos escoamentos nas vias públicas, em sarjetas e em condutos até atingirem as redes de macrodrenagem. Estas, por sua vez, são responsáveis pelo transporte e lançamento dos escoamentos pluviais nos corpos d'água, ou são intervenções nos próprios corpos hídricos.

Microdrenagem

Os sistemas de microdrenagem são definidos pelas atividades de captação dos escoamentos de superfície por meio de uma infraestrutura que abrange toda a malha viária de uma cidade. Seus principais componentes são as vias públicas, as sarjetas, os meios fios, as bocas de lobo, as galerias e os poços de visita. Outros elementos compõem este sistema, mas são acessórios e usados pontualmente para resolver situações específicas (BIDONE e TUCCI, 1995; CHAMPS, 2009).

No dimensionamento dos componentes do sistema de microdrenagem, são levados em consideração diversos parâmetros, que tendem a serem orientadores durante a urbanização futura, destacando-se:

- a) Densidade habitacional.
- b) Taxa de impermeabilização.
- c) Destinação da área.
- d) Declividade do terreno.
- e) Densidade de vias e loteamentos.
- f) Cobertura do solo.
- g) Intensidade de chuva.

Caso a área esteja urbanizada, alguns parâmetros ficam mais facilmente identificados por um levantamento de campo. Geralmente, os parâmetros já estão

preestabelecidos nos planos diretores ou políticas de ocupação urbana, quando existentes.

Nos traçados e dimensionamentos de projetos de microdrenagem, as áreas analisadas são subdivididas em microbacias que envolvem o projeto de urbanismo, geralmente com áreas inferiores a 2 km², possibilitando que seja utilizado o método racional de determinação de vazões de escoamento. Essa metodologia é adotada em áreas urbanas que possuem altos coeficientes de impermeabilização, pois possui resultados satisfatórios e bem próximos da realidade e simplifica o cálculo de diversas situações.

Os princípios admitidos por essa metodologia são:

- a) A duração da precipitação máxima é igual ao tempo de concentração da bacia, o que só pode ser assumido em bacias pequenas.
- b) O coeficiente de perdas é único para toda a bacia, e estimado com base nas suas características.
- c) Não são avaliados os volumes de cheias nem a distribuição temporal das vazões.

$$A Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Equação 2.1 mostra como é calculado o Método Racional, em que “Q” é a vazão em m³/s; “C” é o coeficiente de escoamento; “I” é a intensidade da chuva em mm/h e “A” é a área da bacia em km² (BIDONE e TUCCI, 1995, p. 85).

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Equação 2.1: Método Racional

Para usar essa metodologia, cabe explicar alguns termos aqui usados. A *intensidade* de uma chuva é a altura de água precipitada, a medida comum é mm/min de chuva e representa a lâmina de água que precipita em um m² de área em um minuto. Ou seja, 14 mm de chuva é equivalente a 14 mm de água sobre um metro quadrado de área por minuto, o que corresponde a 140 litros de água por minuto. É simples propagar isso sobre uma cidade. Considerando o limite máximo

da metodologia do método racional, ou seja, 2 km², calcula-se que, com uma chuva de 14 mm/min, foram precipitados 56 milhões de litros de água por minuto.

Na determinação da *intensidade da chuva* de um projeto, é necessário conhecer o *tempo de concentração* da bacia, definido como o tempo em que a água que precipita no ponto mais distante de uma determinada bacia leva para atingir o ponto exutório, ou de controle desta.

Iguala-se o *tempo de concentração* à duração da precipitação máxima para adquirir, em uma curva Intensidade-Duração-Frequência a *intensidade* de chuva. Esta *intensidade* de chuva é baseada em uma equação predeterminada para a região em análise. Ressalta-se que quanto maior o *tempo de concentração*, menor a *intensidade*.

O *coeficiente de escoamento* determina uma relação entre a quantidade de água que precipita e a que escoar em uma área com um determinado tipo de cobertura de solo. Quanto mais impermeável for a cobertura do solo, maior será esse coeficiente.

Em uma área gramada, por exemplo, esse coeficiente tem valor máximo de 0,30, e em regiões asfaltadas chega a 0,80, ou seja, uma área asfaltada possui uma vazão de escoamento duas a três vezes maior do que a de uma área gramada.

Isso fica claro no exemplo citado por Bidone e Tucci (1995, p.90-91) em que é mostrado o cálculo de uma mesma área em condição rural e após a sua urbanização, na qual a área foi 65% impermeabilizada. Na primeira situação, o tempo de concentração é de 25,78 minutos e a vazão de escoamento final é de 7,56 m³/s. Após a urbanização, o tempo de concentração foi reduzido para 5,48 minutos e a vazão de escoamento final subiu para 24,28 m³/s.

Esse aumento de vazão pode ser explicado por diversos fatores, mas o principal se deve às parcelas de água que deixam de infiltrar no solo ou evapotranspirar. O tempo de concentração é reduzido devido às características da cobertura do solo. Em solos naturais, a água encontra depressões onde fica acumulada, ou encontra dificuldades para seu escoamento em áreas com vegetação

mais densa; já no asfalto, ou concreto, esse escoamento tende a ocorrer mais depressa por não sofrer obstruções, vez que é esse um dos objetivos dos sistemas de drenagem tradicionais.

Além disso, a intensidade da chuva considerada em cada situação é diferente devido à redução do tempo de concentração. Mesmo assim, nota-se que ocorre aumento significativo na vazão, aproximadamente, três vezes, com uma redução no tempo de concentração para menos de um quarto do tempo que anteriormente acontecia em um meio natural.

Após ser determinada a vazão de projeto, passa-se à próxima etapa que é o dimensionamento hidráulico das galerias, redes coletoras, sarjetas e bocas de lobo. Ao aumentar a vazão de escoamento de forma tão significativa, é necessário adotar diâmetros de tubulações maiores para conseguir escoar o volume de água coletado pelo sistema, o que eleva cada vez mais as vazões e exige maiores comprimentos de redes de águas pluviais para possibilitar os lançamentos em uma rede de macrodrenagem adequada.

Com posterior urbanização ou aumento da área impermeabilizada, é necessário ampliar o sistema de drenagem, sendo procedidos novamente a todos esses cálculos, com novos parâmetros. Caso seja necessário aumentar o diâmetro dos condutos, a solução é substituir as redes existentes; então tudo é destruído e reconstruído, com custos elevados, tanto economicamente quanto socialmente, além dos transtornos e impactos ambientais advindos dessas intervenções.

Essa metodologia tradicional de executar a drenagem urbana é até hoje amplamente divulgada em cursos de engenharia em matérias que compreendem o dimensionamento de redes de drenagem urbana. É uma metodologia muito utilizada, pois simplifica os cálculos e permite o dimensionamento mais direto das infraestruturas de drenagem urbana, mas apresenta o inconveniente de não considerar todo o sistema.

A sua aplicação fragmenta a cidade em pedaços pequenos e fáceis de gerir individualmente. Em um projeto grande, é possível fazer a integração dessas áreas, mas à medida que projetos vão sendo elaborados em momentos e espaços distintos

da cidade, a tendência é que eles desconsiderem tanto o que já foi projetado quanto o que poderá ser ocupado no futuro.

Macro drenagem

Os mecanismos de macro drenagem são destinados ao escoamento de grandes vazões e são responsáveis pelo recebimento dos efluentes da micro drenagem. São caracterizados pelos canais naturais e galerias por onde escoam os cursos d'água, tais como córregos, ribeirões e rios que cortam o meio urbano. Estes podem ser retificados ou canalizados, assim como podem ser usados canais artificiais especialmente construídos para este fim. Também são considerados componentes da macro drenagem os equipamentos de regularização de cheias (CHAMPS, 2009).

A retificação ou canalização de rios visa aumentar a capacidade hídrica de escoamento dos leitos juntamente com a necessidade de contenção das vazões em uma tentativa de evitar que o transbordamento dos rios cause danos às propriedades e aos equipamentos instalados nas suas margens. Além disso, a canalização e retificação de rios tendem a reduzir o tempo de concentração dos picos de cheias e a escoar o excedente mais rapidamente, retirando do âmbito urbano a enchente, transferindo-a para áreas a jusante da cidade, que sejam capazes de absorver esse excesso de água.

Outros benefícios que os técnicos tentam alcançar com a retificação é a organização das margens dos cursos de água para o desenvolvimento de atividades humanas ou a instalação de equipamentos urbanos, como vias expressas. Geralmente, são instalados em áreas que anteriormente eram a zona de amortecimento das enchentes, ou planícies de inundação, terrenos que tinham baixo valor imobiliário e que após as obras de contenção e drenagem ganham valor com a falsa segurança que essas obras propiciam.

Além dos impactos hidrológicos negativos que ocorrem nas cidades que estão a jusante, ocorrem impactos negativos no âmbito ecossistêmico. Em estudos feitos

por Brooks, nos Estados Unidos, e Binder, na Europa, estimou-se que 75% a 80% dos peixes locais desapareceram após a retificação de rios (Brooks, 1988 e Binder, 1996 *apud* SAUNDERS e REZENDE, 2003).

Vantagens e Desvantagens da Drenagem Tradicional

É muito difícil dissociar as vantagens desse tipo de sistema das suas desvantagens, pois um determinado aspecto pode ser considerado, tecnicamente, como uma vantagem e, ambientalmente, como desvantagem. Exemplo disso pode ser dado a seguir com a descrição dos principais impactos do sistema tradicional de drenagem urbana.

a) Tempo de Concentração Reduzido

- i. Do ponto de vista técnico e local, esta é uma **vantagem** do sistema, pois o escoamento das águas pluviais ocorre de forma veloz, causando menor transtorno para a população da região onde o sistema está instalado. Essa vantagem é tanto maior quanto mais a montante estiver essa região no sistema como um todo, pois não será tão atingida por enchentes.
- ii. Na ótica sistêmica e ambiental, é uma **desvantagem**, pois, ao reduzir o tempo de escoamento, a tormenta atinge os corpos hídricos mais rapidamente, e com grande volume. Naturalmente um corpo hídrico não está preparado para receber uma descarga tão elevada repentinamente, podendo ter suas margens erodidas e comprometer os seus ecossistemas. Sistemicamente esse acréscimo de velocidade de escoamento atinge as áreas mais a jusante no sistema que não possuem condições de escoar as águas que ali precipitam em conjunto com as vazões de áreas a montante dela, causando um colapso no sistema e enchentes constantes, mesmo em eventos pequenos.

b) Concentração de Vazões

- i. Do ponto de vista técnico, é uma **vantagem**, pois todo sistema de coleta possui uma lógica de concentração para facilitar o projeto e reduzir os custos com dissipação da energia, tratamento ou lançamento final em um único ponto.
- ii. Na perspectiva ambiental, é uma **desvantagem**, a vazão anterior à ocupação urbana era escoada de forma difusa e lenta, atingindo o corpo receptor em diversos pontos. Com volumes baixos, a concentração da vazão acarreta um dano elevado, pois descarrega todo o volume de água coletada em um único ponto. Como não consegue escoar toda a vazão, acaba por ter suas margens erodidas ou destruídas, prejudicando também a infiltração e a recarga dos lençóis freáticos.

c) Lançamentos Pontuais

- i. É uma **vantagem**, do ponto de vista técnico, pois podem ser previstas estruturas de dissipação de energia em um só local e a manutenção pode ser facilitada.
- ii. Na ótica ambiental, é uma **desvantagem**, porque o escoamento natural ocorre de forma difusa e lenta. Com o lançamento pontual, há aumento do volume de água em um ponto exclusivo da bacia e a descarga ocorre muito rapidamente. O ecossistema natural fica prejudicado, pois perde a capacidade de absorção da vazão da chuva.

d) Redução da Infiltração

- i. As **vantagens** técnicas na redução da infiltração de água nos solos são a maior estabilidade dos terrenos destinados aos diversos interesses produtivos e a redução da contaminação do solo por metais pesados ou poluição difusa.
- ii. Entre as **desvantagens** podem-se citar redução do nível dos lençóis freáticos e das vazões de estiagens dos rios, diminuição da capacidade de armazenamento de água no solo por maior compactação e da vegetação nativa por falta de água no solo, bem como degradação dos ecossistemas aquáticos, perda de biodiversidade devido à redução de áreas úmidas.

Há inúmeros casos de impactos ambientais decorrentes da forma não holística que tem sido adotada no sistema de drenagem urbana tradicional no Brasil, e no Distrito Federal, em particular.

A Foto 2.1 apresenta os impactos ambientais de um lançamento de drenagem pluvial com vazões superiores àquelas que correspondem à capacidade natural do leito do Córrego Guará, no Distrito Federal. Como pode ser visto nessa foto, o aumento repentino da vazão e a concentração do volume de água foram causadores do colapso do solo no local, erodindo as margens do córrego e assoreando seu leito.

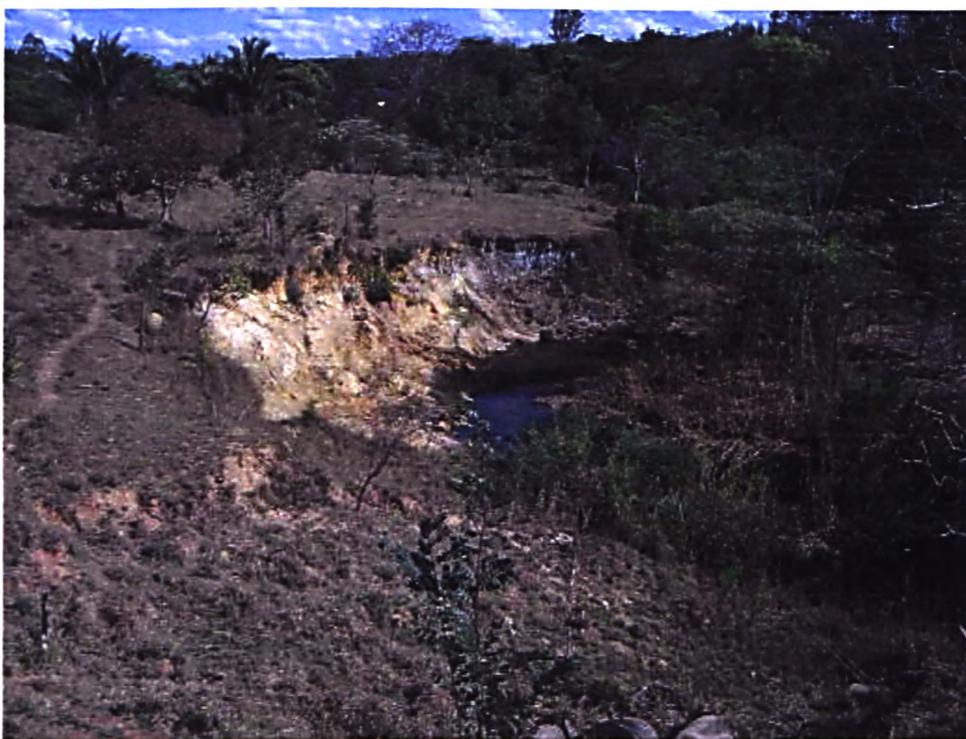


Foto 2.1: Córrego Guará, trecho próximo à EPGU, onde se vê a degradação resultante de lançamentos acima da capacidade de escoamento da sua calha natural (CHRISTOFIDIS, 2009a).

A Foto 2.2 apresenta um dos processos de recuperação adotados nas margens no Córrego Samambaia na altura do cruzamento com a Estrada Parque Vicente Pires, no Distrito Federal. Nesse local, a solução parcial adotada acarretou a falsa impressão de que houve contenção do volume de água, mas ocorreu somente a estabilização das margens com a adoção de muros de gabião. O volume de água ainda é elevado em consequência da canalização e lançamento da drenagem.

Segundo informações de moradores locais, a degradação após a recuperação do trecho é significativa em decorrência da elevada vazão a jusante e tem causado erosão das margens do córrego após o trecho estabilizado.



Foto 2.2: Córrego Samambaia no cruzamento com a EPVP (CHRISTOFIDIS, 2009b).

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Conforme a análise realizada, os métodos de cálculo e dimensionamentos de redes urbanas de drenagem tradicional são limitados, porém continuam a serem adotados em diversos locais do país. As premissas utilizadas passam a acarretar impactos de elevada intensidade no meio ambiente e nos ecossistemas.

A falta de pessoal técnico especializado, a existência de estruturas político-administrativas inadequadas, o desconhecimento da dinâmica das enchentes, e as falhas dos programas de educação ambiental no trato de tais aspectos junto a população, são os principais fatores que influenciam significativamente as decisões que persistem e que levam à implantação da drenagem urbana sob o modelo tradicional.

As características do método de dimensionamento apresentado impedem um planejamento mais amplo e integrado de diversas áreas. A necessidade de tratar pequenas áreas facilita e induz o uso de áreas de forma desconexa e dissociada, potencializando os problemas causados pela falta de uma gestão integrada e adequada, favorecem o alto custo das obras e a existência de chances maiores de corrupção.

Técnicas e tecnologias têm sido difundidas desde a década de 80 do século XX para a alteração dos paradigmas que envolvem a drenagem urbana para soluções sustentáveis.

Com os programas computacionais, hoje disponíveis, as simulações tendem a se aproximar cada vez mais da forma de comportamento do meio natural. Tecnologias de sensoriamento remoto, imagens de satélite, softwares de georreferenciamento e computadores com capacidades de cálculos crescentes apresentam elevado potencial para permitir um planejamento mais eficiente e completo, adotando métodos mais complexos que permitem melhor manejo sobre todo o sistema.

O sistema tradicional de drenagem adota como premissas básicas o rápido escoamento da água precipitada para uma área adjacente a jusante para que reduza o risco de inundação da região a ser atendida. Entretanto, desconsidera completamente os efeitos dessa rápida retirada de vazão sobre as demais áreas e resulta em um ciclo vicioso de externalizar os prejuízos à sociedade, degradar o meio ambiente e internalizar os lucros aos empreendedores urbanos.

O planejamento e a execução de sistemas de forma fragmentada e dissociada, técnica e politicamente; a falta de visão de um ambiente sistêmico e interligado e a não participação popular nas soluções adotadas e na manutenção do sistema são características intrínsecas a essa metodologia.

Observa-se que esse tipo de drenagem pluvial, em um primeiro instante, pode trazer economia no âmbito financeiro e social por causa dos baixos custos das áreas de implantação e pelo fato de que os sistemas resolvem temporariamente o problema. Entretanto, com a crescente urbanização, os custos de ampliação e de

manutenção passam a se tornar inviáveis, se comparados com outras medidas ou técnicas. Além disso, os impactos ambientais são significativamente superiores.

3 DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Definir o que é drenagem urbana sustentável não é simples, pois não compreende somente um aspecto do sistema, mas um conjunto de medidas, estruturais e não estruturais, que tem o objetivo de compensar os impactos da urbanização com alternativas que visam aumentar a infiltração da água pluvial no solo, reduzir os picos de cheia, retardar o escoamento pluvial aumentando o tempo de concentração, reduzir o aporte de partículas sólidas aos corpos hídricos receptores, possibilitando a regularização das vazões, a manutenção da qualidade das águas, melhorando o meio ambiente e proporcionando uma melhora significativa do ambiente urbano.

Segundo Pompêo (2000) o termo **drenagem urbana sustentável** é recente, pois a percepção da degradação ambiental generalizada e o questionamento dos hábitos e estilos de desenvolvimento baseados em uma exploração irracional da natureza têm sido o cerne de inúmeras discussões e propostas para a sobrevivência do homem nas últimas quatro décadas. Nesse contexto, um dos tópicos de análise é a drenagem urbana

A sustentabilidade associada à drenagem urbana exige a quebra do paradigma existente. A introdução de uma nova forma de direcionamento das ações que reconheça a **complexidade das relações entre o sistema urbano artificial, a sociedade e o ambiente natural** é necessária (POMPÊO, 2000).

Um dos fatores de degradação do meio ambiente é a implantação de sistemas de drenagem pluvial da forma tradicional, que são altamente impactantes ao meio físico e apresentam reflexos severos no meio biótico. Essa degradação ambiental é causada pela busca do conforto da população urbana, dos menores custos de implantação e pela solução de um problema de forma rápida. Porém, esse objetivo não é alcançado por completo, exatamente, por causar a degradação do ambiente natural.

Nos países desenvolvidos, tais inconvenientes foram percebidos no início da década de 1970 e os projetistas se convenceram de que deveriam alterar a forma de planejar sistemas de drenagem pluvial em ambientes urbanos a fim de aumentar a sustentabilidade das cidades. Nasceu então a idéia da drenagem urbana sustentável e modelos baseados em Melhores Práticas de Gestão, ou *Best Management Practices*, BMPs (TUCCI, 2003).

Outra denominação comum da drenagem urbana sustentável é a de desenvolvimento de baixo impacto ou *low impact development* (LID), que abrange as mesmas ações já destacadas. Atualmente, as propostas feitas na década de 1970, já estão sofrendo revisões com o objetivo de utilizar novas estruturas ou medidas para ampliar os benefícios e reduzir os problemas causados pela sua implantação. Alguns sistemas que atenderam plenamente ao propósito para o qual foram planejados ou tiveram de ser atualizados devido à mudanças nas ocupações urbanas, objetivos do sistema ou da legislação ambiental.

Segundo Champs (2009), desde o início de 1980, a engenharia de drenagem urbana passou por significativas mudanças. Os conceitos adotados foram atualizados e inovações tecnológicas foram incorporadas, trazendo grande avanço para os procedimentos de planejamento e gestão de águas pluviais. Os serviços de drenagem foram incorporados aos serviços de saneamento, uma exigência das boas práticas de gestão das águas urbanas.

"...os serviços urbanos de drenagem passaram a adotar técnicas de inclusão de águas pluviais na paisagem urbana ao preconizar a manutenção dos cursos d'água em seus leitos naturais, ou seja, não adotar a canalização de escoamento rápido". (CHAMPS, 2009).

3.1 PRINCÍPIOS DA DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Esses princípios foram compilados de uma série de estudos e trabalhos consultados (SCHUELER, 1987; TUCCI; PORTO *et al.*, 1995; MOFFA; GOEBEL *et al.*, 2000; POMPÊO, 2000; TUCCI, 2003; CANHOLI, 2005; EPA-EUA, 2005; MOTA, 2005; TUCCI, 2005; TUCCI e ORSINI, 2005; SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007; CHAMPS, 2009).

Ressalta-se que eles não são, nem pretendem ser, exaustivos, podendo ser atualizados à medida que novas percepções ou tecnologias vierem a ser descobertas ou desenvolvidas.

- a) **Não ampliação da cheia natural:** é uma das principais medidas da drenagem urbana sustentável. Este princípio governa todo o planejamento e as estruturas do sistema sustentável de drenagem urbana. Para sua aplicação são necessários estudos de compatibilização de vazões da drenagem pluvial com as vazões naturais dos corpos hídricos receptores, estudos da vazão anteriormente infiltrada, escoada, e empenho na recuperação da dinâmica que ocorria anteriormente à urbanização.
- b) **Prioridade dos mecanismos naturais de escoamento:** a ocupação urbana e os sistemas de drenagem deverão priorizar o uso de mecanismos naturais de escoamento, como infiltração, superfícies gramadas etc., que são áreas de retenção do escoamento e promotores de infiltração naturais.
- c) **A bacia hidrográfica como unidade de planejamento:** é a principal base e unidade de planejamento, devendo o planejamento urbano municipal obedecer às determinações de toda a bacia. Devem ser avaliados os impactos causados em toda a sua extensão e as soluções adotadas devem mitigar os efeitos adversos e sua propagação para que não atinjam outras cidades, reduzindo, assim, as externalidades negativas das ocupações urbanas.
- d) **Medidas de controle no conjunto da bacia:** a adoção de um conjunto de medidas estruturais e não estruturais coerentes e que possam ser implantadas em todas as áreas da bacia hidrográfica, até mesmo em diferentes municípios.
- e) **Controle permanente:** por ser composta de diversos mecanismos, estruturais e não estruturais, são necessárias fiscalização atuante e manutenção constante, que irão proporcionar o correto funcionamento do sistema. Esse controle pode ser feito exclusivamente pelo Estado, ou contar com participação da população afetada.

- f) **Educação ambiental:** a educação de engenheiros, arquitetos e outros profissionais envolvidos, da população e de administradores públicos é essencial para que as decisões sejam tomadas conscientemente.
- g) **Tratamento do escoamento pluvial:** é uma ação importante a fim de não acarretar poluição aos corpos hídricos receptores. Permite a redução dos impactos ambientais causados pelo carreamento de substâncias tóxicas pelo sistema de drenagem.

Conforme foi delimitado, a drenagem urbana sustentável pode ser definida como: *o conjunto de medidas que visam a manter as condições pluviais de uma ocupação urbana próxima, ou igual, à que existia antes da sua ocupação e que permita a recuperação ambiental de ambientes anteriormente degradados.* Mesmo não englobando a totalidade das ações que envolvem a drenagem urbana sustentável, essa definição é abrangente, e sucinta, o suficiente para delimitar o seu principal escopo.

3.2 ELEMENTOS

Apesar de a drenagem urbana tradicional e a drenagem urbana sustentável possuírem muitos elementos em comum, tais como condutos e alguns métodos de dimensionamento, a segunda pode ser considerada como uma evolução da primeira tanto do ponto de vista tecnológico quanto ambiental e filosófico.

Devido a essa interação entre as duas, é possível atualização das infraestruturas hídricas existentes para um novo sistema, mas isso será abordado no próximo capítulo. Neste tópico, serão tratadas as soluções adotadas pela drenagem urbana sustentável para atualização e otimização do sistema tradicional de drenagem.

Segundo Champs (2009), uma política nacional de drenagem urbana deve fomentar uma atualização tecnológica permanente para esse sistema, destacando-se:

- Desenvolvimento de técnicas compensatórias à impermeabilização do solo urbano.

- Conhecimento da relação chuva/vazão pelo estabelecimento de uma rede de monitoramento hidrometeorológico.
- Implantação de um sistema de alerta de inundações e gestão de riscos.
- Desenvolvimento de métodos de elaboração de projetos de drenagem com base em modelos computacionais.
- Desenvolvimento de critérios de avaliação da eficácia das estruturas.
- Implantação de estruturas não convencionais de tratamento de efluentes para o tratamento de poluição difusa.
- Adoção de técnicas de retenção/detenção.

Nota-se que entre as atualizações tecnológicas citadas a maioria se insere dentro dos mecanismos de drenagem urbana sustentáveis. Essas soluções são consideradas, por alguns especialistas, padrão para controle dos impactos causados pela urbanização nos corpos hídricos, no âmbito da drenagem pluvial e escoamento superficial das águas urbanas. Já as soluções de controle e tratamento destacadas são as que atualmente têm sido adotadas nos países desenvolvidos.

Destaca-se, novamente, que os equipamentos, os mecanismos e as soluções aqui abordados não exaurem as possíveis soluções que podem ser adotadas e são, meramente, exemplos de soluções normalmente adotadas por órgãos internacionais ou indicados em casos específicos. Foi feita uma compilação desses equipamentos com base na leitura dos trabalhos consultados (SCHUELER, 1987; TUCCI; PORTO *et al.*, 1995; MOFFA; GOEBEL *et al.*, 2000; POMPÊO, 2000; TUCCI, 2003; CANHOLI, 2005; EPA-EUA, 2005; MOTA, 2005; TUCCI, 2005; TUCCI e ORSINI, 2005; SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007; CHAMPS, 2009).

Primeiramente, distinguiremos duas formas de controle. As que envolvem construção de estruturas e intervenções em infraestruturas hídricas existentes são intervenções **estruturais**, e as que ficam no campo de elaboração de normas, legislação ou regras de ocupação são consideradas **não estruturais**.

Medidas Estruturais

Tal qual na DUT, na DUS existem redes de micro e macrodrenagem, e conseqüentemente, soluções, que, apesar de complementares, são mais adequadas a cada uma delas. Normalmente, são classificadas como soluções individuais ou difusas e soluções coletivas, com três instâncias de aplicação: a) no interior de loteamentos, b) na microdrenagem e c) na macrodrenagem.

Julgou-se por bem não incluir nesta dissertação uma discussão profunda dos mecanismos de compensação, pois estes já foram amplamente discutidos em diversas obras. Optou-se por apresentar o agrupamento dessas medidas em conjuntos específicos, de acordo com as funções principais que desempenham.

É notável que, muitas vezes, as funções dos mecanismos se enquadram em mais de uma categoria, promovendo, por exemplo, o retardo do escoamento e a infiltração, entretanto estes estão classificados conforme sua função prioritária no sistema. Serão apresentadas algumas soluções somente com o intuito de demonstrar os seus efeitos e melhor exemplificar o sistema (TUCCI; PORTO *et al.*, 1995; MOFFA; GOEBEL *et al.*, 2000).

Retardamento do escoamento

Conforme mencionado, um dos impactos causados pela urbanização é a redução do tempo de concentração da bacia, acarretando o rápido escoamento das águas. Para sanar esse problema podem ser adotadas soluções que aumentem o tempo de concentração, a fim de dificultar ou retardar o escoamento superficial. Algumas medidas adotadas com tal propósito ajudam o sistema ao reduzir o volume imediato de escoamento e podem servir de pré-filtro para a água pluvial.

As principais soluções adotadas para aumentar o tempo de concentração são associadas ao controle na fonte, no início do escoamento, como o uso de curvas de nível com seixos e areia ou telhados verdes em casas ou edifícios.

O uso de telhados verdes acarreta redução na velocidade de escoamento, ao mesmo tempo em que permite uma primeira filtragem da água precipitada. Essa

tecnologia pode reduzir em até 60% o pico de cheias em uma bacia, se adotada em larga escala (MILLER, 2009).

Além das vantagens significativas ao sistema de drenagem, essa solução, se adotada em larga escala, permite a diminuição da temperatura interna das edificações, reduzindo os custos de climatização e a área de reflexão de irradiação solar, e, conseqüentemente, as ilhas de calor. A Foto 3.1 mostra essa solução em um projeto piloto no teto de uma academia de esgrima na Filadélfia.

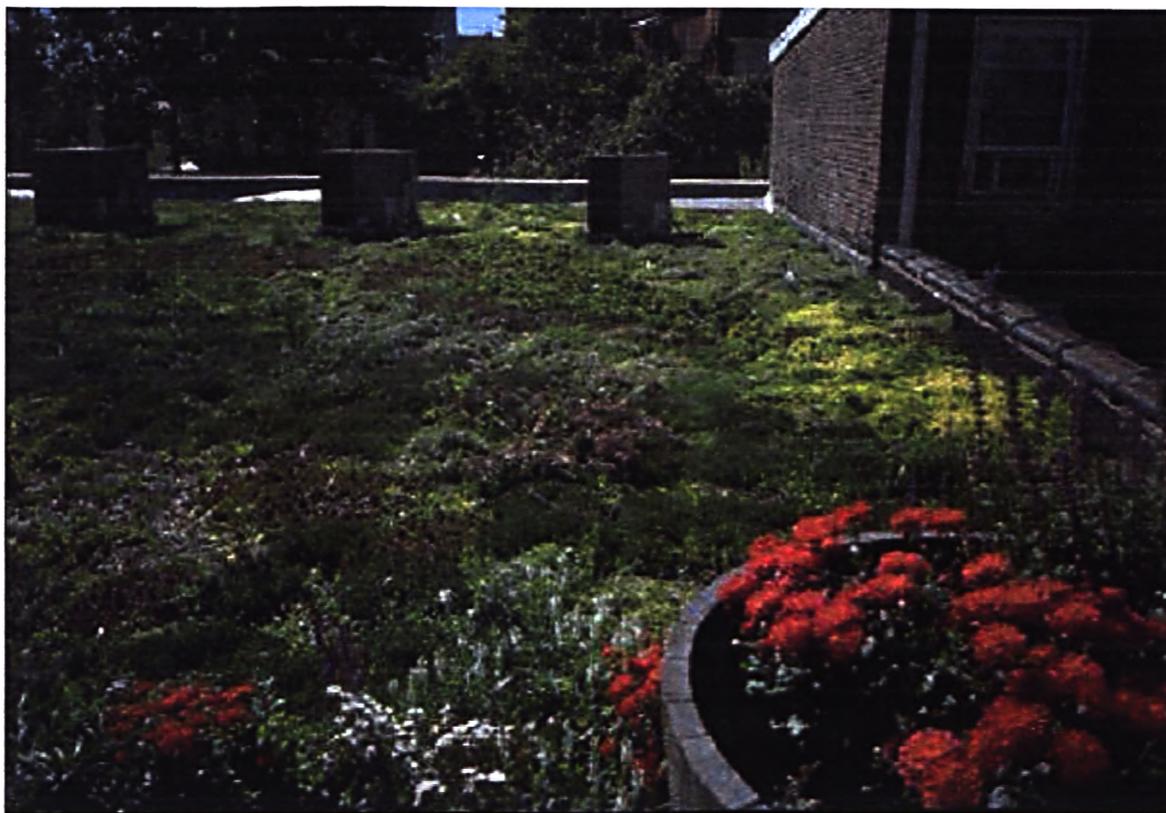


Foto 3.1: Telhado verde instalado no teto da academia de esgrima de Filadélfia (MILLER e EPA, 2000).

Há cuidados específicos a serem adotados na estrutura das edificações quando estas forem adotar telhados verdes, principalmente quanto ao peso dos substratos. É necessário especial atenção no projeto das edificações, ou sua adequação, considerando o sobrepeso da cobertura vegetal e seus substratos, e a impermeabilização das lajes a fim de verificar a possibilidade de efetivar essa solução.

Os telhados verdes podem incluir culturas extensivas ou intensivas. As culturas extensivas são compostas de substratos finos, entre 5 cm a 15 cm de substrato, e compostos com cobertura vegetal de gramíneas ou herbáceas; seu peso, segundo a *International Green Roof Association (Igra)*, pode variar de 60 kg/m² a 150 kg/m², em uma cobertura vegetal intensiva as espécies preponderantes são gramíneas, arbustivas e arbóreas, e seu substrato pode alcançar de 15 cm a 50 cm e pesar de 180 kg/m² a 500 kg/m² (D'ELIA, 2009).

Segundo Miller (2000), uma cobertura com 7 cm de espessura pesa 25 kg/m², quando seca, e pode chegar a 83 kg/m², quando saturada. Nesse cálculo não está incluído o peso da água que escoar sobre o telhado após a saturação do substrato.

Recentemente essa solução tem sido adotada no Brasil, havendo exemplos claros no sul do país e em São Paulo. Empresas especializadas têm se consolidado no Brasil para trabalhar com essa metodologia. Os módulos de telhados verdes podem ser aproveitados também para o reuso de água, servindo como um filtro natural antes de serem redirecionados ao sistema de armazenamento (D'ELIA, 2009).

Os custos desses sistemas podem alcançar grandes cifras, dependendo da intervenção a ser feita na edificação para suportar a carga extra do substrato sobre a sua estrutura. Entretanto, em uma edificação nova, já projetada para suportar essa carga adicional, o custo de implantação do sistema varia de R\$60,00/m² a R\$160,00/m². Mesmo sendo um custo significativo para uma única residência, ainda pode ser significativamente menor que a escavação de um canal ou outras intervenções na rede de macrodrenagem (D'ELIA, 2009).

A adoção de gramas sintéticas nas coberturas pode ser uma alternativa intermediária, pois, apesar de retardar o escoamento, não permite fazer a pré-filtragem, prejudicando o isolamento térmico. Entretanto, seu baixo peso específico, da ordem de 1,5 kg/m² a 2 kg/m², e o baixo custo de implantação, entre R\$20,00 e R\$70,00 por m², podem ser grandes auxiliares no sistema de retardamento do escoamento.

Nas vias públicas, uma solução compreende a adoção de pavimentos que reduzam a velocidade do escoamento superficial, tais como canais ou superfícies de grama no meio de vias, como sistema coletor principal ou pavimentos intertravados, que podem aumentar significativamente o tempo de concentração de um determinado arruamento.

Os pavimentos intertravados, em geral, ficam restritos aos pátios e às ruas secundárias, de baixo tráfego, calçadas ou estacionamentos, entretanto existe a possibilidade de serem utilizados em ruas de elevado tráfego, desde que sejam dimensionados para suportarem as cargas necessárias.

Em adição à sua capacidade de retardar o escoamento, tanto os bloquetes intertravados quanto os canais e superfícies gramadas proporcionam maior infiltração de água por não possuírem juntas estanques. A absorção desse tipo de pavimento é da ordem de 20%. Os custos de instalação desta solução são da ordem de R\$55/m² instalados, não sendo considerados nesta conta os custos de terraplenagem.

Outra opção é o uso de pavimentos porosos, que infiltram parte da água que precipita sobre sua superfície e encaminha a uma rede de coleta e transporte de água. Araújo, Tucci *et al.* (2000) realizaram estudos com pavimentos porosos, tendo como base comparativa o solo compactado perceberam que a área que é possui cobertura de concreto aumenta em 44% o escoamento, quando esta mesma área possui cobertura de blocos de concreto esta vazão aumenta em 22%. Os paralelepípedos reduziram o escoamento em 11% e com o uso de pavimentos permeáveis praticamente não houve escoamento. (ARAÚJO; TUCCI *et al.*, 2000)

Tabela 3.1: Custo de implantação de pavimentos porosos

Tipo de pavimento	Custo de implantação
Blocos de concreto	R\$10,10/m ²
Paralelepípedo	R\$16,74/m ²
Concreto impermeável	R\$13,14/m ²
Bloquete vazado	R\$18,22/m ²
Concreto poroso	R\$19,06/m ²

Fonte: (ARAÚJO; TUCCI *et al.*, 2000)

Este estudo também demonstrou o custo da adoção dos referidos pavimentos por m², que pode ser verificado na Tabela 3.1. A Figura 3.1 apresenta um exemplo de pavimento poroso e seu funcionamento.

Absorção

Pavimentos porosos desenvolvidos pela Escola Politécnica da USP são capazes de absorver com facilidade e rapidez a água da chuva e podem ajudar a reduzir os impactos das enchentes nas grandes e médias cidades.

Combinação

O pavimento é composto por três camadas:

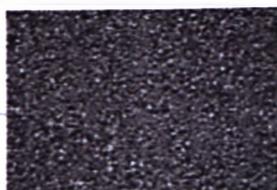


Como funciona



Experimento

Foram usados dois tipos de pavimentos: um feito com placas de concreto e outro com asfalto. Nenhum misturado à aditivos. O experimento foi feito no estacionamento da Politécnica nos meses de janeiro e fevereiro.



Importância

Se a água for armazenada por um certo tempo, ajuda a reduzir o pico de enchente (momento em que toda a água se acumula nos córregos e rios, que se elevam rapidamente de nível).



Resultado

Os dois pavimentos conseguiram reter **100%** das águas das chuvas dos meses de janeiro e fevereiro. Com isso, os pesquisadores conseguiram monitorar desde a quantidade de chuva até a capacidade de retenção do pavimento.

Aplicações

- Estacionamentos de veículos leves (de passeio)
- Ruas e vias dentro de parques
- Locais com mananciais
- Resistência
- Durabilidade de 5 a 15 anos, dependendo do tráfego de veículos no local.

Figura 3.1: Pavimento poroso desenvolvido na USP (CORREIO BRAZILIENSE, 2010).

Infiltração/Percolação

São mecanismos que permitem a coleta e a infiltração das águas pluviais do sistema, criando condições mais próximas das naturais, e a recarga dos aquíferos subterrâneos.

Esses componentes têm como principais vantagens: aumento da recarga de aquíferos, preservação da vegetação natural e redução do transporte de poluição, tamanho dos condutos e das vazões máximas a jusante.

As principais desvantagens são: elevação do nível dos lençóis freáticos que podem atingir fundações de construções, a contaminação do lençol freático local por metais pesados carregados e a falta de manutenção. Para reduzir os problemas causados por contaminação podem ser incluídos mecanismos de tratamento antes da infiltração.

Essa solução induz a "internalização dos custos e a socialização dos benefícios." Ao ser adotada internamente aos lotes, o custo do equipamento é do proprietário, mas os benefícios são da sociedade.

É importante, também, destacar no grupo de mecanismos que possibilitam a infiltração os diversos tipos, as valas, os planos, os poços de infiltração etc. A Figura 3.2 mostra o esquema de funcionamento de uma trincheira de infiltração que pode ser instalada em canteiros ou próxima a estacionamentos.

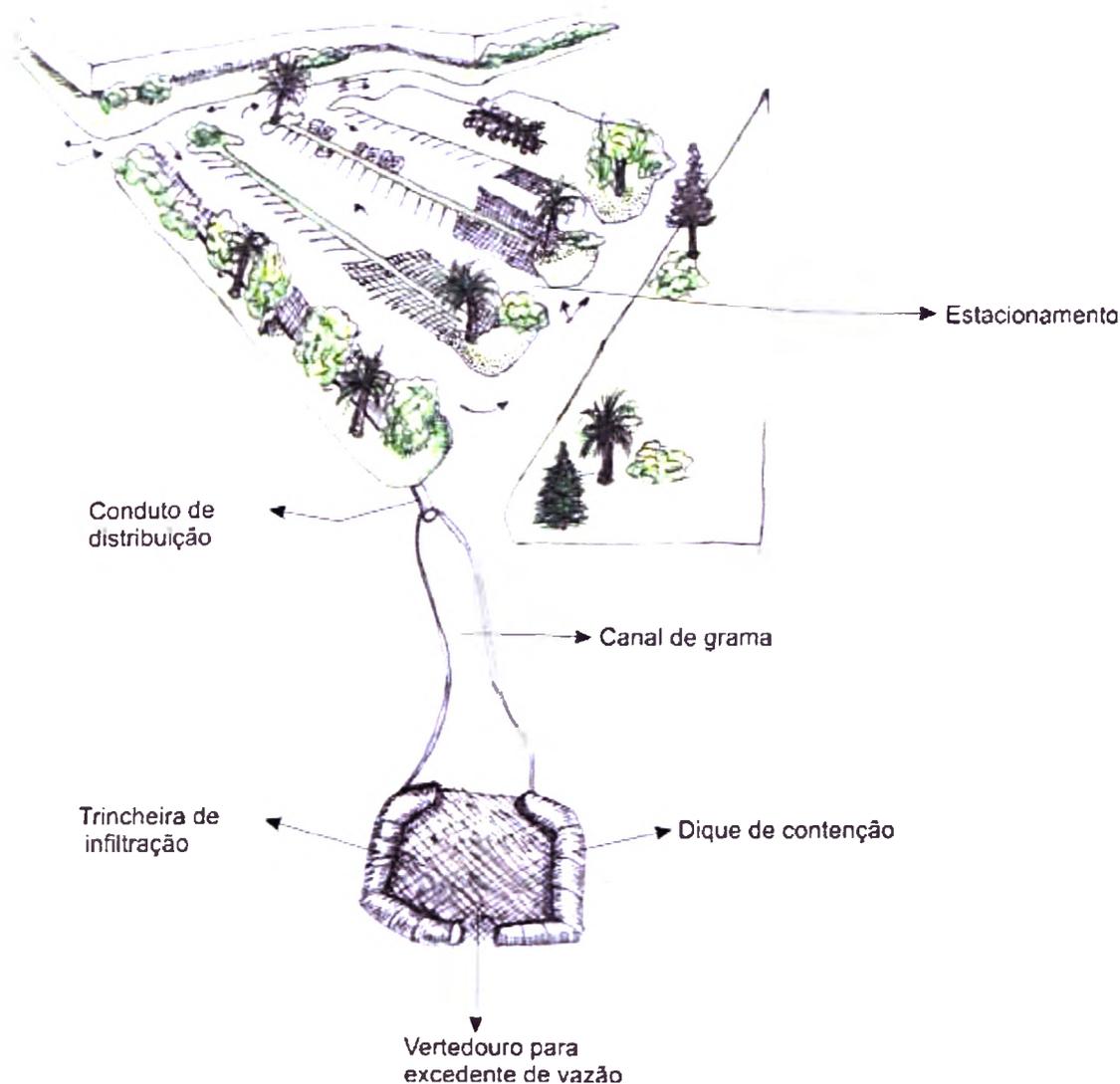


Figura 3.2: Trincheira de infiltração.

Armazenamento

Os mecanismos de armazenamento destinam-se a reter ou deter as águas pluviais para reduzir o pico de cheia e distribuir no tempo o lançamento da vazão no corpo hídrico. Esses mecanismos tendem a simular os picos de cheia anteriores à ocupação urbana.

Também possuem funções distintas de acordo com suas técnicas construtivas. Podem servir como lagoas de decantação e estabilização, além da possibilidade de

serem integrados ao paisagismo de parques e edifícios, e contribuir para o combate das inundações.

Existem dois tipos principais de mecanismos: os reservatórios de retenção, que são dimensionados para manter uma lâmina de água permanentemente, sendo planejados junto a composições de paisagismo de parques lineares e lagoas ou espelhos d'água em edifícios. Já os reservatórios de detenção não possuem lâmina de água residual, geralmente são dimensionados em locais que não são utilizados durante uma tormenta, tais como campos de futebol, praças e outros aparelhos comunitários.

O uso desses tipos de equipamentos traz diversos benefícios à gestão e à operação do sistema de drenagem urbana. Entre as principais vantagens estão a amortização dos picos de cheia, a possibilidade de tratamento do efluente pluvial, maior segurança do sistema de drenagem por permitir um local para estocagem das primeiras chuvas, e composição paisagística com áreas sensíveis, como margens de rios, possibilitando a recuperação do ambiente natural.

Deve-se atentar para o fato de que esses equipamentos podem se transformar em criadouros de mosquitos ou outros vetores de doenças, sendo necessária a adoção de medidas preventivas, como a inserção de espécies de peixes que se alimentem de larvas ou outros métodos de controle, além de limpeza periódica e constante.

Tratamento

Nos primeiros momentos de uma tormenta, primeiros 25 mm, a qualidade do escoamento pluvial pode ser pior que a do esgoto cloacal, incluindo a contaminação por metais pesados, provenientes, sobretudo, das vias de circulação resultante da queima incompleta dos combustíveis e desgastes de peças de automóveis.

Para melhorar a qualidade do despejo de águas pluviais em corpos hídricos, tem sido adotado, nos países desenvolvidos, o tratamento de águas pluviais. Vários sítios que possuem estruturas de detenção ou retenção estão sendo modificados

para contemplar o tratamento das águas pluviais (TUCCI, 2005; SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007; WATER-TECHNOLOGY.NET, N/D)

O aumento do tempo de detenção em bacias já proporciona grande retirada de poluentes, como sólidos suspensos (SS) e metais pesados. Estudos conduzidos no Vale de Santa Clara, na Califórnia, concluíram que o aumento do tempo de detenção propiciou a retirada de 50% dos SS, 29% de cromo, 42% do total de cobre, 53% do de chumbo, 51% para o total de níquel e 44% do total de zinco. (MOFFA; GOEBEL *et al.*, 2000).

O tratamento com o uso de polímeros ou produtos químicos, que induzam a coagulação ou floculação de partículas mais leves em partículas pesadas, capazes de decantar ou serem filtradas, pode ser empregado em conjunto com outras medidas de tratamento.

Como o escoamento pluvial não é contínuo, a criação de unidades de tratamento do efluente por estações exclusivas pode não ser economicamente viável. A opção para esse problema é adaptar estações de tratamento de esgotos para o tratamento do escoamento pluvial. O maior problema associado é que o escoamento pluvial possui grande volume distribuído em curto período de tempo.

As estações de tratamento de esgotos não são, de modo geral, dimensionadas para receber os efluentes pluviais, pois trabalham com uma vazão com baixas variações no tempo e aporte constante. Além disso, os tratamentos, diversas vezes, são de longa detenção do efluente, podendo levar mais de cinco dias no processo todo.

Para poder absorver o impacto da vazão pluvial, uma estação de tratamento de esgotos teria que criar bacias de detenção para armazenar o excesso de água para posterior tratamento de acordo com a capacidade da estação, ou reduzir o tempo de tratamento para toda a linha.

Essas modificações podem ser feitas em conjunto ou em substituição às modificações no sistema de coleta e transporte. Na cidade de Clatskanie, Oregon, a estação de tratamento de esgotos tratava, aproximadamente, 1.800 m³/d de esgotos

com uma eficiência de remoção de DBO e SS de 94%. A adaptação desse sistema permitiu um aumento na capacidade de tratamento da estação para 4.700 m³/d nas mesmas condições. Para vazões de até 8.700 m³/d, a eficiência de remoção de SS e DBO foram de 71% e 73% respectivamente. Os custos de implantação dos sistemas foram estimados em 14% do custo de implantação de uma nova estação de tratamento (MOFFA; GOEBEL *et al.*, 2000).

A estação de Achères, em Paris, é a maior estação de tratamento de águas residuárias da Europa, sua capacidade de tratamento é de 2,1 milhão de m³/d. Por causa das mudanças na legislação europeia ela está em processo de expansão e melhoria dos seus métodos de tratamento para incluir sistemas de nitrificação e denitrificação dos esgotos tratados. Além dessas modificações, estão sendo feitos ajustes para tratar efluentes pluviais. A capacidade de tratamento da estação pode alcançar até 45 m³/s (3,3 milhões de m³/d) durante episódios de chuva e no máximo 52 m³/s (4,5 milhões de m³/d) (WATER-TECHNOLOGY.NET, N/D).

A adaptação de reservatórios de retenção e detenção para que estes possam proporcionar um tratamento ao efluente nele disposto também tem sido largamente aplicado nos países desenvolvidos. No vale de Santa Clara, na Califórnia, a contaminação por metais pesados sempre foi considerável por causa das características da ocupação urbana da área.

Em 1990, a empresa de consultoria Woodward-Clyde fez um estudo em uma das dezessete estações de bombeamento existentes nesse vale. Segundo o projeto original, as bombas dessa estação deveriam ser acionadas assim que a água começasse a afluir para a estação, e só deveriam ser desligadas após o seu completo esvaziamento. Dessa forma, não era esperada nenhuma melhora na qualidade dos efluentes da estação.

A estação nº 02 de Sunnyvale foi escolhida para o teste. Essa estação tem uma área de drenagem de 187,4 ha; a área da bacia de detenção é de 1.8 ha com capacidade para estocar 37 mil m³ de água. Os princípios do *Retrofit* do sistema foram aumentar o tempo de detenção com o intuito de reduzir a quantidade de sólidos suspensos e metais pesados, pois esta é uma forma eficiente de reduzir a

contaminação por metais. O tempo escolhido foi de 24 a 40 horas, período em que a bacia operaria de forma eficiente, reduzindo a vazão de saída e tratando o efluente, sem colocar em risco de alagamento as áreas protegidas.

A programação das bombas foi modificada para manter uma lâmina d'água de 60 cm, a qual permite que uma nova tormenta não suspenda novamente os sólidos depositados no fundo da bacia. Foram observadas reduções significativas nos níveis de Cromo (29%), Cobre (42%), Chumbo (53%), Níquel (51%), Zinco (44%) e Sólidos Suspensos (50%). Os impactos na operação e manutenção da estação são mínimos e a deposição de sólidos no fundo da bacia não é suficiente para causar preocupação constante na limpeza do reservatório, sendo programada para ocorrer de 10 em 10 anos (MOFFA; GOEBEL *et al.*, 2000).

a) Medidas Individuais ou difusas

As medidas difusas têm como característica principal o controle do escoamento pluvial interno aos lotes. São medidas que devem ser implantadas e mantidas, geralmente, pelo proprietário do lote, por vontade própria ou por medidas não estruturais impostas pelo poder público.

Os benefícios da adoção de medidas difusas são: a rede final de micro e macrodrenagem pode ser construída de forma mais racional e o impacto da urbanização fica mitigado no local em que ele foi criado, ampliando e dando maior efetividade à sua compensação. Além disso, as estruturas que, eventualmente, precisam ser construídas são muito menores do que as necessárias no fim da rede, devido a não concentração da vazão.

A dispersão elevada de mecanismos que podem, ou não, ter a adequada manutenção é uma das suas desvantagens. A pulverização de estruturas encarece a manutenção do sistema e pode torná-lo inviável. Outro problema é que os usuários ou donos dos lotes relutam em construir quaisquer elementos internos ao seu lote. Cabe ao município criar regras, obrigações ou incentivos fiscais para que a população adote essas medidas.

Existem muitos equipamentos nessa categoria, variando de mecanismos que promovam a infiltração e de retardo do escoamento, até mecanismos de detenção/retenção de pequeno porte, incluindo equipamentos que promovem o tratamento. Alguns desses equipamentos serão descritos a seguir.

Um equipamento usado é a biorretenção. Consiste em usar uma faixa de vegetação que permita maior tempo de escoamento, promova maior infiltração e também auxilie a retirada de poluentes.

Para a instalação de equipamentos de biorretenção são usados alguns tipos de gramíneas ou braquiárias, em conjunto com vegetação nativa. Desta forma, também, cria-se uma área com paisagismo adequado ao local de instalação. A Foto 3.2 apresenta um esquema desse tipo de equipamento adotado no Kansas. O uso de telhados verdes pode ser considerado um tipo de biorretenção.



Foto 3.2: Jardim de chuva, modelo de biorretenção (KANSAS, N/D).

Outros equipamentos, muito utilizados em áreas internas aos lotes ou em pequenos loteamentos e ruas, combinam características de mecanismos de infiltração, retardo do escoamento, armazenamento e tratamento. Exemplos são os poços de infiltração, que permitem o armazenamento da vazão e a sua infiltração no solo.

Canais gramados também cumprem papéis diversos, como o retardo do escoamento e a sua infiltração, e possuem um residual tratamento de retirada de sólidos em suspensão.

b) Medidas de Microdrenagem

Com o aumento de volume e a concentração de vazões, os mecanismos passíveis de uso na microdrenagem ficam mais no campo de bacias de detenção e retenção e são considerados mecanismos de controle a jusante, ou *downstream control*. O objetivo desses mecanismos é reduzir o impacto hidrológico causado pela redução da capacidade de armazenamento da bacia após a urbanização, principalmente pelo aumento da área impermeabilizada (TUCCI; PORTO *et al.*, 1995).

As vantagens desses mecanismos são os custos reduzidos, em comparação com os custos difusos de implantação de uma grande variedade de equipamentos no controle individual; menor custo de limpeza e manutenção e maior facilidade de administrar a obra. Entretanto, para encontrar uma área propícia para instalá-lo dentro da área da bacia pode ser um desafio, pois nem sempre existem áreas que permitem a sua instalação, mesmo essa sendo da ordem de 0,6% a 1.5% do total da área da bacia (TUCCI, 2005).

As alternativas de microdrenagem podem ser implantadas de forma mais difusa, por meio de bacias de detenção e retenção, estruturas de filtragem e decantação e medidas de retardo de escoamento. Essas estruturas podem aproveitar áreas em que estão instalados equipamentos de uso público, tais como campos de futebol, praças, estacionamentos etc.

A Figura 3.3 mostra o esquema de uma lagoa de retenção em um parque e a Figura 3.4 ilustra o esquema de uma vala de infiltração no meio de uma rodovia.

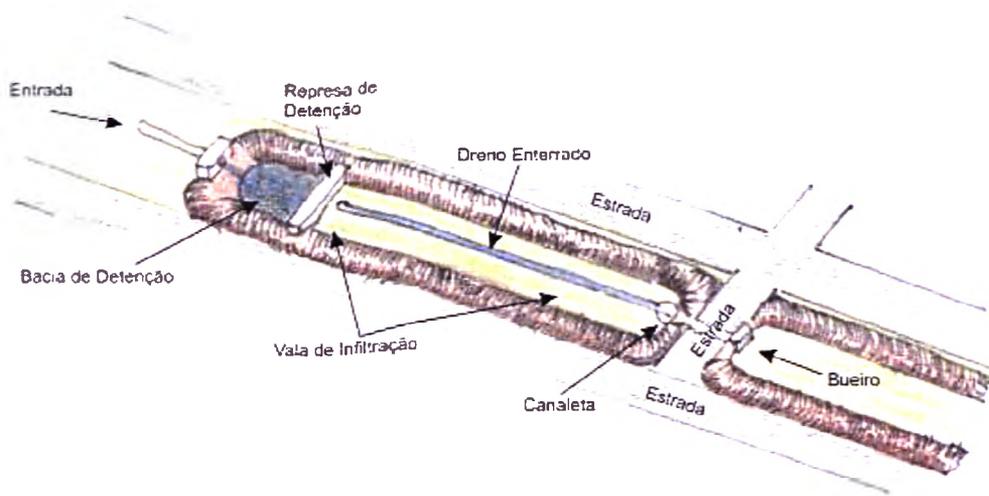


Figura 3.3: Lagoa de retenção.

Ao lado de rodovias podem ser instaladas valas de infiltração e escoamento retardado com o objetivo de aumentar o tempo de concentração e a infiltração de parcela significativa das águas que outrora escoariam devido à impermeabilização acarretada pela via.

É importante salientar que no Brasil a via é considerada a calha prioritária de escoamento das águas pluviais. Em vias secundárias e terciárias, essa realidade pode ser adotada, entretanto, em vias primárias ou expressas, a presença de água acumulada gera problemas de aquaplanagem, tornando-se um ponto crítico para acidentes.

As valas de escoamento gramadas podem ser adotadas nas margens das rodovias e nos canteiros centrais, sendo o local prioritário para o escoamento superficial antes de ser lançado nas redes de microdrenagem. Essa solução ajudaria a manter as vias drenadas adequadamente, evitar acidentes e retardar o escoamento.



Detalhamento da Vala de Infiltração

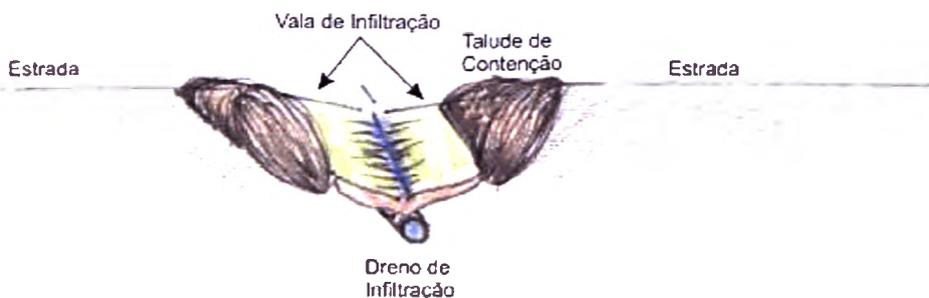


Figura 3.4: Valas de infiltração e detenção de escoamento.

Cabe ressaltar que é necessária a manutenção após os grandes deflúvios para que os equipamentos não se deteriorem e percam a utilidade pública. Nos campos de futebol, por exemplo, após um deflúvio muito elevado em que seja preciso inundar o equipamento para amortecer a vazão, se faz necessário limpá-lo, pois a água pluvial carrega muitos sólidos, principalmente lama e metais pesados e até mesmo lixo que fica depositado nas ruas. Caso não ocorra essa limpeza, o local não será mais usado para a prática de esportes, após algumas tormentas, e perderá sua função social.

Muitos equipamentos podem ter objetivos múltiplos, por exemplo, uma bacia de retenção, além de funcionar como atenuador de picos de cheias, pode funcionar como lagoa de estabilização, reduzindo a carga poluente, a quantidade de material sólido carregado, e também compor a paisagem. Nos Estados Unidos, muitas bacias

de retenção têm sido readequadas para contemplar um pré-tratamento pelo aumento do tempo de detenção, conforme já explicado.

c) Macrodrenagem

À medida que se vai avançando no sistema, este vai ganhando maior vulto e suas intervenções se tornam cada vez maiores e mais caras. No âmbito da macrodrenagem, as estruturas disponíveis são, geralmente, de grande magnitude e envolvem elevadas somas em dinheiro, além de um ambiente político propício. Entretanto, dependendo da situação da bacia, estas podem ser as únicas medidas possíveis.

A criação de parques lineares que servem como zonas de amortecimento de enchentes é uma das medidas que podem ser citadas. Esses parques são criados no entorno de um corpo d'água e neles são criadas áreas onde as pessoas podem praticar esportes ou apreciar a paisagem em épocas de estiagem, e em épocas de chuvas essas áreas podem ser inundadas.

Muitos exemplos desse tipo de solução podem ser encontrados nos Estados Unidos e Europa e trazem diversos benefícios. No campo ambiental, destacam-se a recuperação de ecossistemas aquáticos e locais de reprodução bem como dos os regimes de cheias periódicas nos corpos hídricos, a alimentação de aves e peixes e a redução da erosão do solo e da poluição lançada nos rios.

Na área social, são criadas áreas de lazer e aproximação da população da cidade com os corpos d'água, desenvolvendo uma identidade entre esses elementos. Na esfera econômica, são reduzidos os impactos e a destruição causada por enchentes periódicas e a perda de vidas, além de serem diminuídos os custos do sistema de saúde com a proliferação de doenças de veiculação hídrica.

Outra solução é a renaturalização de corpos hídricos. Essa técnica consiste na recuperação dos meandros de rios retificados, na recomposição do seu ambiente ciliar, recuperação de lagoas de amortecimento e reprodução de espécies de peixes, além de trabalhos de paisagismo em que plantas nativas compõem o cenário, melhorando tanto a qualidade da água quanto do meio ambiente.

Em Seul, capital da Coreia do Sul, o Rio Cheong-Gye foi recuperado. Uma via expressa foi demolida para que o rio fosse recuperado. Inicialmente a população foi contra a idéia, entretanto, após ver os benefícios, acabou apoiando o mais novo cartão postal da cidade. O Rio Han, também em Seul, terá suas margens recondiçionadas, as vias expressas que ali circulam serão enterradas e a parte superior abrigará parques e áreas comunitárias que permitirão a aproximação da população com o rio (REDE GLOBO, 2009a; b).

A poluição causada por sistemas de drenagem também deve ser considerada. Nos Estados Unidos estão sendo feitos estudos para avaliar a capacidade de remoção de poluentes das bacias caso seja aumentado o tempo de retenção. Estão sendo feitas também adaptações em estações de tratamento de esgotos para tratar efluentes pluviais, com aumento da capacidade de estocagem e melhorias na eficiência e velocidade do tratamento.

Medidas Não Estruturais

Compreendem a elaboração de planos diretores de ocupação urbana e programas de prevenção e educação da população. As medidas não estruturais tendem a ter grandes resultados econômicos ou redução significativa de custos devido à recuperação de áreas atingidas por enchentes se comparadas com as medidas estruturais. Leis, normas de ocupação, planos de drenagem urbana tendem a ter custos muito baixos de instalação, mas podendo causar grandes impactos no âmbito econômico.

As medidas de proteção não-estruturais têm caráter preventivo, predominantemente, entretanto podem ser paliativas ou corretivas, de acordo com a característica da medida adotada.

Entre as medidas não estruturais que podem ser criadas são destacadas as dispostas na obra de Tucci (2005) e de Barros (2005):

Outorga para controle de cheias

A drenagem urbana está integrada à gestão de águas em uma bacia hidrográfica e, desta forma, deverá estar sujeita a todos os instrumentos legais. Destaca-se entre os instrumentos legais a concessão de outorga para a construção de equipamentos que alterem ou interfiram no regime dos rios ou corpos hídricos, tais como a construção de galerias, pontes, travessias, retificação e canalização de rios etc.

Os critérios para a concessão da outorga são definidos no âmbito da bacia hidrográfica como um todo, e permitem que obras que localmente tragam benefícios, sejam prejudiciais para áreas adjacentes ou à jusante. (BARROS, 2005)

Sistema de previsão e alerta

É um sistema de medições automatizadas, que tem como principal função o monitoramento e controle de seções hidráulicas e precipitações ao longo da bacia hidrográfica, com a finalidade de coletar dados, antecipar a ocorrência de inundações e preparar a população para os eventos que podem ocorrer.

Geralmente, é composto de três sistemas integrados: o de coleta e transmissão de dados por sistema telemétrico; o centro de previsão, que irá analisar e interpretar os dados coletados e transmiti-los à defesa civil e à população; e a defesa civil, que irá tomar as medidas necessárias para mitigar os efeitos da inundação, promover a educação ambiental e outras atividades. (TUCCI, 2005)

Leis de uso e ocupação

O tipo de ocupação do solo e sua cobertura são fatores com elevada importância na formação de cheias por estar diretamente ligado à impermeabilização do solo, à infiltração e à produção do escoamento superficial. As leis de uso e ocupação do solo estão intimamente ligadas ao plano diretor municipal e devem conter elementos que minimizem os impactos da urbanização.

Dentre as medidas que podem ser estabelecidas destacam-se a proteção das áreas marginais dos corpos hídricos, o estabelecimento de taxas máximas de

ocupação dos lotes e impermeabilização, a vazão máxima de lançamento por hectare que determinada área deverá aportar no sistema de drenagem, a proteção de áreas sujeitas a deslizamentos, tais como encostas e topos de morros. (BARROS, 2005)

Mapeamento de áreas de risco

O mapeamento de áreas de risco auxilia a correta ocupação urbana, preservando baixadas e planícies de inundação. Com um mapa de áreas de risco, o poder público pode estruturar quais tipos de equipamentos e ocupações podem ocorrer em determinados locais e são um importante instrumento na formação de leis de uso e ocupação do solo.

Para cada tempo de retorno, ou risco de inundação, deve ser traçado no mapa o nível máximo que o rio poderá atingir, criando assim um mapa com as chances reais de inundações em determinadas áreas.

Podem ser criados dois tipos de mapas, os de planejamento e os de alerta. O mapa de planejamento define as áreas atingidas por cheias periódicas com tempos de retorno escolhidos. Já os mapas de alerta servem para alertar a população sobre a iminência de uma inundação. Neles são marcadas as cotas relativas a pontos estratégicos na cidade e em qual cota do rio eles se encontram. Conhecendo essas cotas, a população tem maiores chances de identificar as áreas que estão sendo atingidas pelas cheias e tomar as precauções necessárias.

O mapeamento das áreas de risco é o ponto inicial de diversas ações de mitigação de enchentes, estruturais ou não, e é um subsídio importantíssimo para o sistema de drenagem urbana, pois permite a alocação de equipamentos de controle em locais adequados. (TUCCI, 2005)

Zoneamento de áreas de risco

A construção do mapeamento de zonas de risco permite que se estabeleça, no plano diretor de ocupação urbana, o zoneamento de áreas inundáveis e a sua possível ocupação. O zoneamento é a definição de um conjunto completo de regras

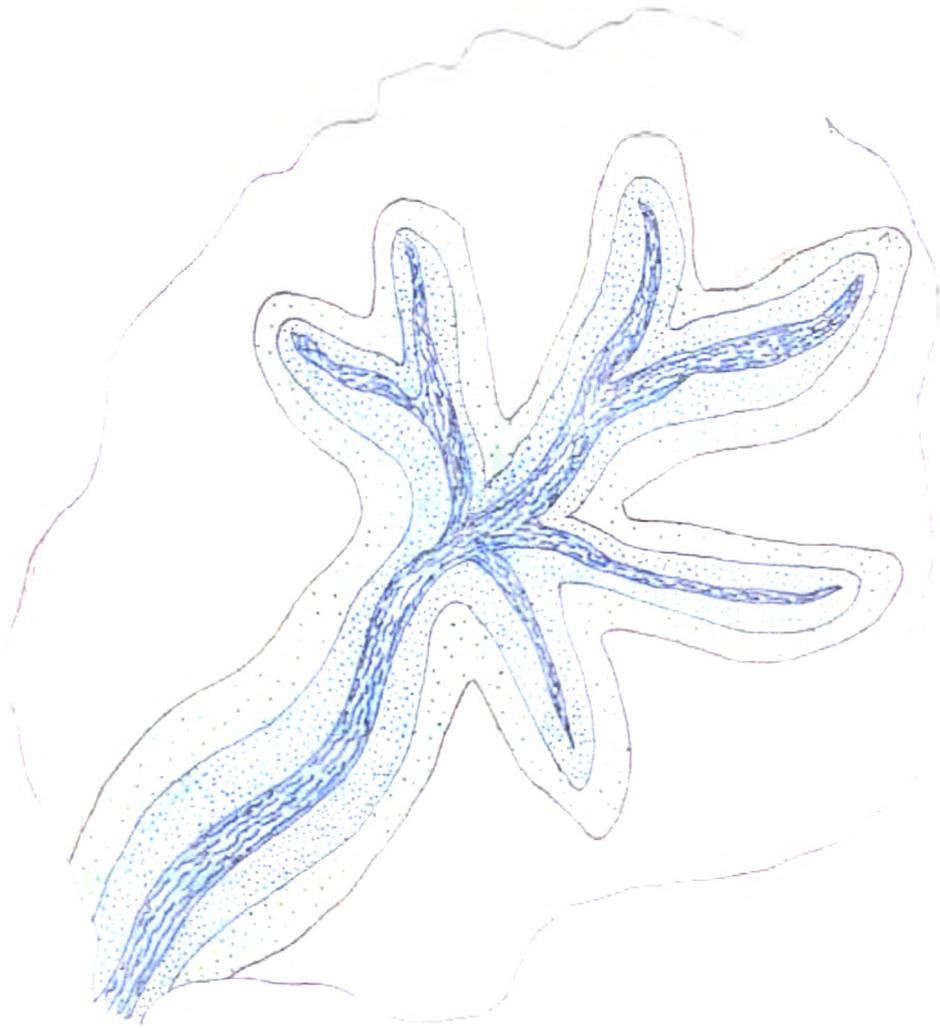
para a ocupação das áreas de risco e tem como objetivo principal minimizar as perdas de vidas humanas e os danos às propriedades, e permitir a ocupação racional das áreas ribeirinhas.

Este zoneamento deve compor o Plano Diretor Municipal e a legislação de usos e ocupação do solo, restringindo o seu uso, além do controle efetivo por parte de prefeituras de sua correta ocupação e uso. Conforme mostram a Figura 3.5 e a Figura 3.6, a seção de um rio tem geralmente três zonas que podem ser definidas como: a *zona de passagem da enchente*, a *zona de amortecimento de enchentes* e a *zona de baixo risco*. (TUCCI, 2005)

A *zona de passagem de enchentes* deve ser mantida desobstruída, pois qualquer ocupação dessa área acarretará aumento de nível a montante e causará enchentes. O controle sobre essa área deve ser rígido e as ocupações prévias deverão ser retiradas. Podem ser previstas ocupações que não impliquem a obstrução do escoamento caso ocorra uma enchente, tais como campos de esportes e agricultura de baixa concentração; as obras de arte, como pontes e viadutos, devem ser calculadas levando em consideração os aspectos do escoamento para não obstruí-lo.

Na *zona de amortecimento de enchentes*, apesar de ocorrerem inundações, estas tendem a ter pequenas lâminas de água e baixa velocidade de escoamento, e não contribuem significativamente para a drenagem da área. Logo, o seu uso é menos restritivo, podendo ser alocados em sua área parques e estruturas de lazer, lavouras agrícolas e até mesmo edificações, desde que adotem medidas preventivas contra inundações.

Na *zona de baixo risco* não há restrições significativas, mas a sua regulamentação serve para informar as pessoas ali estabelecidas que essa área poderá sofrer inundações em situações excepcionais, devendo os ocupantes da área se precaver em uma eventualidade.



Área ocupada por Corpo Hídrico



Zona de passagem de enchentes - ocupação vetada



Zona de amortecimento de enchentes- ocupação restrita

Zona de baixo risco

Figura 3.5: Zoneamento de áreas inundáveis, adaptada de Tucci (2005).

Destaca-se que a *Zona de passagem de enchentes* e a *Zona de amortecimento de enchentes* diversas vezes serão sobrepostas às *Áreas de Proteção Permanentes* e *matas ciliares* dos corpos hídricos, sendo outro motivo para terem sua ocupação devidamente regulamentada.

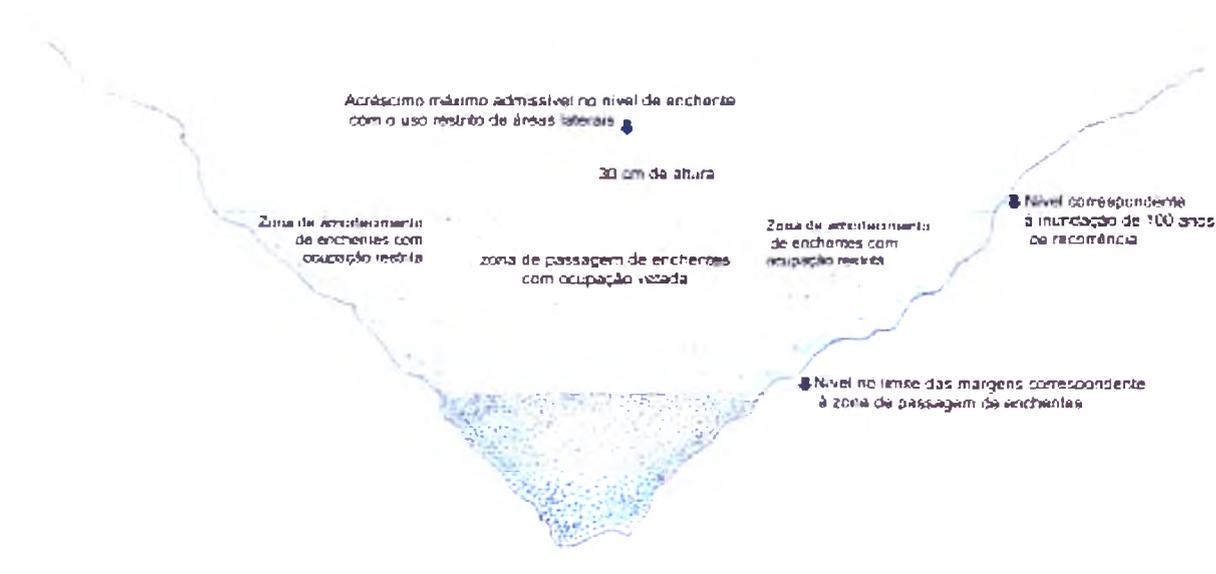


Figura 3.6: Corte esquemático do zoneamento de enchentes em um rio, adaptada de Tucci (2005).

Crítérios para projetos de drenagem e infraestruturas

Devem ser estabelecidos critérios para a construção de sistemas de drenagem urbana e infraestruturas que afetem este sistema. Estes critérios visam evitar incompatibilidades entre projetos em uma determinada região. A elaboração de um *Plano Diretor de Drenagem Urbana* edição de um *Manual de Drenagem Urbana* se tornam opções válidas para este tipo de solução.

É indispensável que os projetos de sistemas de infraestruturas considerem os impactos que causam sobre o sistema de drenagem urbana. Para tanto, é necessário compatibilizar os diversos planos setoriais, tais como os planos diretores com os planos de drenagem urbana. (BARROS, 2005)

Seguro de inundação e proteção individual

São usados pela população para proteger os seus imóveis desses tipos de eventos. Geralmente, pessoas com baixo poder aquisitivo, ou proprietários que não possuem interesse em proteção, não adquirem o produto.

A prefeitura pode bancar parte desse seguro, seguindo o modelo americano. Nos Estados Unidos, o custo do prêmio de uma propriedade de US\$10.000,00 é, em média, US\$300,00, se esta estiver situada em uma área de médio risco, quanto maior o risco da área maior o valor do prêmio. Combinando essa estratégia com a de que somente serão financiadas e regularizadas as construções que tiverem esse tipo de seguro, pode-se inibir a ocupação de áreas de risco elevado (TUCCI, 2005).

Para poder usar esse tipo de medida não estrutural é necessário que áreas de risco da cidade sejam mapeadas e que o zoneamento seja claro e bem difundido, além de contar com uma fiscalização forte e atuante.

Licenciamento ambiental

O licenciamento ambiental é uma medida não-estrutural importante para verificar se as condicionantes urbanísticas e ambientais propostas nos diversos planos da região estão sendo atendidos. O licenciamento somente seria concedido às construções que atendessem plenamente ao exigido pela legislação local.

Outras medidas não estruturais

A criação de leis e normas municipais, estaduais e federais que incentivem a adoção de medidas compensatórias internas aos lotes ou obriguem as prefeituras a adotarem medidas sustentáveis de drenagem são outras medidas não estruturais que podem ser adotadas

Essas ações podem ser feitas por meio da formação de comitês de bacia hidrográficas, conforme a Lei nº 9.433/97, que irão discutir e estabelecer normas de ocupação e construção de equipamentos de drenagem urbana no âmbito de determinada bacia hidrográfica. A atuação do comitê de bacia pode ser decisiva para a integração completa da bacia hidrográfica com relação a normas e decretos.

O Governo Federal pode estabelecer que somente as obras de drenagem que adotarem medidas sustentáveis, que não impliquem impactos aos corpos hídricos receptores sejam financiadas. Um comitê de bacia também poderá instituir que os

recursos provenientes da cobrança pelo uso de recursos hídricos só irão financiar obras de drenagem urbana que sigam preceitos sustentáveis.

Os municípios podem incentivar os donos de lotes a adotarem medidas individuais de controle por meio de benefícios fiscais, como a redução de IPTU. Esse benefício é revertido imediatamente ao município devido a redução dos diâmetros da rede de microdrenagem, reduzindo os custos de instalação do sistema, e a redução dos impactos aos corpos hídricos receptores.

Ações de educação ambiental e campanhas publicitárias com o intuito de conscientizar a população da importância da participação da população no controle de cheias, também são ações importantes. (BARROS, 2005)

3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS

Com base no que foi discutido neste capítulo, será apresentado, a seguir, quadro comparativo das tecnologias de drenagem com o escoamento natural ressaltando alguns pontos críticos em relação a cada aspecto dos sistemas, principalmente os pontos de lançamento, condução, velocidade de escoamento, volume do lançamento, tratamento e outros aspectos técnicos (Pelo exposto neste capítulo, os dois sistemas de drenagem urbana podem ser considerados complementares entre si. A utilização da rede de drenagem tradicional não deve ser banida completamente do cenário técnico em razão de diversos fatores, sobretudo, devido à base estrutural hoje implantada na maior parte das grandes cidades do Brasil.

É desejável que o sistema sustentável seja implementado desde o início por causa das suas características de mitigação de impactos futuros e manutenção do ambiente natural. Por regra, deve-se implantar um sistema sustentável em vez de um sistema tradicional. Caso não seja possível devido a fatores econômicos ou políticos, tais como questões orçamentárias, deve-se instalar um sistema tradicional em uma primeira etapa, porém com um planejamento de adaptá-lo para um sistema sustentável paulatinamente.

Quadro 3.1).

Pelo exposto neste capítulo, os dois sistemas de drenagem urbana podem ser considerados complementares entre si. A utilização da rede de drenagem tradicional não deve ser banida completamente do cenário técnico em razão de diversos fatores, sobretudo, devido à base estrutural hoje implantada na maior parte das grandes cidades do Brasil.

É desejável que o sistema sustentável seja implementado desde o início por causa das suas características de mitigação de impactos futuros e manutenção do ambiente natural. Por regra, deve-se implantar um sistema sustentável em vez de um sistema tradicional. Caso não seja possível devido a fatores econômicos ou políticos, tais como questões orçamentárias, deve-se instalar um sistema tradicional em uma primeira etapa, porém com um planejamento de adaptá-lo para um sistema sustentável paulatinamente.

Quadro 3.1: Comparação dos sistemas de drenagem urbana com o escoamento natural.

Aspecto	Escoamento Natural	Sistemas Tradicionais	Sistemas Sustentáveis
Infiltração	Alta	Baixo	Média-Alta
Tempo de concentração	Longo (mais de 3 horas)	Curto (até 1 hora)	Longo (mais de 3 horas)
Velocidade de escoamento	Baixa	Alta	Média
Cobertura da bacia	Predominantemente vegetal	Predominantemente de superfícies impermeáveis	Mista de superfícies permeáveis e impermeáveis
Lançamento no corpo hídrico	Difuso e lento	Pontual e rápido	Pontual, mas distribuído no tempo
Volume do Lançamento	Pequeno e distribuído no tempo e espaço	Grande volume, pontual, em curto espaço de tempo.	Volume baixo, pontual, mas distribuído no tempo.
Lançamento de sedimentos no corpo hídrico	Baixo, resultante do processo erosivo natural	Elevado, resultante de processos industriais, erosão do solo e carreamento de lixo urbano	Baixo devido à adoção de mecanismos de retenção dos sólidos
Poluição	Poluição difusa por agrotóxicos ou inexistente	Elevada concentração nos primeiros momentos da tormenta com melhora significativa ao longo do tempo	Média para baixa devido aos mecanismos de tratamento que podem ser introduzidos ao sistema.
Método de planejamento	Em geral, não há planejamento.	Geralmente desassociados e em pequenas áreas, desconsiderando a bacia hidrográfica.	Na Bacia Hidrográfica como um todo, integrado e com visão sistêmica.
Recuperação de mananciais	Manutenção natural de mananciais, pelos processos envolvidos.	Degradação de mananciais naturais e impossibilidade de aproveitamento da água	Recuperação de mananciais naturais e possibilidade de adaptação do sistema para criação de mananciais urbanos

O sistema de drenagem sustentável, conforme demonstrado, procura se aproximar mais do escoamento natural e reduzir os impactos causados pela urbanização. Claramente não é possível o retorno completo da situação natural anterior à urbanização, principalmente pela carga de poluentes e sedimentos carregados, mas a implantação desse sistema reduz significativamente a degradação ambiental causada pela implantação de uma cidade.

Somente a redução dos volumes de cheias e o aumento da infiltração já permitem uma melhora no campo ambiental e ecossistêmico. Combinados com a renaturalização de rios e a implantação de parques lineares ao redor de corpos hídricos, esses fatores proporcionam uma melhoria completa tanto do ambiente natural quanto do ambiente urbano. Além disso, criam situações de convivência e aproximam a população dos rios e lagos, desenvolvendo uma identificação da população com estes.

A Figura 3.7 mostra os dois paradigmas de drenagem urbana e seus efeitos nos diâmetros **necessários** para tubulações, sendo o velho paradigma a drenagem urbana tradicional e o novo paradigma a drenagem urbana sustentável. No velho paradigma, os diâmetros das tubulações são crescentes à medida que o sistema se encaminha para o lançamento e o pico de cheia, no corpo hídrico, eleva-se. No novo paradigma, os diâmetros das tubulações praticamente permanecem inalterados e o pico de cheia fica mais distribuído no tempo, reduzindo os impactos sobre o corpo hídrico receptor.

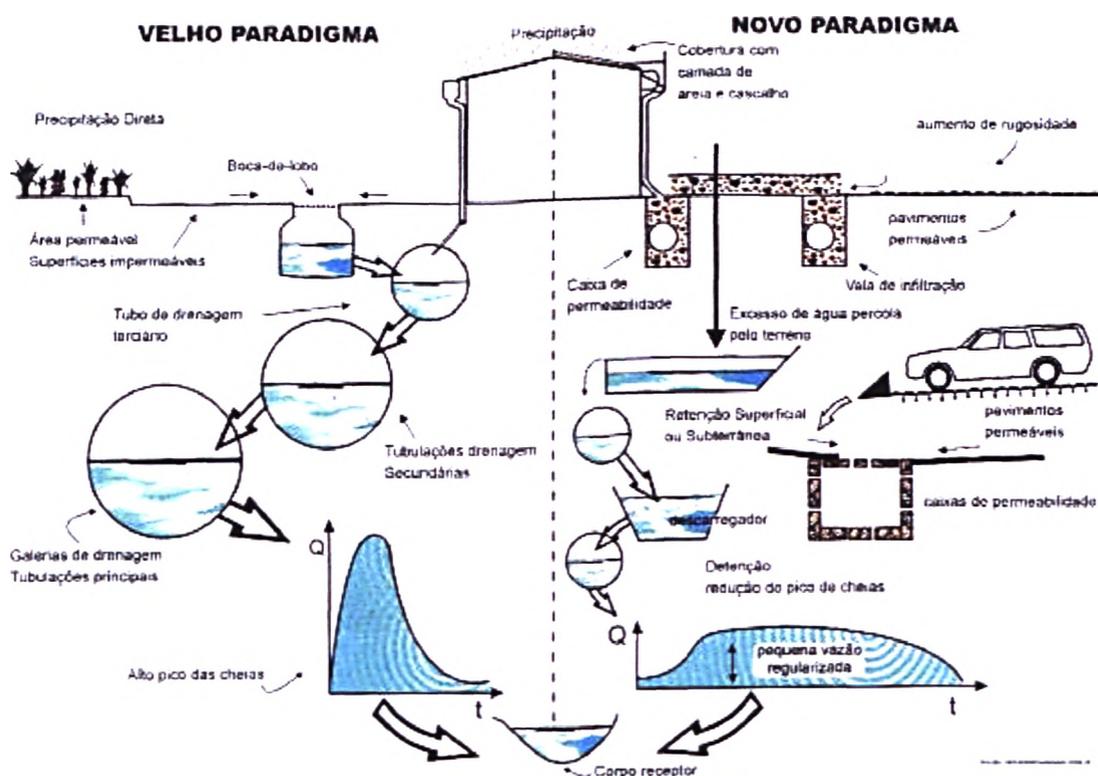


Figura 3.7: Comparação entre tubulações de sistemas de drenagem urbana (CHRISTOFIDIS, 2005).

A adoção de medidas sustentáveis necessita de apoio técnico-institucional forte. Nem sempre as suas soluções são simples e o custo inicial de implantação pode ser maior que algumas medidas tradicionais. Geralmente, as análises de custos só levam em conta algumas características, restritas ao campo econômico, entretanto devem ser incluídos, nesse tipo de análise, custos sociais e de recuperação ambiental. Nesses casos, os sistemas sustentáveis se tornam mais baratos.

Um dos empecilhos de considerar esses custos nas análises é que os custos ambientais e sociais são de difícil quantificação. Por serem abstratos e subjetivos, esses benefícios não permitem uma correlação direta e dependem das considerações empregadas na análise. Essas considerações sofrem, invariavelmente, muitas críticas por parte de pessoas contrárias à sua adoção na tentativa de invalidar os conceitos usados.

A correlação econômico-financeira já possui um viés mais objetivo e, por isso, tende a ser mais bem aceita pela sua possibilidade de quantificação. Estabelecer

uma metodologia de quantificação dos passivos ambientais e sociais não é fácil, principalmente pelas características de cada localidade. Porém, a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental pode contribuir significativamente com a aceitação dos levantamentos feitos.

Para a implantação dessas medidas, é necessário um estudo completo da área para determinar os equipamentos e sistemas a serem implantados. A criação de um manual ou metodologia para implantação dos sistemas deverá, necessariamente, contemplar estudo prévio e completo para definir as características locais e a vocação da área, a fim de melhor adequar os equipamentos às características locais e às soluções adotadas.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Os sistemas de drenagem urbana com conceitos desenvolvidos sob a ótica de sustentabilidade existem há mais de 30 anos nos países desenvolvidos. As diversas propostas em execução atualmente no Brasil já foram avaliadas no longo prazo e atualizadas, incorporando melhorias conceituais e operacionais que devem ser integradas a esses sistemas. (SCHUELER, 1987; 1995; MOFFA; GOEBEL *et al.*, 2000; TUCCI, 2003; SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007).

O planejamento de um sistema sustentável deve ser feito levando-se em conta o sistema completo, iniciando-se na escala do lote, passando pelo lançamento no corpo hídrico e chegando até o ponto exutório da bacia hidrográfica, mesmo que este não esteja dentro dos limites da cidade, e, neste caso, é necessária a articulação com outras cidades afetadas.

Buscar um equilíbrio entre a quantidade de equipamentos e o custo de construção/manutenção dessas estruturas é um dos principais objetivos do planejamento desse tipo de sistema. Devem ser estudados alternativas e cenários com diversas composições de cada tipo de equipamento até alcançar uma composição ótima entre número, dimensões e custo de manutenção dos equipamentos do sistema.

Dependendo do tipo de sistema implantado em uma cidade, pode ser mais interessante a readequação de uma estação de tratamento de esgoto para que esta receba e trate os efluentes pluviais do que operar grandes mudanças no sistema de transporte das águas. Em outras localidades, a execução de um sistema de compensação poderá trazer melhores resultados.

Logo, cada caso associado a certa infraestrutura de drenagem urbana deverá ter uma análise completa das alternativas, se possível, com simulações e planejamento de longo prazo em termos de implantação, execução, operação e manutenção, incluindo os desembolsos financeiros.

No caso da cidade de Porto Alegre (RS), segundo Tucci (2009), foi possível, como principal medida não estrutural, evitar que novos empreendimentos aumentassem a vazão preexistente, sendo definida uma vazão específica máxima para a cidade. Após sete anos de operação, mais de 40 dispositivos tinham sido construídos e reduzido o potencial de prejuízos da cidade em cerca de R\$40 milhões.

O Quadro 3.2 mostra o diagnóstico feito em Porto Alegre para analisar os impactos econômicos da adoção da drenagem urbana sustentável comparada com a drenagem urbana tradicional (TUCCI, 2009).

Uma vantagem quando se está tratando de redes de drenagem já implantadas e que são modificadas para atender aos preceitos sustentáveis de drenagem é que a rede de condutos estará em uma condição superdimensionada.

Quadro 3.2: Diagnóstico econômico da gestão da drenagem em Porto Alegre.

Questões	Resposta em R\$ Bilhões
Quanto foi investido até hoje no sistema de drenagem existente no município?	2,5
Quanto teria sido investido no sistema de drenagem no município se fosse aplicado o controle preventivo desde o início de sua urbanização?	1,15
Quanto necessita ser investido no sistema de drenagem para que o controle corretivo hoje atinja o mesmo nível anterior?	0,494
Quanto seria investido no sistema de drenagem com o controle preventivo desde hoje até um horizonte de 20 anos para os empreendimentos novos?	0,280

Quanto seria investido no sistema de drenagem se o controle corretivo for aplicado daqui a 20 anos para os empreendimentos novos?	0,634
---	-------

Fonte: (TUCCI, 2009).

Essa condição se deve ao maior diâmetro necessário para atender à demanda do sistema tradicional de drenagem urbana e acarreta uma maior segurança ao sistema, pois, caso haja uma tormenta que ultrapasse a capacidade do sistema de amortecer a vazão, os sistemas de condutos não estarão sobrecarregados e tenderão a suportar o evento climático sem que todo o sistema entre em colapso.

4 RETROFIT DE DRENAGEM URBANA

Neste capítulo será apresentada uma metodologia adotada para infraestruturas urbanas, denominada *retrofit*, com enfoque principal na drenagem de águas pluviais. Será apresentado o conceito de *retrofit* e uma metodologia de execução, contínua e gradual de transformação de um sistema de drenagem urbana tradicional para um sistema drenagem urbana sustentável com o objetivo de contribuir para a melhoria do ambiente natural e urbano.

Atualmente, no Brasil, diversas cidades já possuem sistemas de drenagem urbana instalados. A maioria desses sistemas é baseada no método tradicional de drenagem. Assumir que as infraestruturas hídricas existentes não atendem nenhum dos aspectos relativos ao manejo de águas pluviais e que irão ser desativadas e substituídas por novas é utópico. Planejar a drenagem urbana como se não houvesse infraestruturas instaladas é irreal.

Adotar uma metodologia que permita instalar novas infraestruturas em cidades que não as possuem, e que também possibilite adaptar a infraestrutura atual, com alterações pontuais em componentes isolados, que aumentem sua eficiência, capacidade de recuperação e preservação ambiental, e que possam ainda ser implantadas de maneira gradual e contínua é uma abordagem mais coerente com a atual situação do país.

4.1 EVOLUÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS DE SANEAMENTO

As infraestruturas hídricas do meio urbano bem como o modo de pensar e planejar as cidades têm evoluído com o tempo. Com especial atenção ao gerenciamento de águas urbanas, Tucci (2008) cita as seguintes fases da evolução dos sistemas hídricos:

- a) **Fase pré-higienista:** antes do Século XX, período em que os esgotos eram depositados em fossas, não havia canais de drenagem e o abastecimento urbano de água utilizava fontes próximas das casas, principalmente rios e poços. Como consequência surgiram grandes epidemias com altas taxas de mortalidade e inundações frequentes.

- b) **Fase higienista:** do início do século XX até os anos 1970, época em que foram construídas as canalizações e os condutos para transportar os esgotos e escoamentos pluviais para longe das cidades, lançando-os nos rios. Nesse período, ocorreu a deterioração dos corpos hídricos e as inundações aumentaram, em intensidade e frequência.
- c) **Fase corretiva:** entre 1970 e 1990, foi o período em que se praticou o tratamento do esgoto doméstico e industrial e o amortecimento das vazões de escoamento pluvial. Houve recuperação dos corpos hídricos e a maior dificuldade era o controle e tratamento da poluição difusa.
- d) **Fase de desenvolvimento sustentável:** a partir de 1990, é uma etapa em que tem sido realizado o tratamento terciário de esgotos e a compatibilização do escoamento pluvial com os sistemas naturais. Como consequência dessa nova consciência, observa-se a ampliação da conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida e redução das inundações.

Uma grande parcela dos dirigentes das cidades brasileiras ainda adota e executa suas infraestruturas de drenagem como se estivesse na fase higienista, ou seja, com um paradigma com atraso de mais de 40 anos. Entretanto, alguns tomadores de decisão já começaram a usar mecanismos da fase corretiva e de desenvolvimento sustentável.

É necessário tirar partido do conhecimento e das experiências internacionais nesses assuntos, pois os problemas que afetam hoje o Brasil já foram enfrentados por países desenvolvidos várias décadas atrás, e as tecnologias e metodologias praticadas atualmente nas cidades que apresentam sustentabilidade estão mais avançadas que as nossas.

Os métodos aplicados nesses locais devem ser analisados detalhadamente com o intuito de observar mudanças que necessitam ser feitas para adaptar as estruturas à realidade brasileira e às nossas condições climáticas. Normalmente uma solução adotada em um país de clima temperado não terá a mesma eficiência em um país de clima predominantemente tropical.

4.2 RETROFIT

Diante dessa necessidade, uma metodologia que tem sido bastante utilizada no mercado de construção internacional é o *retrofit*, termo abrangente que envolve qualquer atualização tecnológica de um sistema, obra ou equipamento.

Essa metodologia tem sido muito usada na Europa, nos Estados Unidos e também no Brasil em obras de edifícios que foram tombados como patrimônios culturais. São edifícios que, externamente, não podem ser modificados, mas internamente são reformados para contemplar atualizações tecnológicas com o objetivo de dar maior conforto ou funcionalidade às suas instalações e permitir o uso do imóvel de forma funcional, efetiva e segura, e não somente mantê-lo como adorno na cidade, respeitando, entretanto, os aspectos culturais, históricos, artísticos e estéticos.

O *retrofit* também pode ser aplicado em diversas áreas, desde a atualização de um computador até as instalações de quaisquer infraestruturas em uma cidade. Tem sido usado como metodologia de atualização de redes antigas de drenagem de águas pluviais urbanas e de esgotamento sanitário para adequá-las às novas exigências ambientais, superar as ineficiências de sistemas existentes e otimizar os serviços públicos.

Readequação é o termo que melhor traduz *retrofit* em português. Nessa dissertação será mantido o termo *retrofit*, pois o sentido e o significado da palavra inglesa já estão consolidados na literatura internacional, possibilitando enquadrá-la de forma mais apropriada nesse contexto.

A metodologia de *retrofit* permite que se mantenham os equipamentos existentes e que sejam considerados necessários ao funcionamento dos sistemas atuais, como os condutos de drenagem, e se introduzam alterações estratégicas somente nos pontos-chave do sistema, buscando otimizar o seu funcionamento, superar as deficiências da drenagem tradicional, como a incorporação de bacias de retenção, telhados verdes, aumentar os benefícios e reduzir as vulnerabilidades.

Essa metodologia já se tornou base de trabalho em muitos países. A Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA) apresentou uma série de relatórios e publicações que avaliam e orientam cidades e estados americanos na implantação e adaptação de suas estruturas de drenagem urbana. No relatório da EPA, *National Management Measures to Control Non-point Source Pollution from Urban Areas*, são colocados à disposição diversos estudos de caso de *retrofit* em cidades americanas, bem como mecanismos de contenção de cheias em áreas urbanas (EPA-EUA, 2005).

As orientações da EPA, nos EUA, têm como principal enfoque evitar que a poluição difusa, causada pelo escoamento superficial que enxágua vias e telhados, continue a se agravar. Nota-se que as soluções que são adotadas para melhorar o aspecto quantitativo do escoamento pluvial também podem ser usadas para melhorar o seu aspecto qualitativo.

Outra entidade que trata de forma extensiva o tema é a ONG *Center for Watershed Protection*, sediada nos EUA, que publicou uma série de onze manuais sobre as formas de avaliar, planejar, restaurar e gerenciar bacias hidrográficas urbanas. Propõem-se alternativas de como avaliar os melhores locais para incluir equipamentos de *retrofit* em sistemas de drenagem urbana, baseadas no terceiro manual dessa série que trata exclusivamente desse tema.

Esse manual apresenta uma metodologia que permite prever os efeitos dessa implementação, planejar a sua execução e coordenar a operação e manutenção dos equipamentos

No Quadro 4.1 é apresentada a diferença entre o planejamento de sistemas que envolvem *Retrofit* e o planejamento de equipamentos de drenagem em novos empreendimentos, conforme apresentado no referido manual (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007).

Quadro 4.1: Comparação de sistemas de planejamento.

Práticas de Retrofit urbanos	Sistemas de drenagem urbana em empreendimentos novos
<p>Custos de construção podem ser 1.5 a 4 vezes superiores. Requer significativa coleta de informações.</p> <p>Custos de projeto e avaliação são maiores. Dimensionado de acordo com objetivos bem delineados de restauração da bacia. Instalados tipicamente em terras públicas. Solos urbanos, geralmente, não suportam infiltração. Localizado ao redor de ocupações e estruturas existentes. Deve ser agradável aos vizinhos e donos dos terrenos. Manutenção realizada pelo poder público.</p> <p>Nem todos os locais são passíveis de implantação. Geralmente são projetados junto aos sistemas de coleta e transporte existentes. Funcionamento integrado com outras práticas. Investimento público na infraestrutura de drenagem. Inspeção do local é um pré-requisito do projeto</p>	<p>Projetistas buscam o equipamento mais barato</p> <p>Baseia-se, principalmente, em informações de projetos anteriores. Focado em projetos e avaliações de baixo custo. Dimensionado de acordo com os padrões de desempenho da rede de drenagem instalada. Instalados em novos empreendimentos Os solos podem suportar infiltração. Maior flexibilidade de locação das instalações.</p> <p>Estética não é uma grande preocupação dos projetistas. Manutenção realizada pela iniciativa privada, o que nem sempre ocorre. Obrigação legal de funcionamento dos equipamentos. Possuem redes novas instaladas somente para seu funcionamento. Funcionamento isolado. Investimento privado na infraestrutura de drenagem. Projetos podem ocorrer sem visitaçao do local.</p>

Fonte: Traduzido e adaptado, pelo autor, de (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007).

Cabe ressaltar que um dos fundadores dessa entidade, Tom Schueler, é referência mundial no assunto de drenagem urbana sustentável desde a década de 1980, tendo escrito diversos manuais sobre o assunto.

Com a crescente demanda por água nas áreas urbanas de maior porte e a redução da oferta hídrica, têm-se buscado alternativas para o abastecimento de água potável nos centros urbanos. Estudos atuais consideram a possibilidade da coleta das águas pluviais para o abastecimento de cidades, após o devido tratamento para retirada de impurezas e poluentes.

Esses estudos ainda se encontram em fase inicial, mas possibilitam um aumento da oferta hídrica em cidades que estão submetidas a racionamentos. Ao avaliar essas alternativas, devem ser levadas em conta a poluição por metais pesados, herbicidas e inseticidas, e outras fontes de poluição e contaminação que podem estar presentes nas águas pluviais urbanas.

4.3 METODOLOGIA

Planejar tecnologias de *retrofit* requer diversos cuidados. A decisão sobre qual técnica que melhor se adapta a determinado local merece especial atenção dos projetistas e técnicos envolvidos. Segundo Schueler *et. al.* (2007), em diversos

aspectos, o projeto de sistemas com *retrofit* difere do projeto de um novo sistema de drenagem urbana.

O projeto necessita de um olhar diferente, que antecipe a capacidade de restauração e a prevenção dos problemas que podem ocorrer além, de usar a criatividade para projetar soluções que funcionem da forma esperada, eliminando os riscos do funcionamento inadequado.

O custo de implantação também deve ser considerado, pois é um fator primordial na análise dos sistemas. Muitos municípios brasileiros dependem de repasses do governo federal para poder implantar qualquer sistema de infraestrutura. A possibilidade de incluir o *retrofit* no planejamento de manutenção permite que se reduzam custos, além de uma avaliação do desempenho da rede de acordo com as modificações instaladas, avaliando progressivamente o comportamento do sistema.

A implantação de componentes de forma progressiva, selecionada por critérios técnicos que indiquem os pontos críticos do sistema permite que se estabeleçam prioridades para o *retrofit*.

Um projeto de *retrofit* deverá buscar sempre a maximização da recuperação ambiental e a prevenção do dano ambiental a partir de cenários preestabelecidos. Logo, não é possível somente aplicar uma regra ou metodologia de dimensionamento de equipamentos, ou projetar com o intuito de receber um licenciamento ou aprovação do projeto.

Deve-se projetar tendo em mente o funcionamento de um sistema que opere adequadamente, que seja duradouro e que tenha um custo de manutenção dentro de limites razoáveis e, também, contribua para a manutenção ambiental dos corpos hídricos, dos ecossistemas e da bacia hidrográfica. É preciso também ter aparência agradável para a população e operar seguindo os princípios de sustentabilidade. (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007).

As questões éticas, sociais, ambientais, econômicas, educacionais, perceptivas também devem ser consideradas em um projeto deste porte. É importante, ainda, ter

em mente que a população é um ator relevante na tomada de decisões, sobretudo para a manutenção do sistema.

A metodologia proposta por Schueler *et. al.* (2007) é composta de oito etapas, sintetizadas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 : Etapas de *retrofit*, objetivos e tarefas associadas.

Etapas e objetivos	Tarefas associadas
<p>Etapa 1: levantamentos Definição da estratégia de <i>retrofit</i> para alcançar os objetivos principais.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento do potencial de <i>Retrofit</i>. • Revisão das infraestruturas existentes. • Definição dos objetivos principais. • Definição de critérios mínimos de desempenho. • Definição dos métodos de tratamento. • Levantamento do esforço necessário. • Validação da base SIG para uso. • Busca de potenciais sítios para a realização de <i>Retrofit</i>.
<p>Etapa 2: análises prévias Busca de sítios com potencial para <i>retrofit</i> na bacia hidrográfica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparação de mapas para a Inspeção de Campo. • Preparação prévia.
<p>Etapa 3: inspeção de campo Avaliação do potencial dos sítios escolhidos em campo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do sítio durante a Inspeção de campo. • Preparação posterior dos relatórios.
<p>Etapa 4: compilar o inventário de <i>retrofit</i> Desenvolvimento dos conceitos iniciais para os tipos de <i>Retrofit</i> mais apropriados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conceituação dos equipamentos de <i>retrofit</i>. • Distribuição de equipamentos difusos. • Montagem da proposta.
<p>Etapa 5: avaliação e classificação dos equipamentos Escolha dos equipamentos mais adequados e eficientes para o sítio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Consulta à população. • Desenvolvimento de critérios de escolha dos equipamentos. • Criação de lista de prioridades de <i>Retrofit</i>.
<p>Etapa 6: análise da área de atendimento Determinar se os objetivos de restauração da bacia podem ser atingidos pelos equipamentos projetados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação da capacidade de remoção de poluentes pelos equipamentos de armazenamento. • Avaliação da capacidade de remoção de poluentes pelos equipamentos difusos. • Comparação com os objetivos estabelecidos.
<p>Etapa 7: finalização de projetos e construção Desenvolvimento dos projetos para contratação da construção.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Obtenção de licenças e aprovações necessárias. • Elaboração de estudos específicos para complementação de projetos. • Finalização dos projetos. • Preparação para contratação (licitação).
<p>Etapa 8: inspeção, manutenção e avaliação. Garantir que os equipamentos estão funcionando corretamente e atingindo os objetivos propostos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeção da construção. • Manutenção periódica. • Monitoramento do projeto.

Fonte: traduzido pelo autor de (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007)

Essa metodologia pode ser aplicada, genericamente, em qualquer localidade. Para tanto, se faz necessária uma estrutura político-administrativa bem estabelecida para poder realizar todos os estudos e levantamentos exigidos. Porém, nem sempre é possível encontrar essa estrutura nos municípios brasileiros. Dessa forma, é

preciso adaptar as etapas e a forma de executar essa metodologia para obter os melhores resultados no Brasil.

Nos Estados Unidos, diversas cidades já possuem equipamentos adequados ao amortecimento de vazões, retardo do escoamento e outras soluções típicas da fase corretiva. A sua adaptação para uma tecnologia de drenagem urbana sustentável foi mais fácil, devido aos estudos previamente realizados durante a mudança do paradigma ocorrida por volta dos anos 1970.

No Brasil, a maioria das cidades ainda adota soluções da fase pré-higienista, ou seja, do início do século passado. Alguns municípios já adotam soluções pontuais de correção dos escoamentos urbanos, mas isso ocorre muito mais devido à impossibilidade de ampliação de redes, ou ao seu custo proibitivo, do que em razão de uma consciência de preservação e sustentabilidade. Além disso, é feita sem a integração da comunidade.

Dessa forma, a metodologia tradicional de drenagem urbana ainda é a mais difundida, primeiramente, por ter custo inicial de implantação menor e maior facilidade de dimensionamento. Outro fator que contribui sobremaneira para essa situação é que a cultura disseminada como apta para solucionar esse tipo de desafio é a da drenagem urbana tradicional.

O avanço tecnológico pretendido pode ser impulsionado por diversos fatores, tais como a adoção de políticas públicas que se traduzam em instrumentos legais de planejamento e controle, ou instrumentos econômicos. Como forma de induzir e acelerar a troca de paradigmas propõe-se que o ensino nas universidades brasileiras adote as metodologias de dimensionamento de sistemas sustentáveis de drenagem urbana, contemplando em disciplinas obrigatórias as tecnologias atualmente aplicadas nos países desenvolvidos.

As mudanças na forma de ensino, obviamente, terão efeitos no longo prazo, ou seja, até os estudantes de hoje estarem no mercado de trabalho, com influência suficiente para modelar um sistema de drenagem de acordo com as premissas mostradas no capítulo anterior, pode levar de 10 a 20 anos.

Isso significa que, se hoje for mudada a forma de ensino, serão aplicadas daqui a 10 ou 20 anos as técnicas que são adotadas nos países desenvolvidos há mais de 30 anos, representando uma defasagem tecnológica de aproximadamente 50 anos. Para tentar reduzir a falha temporal da tecnologia é que está sendo proposta essa metodologia. Com ela tenta-se reduzir o período de defasagem tecnológica na drenagem urbana para algo em torno de 30 anos, vez que essa metodologia será uma constante no ensino somente dentro de uma década, na melhor das hipóteses.

A partir do momento em que se inicie a aplicação da metodologia aqui apresentada, e esta se torne a forma prioritária de dimensionamento, poderá ser notada uma melhora do meio ambiente urbano. A atualização tecnológica, a partir desse momento, terá implementação mais rápida e poderá alcançar, dentro de aproximadamente quatro décadas, no mínimo, a tecnologia usada nos países desenvolvidos.

4.4 CASO INTERNACIONAL

Será estudado um caso real de implantação no Rio Norwalk, no sudeste do estado de Connecticut nos Estados Unidos da América, que evidencia os resultados alcançados com a aplicação dessa metodologia para, com isso, comprovar a sua eficiência.

Em diversos, países e em especial os EUA, existem vários casos de sucesso da adoção do *Retrofit* e diversas cidades melhoraram suas capacidades de suportarem as condições de chuvas extremas em variadas situações. Esses estudos são apresentados, como exemplos, no documento da EPA intitulado *National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas*.

A bacia do rio Norwalk engloba sete comunidades que se situam nos estados de Connecticut e Nova Iorque, nos Estados Unidos. As seis cidades que estão no estado de Connecticut se situam no condado de Fairfield, e são Nova Canaan, Norwalk, Redding, Ridgefield, Weston e Wilton, a cidade localizada no estado de Nova Iorque se encontra no condado de Westchester e se chama Lewisboro. (NRWI, 1998)

A bacia possui aproximadamente 166 km², o Rio Norwalk possui aproximadamente 32 km de extensão e apresenta um desnível máximo de 296 metros. Em 1990 a população que habitava a região era pouco maior que 65 mil habitantes. A Figura 4.1 mostra a bacia do Rio Norwalk (NRWI, 1998; TPL, 2003b)

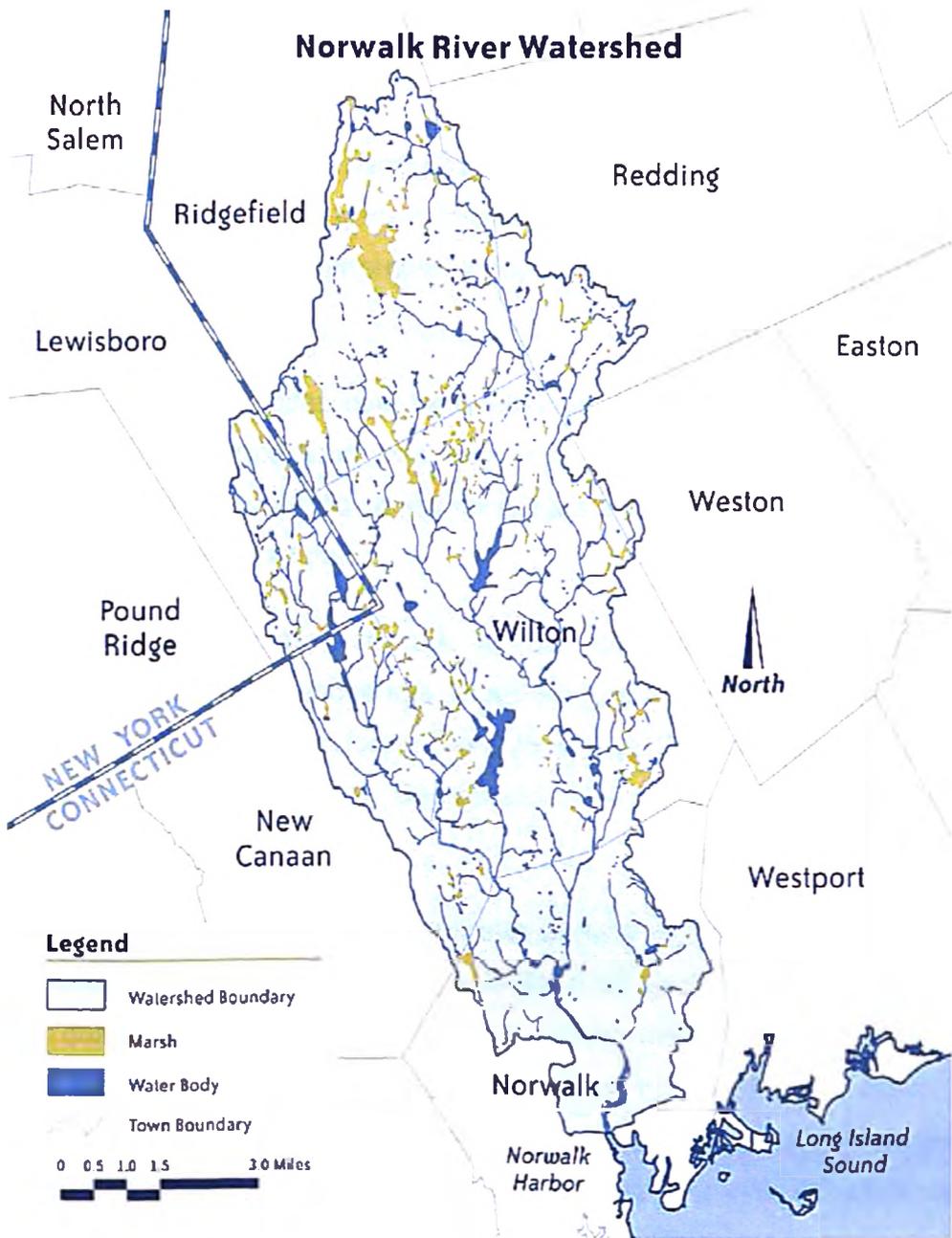


Figura 4.1: Bacia do Rio Norwalk. (TPL, 2003a)

A bacia apresenta uma taxa de 64% de área urbanizada ou desenvolvida com áreas comerciais, residenciais, indústrias leves ou estradas e rodovias. Os 34%

restantes se encontravam ocupados com bosques, áreas pantanosas e alagadiças, corpos hídricos e áreas não ocupadas. (NRWI, 1998)

Como a bacia do Rio Norwalk tem elevado grau de urbanização, os habitats e a qualidade da água estavam degradados devido à erosão e à elevada taxa de pesticidas, algas, sedimentos presentes no solo e carregados para os corpos hídricos (EPA-EUA, 2005).

Em 1997, agências governamentais (federais, estaduais e locais), grupos ambientalistas e cidadãos formaram a Iniciativa da Bacia do Rio Norwalk (NRWI), sigla em inglês, para tentar interromper a degradação da bacia e promover a sua recuperação.

Foram criados subcomitês com as tarefas de identificar objetivos para quatro problemas principais, separados nas seguintes categorias: 1) restauração de habitats; 2) uso do solo, proteção contra enchentes e espaços abertos; 3) qualidade da água e 4) educação ambiental.

Foram avaliadas áreas, em que haviam sido construídas represas ou equipamentos de controle de enchentes, locais em que o uso do solo contribuía para a poluição da água. Os dados foram fornecidos pelo Departamento de Proteção Ambiental de Connecticut, o U.S. Department of Agriculture e a U.S. Geologic Survey.

Com base nos dados analisados, foi elaborado o Plano de Ação da Bacia do Rio Norwalk, que descreve objetivos específicos e linhas de ação para alcançá-los dentro das quatro categorias definidas. Cada objetivo contém uma lista de tarefas específicas para implementação, com um cronograma bem definido, assim como uma metodologia de avaliação do sucesso de cada mecanismo. Também foi desenvolvido um programa educativo para a população local e criado um programa de patrocínios para financiar algumas ações (EPA-EUA, 2005).

Segundo o suplemento do Plano de Ação da Bacia do Rio Norwalk, dos 104 itens constantes do plano, 53 itens foram iniciados e 16 estavam concluídos em 2004. Entre as ações pertinentes na categoria de restauração de habitats que

podem ser apresentadas como *retrofit*, ressaltam-se a adaptação de represas para a instalação de escadas ou canais para peixes e a restauração de mais de 1.800 m de matas ciliares, permitindo melhoria na qualidade da água dos corpos hídricos e aumentando em 130% a população de trutas selvagens nos rios (NRWI, 2004).

Na categoria de uso do solo, proteção contra enchentes e espaços abertos, foram abertas trilhas para acesso ao rio e estão em andamento levantamentos para a criação de uma cartilha para identificar as trilhas ao redor do Rio Norwalk. No começo de 2001, foi instalado um sistema automático de alerta contra cheias, avaliado em menos de U\$100 mil dólares à época, que conta com medidores automatizados do nível do rio e das chuvas, e uma central de processamento de dados. Quatro dos sete municípios designaram pessoas específicas para garantir a aplicação do plano de ação (NRWI, 2004).

No que se refere à qualidade de água, foi promovida a restauração de zonas próximas ao rio, com a participação da comunidade, com o objetivo de melhorar o habitat e a qualidade das águas. Foi feito um estudo em diversos pontos do rio para identificar os locais de contaminação, tendo sido identificados três pontos principais de contaminação. (NRWI, 2004).

Com respeito à educação ambiental, foi estabelecido um comitê regulador das ações do plano para promover encontros periódicos para avaliação da implementação do plano. Foi eleito um coordenador da bacia para atuar no comitê e fiscalizar a implementação das ações propostas. No período de avaliação foi feito, também, um vídeo educativo, criado um sítio de internet e realizadas várias reuniões (NRWI, 2004).

4.5 METODOLOGIA ADAPTADA À REALIDADE BRASILEIRA

Adaptar essa metodologia à realidade brasileira não é uma tarefa simples, mas com algumas mudanças espera-se alcançar esse objetivo. Algumas medidas devem ser tomadas concomitantemente, como a coleta de informações, os estudos de campo e o estabelecimento de uma infraestrutura administrativa capaz de gerenciar e coordenar essas mudanças. Outras devem ser tomadas de forma sequencial.

Com relação à estrutura político-administrativa necessária para a implementação dessa metodologia, a Lei nº 9.433/97 orienta que as bacias hidrográficas devem ser gerenciadas por um Comitê de Bacia, composto por membros dos governos, da sociedade civil e usuários, com a missão de deliberar sobre assuntos relativos à bacia hidrográfica em questão. É estabelecido, na mesma lei, que deve ser criada uma Agência de Bacia, que deve funcionar como um braço executivo desse Comitê (BRASIL, 1997).

Barros (2005) suscita a idéia de criação de uma Agência de Drenagem municipal, ou intermunicipal, para o gerenciamento das ações de drenagem urbana, tendo em vista que a realização dos serviços drenagem é uma competência municipal. A idéia de uma agência de drenagem se torna particularmente interessante em uma área metropolitana, em que vários municípios estão envolvidos na drenagem urbana.

Analisando as atividades propostas pelo referido autor, nota-se que diversas competências que integrariam as ações da Agência de Drenagem proposta já integram as ações de uma Agência de Bacia, tal como preconizado na Lei nº 9.433/97.

Dentre as ações citadas destacam-se a implantação e manutenção de sistema de informações e monitoramento hidrometeorológico, a articulação com os diversos setores da sociedade e administração pública (municipal, estadual e federal), a fixação de critérios técnicos de projetos, fiscalizar o uso e ocupação do solo e o fomento à instalação de equipamentos que auxiliem a gestão da bacia. (BRASIL, 1997; BARROS, 2005)

Propõe-se que em locais onde existam Comitês de Bacia já estabelecidos as Agências de Bacia assumam o papel de Agência de Drenagem, tendo em vista que a Agência de Bacia atua nos limites da bacia hidrográfica, ou conjunto de bacias, e pode, em conjunto com o Comitê de Bacia, estruturar as ações necessárias para o correto gerenciamento da drenagem em todo o seu contexto.

A manutenção dessas agências poderia feita com a cobrança pelo uso de recursos hídricos, podendo ser instituído que a receita proveniente da outorga de

lançamento de águas pluviais seria revertida para este tipo de operação. A cobrança pelo uso de recursos hídricos seria, também, a fomentadora das ações de melhoria das infraestruturas de drenagem urbana, como ocorre atualmente nas bacias que possuem esse instrumento instaurado.

Destaca-se que atualmente poucas bacias hidrográficas possuem um comitê estabelecido, e em nenhuma delas há uma Agência de Bacia propriamente dita. Em algumas bacias tais atribuições são desenvolvidas por meio de convênios, porém não operam, exatamente, como o estabelecido na lei, como as agências do Comitê Piracicaba-Capivari-Jundiaí e o do Paraíba do Sul. A criação de mais uma agência que atuará no mesmo contexto dificultaria a gestão e poderia inviabilizar as atividades inerentes ao sistema.

Devido à diversidade de situações no ambiente político-administrativo brasileiro é necessário a adoção de diversos modelos de gestão, devendo cada caso ser analisado para garantir a eficiência na gestão integrada dos recursos hídricos.

Em bacias que não possuem Comitês de Bacia ou Agências de Bacia, os municípios podem usar suas secretarias de meio ambiente ou de infraestrutura para proceder ao planejamento e à execução dessas obras ou se instituir a Agência de Drenagem. Porém, como geralmente não dispõem de pessoal qualificado ou em quantidade suficiente para realizar essa tarefa, torna-se necessário contratar empresas, ou profissionais, especializadas, ou contar com o apoio estadual ou federal.

Conforme visto anteriormente, outras leis brasileiras podem dar suporte a esse tipo de ação, como o Estatuto das Cidades; a Lei nº 10.257/01, que estabelece que, no âmbito municipal, estadual e federal, devem ser criados órgãos colegiados de política urbana; e a Lei do Saneamento Básico, Lei nº 11.445/07, que prevê a criação de órgãos colegiados para decidir sobre infraestruturas de saneamento nas cidades e orienta a necessidade de planos diretores municipais (BRASIL, 2001; 2007).

Com base no olhar sobre os corpos hídricos, proposto por Christofidis (2004; 2006), que compara os corpos hídricos com o corpo humano, sugere-se a

adaptação das etapas propostas na metodologia de Schueler, Hirschman *et. al.* (2007) com a inclusão de uma etapa anterior às demais com o intuito de debelar a crise e, posteriormente, sanar, ou mitigar, as causas dos problemas.

Essa estratégia é semelhante ao que é aplicado na medicina no tratamento de doenças crônicas. Inicialmente, analisam-se os sintomas, diagnostica-se a doença e trata-se o quadro crítico. Só, posteriormente, procuram-se as causas para poder eliminar a doença ou sua reincidência.

Dessa forma, a metodologia adaptada à realidade brasileira proposta se estrutura com a inclusão de uma etapa prévia às anteriormente destacadas, como serão abordadas a seguir.

Etapa 1: pré-retrofit: Esta é uma etapa a ser executada previamente a todo o estudo com o intuito de preservar a área antes da implementação do restante do sistema, também tem como premissa a mitigação dos impactos que poderão ser causados na construção e operação dos equipamentos que serão projetados adiante.

Esta etapa se baseia no princípio da prevenção, que institui que devem ser adotadas medidas que previnam ou corrijam danos conhecidos e previsíveis, e no princípio da precaução, em que devem ser tomadas as medidas necessárias a mitigar um dano, ou risco de dano, ainda não previsto.

Nesta etapa são realizadas as avaliações dos principais pontos de degradação e um levantamento prévio do sistema, com especial atenção aos pontos de lançamento dos efluentes da rede de drenagem nos corpos hídricos.

Dimensiona-se, então, uma estrutura capaz de amortecer os lançamentos e regularizar a vazão do corpo hídrico a fim de resolver, temporariamente, os problemas do lançamento de vazão maiores que a capacidade de suporte do corpo hídrico receptor em sua série histórica.

Para essa etapa podem ser elencados mecanismos do tipo de bacias de retenção/detecção ou áreas alagadiças, *wetlands*, que combinadas com

biorretentores são de grande valia para a redução da poluição difusa. É importante notar que a partir desse momento é necessária uma estrutura de limpeza periódica e de manutenção dessa área.

Estes equipamentos podem, e muito provavelmente irão, sofrer *retrofit* durante a implantação desta metodologia, devendo as suas funções serem revistas e analisadas posteriormente à implantação dos outros equipamentos projetados para avaliação da necessidade de sua readequação.

Etapa 2: diagnóstico: aqui são definidos os objetivos da recuperação ambiental, seus principais parâmetros e um plano geral de implementação do *Retrofit*. São feitos levantamentos prévios das infraestruturas existentes, elencando quais os tipos de equipamentos e tratamentos que poderão ser adotados.

Procedem-se aos estudos dos critérios mínimos de operação que poderão ser usados para o desempenho adequado do sistema projetado. Faz-se, também, uma previsão do que será necessário para desenvolver o projeto por completo. São feitos os levantamentos de informações a respeito da área, com claros indicadores de como se comporta o sistema atual e como ele poderá ser afetado com o sistema sustentável em seu pleno funcionamento.

Etapa 03: levantamentos com dados secundários: nesta etapa são realizados os levantamentos dos dados e a consolidação e formação de um banco de dados de informações sobre o projeto e a rede. São levantados os dados secundários relativos à rede de drenagem urbana, com um diagnóstico completo de condutos existentes e equipamentos instalados.

Buscam-se, nos organismos governamentais, as bases de dados existentes para o estabelecimento de uma base cartográfica com elementos de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Essas informações podem ser complementadas com outras de campo. São eleitos os locais propícios ao *retrofit* e são preparados os materiais para as análises de campo que irão verificar as reais condições dos sítios elencados.

Etapa 04: análises de campo: são feitas visitas aos locais eleitos previamente para avaliar as suas reais condições de recebimento dos equipamentos propostos. Procede-se à análise da capacidade de o sítio se adequar ao *Retrofit* e do tipo de equipamento que pode ser instalado. São feitos estudos de solo, inventários biológicos de fauna e flora, análises do sistema existente.

Com as informações coletadas, a base de dados é atualizada com a situação real de campo. Nessa etapa, sistemas previstos podem ser alterados para melhor se adequarem à realidade da região. Com base nessas informações, são preparados os relatórios que irão embasar o inventário futuro dos equipamentos e efetivamente balizar as ações que podem ser tomadas na bacia de drenagem urbana.

Etapa 05: inventário: é a etapa mais crítica, pois é nela que a proposta de *Retrofit* se consolida. Como já deve existir um diagnóstico completo da região, é possível indicar quais os locais mais apropriados para cada solução de *Retrofit*. Já é possível prever qual a influência da adoção das soluções sobre o sistema final e sobre o meio natural, pois existem informações suficientes para a simulação do sistema, entretanto essas simulações indicam uma tendência, vez que o sistema ainda não foi completamente dimensionado e implantado.

Com os resultados advindos dessa etapa, é possível montar uma proposta sólida com estimativa de custos de todo o sistema, como serão distribuídos os equipamentos difusos, quais as medidas que podem ser adotadas, tanto as estruturais quanto as não estruturais, e definir como será feita a implementação. Cabe ressaltar que as estruturas instaladas na Etapa 1 deverão ser reavaliadas nesta etapa.

Esta tende a ser a etapa mais demorada do projeto, pois depende de muitas informações técnicas e de procedimentos adequados para a formalização dos projetos para execução. São feitos orçamentos sintéticos para apresentação ao poder público e à população para validação da proposta.

Etapa 6: validação: os equipamentos levantados na Etapa 5 são apresentados à população e aos governantes para avaliação do que pode ser executado, como pode ser executado e o que é aceito como proposta final. São

estabelecidos parâmetros de análise e avaliação dos equipamentos, permitindo a sua classificação de acordo com os objetivos propostos para o sistema.

São discutidos os pontos prioritários de todo o sistema; é definida a forma de implantar o plano de trabalho, e são levantados critérios de educação ambiental e ações específicas para remediar situações mais críticas. São então elencados, em prioridades, os equipamentos que serão objeto de *retrofit*, com o aval do poder público e da população.

Nessa etapa também são identificados potenciais parceiros para ajudar na implantação do sistema e definidas as estratégias para viabilizar os empreendimentos que irão ser feitos.

Etapa 7: avaliação: é feita uma avaliação dos equipamentos projetados e qual será seu comportamento, de forma simulada, entretanto, com maiores elementos que na análise preliminar feita nas etapas 2 e 5.

São realizadas simulações objetivando prever qual a capacidade de amortecimento da vazão e de retirada de sólidos suspensos, amortecimento de pico de cheia, tratamento da poluição difusa etc.

Essa análise permite verificar como se comporta o sistema, cada equipamento e qual a parcela de contribuição que cada um possui nos aspectos analisados. Qual a distribuição espacial e quantos equipamentos são necessários, os custos de manutenção e outros aspectos pertinentes.

Esses dados são comparados com os objetivos propostos anteriormente para verificar se estão sendo atendidos plenamente pelo sistema e quais as necessidades de mudanças para que isto aconteça.

Etapa 8: conclusão e execução: são formalizados os planos de trabalho, os projetos de construção são detalhados para atenderem às especificações legais de obtenção de licenças, e os estudos complementares necessários são feitos com o intuito de subsidiar os projetos com elementos mais precisos.

São então finalizados com os projetos, orçamentos e cronogramas para a execução das obras e medidas. Após a finalização da etapa de projetos, estes são licitados e executados conforme o planejamento feito.

Etapa 9: acompanhamento: é feita uma avaliação do desempenho dos equipamentos, agora em plena operação, para garantir que, na prática, atinjam os objetivos propostos. Deve ser feito um acompanhamento completo desde a execução até a entrada em operação, além da manutenção do sistema.

Deve ser prevista uma rede de monitoramento adequada que permita a avaliação dos trechos para indicar onde ocorrem obstruções ou outros problemas. Uma rede hidrometeorológica adequada deverá alimentar a base de dados com informações precisas que permitirão a reavaliar o sistema futuramente e indicar o seu pleno funcionamento.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O *retrofit* é uma metodologia que permite ao poder público adequar tecnologias que estão impactando o meio ambiente e transformá-las em tecnologias que irão atuar a favor do meio ambiente. As adequações realizadas para ajustar a metodologia à realidade brasileira são complexas e podem ter impacto significativo em todo o sistema.

Segundo o exemplo do Rio Norwalk apresentado, os benefícios ao meio ambiente são palpáveis após um curto período de tempo. No caso analisado, somente 5 anos tinham se passado desde a criação do plano de ação e o suplemento de análise e já haviam claros indícios de melhoria no ambiente natural.

A população de peixes se restabeleceu, os habitantes engajaram-se na melhoria do seu ambiente e os municípios e condados afetados tinham designado pessoas para garantir a implementação do plano de ação. Tudo isso demonstra uma movimentação político-institucional que deve ser direcionada para este tipo de ação.

A inclusão da etapa de pré-retrofit tem como objetivo a prevenção da continuidade do dano ambiental enquanto se fazem as adequações necessárias no

sistema de drenagem para que este se torne sustentável. É importante salientar que essa nova etapa não é obrigatória, entretanto a sua adoção pode proporcionar maior taxa de sucesso em todo o empreendimento e trazer maiores benefícios para o meio ambiente e para o próprio poder público.

A mitigação do impacto durante todo o período de execução de obras no sistema permite a redução dos problemas causados pelas próprias obras, tais como a movimentação de solos, que sem cobertura alguma são lavados e erodidos, ocasionando o assoreamento dos corpos hídricos receptores. A adoção de uma estrutura capaz de reter esses sólidos, reduzir a vazão de pico e permitir o tratamento natural das águas pluviais drenadas é significativa na proteção ambiental da área afetada, agindo na precaução do dano ambiental.

A construção desses componentes pode exigir a desocupação de áreas ocupadas de forma irregular e, já no início do processo, garantir uma área que poderá ser transformada em um parque linear ou ser usada por outros equipamentos sustentáveis que serão projetados e construídos nas etapas posteriores. Deve-se incluir esse equipamento no planejamento posterior do sistema, com o cuidado de deixar o seu *retrofit* para as etapas finais, enquadrando-o nos objetivos do sistema, em uma sequência de prioridades exequível.

5 ESTUDO DE CASO DE *RETROFIT*

Neste capítulo será apresentado um exemplo de aplicação, em uma área do Distrito Federal, da metodologia demonstrada no Capítulo 4. A sua aplicação tem o objetivo de demonstrar os benefícios, tanto ao ambiente natural quanto ao ambiente urbano, que podem advir da adoção de componentes que caracterizam o *retrofit* de estruturas de drenagem urbana.

A área escolhida para a aplicação da metodologia está inserida na Bacia do Paranoá, denominada por Polo de Modas do Guará II e resultou da disponibilidade de dados digitalizados que possibilitam esse tipo de análise. Mesmo com a existência desses elementos, o tratamento e a configuração de dados do sistema foram complexos, tendo sido usados softwares de georreferenciamento para a extração de informações e dados necessários para a análise.

A abordagem adotada foi a de considerar as etapas anteriormente descritas de um sistema de drenagem urbana tradicional e quais ações podem ser tomadas para se transformá-lo em um sistema de drenagem urbana sustentável.

Destaca-se, preliminarmente, que a abordagem e o estudo de caso são teóricos, o que não invalida a análise nem o atendimento dos objetivos propostos.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O Polo de Modas do Guará II situa-se entre as quadras QE 38, QE 32 e QE 30 do Guará II, inicialmente concebida para abrigar empresas ligadas à produção de moda. Foi criado em 2000 para a instalação de um centro especializado, implantado pelo Pró-DF. A área foi projetada para abrigar 460 empresas do segmento de moda e inicialmente 150 empreendedores foram beneficiados com lotes e isenções fiscais.

A criação do Polo de Modas objetivou atrair investimentos para o Distrito Federal nesse segmento, no qual já se destacam empresas com faturamentos acima de R\$1,5 milhão. Segundo informações da Associação do Polo de Modas do Distrito

Federal, o fluxo de negócios pode alcançar a cifra de R\$35 milhões mensais para a economia do DF.

O Polo abrange uma área de 31,1 ha, tendo como ocupação principal a atividade comercial. Há previsão de ocupação dos lotes em 100% da área dos terrenos, acarretando uma elevada taxa de impermeabilização. Alguns lotes são destinados a galpões e indústrias de maior porte, e nestes ocorre previsão para manutenção de parcelas de áreas não edificadas. No lote destinado ao Corpo de Bombeiros do Distrito Federal, situado no referido Polo, observa-se a manutenção de maior percentagem de área gramada, o que permite a infiltração de parte do escoamento de águas no terreno.

No local do Polo de Modas foram criadas praças, quadras esportivas e o Parque Vivencial Denner, totalizando uma superfície de cerca de 3 hectares. Quando se considera o perímetro total do Polo, pode-se afirmar que a ocupação urbana e a impermeabilização ocorrem em elevado percentual, pois alcançam cerca de 80% da área total.

Dos 31,1 hectares da área, cerca de 5,9 ha (20%) se encontram sem a ocupação de edifícios, ou seja, ainda apresentam alto grau de permeabilidade. Metade dessa área de menor impermeabilização se encontra dentro do Parque Vivencial Denner. A Foto 5.1 ilustra as áreas permeáveis existentes nas praças, no Parque Vivencial Denner e nos lotes ainda não ocupados. A drenagem natural da região é feita para o córrego Vicente Pires, tributário do Lago Paranoá, e o seu lançamento é feito próximo à ponte de ligação entre o Guará, o Núcleo Bandeirante e o Park Way.



Foto 5.1: Ortofotocarta do Polo de Modas do Guarã II, adaptada. (TOPOCART, 2009).

5.2 RETROFIT

Para a aplicação da metodologia de *retrofit* exposta no Capítulo 4, o trabalho será subdividido em duas partes. A primeira focará as ações sobre as etapas 1 a 5 da metodologia adotada, por serem passíveis de desenvolvimento dentro de escritório e poderem ocorrer com visitas de campo ou levantamento de dados secundários.

A segunda parte do trabalho, e de aplicação da metodologia, depende das etapas 6 a 9, que devem ser realizadas durante a implantação do sistema, São apresentados detalhes teóricos e/ou exemplos da aplicação e resultados em outros locais em que a metodologia foi aplicada a fim de demonstrar os resultados da sua execução.

Os objetivos adotados para o sistema foram definidos preliminarmente, seguindo os conceitos da drenagem urbana sustentável, e orientaram a escolha dos equipamentos que poderão ser incluídos na área selecionada.

5.2.1 Etapa 1: pré-retrofit

Na fase inicial da aplicação da metodologia, analisou-se a situação que existia na área antes da ocupação urbana. Foi avaliada qual a vazão natural que a área drenava para o Córrego Vicente Pires quando não havia contribuições devido ao uso antrópico da área. Foram levantadas informações para avaliar a dinâmica hidrológica, como o tempo de concentração, vazão, que existia no local.

Posteriormente, foram feitas as análises dos componentes da área urbanizada, usada para comparar os diversos valores do escoamento pluvial. Foi, então, realizada a seleção e a proposição de mecanismos para a mitigação imediata do aumento de vazão que acarreta a redução do tempo de concentração, possibilitando a análise dos demais componentes a seguir, visando ao alcance do padrão sustentável de drenagem no local.

Na análise prévia, foram consideradas quatro alternativas:

1. A primeira alternativa considerou a área como natural, sem nenhuma ocupação urbana prévia, levando em conta que a vegetação da área era uma cobertura gramada leve, conforme as características do Cerrado, que prevaleceu na área, sendo dotado de gramíneas rasteiras, árvores e arbustos esparsos.
2. Na segunda alternativa, área é urbanizada, porém não possui nenhum sistema artificial de drenagem, logo todo o escoamento realiza-se seguindo a orientação da superfície natural do solo.

3. A terceira alternativa considerou que o Poder Público construiu a infraestrutura viária e de drenagem pluvial, entretanto a condição adotada foi a de que os lotes ainda não foram ocupados e sua cobertura ainda é predominantemente vegetal.
4. Na quarta alternativa a área apresenta a mesma urbanização da terceira alternativa, porém com os lotes já ocupados, e as edificações obedecendo aos regulamentos do Código de Obras do Distrito Federal e do Setor.

Os levantamentos foram realizados com base na medição das plantas digitais e nas respectivas curvas de nível, o que permitiu definir o encaminhamento e o comprimento natural do escoamento, e a velocidade do escoamento da área por

$$\text{meio da } v = k \cdot S^{0,5}$$

Equação 5.1

Usando as informações do levantamento planialtimétrico com as curvas de nível locais, com espaçamento de 2 em 2 metros, foram estimadas as declividades dos terrenos. A equação que permite determinar a velocidade de escoamento da água sobre superfícies foi elaborada pelo Soil Conservation Service, SCS, dos Estados Unidos da América.

$$v = k \cdot S^{0,5}$$

Equação 5.1: Velocidade de escoamento sobre superfícies

Em que:

v: é a velocidade em m/s;

k: é um coeficiente segundo a Tabela 5.1; e,

S: é a declividade do terreno em m/m.

Fonte: (TUCCI, 1993).

Tabela 5.1: Valores do Coeficiente k.

Uso da Terra e regime de escoamento	k
Floresta com muita folhagem no solo	0,076
Área com pouco cultivo; terraceamento	0,152
Pasto ou grama baixa	0,213
Áreas cultivadas	0,274
Solo quase nu, sem cultivo	0,305
Caminhos de escoamento em grama, pasto	0,457
Superfície pavimentada; pequenas voçorocas de nascentes	0,610

Fonte: (TUCCI; PORTO *et al.*, 1995)

Em sequência, obteve-se o tempo de concentração do escoamento da primeira alternativa adotada. Escolheu-se o coeficiente $k = 0,213$, que é equivalente ao de pasto ou grama baixa, devido às características das áreas de Cerrado do Distrito Federal que predominam no setor. A declividade da área, segundo o levantamento realizado com o mapa planialtimétrico, é de 4,9%. Com isso a velocidade de escoamento resultante foi de 0,05 m/s.

Consequentemente, dividindo-se a distância pela velocidade obtém-se o tempo de concentração. A distância do escoamento mais longo apurada foi da ordem de 814 m, logo o tempo de escoamento foi de 287 minutos, aproximadamente.

Com tal tempo de concentração foi possível definir a intensidade de chuva crítica do projeto, obtendo-se a vazão de escoamento pelo método racional. A equação de chuva crítica para Brasília adotada pela Novacap é a indicada na

$$I = \frac{1302,26 \cdot Tr^{0,16}}{(Tc + 11)^{0,815}}$$

Equação 5.2.

$$I = \frac{1302,26 \cdot Tr^{0,16}}{(Tc + 11)^{0,815}}$$

Equação 5.2: Equação da intensidade de chuva em Brasília/DF.

Em que:

Tr: é o Tempo de Retorno, em anos,

Tc: é o tempo de concentração, em minutos,

I: é a Intensidade de Chuva, em mm/h.

Conforme orientação da Novacap, foi adotado um tempo de retorno de 10 anos. Essa orientação é uma tendência em projetos de drenagem urbana, tendo em vista que as estruturas anteriormente dimensionadas com tempos de retorno inferiores não estavam suportando as elevadas vazões observadas nas áreas de abrangência dos sistemas. Dessa forma, a chuva de projeto calculada foi de 18,10 mm/h.

Cabe ressaltar que, nos projetos de microdrenagem, o tempo de retorno máximo adotado anteriormente era de 5 anos e somente em áreas comerciais altamente valorizadas e terminais aeroportuários se utilizavam períodos de retorno de 10 anos (CETESB, 1986).

$$\text{Aplicando-se a } Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Equação 2.1 do método racional, anteriormente demonstrada, e adotando-se o coeficiente de escoamento de 0,13, referente a áreas com gramados e vegetação nativa, foi possível obter a vazão pluvial de lançamento no Córrego Vicente Pires como sendo de 203,8 l/s.

Analisando a ortofotocarta (TOPOCART, 2009), representada na Foto 5.1, observa-se que mais de 80% da área em análise está urbanizada e impermeabilizada, acarretando uma série de impactos ambientais já discutidos. Observa-se que quando se altera o coeficiente de escoamento superficial, de acordo com a

Tabela 5.1, para superfície pavimentada ou voçorocas há uma conseqüente redução do tempo de concentração e um correspondente acréscimo da vazão.

Para a segunda alternativa adotada, foi obtida uma velocidade de escoamento de 0,13 m/s, ou seja, 286% acima da velocidade de escoamento natural. Agravando-se ainda mais a situação, o tempo de concentração reduziu-se de 217 para 100 minutos. Com isso a intensidade de chuva crítica de projeto elevou-se para 40,52 mm/h, 224% maior aquela que a natural. A vazão calculada pelo método racional, na segunda alternativa passou a ser de 2.526 l/s, 1.240% superior àquela que ocorria previamente à ocupação.

Para a terceira e quarta alternativas, levou-se em consideração a existência de uma rede de drenagem no local. O sistema de drenagem analisado apresenta um comprimento total no seu maior trecho de 1.600 metros. O cálculo do tempo de concentração foi realizado com base no escoamento superficial até a coleta pelas bocas de lobo, que alimentam as galerias, e, após isso, com a fórmula de Manning para escoamento livre em condutos circulares, cujo coeficiente adotado foi de 0,0013.

A velocidade do sistema foi calculada pela divisão do comprimento pelo tempo de concentração encontrado. Considerando a área permeável do Polo, de aproximadamente 20%, foi possível obter os dados apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Dados das simulações, por alternativas de estudo.

Alternativa	Escoamento superficial		Escoamento canalizado	
	1ª: Natural	2ª: Urbanizada	3ª: Natural	4ª: Urbanizada
Coefficiente k	0,213	0,610	0,213	0,610
V (m/s)	0,05	0,13	0,383	0,526
Tc (Min)	217	100	69,6	50,68
I (mm/h)	18,10	40,52	52,61	65,42
Coefficiente C	0,13	0,72	0,13	0,72
Q (l/s)	203,8	2.526	592	8.714

Observa-se que houve um aumento significativo de escoamento superficial de água no sistema de drenagem, principalmente quando comparada a situação em que ocorria o escoamento superficial natural, 1ª alternativa, com a área urbanizada e ocupada, 4ª alternativa. Dessa forma, observa-se que são necessárias estruturas que possibilitem o amortecimento de uma vazão da ordem de 8.500 l/s para que o sistema continue a lançar no corpo hídrico receptor somente a vazão natural, que era de 203,8 l/s.

A proposta inicial é a instalação de uma bacia de retenção, ou um conjunto de componentes que possibilite que o volume excessivo escoado seja armazenado temporariamente e levando a uma recuperação das condições naturais. Essa bacia de retenção deve ser instalada no lançamento do sistema de forma que garanta a melhoria do ambiente natural a montante da implantação dos instrumentos complementares que possibilitarão condições de sustentabilidade ao sistema.

Observou-se que para o dimensionamento desse novo componente, representado pela bacia de retenção, é possível usar a metodologia de dimensionamento de bacias de retenção em lotes, tendo em vista que a área de empreendimento é menor que 100 ha e esta é condição limite para aplicação do método (PMPOA e IPH, 2005).

Para a construção dessa bacia de retenção foi escolhida uma área de 700 m², que possibilita a criação da bacia em formato de chincana, com aproximadamente 211 metros de comprimento e seção transversal trapezoidal com bases menor de 1,5 metro, altura mínima de 1,5 metro e inclinação do talude de 45°. Além de reduzir a velocidade do escoamento e permitir a deposição dos resíduos sólidos suspensos,

o formato chincana permite maior área para armazenamento, fazendo com que bacia de retenção também funcione como bacia de infiltração e sedimentação. O volume de armazenamento é de aproximadamente 710 m³.

5.2.2 Etapa 2: diagnóstico

Para a definição dos objetivos para esse *Retrofit* serão usados como base os princípios da drenagem urbana sustentável, que tradicionalmente servem de base para a discussão dos objetivos entre o poder público, os técnicos e a população da área afetada:

- Não ampliação da cheia natural.
- Tratamento do escoamento pluvial.
- Educação ambiental.
- Priorização dos mecanismos naturais de escoamento.

Observando-se os objetivos propostos, verifica-se que os dois primeiros podem ser alcançados na primeira etapa da metodologia adotada e serem mantidos nos níveis desejados, ou melhorados, com a implantação do restante do sistema.

Para essa etapa são necessários dados sobre as características da rede de coleta de águas pluviais, as plantas da rede existente, os mapas topográficos, bem como informações a respeito da região objeto do trabalho.

Foi realizada pesquisa na Novacap, para aquisição do cadastro da rede de drenagem pluvial da área, o que possibilitou os trabalhos dos levantamentos de dados secundários. a pesquisa estendeu-se à empresa Topocart, que forneceu os levantamentos planialtimétricos e a ortofotocarta usada como base para a análise de tipos de cobertura e declividade do solo da região do estudo.

Os trabalhos de adaptação do sistema de drenagem tradicional ao sistema sustentável contribuíram para que os levantamentos prévios de vazão para dimensionamento da estrutura de contenção realizados na Etapa 1, servissem de base para a definição dos parâmetros de operação do sistema e possibilitassem reduzir o escoamento superficial para apenas 2,3% do atual, ou seja, de 8,7 m³/s

para 0,2 m³/s o que representa uma redução de vazão de 8,5 m³/s durante uma tormenta padrão estimada.

5.2.3 Etapa 3: levantamento de dados secundários

Segundo dados fornecidos pela Novacap, pode-se observar que a rede de condutos pluviais da área segue as normas e os preceitos dos sistemas de drenagem urbana tradicional, ou seja, é composta por tubulações de concreto, com diâmetros variando de 0,40 m a 1,00 m, que servem como rede coletora e de condução das águas que são lançadas no Córrego Vicente Pires, em tempos de concentração menores que os naturais. A rede de drenagem tradicional existente possui cerca de 4 km de extensão em sua totalidade.

Com base nas cartas urbanísticas e ortofotocartas fornecidas (TOPOCART, 2009), pode-se observar que, na área objeto deste estudo, além do Corpo de Bombeiros do DF, existem três praças, A, B e C, conforme delimitadas na Foto 5.1, e o Parque Vivencial Denner, que oferecem condições para serem adaptadas para receberem parte dos efluentes pluviais e possibilitarem o amortecimento do escoamento.

As principais vantagens decorrentes da inserção de componentes sustentáveis no sistema de drenagem tradicional em pontos a montante da rede existente, ou nos seus trechos iniciais, são proporcionar que a sua operação possa ser realizada de uma forma mais segura e atenuar a ação e impactos de eventos climáticos extremos em relação aos que foram utilizados no dimensionamento do projeto e que tem ocorrido com maior frequência atualmente.

A adoção de bacias e componentes que permitem a atenuação dos picos de cheias também poderá contribuir para que a infiltração de parcela do escoamento ocorra em locais mais próximos de sua fonte de geração.

No parque Vivencial Denner existe uma lagoa natural que, com pequenas intervenções no sistema de drenagem pluvial, poderá atuar como bacia de retenção e controle do sistema de drenagem. O desvio de parte do escoamento para essa

área permite a redução do volume de amortecimento a ser localizado no final do sistema de drenagem.

Nas três praças do Polo de Modas do Guará II, com o adequado estudo paisagístico, podem ser construídas áreas que assimilem as cheias temporárias e sejam solução desse problema, permitindo a infiltração e o controle das vazões de pico. Se adequadamente planejadas, propiciariam também espaços com estéticas tais que se constituiriam em áreas agradáveis aos moradores, aos lojistas e a seus clientes.

5.2.4 Etapa 4: análises de campo

Levantamentos realizados com base em dados secundários permitem concluir que a soma da área de telhados das unidades constituintes do Polo de Modas do Guará II com a área permeável dos lotes e das áreas verdes é da ordem de 52% da área total do setor. Tal informação possibilita prever, também, a influência que a adoção do uso de telhados verdes teria sobre a vazão final e sobre o sistema de drenagem urbana como um todo, caso sejam adotados pelos proprietários das unidades.

Aplicando os modelos de escoamento previamente utilizados, considerando a área de telhados com uma inclinação de 30%, encontrou-se uma vazão final de 4.531 l/s, ou seja, aproximadamente 52 % da vazão da área urbanizada atual. Foi uma redução significativa, apesar de ainda situar-se mais de 22 vezes acima da vazão natural.

Observa-se, assim, que a redução da vazão simplesmente pela adoção dos telhados verdes é representativa, entretanto essa solução só será plenamente efetiva se adotada em toda a área e se for largamente discutida com os proprietários, pois depende de intervenções diretas nas propriedades existentes.

A lagoa existente no Parque Vivencial Denner tem uma área de aproximadamente 1.350 m². Estima-se que seja possível adotar, com segurança, um desnível de 1 metro entre o nível da rua adjacente e as margens da lagoa. O volume

decorrente desse desnível pode ser considerado como sendo parte de uma possível bacia de retenção no sistema de drenagem sustentável.

As três praças do Polo, objeto desse estudo, têm as seguintes áreas: A=6.900 m², B=2.000 m² e C=5.000 m² e apresentam condições propícias para o amortecimento de vazões. Podem ser criadas zonas de amortecimento de vazão e favorecimento da infiltração, tais como jardins biorretentores e poços de infiltração.

A Foto 5.2 mostra a Praça C como ela é atualmente e a Figura 5.1 mostra uma proposta de aparelhos que podem ajudar a reduzir os impactos da urbanização já instalada no setor. A adoção de poços de infiltração nas extremidades da referida praça podem ajudar a reduzir o aporte de sólidos e também incentivar a infiltração de grande parcela da água desviada para a Praça C.

Propõe-se, também, a criação de áreas em que se projetem, em conjunto com um paisagismo, áreas com biorretentores, ajardinadas com espécies específicas de plantas capazes de reduzir o aporte de poluição difusa e promover a infiltração da água. A adoção de bloquetes intertravados no calçamento da praça propicia um escoamento laminar mais lento e maior infiltração de água no solo. A área destinada à quadra poliesportiva continuaria tendo o mesmo uso atual, tendo em vista que as outras propostas já devem ser suficientes para reduzir o escoamento, entretanto pode ser modificada futuramente para contemplar uma bacia de retenção, caso seja necessário.



Foto 5.2: Praça C na situação existente.

Pequenas mudanças no sistema de drenagem pluvial possibilitam a redução do escoamento pluvial instantâneo, distribuindo a vazão no tempo desejável e induzindo a infiltração e recarga do lençol freático, o que facilitará a convivência com as condições naturais, tornará melhor a qualidade das águas e ampliará a regularização das vazões.

A flora da região é típica de cerrado, com pequenas árvores esparsas e gramíneas, havendo pouca compactação do solo e alta capacidade de infiltração nas praças, o que facilitaria a adoção dos componentes sugeridos. Os estudos de composição do solo para ensaios de infiltração, determinação do nível de lençol freático e inventário biológico permitem obter resultados mais precisos sobre tais componentes.

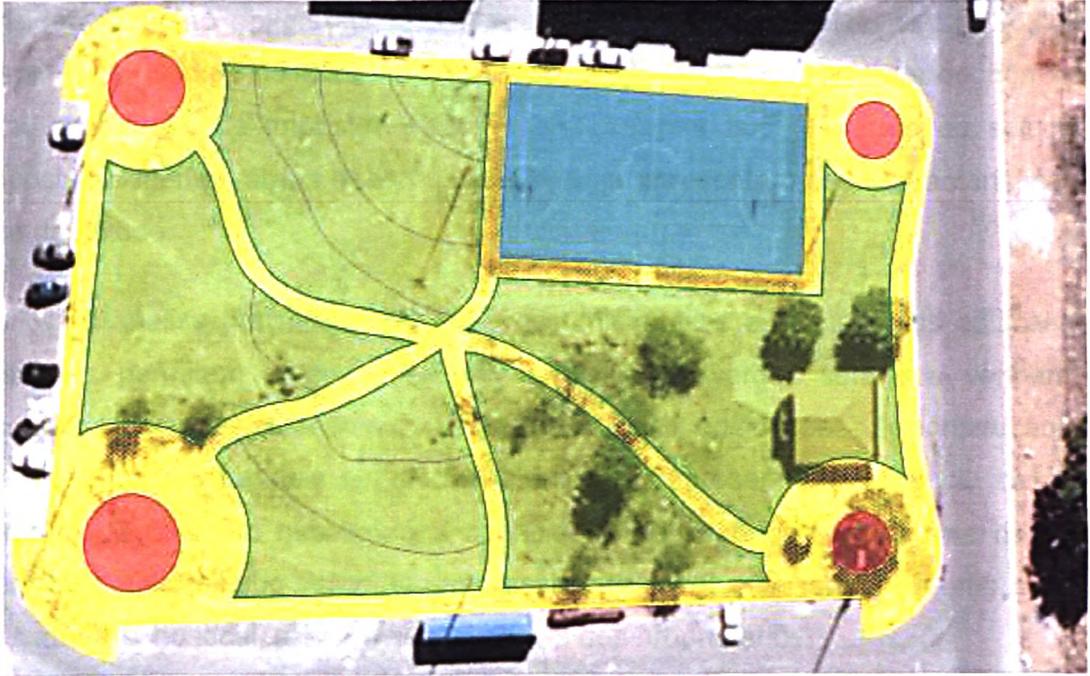


Figura 5.1: Paisagismo proposto para a Praça C que auxiliará no alcance do sistema de drenagem urbana sustentável.

5.2.5 Etapa 5: inventário

Devido ao elevado grau de impermeabilização da área do estudo, em que apenas 20% dela apresenta uma situação permeável, e observando-se a situação atual, em que menos de 10% dos lotes se encontram desocupados, propõe-se que sejam adotadas medidas que permitam a detenção, a retenção e a infiltração do escoamento por meio de bacias, o tratamento do escoamento por meio de bioretentores e o retardo do escoamento pelo escoamento laminar sobre superfícies gramadas nos locais que essas soluções forem possíveis.

Seria imprudente a remoção dos pavimentos nas vias existentes para a adoção de pavimentos permeáveis, como os bloquetes intertravados, entretanto, nas vias e estacionamentos internos de alguns lotes com maiores superfícies e em áreas de estacionamentos que ainda não foram pavimentados, essa solução poderia ser

considerada como obrigatória, e adotada a partir de medidas de regulação, pela mudança no Código de Obras e normas de edificações ou incentivos econômicos, como a redução de impostos para as propriedades que adotarem as soluções propostas. Algumas áreas de estacionamento já apresentam essa característica na área de estudo.

Uma análise preliminar possibilita assumir que as estruturas das edificações existentes permitem adotar a solução de telhados verdes sem que venham a representar grandes alterações nas estruturas das edificações. A construção de casas e edifícios de dois a três pavimentos já representa a exigência de uma estrutura de concreto que tenha a capacidade de suportar o acréscimo de peso acarretado pelo telhado verde. Mesmo assim, essa solução carece de uma análise mais apurada no local, além da concordância dos proprietários.

Os estímulos à adoção dos telhados verdes poderiam ocorrer de formas distintas, uma opção é como uma medida não estrutural, pela mudança no Código de Obras em que as novas construções deveriam prever essa solução por ocasião da submissão dos projetos para aprovação na Administração Regional.

Em conjunto, podem ser adotados instrumentos econômicos. Por exemplo, a redução do IPTU para os proprietários que incorporarem medidas de retardo do escoamento e/ou infiltração de vazões pluviais em suas construções. Outra forma de encaminhamento para essa solução seria a intervenção do poder público no sentido de financiar a implantação de telhados verdes nas construções existentes. Essa medida estrutural poderia ter como benefício o ganho de escala na adoção da solução, conseguindo um preço mais baixo de implantação e a garantia de que todas as ocupações seriam adaptadas para a solução escolhida. Entretanto, as dificuldades de interferências sobre a propriedade privada poderiam se tornar um entrave à implementação dessa solução.

Com relação à retenção/retenção/infiltração dos escoamentos, é possível adotar várias medidas, desde a retenção no lote à inserção de componentes nas unidades coletivas. A retenção no lote variaria de acordo com cada destinação, pois a maioria dos lotes possui impermeabilização de 100% e deveriam ser incorporados

reservatórios de coleta de água pluvial, cisternas, caixas ou reservatórios de água de chuva com o intuito de reutilizar essa água coletada para a lavagem de carros, pisos, ou induzir a infiltração no subsolo.

Das soluções apontadas, a que apresenta maiores chances de ser implantada é a de usar as praças A, B e C e o Parque Vivencial Denner como áreas de recepção e amortecimento primário do escoamento, por ser factível, com pequenas alterações no sistema de drenagem pluvial existente e não alterar nem interferir diretamente nas propriedades privadas. Naturalmente, caso a população resolva adotar as soluções de retenção individual, estas dariam maior segurança a todo o sistema.

Propõe-se, assim, a criação de bacias de retenção/infiltração nas três praças, conforme proposta de paisagismo apresentada anteriormente. Cada praça teria suas características, mas seguiriam proposta similar. No Parque Vivencial Denner uma bacia de retenção poderia ser usada adequando-se a lagoa existente.

5.2.6 Etapa 6: validação

Abordagem teórica

Esta etapa envolve a classificação dos equipamentos que sofrerão *retrofit*, e envolve, prioritariamente, três estágios para elaborar uma estratégia de implementação dos equipamentos. (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007):

- a) O primeiro estágio é a realização de uma consulta pública com a população e o poder público com o intuito de validar as propostas feitas no inventário. Nessa consulta são definidas as medidas que serão adotadas com relação aos equipamentos propostos.
- b) O segundo estágio envolve a definição de quais indicadores serão usados para comparar as soluções de *retrofit* escolhidas.
- c) Por fim, é elaborada uma lista com prioridades para a execução do *retrofit* que irá subsidiar a sua implementação.

Com relação ao primeiro estágio, é importante salientar a necessidade da consulta pública, tendo em vista que a implementação de bacias de detenção/retenção impactam o ambiente em que são inseridas e poderá acarretar repulsa por parte da população caso esta não seja previamente esclarecida sobre a sua funcionalidade e seus benefícios, bem como se não houver a adequada manutenção.

Esse estágio deve ocorrer antes da etapa de avaliação, para que se tenham definidos os locais finais de implantação das bacias e não haja desperdício de recursos ao se proceder a um completo levantamento de campo, detalhamento de projeto e outros custos de finalização e, posteriormente, não ser possível usar o local devido à pressão popular ou não conseguir licenciamentos.

Algumas reações da população, comumente encontradas nos Estados Unidos da América, foram listadas por Schueler, Hirschman *et. al.* (2007) e foram traduzidas no Quadro 5.1. Na segunda coluna é analisado, segundo a visão dos autores, se esta percepção ocorre realmente e qual a sua intensidade; na terceira coluna são apresentadas as soluções que podem ser adotadas no projeto para eliminar ou mitigar as percepções e problemas dos projetos.

Ter essas reações escaladas previamente dá aos responsáveis pelo projeto a possibilidade de corrigir e solucionar o problema antes mesmo de ele ser abordado em uma consulta pública, ampliando a aceitação devido ao atendimento prévio dos anseios da comunidade. Cria-se, assim, um vínculo da comunidade com o projeto e com os seus responsáveis.

Quadro 5.1: Preocupações da população, impacto real e soluções que devem ser adotadas para sanar os problemas de *retrofit*.

Preocupação da população	Realidade	Solução a ser adotada no projeto
Desflorestamento	Alto, se o layout for precário.	Realizar um inventário prévio. Adaptar o layout às árvores existentes. Reflorestar na razão de 2:1 árvores derrubadas, no mínimo.
Afogamento de crianças nas bacias	Baixo, com o layout adequado	Usar áreas alagadiças em vez de bacias profundas. Criação de bancos de areia rasos ao redor das áreas de uso. Controlar inclinação dos taludes laterais.
Proliferação de mosquitos	Baixo a médio, dependendo do projeto	Uma solução de controle biológico é povoar as lagoas de retenção com espécies de peixes como o guaru (<i>Gambusia affinis</i>), peixe-do-paráíso (<i>Macropodus opercularis</i>) e o lebiste (<i>Poecilia reticulata</i>) ou outras espécies que se alimentam das larvas dos mosquitos. Evitar a estagnação. Limpeza e manutenção constantes do ambiente.
Proliferação de vetores (ratos, cobras...)	Baixo	Constante poda da grama e gestão que mantenha esses vetores em locais vegetados.
Odores	Médio	Evitar projetos subdimensionados. Manter uma vazão de entrada constante. Instalar dispositivos de aeração, tais como fontes. Manutenção com retirada de algas mortas e limpeza do fundo.
Aparência	Baixo a Médio	Paisagismo integrado com o ambiente, criação de margens irregulares. Minimizar o uso de concreto e cimento. Reflorestamento.
Crescimento da vegetação	Médio	Constantes podas e permitir que se crie uma mata ciliar ao redor dos corpos hídricos.
Manutenção	Alto	Fazer acordos de manutenção. Estabelecer programas de adote uma bacia para a população local. Prever manutenção pelo poder público.
Detritos/lixo	Alto	Criação de bancos de areia nas áreas úmidas. Limpeza periódica.
Valor de propriedades	Baixo	Bacias de detenção/retenção bem projetadas valorizam as propriedades.
sedimentos poluídos	Baixo	Estudos das áreas de drenagem para identificar poluentes. Instalação de equipamentos de pré-tratamento/disposição de resíduos em local apropriado.
Perda de espaço da comunidade	Médio a alto	Verificação do tipo de uso destinado ao local pela população. Fazer pesquisas nos fins de semana para determinar o uso dos espaços pela população local.
Problemas na construção	Médio	Incorporar medidas de mitigação de resíduos e poluição sonora nos contratos de construção.

Fonte: (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007).

Após a consulta pública, passa-se ao segundo estágio, no qual são definidos os parâmetros que serão usados para análise e qual o peso que cada parâmetro terá na construção de um indicador de prioridade de construção dos equipamentos. Esse indicador irá subsidiar o planejamento da implementação do projeto, e indicará quais parâmetros têm maior visibilidade, custo/benefício e aceitação popular. Como exemplo segue uma lista de parâmetros adotados nos EUA (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007).

- a) **Custo por área tratada:** este parâmetro representa o custo em acres impermeáveis tratados pelo *Retrofit*. É preferível usar esse parâmetro

em vez do custo da construção do equipamento, pois o custo por área tratada pode ser usado como base comparativa direta entre duas tecnologias diferentes.

- b) **Custo por poluente removido:** se a retirada de poluentes é o objetivo prioritário do equipamento este parâmetro deverá ter peso considerável.
- c) **Custo de manutenção:** Os projetos de *Retrofit* diferem enormemente em relação ao seu custo de manutenção de longo prazo. Se a demanda por manutenção for elevada ou se o ente responsável por esse serviço não for claramente definido o equipamento recebe menor pontuação.
- d) **Visibilidade pública:** identificam-se a visibilidade e o potencial educador do equipamento proposto. Pontos são concedidos para projetos que possuem acesso popular e potencial para educação ambiental.
- e) **Capacidade de proteção do corpo hídrico:** se o objetivo prioritário do equipamento for a proteção do corpo hídrico, esse parâmetro irá analisar como o *Retrofit* ajuda na redução da erosão, regularização da vazão e proteção das suas margens.
- f) **Compatibilidade com os objetivos da sub-bacia:** avalia como o *retrofit* se comporta em relação aos objetivos escolhidos para a sub-bacia. Equipamentos que atendem a todos os objetivos são elencados com maior pontuação.
- g) **Cooperação do proprietário:** avalia a disposição do proprietário quanto à instalação do equipamento em seu território. Pontos são deduzidos se a permissão é incerta, não há cooperação ou são necessários incentivos de qualquer sorte.
- h) **Licenciamento:** é uma parte importante do *retrofit*, tendo em vista que pode inviabilizar a implantação de um equipamento devido aos seus impactos de construção e/ou operação. Conforme o número de licenças se eleva e/ou se torna difícil, menor a pontuação do equipamento.
- i) **Sinergia com outros métodos:** avalia a integração que um equipamento possui no sistema, ou o benefício à outras práticas de recuperação da área.

- j) **Aceitação da vizinhança:** avalia a aceitação da comunidade afetada baseada nas respostas das consultas públicas. Projetos controversos e que propiciam muitas discussões recebem menos pontos e os que contam com apoio popular obtêm mais pontos.
- k) **Acesso:** trata da capacidade de acesso de maquinário pesado para a sua construção. Áreas mais acessíveis recebem maiores pontuações.
- l) **Uso de práticas inovadoras:** os projetos que usam técnicas inovadoras ainda não implementadas em nenhum outro local ganham pontos extras em razão de seu pioneirismo.
- m) **Oportunidades de parcerias:** diz respeito à quantidade de potenciais parceiros envolvidos no projeto. Normalmente, quanto mais parceiros maior a pontuação por causa do acréscimo dos recursos para a implantação do projeto.
- n) **Criação de habitats:** refere-se à possibilidade de criação de novos habitats terrestres ou aquáticos, ou de permitir a conexão entre habitats existentes.
- o) **Outros benefícios à comunidade:** é pertinente aos outros aspectos do equipamento e qual o seu impacto na comunidade local. Avalia aspectos como a criação de áreas de recreação, aumento do preço de propriedades, espaços educacionais, trilhas etc.

Esses parâmetros podem ser adaptados a cada projeto, destacando-se que os quatro primeiros são de elevada importância, pois permitem comparações de projetos em diferentes locais. A comparação de custo por unidade de área tratada, tipo de material poluente retirado e custo de manutenção permite criar uma base comparativa entre diversas soluções.

O terceiro estágio irá consolidar as informações obtidas em uma proposta de execução dos trabalhos. Para tanto, a equipe do projeto irá classificá-los de acordo com os critérios elencados anteriormente, atribuindo pesos e notas para cada parâmetro. Dessa forma, os projetos são classificados do maior para o menor. Importante salientar que se deve reavaliar os projetos que alcançarem notas elevadas dentro dos parâmetros relacionados em busca de situações que dificultem sua implementação (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007)

Por exemplo, se um projeto alcança nota elevada no final, mas os seus parâmetros de **acesso e cooperação com o proprietário** são zero, significa que possui dificuldades de implementação, tendo em vista que se encontra em um local de difícil acesso e em terras particulares nas quais o proprietário não concorda com sua implantação.

Aplicação ao estudo de caso

No do Polo de Modas do Guará II estabeleceu-se como critérios os seguintes parâmetros de análise dispostos no Quadro 5.2, com os respectivos valores.

Quadro 5.2: Parâmetros de análise para o *retrofit* do Polo de Modas do Guará II

Item	Parâmetro	Pontuações
1	Área impermeável tratada	
	1.1 - Menos de 5 Hectares	1
	1.2 - De 5 a 15 Hectares	3
	1.3 - Mais de 15 hectares	5
2	Propriedade	
	2.1 - Privada	0
	2.2 - Pública	5
3	Acesso	
	3.1 - Difícil	1
	3.2 - Regular	3
	3.3 - Fácil	5
4	Visibilidade	
	4.1 - Fraca (local de baixo acesso)	1
	4.2 - Bom (perto de vias de circulação)	3
	4.3 - Excelente (em local de grande visibilidade)	5
5	Criação de habitats	
	5.1 - Baixa	1
	5.2 - Boa	3
	5.3 - Elevada	5
6	Cooperação do proprietário	
	6.1 - Não coopera	1
	6.2 - Necessita de incentivos	3
	6.3 - Coopera ou é Público	5
7	Custo de manutenção	
	7.1 - Alto	1
	7.2 - Médio	3
	7.3 - Baixo	5

Os equipamentos avaliados foram os listados a seguir:

- I. Bacia de detenção no lançamento (pré-retrofit).
- II. Bacia de detenção na Praça A.
- III. Bacia de detenção na Praça B.
- IV. Bacia de detenção na Praça C.
- V. Bacias de retenção no Parque Vivencial Denner.
- VI. Telhados verdes.

As propostas foram avaliadas de acordo com os parâmetros propostos. Cabe ressaltar que o equipamento I será avaliado somente para efeito comparativo, tendo em vista que a sua implantação deverá ocorrer antes que a dos outros equipamentos, independentemente dos resultados obtidos, pois compõe a primeira etapa dessa metodologia adaptada e ocorre antes dessa análise.

Destaca-se, porém, que o equipamento I sofrerá adequações futuras que devem estar contempladas na análise de validação para se determinar quando devem ser feitas.

Tabela 5.3: Classificação dos equipamentos segundo os parâmetros escolhidos.

Pontuação segundo os parâmetros do Quadro 5.2

Total

Item	1		2		3		4		5		6		7		Máx 35 Pts
	(ha)	Pts	Classe	Pts											
I	31,1	5	2.1	5	3.2	3	4.2	3	5.3	5	6.3	5	7.2	3	29
II	5	3	2.1	5	3.1	5	4.3	5	5.1	1	6.3	5	7.3	5	29
V	1,6	1	2.1	5	3.1	5	4.3	5	5.2	3	6.3	5	7.3	5	29
III	4	1	2.1	5	3.1	5	4.3	5	5.1	1	6.3	5	7.3	5	27
IV	4,5	1	2.1	5	3.1	5	4.3	5	5.1	1	6.3	5	7.3	5	27
VI	10,2	3	2.2	0	3.3	1	4.3	5	5.2	3	6.2	3	7.1	1	16

Segundo a Tabela 5.3, após o Retrofit ser iniciado pela Bacia de Detenção no Lançamento, deverão ser feitas as adaptações da Praça A e do Parque Vivencial Denner, seguindo-se para as praças B e C e, por fim, implantar a solução de adoção de telhados verdes, se necessário.

Essa classificação mostra que o ideal é que o poder público adote soluções em que tenha maior controle sobre os resultados, ou seja, realize os seus projetos em terrenos que sejam públicos, tenham excelente visibilidade, sejam independentes de cooperação privada, possuam fácil acesso, alto potencial de criação de habitats e baixo custo de manutenção.

Apesar de os resultados técnicos da adoção de telhados verdes serem elevados, ou seja, tenham um potencial de redução da vazão da ordem de 60% da vazão da área urbanizada, estes dependem de características políticas difíceis, pois implicam a cooperação de atores privados e custos de implantação relativamente elevados.

5.2.7 Etapa 7: avaliação

Abordagem teórica

Para a conclusão desta etapa devem ser avaliados os equipamentos, seguindo a classificação feita anteriormente, para determinar a capacidade de tratamento que deverá ser alcançada pelo sistema após a sua completa instalação.

As simulações mais significativas para o funcionamento do sistema levam em conta a vazão de lançamento e a retirada de poluentes pelos diversos equipamentos projetados.

São feitas simulações incluindo dados mais consistentes que os realizados na Etapa 3, pois já existem elementos mais completos que permitem uma análise mais precisa, tais como localização, prévia de tamanho e operação dos equipamentos, dados mais consistentes de chuvas, poluentes e redes existentes.

Com o resultado advindo dessas simulações são feitas análises que irão determinar se o sistema está operando da forma projetada e se ele possibilitará o alcance dos objetivos propostos na Etapa 2.

5.2.8 Etapa 8: conclusão e execução

Abordagem teórica

Após a validação e avaliação da proposta, os equipamentos e componentes que serão incorporados são detalhados a fim de subsidiar as futuras licitações e contratações. O planejamento da implementação dos equipamentos definido nas etapas anteriores deve ser seguido à risca para garantir a efetividade do sistema.

Nessa etapa estão incluídos os seguintes itens:

- a) Garantir licenças ambientais.
- b) Obter aprovação dos proprietários ou poder público.
- c) Fazer levantamentos para conclusão dos projetos.
- d) Licitar a construção.

e) Fiscalizar a implantação.

Aplicação ao estudo de caso

No caso em estudo, devem-se buscar, prioritariamente, as licenças ambientais relativas à implantação dos equipamentos localizados no lançamento do sistema de drenagem pluvial, por estarem dentro de uma área de proteção ambiental, e no Parque Vivencial Denner, por estar alocado dentro de um parque urbano. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (Ibama) e o Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do DF – Brasília Ambiental (Ibram) devem ser consultados a respeito do empreendimento e fornecerem as licenças necessárias para a sua implementação.

Para aprovação de uso dos locais para implantação dos equipamentos, segundo a classificação feita na Etapa 6, o poder público poderá iniciar as obras nas áreas em que os terrenos são de sua propriedade, passando somente ao final do projeto a contar com a participação popular para a implantação de telhados verdes.

Após classificados em ordem de execução, os projetos devem ser detalhados e preparados para a licitação de início das obras. São feitos os levantamentos complementares para o detalhamento do projeto, tais como ensaios de solo, topografia e locação das obras.

5.2.9 Etapa 9: acompanhamento

Abordagem teórica

O *Retrofit* de infraestruturas de drenagem urbana é um processo contínuo, pois a manutenção dos equipamentos ocorre durante toda a sua vida útil. A fiscalização da sua execução e o correto monitoramento são essenciais para garantir que ele opere adequadamente durante o seu período de uso (SCHUELER; HIRSCHMAN *et al.*, 2007).

É impreterível que haja acompanhamento do funcionamento do sistema de drenagem sustentável com as inserções resultantes dos componentes que caracterizam o *retrofit*. Esse acompanhamento é fundamental para garantir a

manutenção do sistema e permitir que o seu desempenho fique dentro do esperado, e projetado.

O processo de *retrofit* é um experimento em constante avaliação, que sofrerá mudanças de acordo com a sua operação, seja para correção de um erro no projeto, seja para a incorporação de uma nova tecnologia que poderá se encaixar na situação, seja pela reparação de alguma situação futura que venha a danificar a sua operação, seja pela mudança nas condições de projeto.

Portanto, é necessário um plano de manutenção abrangente que irá determinar qual a forma de operação do equipamento, periodicidade de manutenções pontuais, coleta de informações de operação e funcionamento, e a criação e manutenção de um banco de dados com as informações compiladas e tratadas.

A educação ambiental também é uma medida de acompanhamento. A população local pode fazer sua parte mantendo as praças limpas, acionando o Estado para realizar a limpeza de locais que estejam sujos ou que necessitem de melhorias. A conscientização e inclusão dessa população no processo também ajuda na sensibilização dos moradores e usuários, que se sentirão impelidos em ajudar na manutenção dos sistemas.

Aplicação ao estudo de caso

No Polo de Modas do Guará II existem exemplos de manutenção não adequada, algumas bocas de lobo se encontram entupidas, como pode ser visto na Foto 5.3. Isso ocorre pela falta de inspeção, manutenção e acompanhamento do funcionamento do sistema tradicional existente. Caso não haja previsão de manutenção adequada, isso também pode ocorrer no sistema sustentável, sendo necessário se preparar para evitar tal situação.



Foto 5.3: Boca de lobo entupida na área do Polo de Modas do Guará II (CHRISTOFIDIS, 2010).

Uma opção para esse problema é a criação de uma rede de *by pass* que operaria somente no caso de um entupimento de bocas de lobo ou tubulações e encaminhariam a vazão excedente às bacias de retenção/infiltração.

Essa manutenção é essencial para o desempenho do sistema, pois qualquer ponto de bloqueio ou impedimento ao escoamento poderá afetar significativamente o todo o sistema, causando a sobrecarga de equipamentos e contribuindo para um colapso geral.

É necessária, também, a implantação de uma rede de monitoramento hidrometeorológico na região, com o intuito de coletar dados da área para uso futuro no dimensionamento de áreas próximas, possibilitando a criação de um histórico confiável dos dados, observações e alterações do clima.

Com dados hidrometeorológicos confiáveis é possível, também, avaliar as relações diretas entre chuva e vazão de escoamento, superficial e na alimentação dos corpos hídricos.

O Polo de Modas do Guará II possui uma associação comunitária que poderá atuar como fiscal do sistema, alertando o poder público para a necessidade de manutenção do sistema. Nessa associação também podem ser ministrados cursos de como instalar estruturas de coleta de água pluvial para reuso, como evitar desperdícios de recursos, bem como cursos afetos à gestão socioambiental da área.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo abordou o estudo teórico da aplicação da metodologia de *retrofit* adaptada à realidade brasileira, apresentada no capítulo anterior. O local para aplicação da metodologia foi o Polo de Modas do Guará II, cuja área foi escolhida pela existência de dados digitalizados que permitiriam as simulações necessárias.

A primeira etapa consistiu na criação de uma bacia de retenção/sedimentação/infiltração no lançamento do sistema de drenagem pluvial para mitigar os impactos do sistema de drenagem instalado e permitir que se procedam aos estudos técnicos para adequação da região sem que o aumento de vazão e o carreamento de sedimentos continuassem a degradar o ambiente.

Na segunda etapa, foram levantados os dados necessários a este estudo, na Novacap e em outros órgãos tais como a Topocart - Topografia Engenharia e Aerolevantamentos

Concluiu-se que é necessário reduzir o aporte de lançamento de águas pluviais de 8,7 m³/s para somente 0,2 m³/s.

Na terceira etapa, concluiu-se que o ideal era usar as três praças e o Parque Vivencial Denner existentes no local como áreas de amortecimento de cheias e escoamento pluvial.

Com base nos levantamentos feitos nessa etapa e nos estudos de campo realizados na quarta etapa, concluiu-se, na quinta etapa, que os equipamentos mais

adequados à área de estudo são os reservatórios de retenção e os biorretentores, instalados nas praças e no Parque Vivencial Denner. A instalação de telhados verdes, apesar de eficiente, depende de negociação política extensa e difícil, e, com isso, sua implantação pode não ocorrer adequadamente.

Da sexta etapa em diante, as conclusões foram baseadas em ensaios teóricos, pois dependem da implementação do sistema, entretanto elas não inviabilizam o estudo de caso devido à existência de dados de outros locais que são suficientes para as conclusões alcançadas.

Nota-se que a metodologia contribui com a sustentabilidade do ambiente urbano e natural, compatibilizando as ações antrópicas com as demandas do ambiente natural.

A principal vantagem da aplicação da metodologia do *retrofit* é a possibilidade de manter a estrutura existente do sistema tradicional de drenagem urbana, transformando-a em uma estrutura sustentável a partir de certas intervenções pontuais específicas.

No caso do Polo de Modas do Guará II, foram inseridos equipamentos intermediários que permitem que a vazão de drenagem do empreendimento atinja a mesma vazão de lançamento que os cursos d'água recebiam antes das ocupações urbanas.

Outra vantagem é a recuperação ambiental que será promovida no lançamento de águas pluviais no Córrego Vicente Pires e, conseqüentemente, no Lago Paranoá. A redução do lançamento de poluentes e de partículas sólidas, pela retenção e tratamento do efluente, poderá permitir a redução do aporte de sedimentos ao Lago Paranoá e reduzir o seu assoreamento e sua contaminação com metais pesados e poluentes.

CONCLUSÃO

Esta dissertação apresentou aspectos que possibilitam avaliar como a urbanização afeta diretamente o meio físico, tendo focado, principalmente, os impactos sobre os corpos hídricos e a drenagem pluvial natural. Considerou-se que a impermeabilização e a compactação do solo, a retificação de rios, o desmatamento, o lançamento de resíduos sólidos e líquidos, a erosão dos solos e o assoreamento comprometem a saúde dos corpos hídricos.

Comparou-se a drenagem pluvial natural com a empreendida nas cidades brasileiras e com os conceitos da drenagem urbana sustentável. Verificou-se que a drenagem pluvial, no meio natural, ocorre de forma lenta e gradual, concorrendo para que uma grande parcela da água infiltre e escoe subsuperficialmente, evapore ou evapotranspire, abastecendo os ecossistemas de forma equilibrada e contribuindo, também, para a qualidade da água.

A urbanização impacta fortemente essa dinâmica e a adoção dos sistemas tradicionais de drenagem urbana tende a ampliar e a acarretar diversos inconvenientes às cidades e aos cursos d'água.

Por meio da análise conceitual da drenagem urbana sustentável, observou-se que suas diversas alternativas de componentes e de respeito à dinâmica da natureza permitem a mitigação direta dos impactos que a drenagem pluvial tradicional acarreta ao meio ambiente.

Verificou-se que a metodologia de *retrofit*, desenvolvida pelo Center for Watershed Protection, uma ONG americana, desde que devidamente adaptada, pode ser aplicada à qualquer localidade e situação. No caso americano, as intervenções nos sistemas são de menor vulto, tendo em vista que os sistemas de drenagem pluvial do país já incorporam diversos aspectos da drenagem urbana sustentável desde a década de 1970, e com isso, a atualização do sistema passa somente por algumas pequenas modificações e modernizações em seu funcionamento.

No Brasil, é necessária uma intervenção de maior vulto nos sistemas de drenagem urbana, tendo em vista que o sistema aqui adotado é predominantemente tradicional, com menor respeito à dinâmica da natureza. A adaptação dos sistemas tradicionais implica medidas e obras que alteram, de forma representativa, o seu conceito operacional e, que, conseqüentemente, irão demandar maiores custos. Mesmo assim, os benefícios alcançados compensam os custos de investimento e reduzem as vulnerabilidades do sistema.

A adoção de medidas sustentáveis esbarra em questões técnicas e políticas sensíveis, por isso torna-se necessário o apoio institucional para que as decisões sejam adotadas. Além disso, se faz essencial uma metodologia de valoração socioambiental que permita comparar os custos econômico-financeiros dos projetos a fim de balizar as decisões e consolidar os benefícios.

A principal proposta de modificação da metodologia apresentada foi a inclusão de uma etapa preliminar de contenção e prevenção dos danos causados pelos sistemas de drenagem existentes. O seu objetivo é mitigar, ou eliminar, os impactos gerados pelo sistema tradicional já implantado e permitir a análise mais completa do sistema, identificando os melhores pontos, locais e partes do sistema para que se implantem as modificações necessárias.

Para a aplicação dessa metodologia, é necessária a definição de uma instituição que fomente e controle as etapas necessárias à sua adoção nas bacias hidrográficas onde existem sistemas de drenagem a serem adaptados. Propôs-se que sejam adotadas as instituições criadas pela Lei nº 9.433/97, ou seja, a Agência de Bacia e o Comitê de Bacia, para promover tais ações.

Essa proposta se baseia nas diretrizes dessa legislação, tendo em vista serem instituições que tem sua manutenção financeira suportada pelos usuários de cada bacia hidrográfica e com fonte própria de receita decorrente da cobrança pelo uso da água e que deve observar as vantagens de cada atividade de forma holística. Entretanto deve ser analisada a diversidade de situações que ocorrem no território nacional e adaptar as modalidades de gestão às realidades locais.

Em casos em que não haja um Comitê de Bacia instituído sugere-se a criação de uma Agência de Drenagem. Ressalta-se que cada caso deve ser analisado para se adequar à diversidade cultural existente no Brasil.

Com base no estudo de caso, foi mostrado que o *retrofit* permite a manutenção de extensa malha de redes de drenagem pluviais, que devem ser adaptadas para incorporarem os conceitos sustentáveis. Essa adaptação traz benefícios ao meio urbano e natural, pois possibilita que os impactos causados pela urbanização sejam mitigados pela implantação de um sistema de drenagem que respeite a dinâmica natural da drenagem pluvial.

Outro benefício da metodologia é que os custos de implantação são reduzidos devido ao aproveitamento de infraestruturas preexistentes, permitindo que municípios realizem essa mudança de paradigma de forma gradual e paulatina, incorporando as mudanças em um plano de manutenção prolongado.

As melhorias do ambiente urbano ocorrem em diversos aspectos. Do ponto de vista técnico, o sistema implantado não é destruído e operará em uma situação mais controlada e em melhores condições que antes. No aspecto social, o ambiente urbano alterado se torna mais agradável aos habitantes do que o anteriormente existente.

Na perspectiva ambiental, os impactos gerados pela urbanização, no tocante, especificamente, à drenagem urbana, são mitigados e proporcionam um ambiente capaz de se reestruturar como ecossistema.

Em termos econômicos, o ambiente urbano se torna mais estável, com menos enchentes e inundações, reduzindo o tempo gasto no transporte, reconstrução de estruturas destruídas pelas enchentes e estragos em comércios e residências. No campo da saúde ocorre redução de doenças de veiculação hídrica, o que acaba por desonerar o sistema de saúde pública.

No estudo de caso feito, propôs-se que a vazão de lançamento no Córrego Vicente Pires fosse reduzida e regularizada ao mesmo nível anterior à urbanização, por meio da promoção da infiltração e da recuperação ambiental dos ecossistemas.

Desta forma, notou-se que pela aplicação do *Retrofit* possibilita reduzir seguramente o volume de lançamento de 8,7 m³/s para 0,2 m³/s, proporcionando o retorno da condição natural existente antes da urbanização.

Ressalta-se que é impossível o retorno completo à condição natural devido à compactação e às mudanças da cobertura de solo, bem como em razão da atividade desenvolvida nos solos e lotes. Entretanto, é possível obter a redução dos lançamentos para níveis próximos, ou iguais, às condições prévias de aporte de águas pluviais, tanto nos aspectos quantitativos como qualitativos, e, ainda, permitir a recomposição do habitat natural de espécies.

Com isso é importante salientar que o *retrofit* se configura como uma ferramenta importante na recuperação de áreas degradadas e na recomposição de ecossistemas aquáticos em áreas ripárias urbanas que foram ocupadas.

Como recomendações para estudos futuros propõe-se que sejam estudadas áreas em que medidas de *retrofit* foram implantadas e que sejam feitas avaliações sobre os benefícios que estas metodologias tiveram sobre o ambiente urbano e natural. Outro enfoque a ser abordado é relacionado com a estrutura político-administrativa necessária para a implementação desta metodologia em casos reais.

A compilação da base legal que servirá de base para a implantação e controle das ações necessárias também necessita de um estudo mais específico, tendo em vista a diversidade de legislações e normas que estão envolvidas no tema. Sugere-se um estudo mais específico sobre quais atividades podem ser desenvolvidas em APPs e quais as interações dos equipamentos propostos nesta dissertação que poderiam ser instalados nestas localidades.

BIBLIOGRAFIA

ADASA. **Aparelhos medem a qualidade da água no DF.** 2009, Disponível em < http://www.adasa.df.gov.br/opencms/Adasa/Noticias/Video/Qualidade_aguas.wmv >; Acesso em: 14/11/2009

ANA. **Ciclo Hidrológico e Águas Subterrâneas.** Brasília: ANA 2007.

ARAÚJO, PAULO ROBERTO DE; TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI, *et al.* Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.3, 21-29 p. Página Inicial: 21, 2000.

ARAUJO, SUELY MARA VAZ GUIMARÃES DE. **As áreas de preservação permanente e a questão urbana.** Câmara dos Deputados. Brasília, 12 p. 2002

BARROS, MARIO THADEU LEME DE. **Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento.** In: JÚNIOR, ARLINDO PHILIPPI (Ed.). Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, v.2, 2005. p.221-265. (Coleção Ambiental)

BARTALINI, VLADIMIR. **A trama capilar das águas na visão cotidiana da paisagem.** Arqtextos 2009. Disponível em < http://www.vitruvius.com.br/arqtextos/arq108/arq108_00.asp >, Acesso em: 28/08/2009

BIDONE, FRANCISCO R.A. e TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI. **Microdrenagem.** In: TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI, PORTO, RUBEM LA LAINA, *et al* (Ed.). Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH / Editora da UFRGS, v.5, 1995. p.77-105

BRASIL. **Lei nº 9.433**, 8 de Janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, 1997

_____. **Lei nº 10.257**, 10 de julho de 2001, Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Estatuto das Cidades, 2001

_____. **Caderno Setorial de Recursos Hídricos: Saneamento** Plano Nacional de Recursos Hídricos; ed. [Brasília]: [MMA], 2006. 68 p. (Plano Nacional de Recursos Hídricos)

_____. **Lei nº 11.445**, 5 de janeiro de 2007, Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências, 2007

BRITO, FAUSTO; HORTA, CLÁUDIA JULIA GUIMARÃES, *et al.* **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas**: CEDEPLAR - IUSSP 2002.

CANHOLI, ALUÍSIO PARDO. **Drenagem urbana e controle de enchentes** 1ª Edição. ed. [São Paulo]: [Oficina de Textos], 2005. 302 p.

CETESB. **Drenagem Urbana: Manual de projeto** 3ª Ed. ed. [São Paulo], 1986. 464 p.

CHAMPS, JOSÉ ROBERTO. **Manejo de águas pluviais urbanas: o Desafio da integração e da sustentabilidade**. In: CORDEIRO, BERENICE DE SOUZA (Ed.). *Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico*. Brasília: Ministério das Cidades, v.2, 2009. p.193

CHRISTOFIDIS, DEMETRIOS. Protección de los cuerpos hídricos. **Archivos del presente, revista latinoamericana de temas internacionales**, v.Año 9, n.35, 226 p. Página Inicial: 173, 2004.

_____. **Comparação dos paradigmas de drenagem urbana**. Brasília 2005.

_____. **Um olhar sustentável sobre a água**. In: CATALÃO, VERA LESSA e RODRIGUES, MARIA DO SOCORRO (Ed.). *A água como matriz ecopedagógica*. Brasília, 2006. p.227

CHRISTOFIDIS, HUGO DO VALE. **Córrego Guará no cruzamento com a EPGU**. MESTRADO_006.JPG. Brasília. 3,75MB 2009a.

_____. **Córrego Samambaia no cruzamento com EPVP**. MESTRADO_001.JPG. Brasília. 4,03 MB 2009b.

_____. **Boca de Lobo entupida próximo ao Parque Vivencial Denner**. Brasília 2010.

CNUMAD, CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO -. **Agenda 21** ed. [Rio de Janeiro], 1992. v.1

CORREIO BRAZILIENSE. **Asfalto-esponja**. Correio Braziliense. Brasília: Correio Braziliense 2010.

D'ELIA, RENATA. Telhados Verdes. **Revista Técnica**, v.Julho, n.148, 7 p. Página Inicial: 2009.

DIÁRIO CATARINENSE; **Defesa Civil retifica o número de mortos pela chuva em Santa Catarina**; 29/12/2008; 2008; disponível em < <http://www.clicrbs.com.br/especial/sc/sos-sc/19,0,2350472,Defesa-Civil-retifica-o-numero-de-mortos-pela-chuva-em-Santa-Catarina.html> >; Acesso em: 14/01/2009

EPA-EUA. **National management measures to control nonpoint source pollution from urban areas** ed. [Washington D.C.]: [United States Environmental Protection Agency], 2005.

FOLHA ONLINE; **Chuva deixa dez cidades de SP em calamidade; 74 morrem no estado**; 9/02/2010; 2010; disponível em < <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u691505.shtml> >; Acesso em: 9/02/2010

IBGE. **Tendências Demográficas: Uma análise da população com base nos resultados dos censos demográficos de 1940 e 2000** ed. [Rio de Janeiro]: [IBGE], 2007.

KANSAS. **Merriam Historic Plaza rain garden**. Merriam: www.rainkc.com N/D.

MARCHEZI, FABIANA; TRINDADE, PRISCILA, *et al.*; **Mortos pelas chuvas no Rio chegam a 103: capital entra em alerta máximo**; Agência Estado; 06/04/2010; 2010; disponível em < <http://www.estadao.com.br/noticias/cidades,sobe-para-13-o-numero-de-mortos-pelas-chuvas-no-rio,534342,0.htm> >; Acesso em: 04/05/2010

MEADOWS, DONELLA. **Indicators and information systems for sustainable development**. The Sustainability Institute, 95 p. 1998

MILLER, CHARLIE. **Extensive green roofs**. 2009, Disponível em < <http://www.wbdg.org/resources/greenroofs.php> >; Acesso em: 05/10/2009

MILLER, CHARLIE e EPA. **Vegetated roof cover**. AGENCY, ENVIRONMENTAL PROTECTION. Washington D.C.: EPA: 3 p. 2000.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Pesquisa Plano Diretor 2007**. 2007, Disponível em < <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/programas-urbanos/programas/programa-de-fortalecimento-da-gestao-municipal-urbana/campanha-plano-diretor-participativo-1/pesquisa-plano-diretor-2007-1/introducao/> >; Acesso em: 27/08/09

MIRANDA, ANAIZA HELENA MALHARDES. **APP em área urbana consolidada**. irib. São Paulo. Ano VIII 2008. Disponível em < <http://irib.org.br/be/be3230.html> >, Acesso em: 15/10/2009

MMA e IBAMA. **Cidades Sustentáveis: Subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira** ed. [Brasília], 2000. 155 p.

MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE -. **Agenda 21**. 2010, Disponível em < <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=18> >; Acesso em: 11/08/2010

MOFFA, PETER E.; GOEBEL, HOWARD M., *et al.* **Retrofitting control facilities for wet-weather flow treatment**. Environmental Protection Agency. Washington D.C.: Janeiro de 2000, 210 p. 2000. (EPA/600/R-00/020)

MOTA, FRANCISCO SUETÔNIO BASTOS. **Conhecimentos para a promoção do saneamento, saúde e ambiente**. In: PHILIPPI JÚNIOR, ARLINDO (Ed.). Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, v.2, 2005. p.809-832. (Coleção Ambiental)

MOTA, SUETÔNIO. **Planejamento urbano e preservação ambiental** ed. [Fortaleza]: [UFC], 1981. 242 p.

_____. **Urbanização e meio ambiente** 3 ed. [Rio de Janeiro]: [ABES], 2003. 356 p.

NRWI, THE NORWALK RIVER WATERSHED INITIATIVE COMMITTEE -. **The Norwalk river watershed action plan**. The Norwalk River Watershed Initiative. New England, 87 p. 1998

_____. **The Norwalk River Watershed Action Plan: 2004 supplement to the 1998 Plan** ed. [New England], 2004.

PHILIPPI JÚNIOR, ARLINDO; MALHEIROS, TADEU FABRÍCIO, *et al.* **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. In: PHILIPPI JÚNIOR, ARLINDO (Ed.). Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, v.2, 2005. p.761-808. (Coleção Ambiental)

PMPOA e IPH. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre**. PLUVIAIS, DEPARTAMENTO DE ESGOTOS. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre. IV: 159 p. 2005.

POMPÊO, CESAR AUGUSTO. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, 15-23 p. Página Inicial: 15, 2000.

PRADO JÚNIOR, CAIO. **História e Desenvolvimento: A contribuição da historiografia para a teoria e a prática do desenvolvimento brasileiro** ed. [São Paulo]: [Editora Brasiliense], 1999.

REDE GLOBO; **Coréia do Sul mostra como despoluir rios.**; 13/04/2009; 2009a; disponível em < <http://jornalnacional.globo.com/Telejornais/JN/0,,MUL1083891-10406,00-COREIA+DO+SUL+MOSTRA+COMO+DESPOLUIR+RIOS.html> >; Acesso em: 13/04/2009

_____; **Coreia do Sul mostra como é possível salvar rios sufocados pela poluição**; Rede Globo; 2009b; disponível em < <http://video.globo.com/Videos/Player/Noticias/0,,GIM1001097-7823-COREIA+DO+SUL+MOSTRA+COMO+E+POSSIVEL+SALVAR+RIOS+SUFOCADO+S+PELA+POLUICAO,00.html> >; Acesso em: 13/04/2009

RIBAS, OTTO TOLEDO. **A sustentabilidade das cidades: Os instrumentos da gestão urbana e a construção da qualidade ambiental**. (Doutorado). Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003. 253 p.

SAUNDERS, CLÁUDIO AUGUSTO BARRETOS e REZENDE, VERA LÚCIA FERREIRA MOTTA. **Diretrizes para a renaturalização do rio Aldeia Velha no município de Silva Jardim - RJ.** XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte 2003.

SCHUELER, THOMAS R. **Controlling Urban Runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs** ed. [Washington, DC]: [Washington Metropolitan Water Resources Planning Board], 1987.

_____. **Site planning for urban stream protection** ed. [Washington, DC]: [Metropolitan Washington Council of Governments], 1995.

SCHUELER, TOM; HIRSCHMAN, DAVID, *et al.* **Urban subwatershed restoration manual no. 3: urban stormwater retrofit practices** 1ª. ed. [Washington D.C.], 2007. v.3. 262 p.

SEMANA DO MEIO AMBIENTE. **Tripé da sustentabilidade: Semana do Meio ambiente.** 10,1 kb 2008.

TOPOCART. **Ortofotocarta do Pólo de Modas do Guará.** Brasília. 10 MB, resolução de 25 cm 2009.

TPL, TRUST FOR PUBLIC LAND. **Norwalk River Watershed.** NORWALK_RIVER_MAP.JPG. New Haven: The Trust for Public Land 2003a.

_____. **Protecting land to safeguard Connecticut's drinking water.** New Haven. 2003b

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI. **Hidrologia: Ciência e aplicação** ABRH de Recursos Hídricos v4.; ed. [Porto Alegre]: [EDUSP], 1993. v.4. 943 p. (ABRH de Recursos Hídricos v4.)

_____. **Drenagem Urbana.** *Ciencia e Cultura.* 55: 36-37 p. 2003. Disponível em < http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso >, Acesso em: 10-04-2008

_____. **Gestão de águas pluviais urbanas** ed. [Brasília]: [Unesco - World Bank - GWA - Ministério das Cidades], 2005. 273 p.

_____. **Águas urbanas.** *Estudos Avançados.* São Paulo. 22: 97-112 p. 2008. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200007&nrm=iso >, Acesso em: 11/11/2008

_____. **Gestão Integrada das águas urbanas: águas pluviais.** In: CORDEIRO, BERENICE DE SOUZA (Ed.). *Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico.* Brasília: Ministério das Cidades, v.2, 2009. p.193

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI e BERTONI, JUAN CARLOS. **Inundações Urbanas na América do Sul** ed. [Porto Alegre], 2003. 495 p.

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI e ORSINI, LUIS FERNANDO. **Águas urbanas no Brasil: cenário atual e desenvolvimento sustentável**. In: CIDADES, MINISTÉRIO DAS (Ed.). *Gestão dos territórios e manejo integrado das águas urbanas*. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. p.243-268

TUCCI, CARLOS EDUARDO MORELLI; PORTO, RUBEM LA LAINA, *et al.* **Drenagem Urbana Recursos Hídricos**; 1ª. ed. [Porto Alegre]: [Editora da Universidade], 1995. v.5. 428 p. (Recursos Hídricos)

UFNPA. **State of World Population 2008 : Reaching common ground: Culture, gender and human rights**. United Nations Population Fund. New York, 99 p. 2008

_____. **State of World Population 2009 : Facing a changing world: Women, population and climate**. United Nations Population Fund. New York, 96 p. 2009

WATER-TECHNOLOGY.NET; **Seine Aval WWTP Upgrade, Achères, Paris , France**; N/D; disponível em < <http://www.water-technology.net/projects/seine-aval/> >; Acesso em: 04/12/2009

WCED, WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT -. **Our Common Future - "Relatório Brundtland"** ed. [New York]: [Oxford University Press], 1987. v.1. 383 p.