

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

**PRÁTICAS DE MICRODRENAGEM SUSTENTÁVEIS PARA A REDUÇÃO DO
ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO**

Aluno: Rafael Guerreiro Imada

Orientadora: Prof. Dra. Luciana Bongiovanni Martins Schenk

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

SÃO CARLOS
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

I31p

Imada, Rafael G.

Práticas de microdrenagem sustentáveis para a
redução do escoamento superficial urbano / Rafael G.
Imada; orientadora Luciana Bongiovanni Martins Schenk .
São Carlos, .

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, .

1. Drenagem urbana. 2. Drenagem urbana sustentável.
3. Escoamento superficial. 4. Microdrenagem. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Rafael Guerreiro Imada**

Data da Defesa: 29/10/2014

Comissão Julgadora:

Luciana Bongiovanni Martins Schenk (Orientador(a))

Carlos Roberto Monteiro de Andrade

Swami Marcondes Villela

Resultado:

APROVADO

Aprovado
Aprovado



Prof. Dr. Marcelo Zaiat
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Nilce e a meu Pai Sérgio, pelo suporte e encorajamento incondicional, essa conquista é nossa.

À minha Irmã Thaís e demais familiares pela confiança e carinho.

À Kim pelo companheirismo e cumplicidade.

À Prof. Dra. Luciana Bongiovanni Martins Schenk, pela dedicação nas correções e orientações para o desenvolvimento dessa monografia.

Aos meus colegas de graduação que tornaram este período de aprendizado em algo divertido e único.

À minha equipe de trabalho, pelo apoio e compreensão.

“O mundo não será destruído por aqueles que fazem o mal, mas por aqueles que assistem sem fazer nada”

ALBERT EINSTEIN

RESUMO

IMADA, R. G. Práticas de microdrenagem sustentáveis para a redução do escoamento superficial urbano. São Carlos, Monografia, Escola de Engenharia de São Carlos. 2014.

As estruturas que compõem o sistema de drenagem urbana possuem grande importância para o funcionamento do meio urbano. A crescente ocorrência de enchentes e inundações nas cidades brasileiras indica que o sistema de drenagem urbana existente não é capaz de suprir as demandas impostas pelos modelos de urbanização adotados. O presente trabalho apresenta práticas alternativas, em contrapartida ao conceito higienista de escoamento rápido das águas superficiais, como mecanismos para melhorar o cenário atual da drenagem urbana. Para tanto, primeiramente é exibido um breve resumo do desenvolvimento da drenagem urbana ao longo dos séculos culminando no modelo adotado atualmente e, paralelamente apresentado o desenvolvimento do planejamento urbano a partir do final do século XIX e sua relação com o sistema de drenagem, na sequência é feita uma explicação das características do ciclo hidrológico urbano. O trabalho explica as medidas de controle utilizadas atualmente e apresenta as novas práticas a serem empregadas no meio urbano. Por fim é fornecida um estudo de aplicabilidade e eficiência no emprego dessas práticas em um lote na área urbana do município de São Carlos, São Paulo.

Palavras Chave : drenagem urbana; drenagem urbana sustentável; escoamento superficial; microdrenagem.

X

ABSTRACT

IMADA, R. G. **Sustainable micro-drainage practices for reduction of urban runoff.** São Carlos, Monograph, School of Engineering of São Carlos. 2014.

The structures that compose the urban drainage system have a significant importance for the operation of the urban environment. The increasing occurrence of floods and inundations in Brazilian cities indicates that the existing urban drainage system is not capable of meeting the demands imposed by the adopted model of urbanization. This paper presents alternative practices, in contrast to the hygienist concept of fast runoff of the surface water, as mechanisms to improve the current scenario of the Brazilian urban drainage. To do so, first of all, the development of urban drainage over the centuries culminating in the model adopted nowadays was summarized. Following, the course of urban planning, starting in the second half of the 19th century, and its relationship with the drainage system is presented. Next, the characteristics of the urban hydrological cycle are explained. The paper also expounds the control measurements currently used and consequently the new practices to be implemented in the urban environment. Finally, a study of the applicability and efficiency of said practices in the urban area of São Carlos, in São Paulo State, is provided.

Key words: urban drainage; sustainable urban drainage; runoff; micro-drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Situação das civilizações mundiais em 2000 a.C..	25
Figura 2:	Civilizações do Vale do Rio Indo: Sistema de drenagem (a) e banhos coletivos (b) de Mohenjo-Daro; Sistema de drenagem e esgotos (a) e reconstrução artística (b) de Harappa.....	26
Figura 3:	Coletor central de esgoto e sistema de drenagem: no Palácio de Phaistos (a) e no Palácio de Knossos (b).	27
Figura 4:	Cloaca Máxima: atualmente no seu encontro com o rio Tibre (a) e representação artística com seu percurso (b). Latrina em Óstia, as margens do rio Tibre (c) e cisterna em Fermo (d).....	28
Figura 5:	Representação Situação das cidades medievais.....	29
Figura 6:	Seções transversais típicas das ruas de Paris durante o período de Haussmann.	31
Figura 7:	Manual para apresentação de proposta - Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial.	36
Figura 8:	Porcentagem da população mundial habitando áreas urbanas entre 1960 e 2010.	37
Figura 9:	População Urbana em países de baixa e média renda entre 1975 e 2009.	38
Figura 10:	Efeitos da urbanização nos processos hidrológicos.	42
Figura 11:	Efeitos da urbanização sobre o sistema de drenagem urbana.	45
Figura 12:	Política de controle do ciclo da água das cidades.	49
Figura 13:	Estrutura do Plano de Drenagem Urbana.	51
Figura 14:	Ciclo Hidrológico.	55
Figura 15:	Visão esquemática de uma bacia hidrográfica.....	57
Figura 16:	Hidrograma Típico.	57
Figura 17:	Sub-bacia urbanizada.	59
Figura 18:	Coeficiente de distribuição da chuva.....	67
Figura 19:	Estruturas da microdrenagem. Fonte: (DAEE/CETESB, 1980).	73
Figura 20:	Exemplo de Bio-retenção.	78
Figura 21:	Exemplo de Faixa Filtrante e de Vala Gramada.	79

Figura 22: Exemplos de Barris e Cisternas:	
(a) e (d) Típico barril de plástico.	
(b) Cisterna de concreto integrada a um estacionamento.	
(c) Cisterna de concreto enterrada.	80
Figura 23: Exemplos de Poço de Infiltração e de Trincheiras de Infiltração.	81
Figura 24: Componentes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais através do uso de cisterna.....	85
Figura 25: Esquema de um telhado verde com divisão de suas camadas.....	88
Figura 26: Esquema de um poço de infiltração em lote residencial.....	89
Figura 27: Exemplo de Bio-retentor.	91
Figura 28: Exemplo de faixa filtrante.....	94
Figura 29: Exemplo de vala gramada.	95
Figura 30: Seção típica de pavimento permeável.....	97
Figura 31: Área de estudo para aplicação das práticas sustentáveis de drenagem.....	99
Figura 32: Hidrograma trapezoidal do método racional.....	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.....	43
Quadro 2: Respostas do ecossistema à urbanização.....	46
Quadro 3: Impacto da impermeabilização sobre o ciclo hidrológico.	46
Quadro 4: Classificação de Bacias.	60
Quadro 5: Coeficientes volumétricos de escoamento (C_2).....	69
Quadro 6: Divisão do sistema de drenagem.	70
Quadro 7: Resumo das medidas estruturais.....	71
Quadro 8: Comparação entre as respostas do sistema hidrológico às práticas LID e convencionais.	77
Quadro 9: Funções Hidrológicas associadas às práticas de gestão integradas - IMPs.	81
Quadro 10: Estimativa da infiltração final de Horton.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Valores de C adotados pela Prefeitura de São Paulo.	65
Tabela 2:	Variação do coeficiente de escoamento superficial em função do período de retorno.	66
Tabela 3:	Grau de impermeabilização do solo em função do seu uso.	69
Tabela 4:	Estratégias, Objetivos e Ações LID.	76
Tabela 5:	Sumário da comparação de custo entre desenvolvimento convencional e o LID.	83
Tabela 6:	Estimativa de redução no escoamento superficial para cada prática de drenagem sustentável.....	98
Tabela 7:	Principais dimensões da área de estudo.	100
Tabela 8:	Vazões de prico para a área de estudo.	101
Tabela 9:	Volumes produzidos para a chuva de projeto.....	102
Tabela 10:	Redução do escoamento superficial com o uso de cisternas.....	103
Tabela 11:	Redução do escoamento superficial com o uso de telhado verde.	103
Tabela 12:	Redução do escoamento superficial com o uso de poços de infiltração.....	104
Tabela 13:	Redução do escoamento superficial com o uso de poços de infiltração.....	105
Tabela 14:	Redução do escoamento superficial com o uso de poços de infiltração.....	106
Tabela 14:	Comparação entre as práticas adotadas para a redução do escoamento superficial.	106

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVOS.....	23
3 A HISTÓRIA DA DRENAGEM	24
3.1 DA ANTIGUIDADE ATÉ A CIVILIZAÇÃO ROMANA.....	24
3.2 DA IDADE MÉDIA ATÉ O FINAL DO SÉCULO XIX	28
3.3 A EVOLUÇÃO DA DRENAGEM NO BRASIL A PARTIR DO SÉCULO XIX.....	32
4 A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO E DO PLANEJAMENTO URBANO	
SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	37
4.1 UM RESUMO DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO A PARTIR DA SEGUNDA METADE DO SÉCULO XIX.....	37
4.2 UM RESUMO DO PLANEJAMENTO URBANO NO BRASIL.....	39
4.3 IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO URBANOS SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	41
4.4 A INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA AO PROCESSO DE PLANEJAMENTO URBANO.....	48
4.5 A IMPORTÂNCIA DA INCLUSÃO SOCIAL PARA O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	51
5 ESTUDO HIDROLÓGICO URBANO.....	55
5.1 O CICLO HIDROLÓGICO CONTINENTAL.....	55
5.2 BACIA HIDROGRÁFICA.....	56
5.2.1 Classificação das Bacias Urbanas	58
5.3 DETERMINAÇÃO DA CHUVA DE PROJETO	60
5.3.1 Período de retorno	63
5.4 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO	64
5.4.1 Método Racional	64
5.4.1.1 Coeficiente de escoamento do método racional.....	64
5.4.2 Método de I-Pai-Wu	66
5.4.2.1 Coeficientes de Escoamento do Método de I-Pai-Wu	67
6 OBRAS DE DRENAGEM E OUTRAS MEDIDAS DE CONTROLE	70

6.1 ESTRUTURAS CLÁSSICAS DA DRENAGEM	72
6.1.1 Elementos da Microdrenagem.....	72
6.1.2 Elementos da Macrodrenagem	74
6.2 NOVOS ELEMENTOS A SEREM ADOTADOS – O CONCEITO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL	74
7 APLICAÇÃO DAS PRÁTICAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM ÁREAS URBANAS	84
7.1 APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS	84
7.2 TELHADO VERDE	86
7.3 POÇOS E TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO	88
7.4 BIO-RETENÇÃO.....	90
7.5 FAIXA FILTRANTE E VALA GRAMADA	93
7.6 PAVIMENTO PERMEÁVEL	95
7.7 DISCUSSÃO DAS PRÁTICAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL.....	97
7.8 APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS	99
7.8.1 Área de estudo	99
7.8.2 Estudo hidrológico da área	100
7.8.3 Práticas aplicáveis para redução do escoamento superficial.....	102
7.8.3.1 Aproveitamento de águas pluviais.....	102
7.8.3.2 Telhado verde	103
7.8.3.3 Poço de infiltração	103
7.8.3.4 Bio-retenção	104
7.8.3.5 Faixa filtrante e vala gramada	105
7.8.3.6 Pavimento permeável	105
7.8.4 Comparação das práticas adotadas quanto à redução do escoamento pluvial.....	106
8 CONCLUSÃO.....	108
9 BIBLIOGRAFIA.....	110
10 ANEXOS.....	114
10.1 ANEXO A – CONSTANTES PARA A EQUAÇÃO USUAL	114
10.2 ANEXO B – CONSTANTES PARA A EQUAÇÃO ENG. OTTO PFAFSTETTER	115

10.4 ANEXO D – CONSTANTES PARA A EQUAÇÃO DAEE	118
10.5 ANEXO E – EXEMPLOS DE POÇOS E TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO	119

1 INTRODUÇÃO

Desde que as primeiras comunidades humanas trocaram a vida nômade pelo sedentarismo, assentando-se em uma determinada área, normalmente próximas a corpos d'água, surgiu a necessidade de criação de mecanismos para evitar que o poder das águas da chuva viessem a destruir as diversas estruturas construídas.

Ao longo dos séculos as civilizações desenvolveram diversas técnicas para manejar as águas pluviais, aperfeiçoando e desenvolvendo novos modelos de interação. Esse processo de construção dos conceitos de drenagem convergiram para o modelo amplamente difundido e empregado ao longo do século XX, visto na maioria das cidades brasileiras.

A partir da segunda metade do século XIX houve um aumento expressivo da urbanização, milhões de pessoas abandonaram o campo em busca de melhores condições de vida nas cidades. Essa mudança no modelo de ocupação trouxe diversas consequências para o meio urbano.

Uma das principais consequências da urbanização é seu efeito sobre o ciclo hidrológico urbano, gerando um aumento significativo da parcela de águas pluviais que escoa superficialmente a ampliação da parcela de solo impermeável. Em decorrência desse processo há um aumento na ocorrência de enchentes e inundações em diversos centros urbanos.

O modelo de drenagem clássico mostra-se incapaz de apresentar soluções, sozinho, para a questão da drenagem urbana. Através de mecanismos e políticas públicas integrando o planejamento urbano e a drenagem urbana, surgiram novas práticas para substituir e complementar o sistema clássico de drenagem, apresentando uma alternativa para reduzir a ocorrência de enchentes e inundações urbanas, propondo soluções sustentáveis para o desenvolvimento urbano.

O presente trabalho buscou apresentar práticas de drenagem sustentáveis para a redução do escoamento superficial nos centros urbanos. Para tanto o trabalho foi estruturado de forma que cada uma dos temas desenvolvidos pudesse ser consultando de forma independente. Primeiramente foi realizado um levantamento do conceito de drenagem ao longo dos séculos culminando nos modelos empregados no Brasil a partir do final do século XIX. Na sequência foi relacionada a influência da intensificação da urbanização e do planejamento urbano

sobre o sistema de drenagem urbana desde a segunda metade do século XIX, partindo para o planejamento no Brasil e como a urbanização impactou a drenagem terminando na inclusão do sistema de drenagem no processo de planejamento urbano. Ainda relacionado ao planejamento do setor da drenagem urbana, foi discutida a importância da inclusão da sociedade no processo de desenvolvimento e aplicação das práticas de drenagem. O capítulo seguinte apresentou uma breve explicação da dinâmica do ciclo hidrológico no meio urbano e as formas existentes para obtenção das chuvas e vazões para projetos hidráulicos. Em seguida foram expostas as obras e outras medidas de controle da drenagem urbana, comparando o modelo clássico com novas propostas. Por fim foram apresentadas as aplicações das práticas sustentáveis de drenagem em centros urbanos, explicitando suas vantagens para a redução do escoamento superficial.

2 OBJETIVOS

Apresentar uma alternativa para o planejamento da drenagem urbana através de práticas sustentáveis com a finalidade de reduzir os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico urbano, especialmente sobre o escoamento superficial. Para tanto, foram considerados os seguintes objetivos específicos:

- Contextualizar historicamente a estruturação do sistema de drenagem urbana, apresentando suas características ao longo dos anos, com maior enfoque a partir do último século.
- Explicitar a inter-relação entre a drenagem urbana e o planejamento urbano.
- Explicar a importância da inclusão social no processo de planejamento do setor de drenagem urbana.
- Caracterizar o ciclo hidrológico no meio urbano.
- Caracterizar as estruturas de drenagem clássicas e novos modelos.
- Aplicar o conceito de drenagem sustentável no meio urbano.

3 A HISTÓRIA DA DRENAGEM

3.1 DA ANTIGUIDADE ATÉ A CIVILIZAÇÃO ROMANA

A origem da drenagem está intrinsecamente associada à mudança de hábito das populações humanas, passando de pequenos grupos nômades para comunidades fixas. Com o aprendizado do cultivo de trigo e cevada surgiram técnicas de drenagem para a irrigação que, associado a domesticação de ovelhas, permitiu a essas comunidades uma vida mais sedentária, fornecendo a estruturação necessária para a aparição das primeiras cidades (FERNANDES, 2002).

A princípio o conceito de drenagem era atribuído apenas a um conjunto de instrumentos para a prática da agricultura, visando a irrigação das culturas. Porém, com o surgimento de novas civilizações ao longo da história humana, ocorreu um desenvolvimento de novas práticas e modelos de drenagem, compreendendo desde a regulação da umidade do solo, desvio de águas em terrenos destinados à ocupação e coleta e transporte de águas pluviais e servidas.

Para MORRIS, 1998, o estabelecimento das primeiras civilizações urbanas ocorreu de fato durante a idade de bronze, cujo início está compreendido entre 3500 e 3000 a.C., durando cerca de 2000 anos. Com os avanços e descobertas arqueológicos acredita-se que as primeiras civilizações tenham surgido, em suposta ordem de aparição, no sul da Mesopotâmia, no Egito, no vale do rio Indo, no rio Amarelo na China, no vale do México, nas florestas da Guatemala e de Honduras, e na costa e planalto do Peru (DANIEL, 1968).

Neste trabalho foram consideradas somente algumas das civilizações que, de alguma forma, contribuíram para a formação e evolução do conceito de drenagem no mundo ocidental.

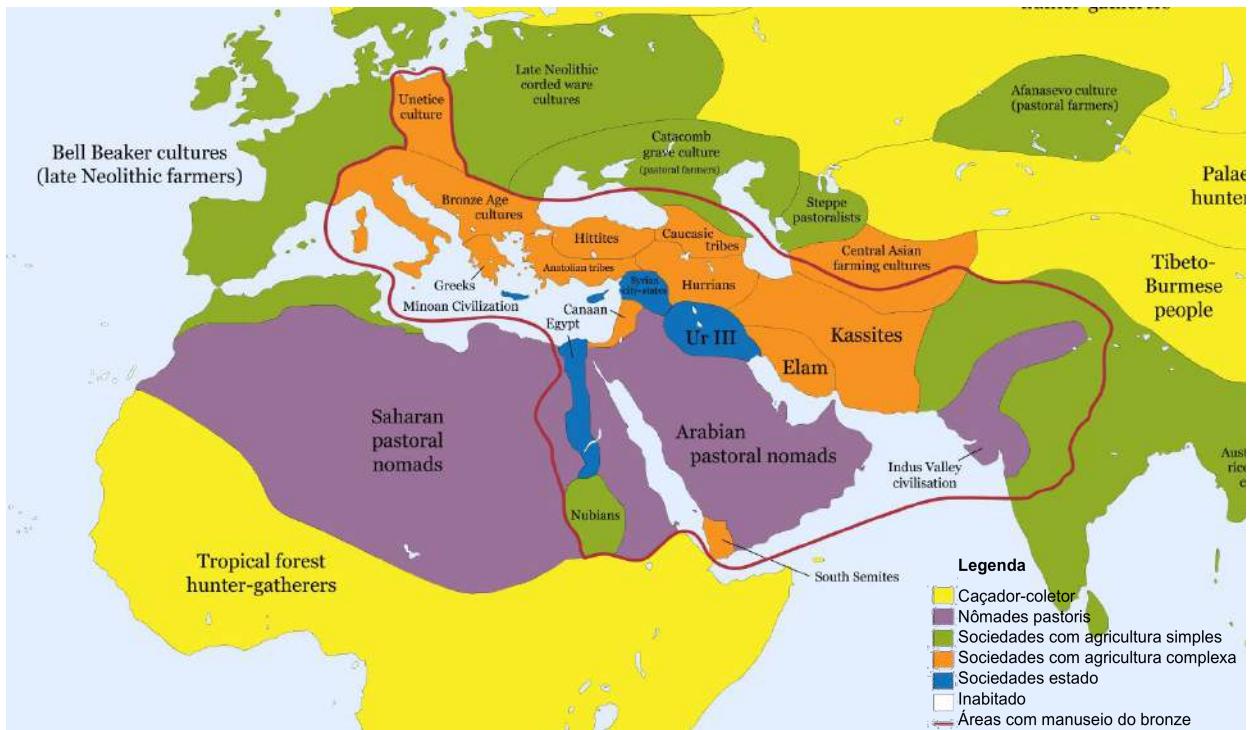


Figura 1: Situação das civilizações mundiais em 2000 a.C..

Adaptado de Haywood, J. et all. *The Cassell Atlas of World History*. Andromeda Oxford Ltd., 1997. p. 1.04.

Em 3500 a.C. os sumérios, habitantes das margens dos rios Tigre e Eufrates, aumentaram consideravelmente a escala da agricultura irrigada, fazendo uso das técnicas de drenagem adquiridas, passaram a cultivar em vastas áreas antes estéreis. Devido as características geográficas da região os sumérios estavam sujeitos a ocorrência de inundações constantes, lhes obrigando a elaborar algumas obras de engenharia, como os diques. Com o avanço das habilidades arquitetônicas e de engenharia, construíram cidades ao longo das margens dos rios, cercadas por muralhas, e com construções distintas em seu interior (MCNEILL et alli, 1989 apud FERNANDES, 2002).

Analogamente, no Egito, o rio Nilo e suas férteis planícies propiciaram o aparecimento de importantes cidades, através da produção de excedentes agrícolas. A civilização egípcia, marcada por uma forte estratificação social, distingue-se da suméria uma vez que o poder concentrava-se nos faraós, enquanto as civilizações sumérias foram marcadas por cidades estado independentes (MORRIS, 1998).

No vale do rio Indo, descobertas recentes atribuem a origem de suas civilizações 2150 a.C., aproximadamente. Nessas cidades, em especial Harappa e Mohenjo-Daro, os sistemas de drenagem constituíam estruturas construídas com grande cuidado, visando o transporte de águas de chuva e servidas e a proteção

contra inundações devido ao degelo sazonal do Himalaia. As cidades possuíam uma cidadela construída numa cota mais elevada e protegida por muralhas enquanto o restante da cidade encontrava-se numa cota mais baixa, porém também cercada por muralhas. Dentre as três primeiras civilizações, as do vale do Indo são consideradas as que mais avançaram no emprego mecanismos de drenagem (MORRIS, 1998).

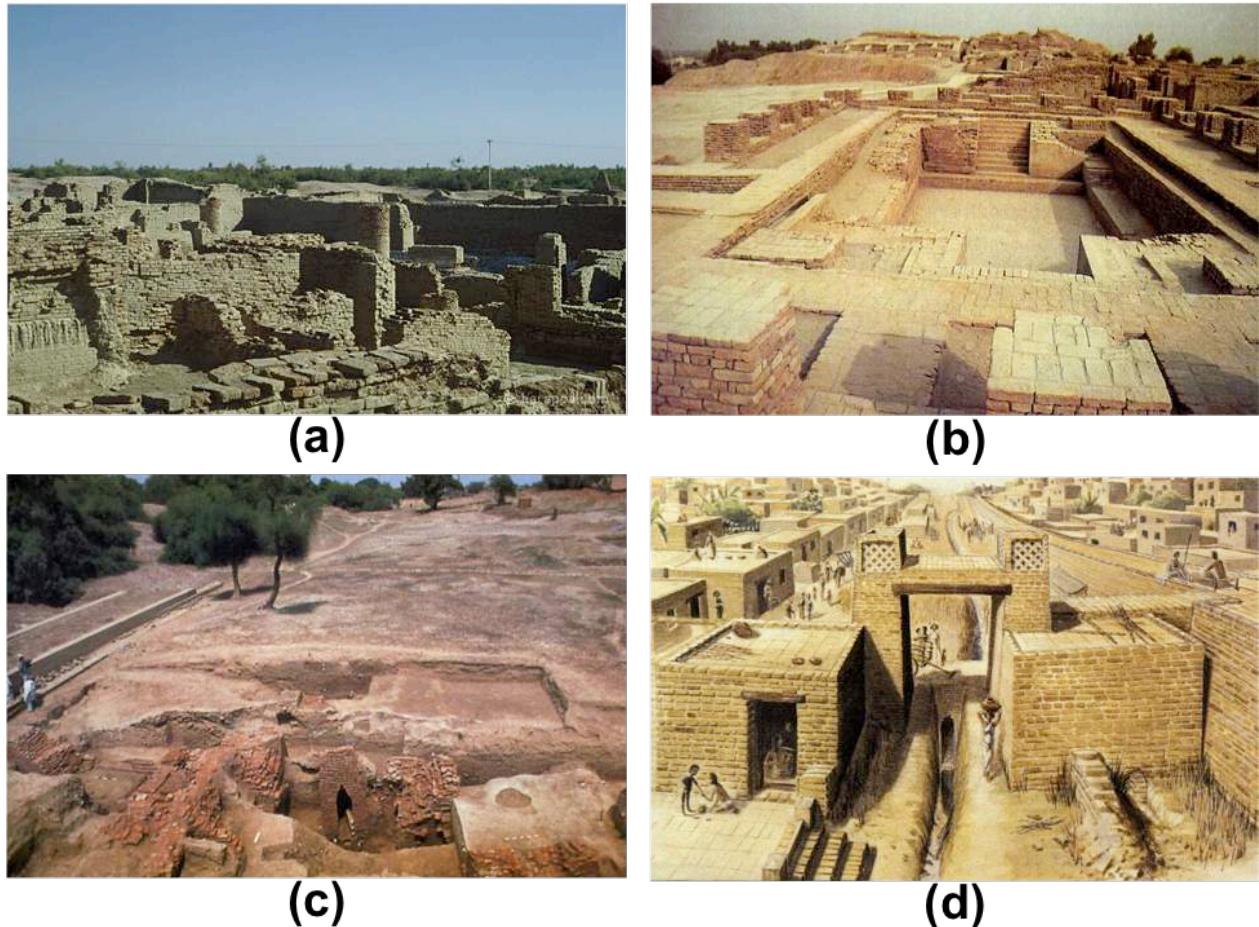


Figura 2: Civilizações do Vale do Rio Indo: Sistema de drenagem (a) e banhos coletivos (b) de Mohenjo-Daro; Sistema de drenagem e esgotos (c) e reconstrução artística (d) de Harappa.
Imagens cedidas por Dr. Jonathan Mark Kenoyer. Universidade de Wisconsin, Madison. Disponíveis em: <http://www.harappa.com>

Nessas três civilizações os mecanismos de drenagem estiveram muito associados a prática da agricultura. Um traço comum as três é a ocupação das margens de rios para o aproveitamento da fertilidade dos solos de aluvião para a produção de alimentos. O excedente produzido propiciou o crescimento dessas civilizações. Esse aumento populacional por sua vez, tornou necessária a produção de mais alimentos, expandindo os mecanismos de drenagem para tornar solos inférteis em agricultáveis. Devido a sazonalidade dos níveis dos rios essas civilizações desenvolveram técnicas para impedir que o aumento do nível de água viesse a destruir tanto a produção agrícola quanto as construções de suas cidades.

Para os persas as águas pluviais eram sagradas e, poluí-las era considerado um pecado. A água da chuva era armazenada em cisternas e utilizada para abastecimento. Porém, com o passar do tempo mudanças das atitudes e comportamentos dos persas resultaram a poluição das águas e contribuíram para a queda dessa civilização (NIEMCZYNOWICZ, 1997).

Na ilha de Creta, entre 3000 e 1000 a.C., um sistema elaborado foi construído, em pedra, para transportar o esgoto sanitário, as águas dos telhados e o escoamento superficial em geral. Ruínas do palácio-cidade de Knossos indicam que esse sistema era composto por dois condutores separados, o primeiro para o transportar os esgotos sanitários e o segundo para águas da chuva (GRAY, 1940).

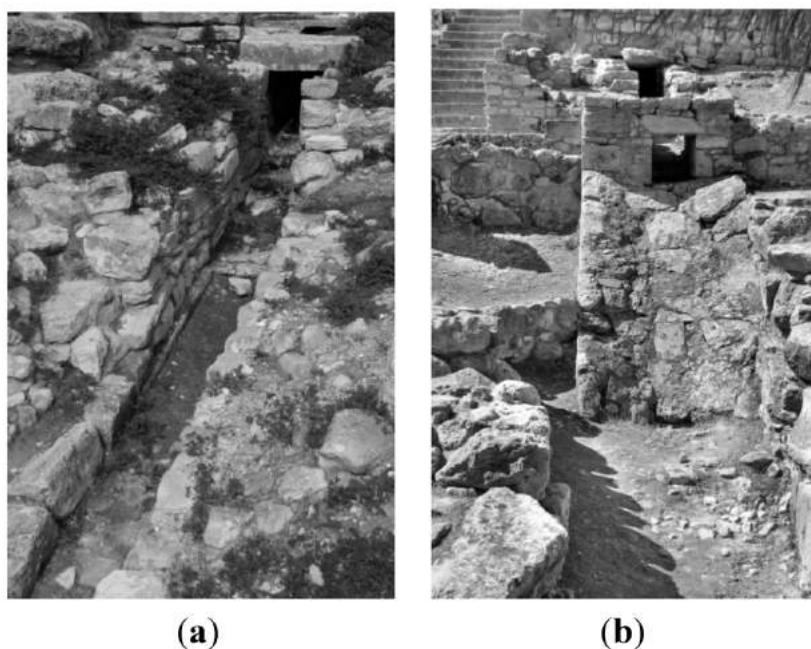


Figura 3: Coletor central de esgoto e sistema de drenagem: no Palácio de Phaistos (a) e no Palácio de Knossos (b).

Fonte: ANGELAKIS A.N., DE FEO G., LAUREANO P., ZOUROU A. (2013). MINOAN AND ETRUSCAN HYDRO-TECHNOLOGIES. WATER 5(3) P. 972-987.

Ao longo do tempo o conhecimento adquirido pelas primeiras civilizações foi aprimorado por outros povos. Os maiores avanços tecnológicos na área de drenagem urbana são atribuídos à civilização romana.

Os romanos construíram sistemas de estradas cuidadosamente planejados, contendo condutos para efetuar o escoamento superficial das águas pluviais e, dessa forma, drenar suas estradas (HILL, 1984). Além disso, construíram um complexo sistema composto por canais abertos e dutos subterrâneos para o transporte de esgotos conhecido como cloacas, sendo a maior delas conhecida como Cloaca Máxima, responsável pela drenagem da região acerca do Fórum para

o rio Tibre (GEST, 1963). A utilização de cisternas, localizadas no interior das casas, para captação de água da chuva para diversos usos, também foi amplamente empregada pelos romanos (HODGE, 1992).

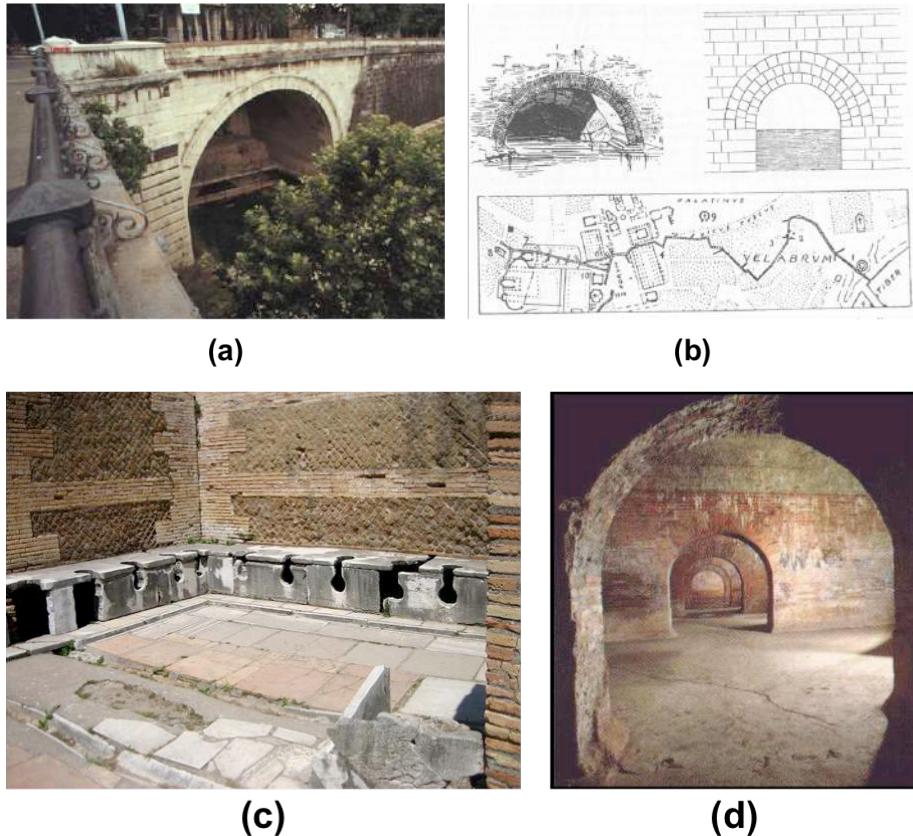


Figura 4: Cloaca Máxima: atualmente no seu encontro com o rio Tibre (a) e representação artística com seu percurso (b). Latrina em Óstia, as margens do rio Tibre (c) e cisterna em Fermo (d).

Fontes: (a) fotografia de Margaret M. Curran. Copyright © 1999 Leo C. Curran, 1999.

(b) <http://www.romanaqueducts.info> (c) AlMere/Wikimedia Commons.

(d) (BURIAN e EDWARDS, 2002).

3.2 DA IDADE MÉDIA ATÉ O FINAL DO SÉCULO XIX

Após a queda do império romano a maioria das cidades européias e algumas cidades asiáticas começaram a reduzir em tamanho consideravelmente na medida que seus residentes migraram para fora dos centros urbanos. As práticas de saneamento se deterioraram progressivamente, e valas abertas nas ruas eram utilizadas indiscriminadamente para escoar e dispor de águas servidas (BISHOP, 1968).

As cidades medievais enfrentaram o grande desafio de integrar a cultura dos invasores bárbaros ao legado dos romanos, em conjunto com os ensinamentos da doutrina cristã. Estas cidades possuíam origens distintas porém como característica

comum continham edifícios amontoados em ruas estreitas, construídos de maneira aleatória, sem a existência de um planejamento prévio. Algumas cidades como Londres, Colônia, Florença e Milão, embora tivessem surgido de antigos assentamentos romanos, conservando no centro um traçado quadriculado retangular, possuíam construções oriundas do crescimento periférico e afastavam-se distintivamente desse traçado original (FERNANDES, 2002).

Durante este período poucos avanços tecnológicos de maneira geral foram feitos e grande parte do conhecimento concentrava-se nas mãos da igreja católica. Seguindo esta tendência, as práticas de drenagem urbana pouco evoluíram. As valas abertas nas ruas, embora possuíssem o propósito de escoar as águas da chuva, eram utilizados para dispor de lixo e esgoto. Caso a vazão de água fosse suficiente, estes detritos eram carregados para fora das cidades, caso contrário, acumulavam nestas valas (BURIAN e EDWARDS, 2002).



Figura 5: Representação Situação das cidades medievais.

Fontes: (a) A Batalha entre o Carnaval e a Quaresma. Pieter Bruegel o Velho, 1559.

(b) Provérbios Flamengos. Pieter Brueghel o Novo, 1607.

A disposição de fezes humanas se tornou um problema em Paris e Londres na medida que estas cidades expandiam em número de habitantes. Até 1530 a disposição de esgotos não era regulada em Paris, até que um decreto determinou que os proprietários de novas residências construissem fossas (REID, 1991).

Ocorreu uma grande transição de pensamentos entre os séculos XVI e XVIII, o Renascimento, fomentado pelo surgimento de uma nova classe social, a burguesia comercial, deu origem a uma nova classe intelectual que impulsionou a geração de escolas e o aperfeiçoamento das ciências naturais (REZENDE e HELLER, 2008). Ampliou-se o uso de pavimentação nas ruas e aumentou-se o

número de canais de drenagem para os rejeitos indesejáveis das ruas em direção a corpos de água (FERNANDES, 2002).

Em 1721, na cidade de Paris, uma portaria estabeleceu que os proprietários de residências em Paris pagassem pela limpeza de condutos de esgoto cobertos que passassem por suas propriedades, porém estes proprietários concluíram que lhes foi permitido jogar todos os seus rejeitos nestes esgotos, já que estavam pagando por isso, o que ocasionou o entupimento de grande número desses coletores (KRUPA). Embora houvesse conhecimento dos problemas de entupimento dos sistemas de esgotamento e drenagem, pouco foi feito, pois a nobreza e a classe dominante não demonstravam muito interesse com a infraestrutura das massas populares.

Entre 1789 e 1848 disseminou-se a revolução industrial, que teve início na França e Inglaterra. Essa revolução foi marcada pelo rápido aumento de trabalhadores em diversas fábricas e, consequentemente, uma deterioração da qualidade de vida nos centros urbanos. Ainda neste contexto, surgiu o movimento iluminista, com *fundamentação na valorização social da inteligência, que teve uma participação decisiva no progresso social* (REZENDE e HELLER, 2008, p.66).

Em Paris, juntamente com as mudanças tecnológicas e o avanço cultural consequentes da revolução industrial, ocorreu um grande aumento da população e a disseminação de doenças, principalmente nas periferias da cidade, por não possuírem a capacidade de suportar o superpovoamento (KRUPA). Praticamente intocada desde a idade média, necessitava de uma intervenção refletida nos modernos modelos de pensamento buscando, principalmente, desacelerar o avanço das epidemias que assolavam a cidade. Napoleão III, imperador desde 1852, buscou trazer ordem e estruturação para o estado caótico e superlotado da cidade. Para tanto encarregou o Barão Georges-Eugene Haussmann como responsável por projetar e construir novas estradas, parques e monumentos públicos, bem como instalar novos sistemas de esgotos e modificar a fachada arquitetônica da cidade. Napoleão III tinha um grande interesse em novas técnicas e materiais enquanto Haussmann primava pelo aspecto estético do projeto de modernização (KIRKMAN, 2007).

Em 1857 começou a construção de um largo sistema de drenagem capaz de suportar o grande volume escoado da crescente metrópole. Com a popularização dos banheiros, principalmente nos distritos mais ricos, tornou-se imprescindível

conduzir os desejos humanos através do sistema de esgotamento. A proposta de se escoar dejetos humanos junto com a água pluvial e lança-los no rio Sena era uma ideia a qual Haussmann se opunha. Para o barão era necessário manter separadas as águas servidas e sujas das águas limpas. Ao utilizar o novo sistema de esgotamento para transportar os dejetos humanos Haussmann acreditava que a cidade se tornaria mais limpa e menos propensa a proliferação de vetores de doenças e eliminando o mau odor de esgotos em putrefação acumulados pela cidade (KIRKMAN, 2007).

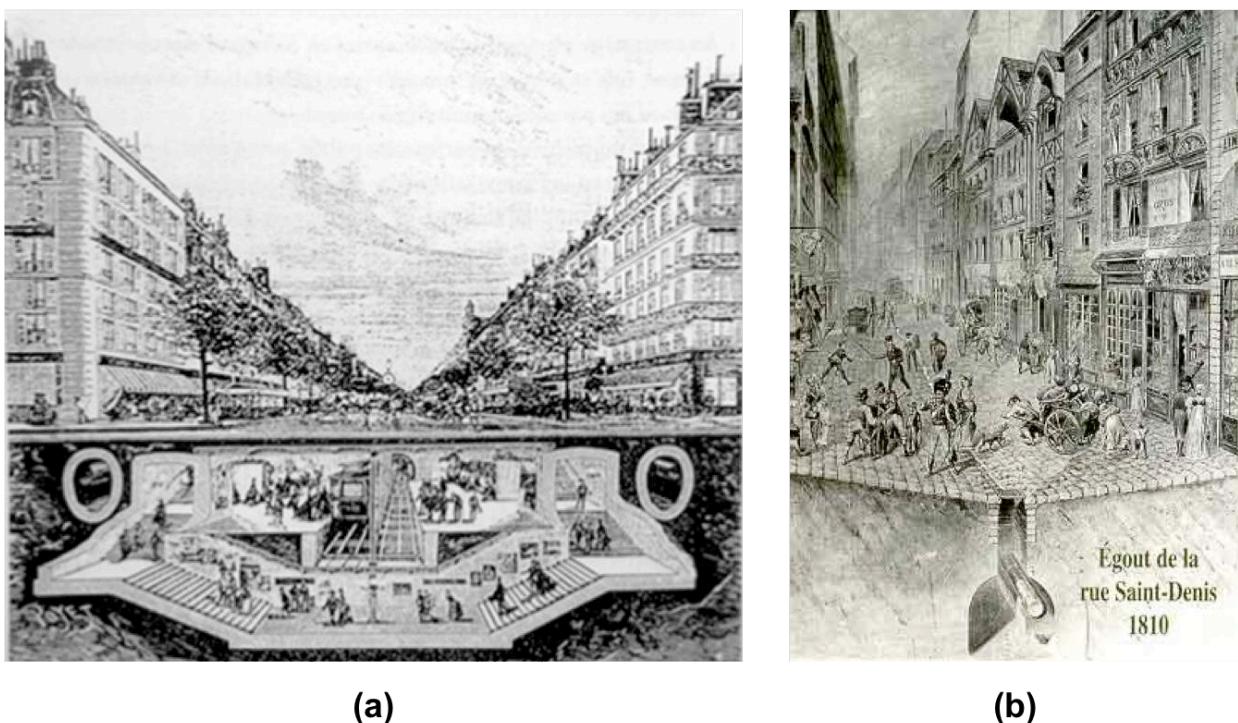


Figura 6: Seções transversais típicas das ruas de Paris durante o período de Haussmann.

Fontes: (a) Gravura de Louis Poyet. RATP, Paris.

(b) Cartão Postal disponível em: <http://www.corkscrew-balloon.com>.

Observa-se que as reformas sanitárias, em especial nos países europeus, onde foram caracterizadas por um saneamento amplo, basearam-se na modernização das práticas e modelos de ações de saneamento, e os estudos desenvolvidos envolviam questões demográficas, econômicas e de engenharia sanitária (REZENDE e HELLER, 2008). Na cidade de Hamburgo, Alemanha, no ano de 1843, foi construído o primeiro sistema extensivo de esgotamento em uma cidade de grande porte. Diferentemente das obras realizadas antes do século XIX em que cálculos numéricos desenvolvidos não eram empregados, na construção deste sistema foram utilizados cálculos desenvolvidos por engenheiros (BURIAN e EDWARDS, 2002).

A intensificação da revolução industrial após 1830 conduziu as comunidades a um novo estilo de vida, baseado no progresso e na tecnologia. Países industrializados foram modernizando-se, enquanto países não industrializados buscaram seguir essa nova tendência mundial. Houve um aumento na integração socioeconômica entre os povos na medida em que as distâncias diminuíram graças à evolução dos sistemas de transporte. A intensificação do comércio e da demanda por mão-de-obra trouxeram, na mesma proporção, um aumento da pobreza e da desigualdade social (REZENDE e HELLER, 2008). Este excedente populacional amontoava-se em periferias urbanas desprovidas de infraestrutura de saneamento, evidenciando que, neste primeiro momento, o crescimento das cidades beneficiou apenas as classes dominantes.

Uma dos principais consequências negativas do processo de industrialização, urbanização e crescimento populacional em uma determinada sociedade era o aumento de doenças, em especial quando surgiam sob a forma epidêmica (HOCHMAN, 1998). Diversos estudos que discutiam as tendências de crescimento populacional durante o período da revolução industrial destacavam a importância de se reduzir as perdas econômicas de produtividade devido a doenças e epidemias, que afetavam as classes trabalhadoras (REZENDE e HELLER, 2008). Além disso, a doença tornou-se um elo de ligação entre ricos e pobres, sendo um fator de interdependência social, uma vez que afetava todas as camadas sociais, independentemente do status econômico (HOCHMAN, 1998). Durante este período, em muitas cidades, a implantação dos sistemas de saneamento foi precedida pela ocorrência de epidemias, explicitando o pensamento predominante desta época de conexão entre saneamento básico e saúde pública.

3.3 A EVOLUÇÃO DA DRENAGEM NO BRASIL A PARTIR DO SÉCULO XIX

O conceito de drenagem urbana utilizado hoje no Brasil é resultando de um processo de construção contínua desde meados do século XIX. Segundo DESBORDES *apud* SILVEIRA (2000), esta sequência é caracterizada por três etapas:

1. Conceito Higienista;
2. Racionalização e Normatização dos cálculos hidrológicos;
3. Abordagem científica e ambiental do ciclo hidrológico.

O conceito higienista de saneamento urbano consolidou-se Brasil após a proclamação da República em 1889, embora tenha começado logo após seu aparecimento na Europa. Esse movimento fundamentou-se no ideal de se afastar as águas nocivas o mais rápido possível das cidades, de forma ordenada para um corpo de água receptor, buscando, assim, reduzir a ocorrência de doenças e epidemias (SILVEIRA, 2000).

A produção brasileira, até o momento, esteve voltada a atender o mercado externo, e o poder econômico encontrava-se concentrado nas mãos dos produtores agropecuários, em especial dos fazendeiros de café. A comercialização do café impulsionou a modernização da região sudeste de forma significativa. Os ideais fizeram com que algumas cidades, principalmente portuárias, como Rio de Janeiro e Santos, passassem por reformas portuárias, destacando-se o trabalho do engenheiro Saturnino de Brito (REZENDE e HELLER, 2008).

Antes da atuação de Saturnino de Brito, a engenharia sanitária brasileira apresentava uma atuação bastante embrionária. As poucas formulações utilizadas para projetos faziam referência a métodos utilizados para as capitais europeias, cujas características hidrológicas diferem muito das cidades brasileiras, resultando em sistemas mau dimensionados.

Saturnino defendeu o uso de tecnologias apropriadas, observando a dinâmica das cidades brasileiras, levando em consideração suas variáveis físicas, culturais, sociais e econômicas. Para Yassuda (1964), Saturnino de Brito foi responsável pelo surgimento de uma visão técnica voltada para a realidade nacional, tendo influenciado incisivamente na adoção do sistema separador absoluto de esgotamento sanitário (*apud* REZENDE e HELLER, 2008).

Neste período pode-se destacar a construção de uma nova capital para o Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, devido a condição de isolamento em que se encontrava Ouro Preto em conjunto com capital excedente da produção de café. O projeto urbanístico fora proposto pelo engenheiro Aarão Reis, fortemente inspirado pelos padrões higienistas europeus, contemplando uma forte intervenção no espaço urbano (REZENDE e HELLER, 2008). Saturnino de Brito participou de forma incisiva na crítica de tal projeto, questionando a inexistência de um traçado sanitário que levasse em consideração os rios da região (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1997).

Foram utilizadas as modernas tecnologias inglesas e francesas na construção de Belo Horizonte, como as tubulações em ferro fundido e aço, sistemas de bombeamento a vapor e o sistema *tout-à-l'égout*¹, mais conhecido como unitário, coletando águas pluviais e resíduárias simultaneamente. O sistema unitário foi bastante criticado por Saturnino, por sua inviabilidade econômica devido aos elevados índices pluviométricos (REZENDE e HELLER, 2008). Entretanto, as opiniões de Saturnino não foram consideradas, sendo as consequências sentidas logo nos primeiros anos da ocupação da cidade. A ausência do traçado sanitário dificultou a implantação do sistema de esgotamento bem como a ocupação do território, e o uso do sistema unitário representou um grande problema durante a estação chuvosa, quando enchentes eram recorrentes (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1997).

Quanto aos serviços prestados por Saturnino de Brito, sua mais importante participação ocorreu na cidade de Santos, na primeira década do século XX. A reforma sanitária da cidade de Santos constituiu um dos mais audaciosos empreendimentos realizados em cidades brasileiras até então, e a consistente posição de Saturnino foi decisiva na implantação do sistema separador absoluto de esgotos nessa cidade (YASSUDA, 1964 *apud* REZENDE e HELLER, 2008).

A segunda etapa conserva o conceito de evacuação rápida das águas urbanas porém, busca estabelecer cálculos hidrológicos mais aprimorados para o dimensionamento das obras hidráulicas. É nessa etapa que surge o método racional, uma relação analítica empírica que relaciona a intensidade de precipitação com a duração e o período de retorno, uma das primeiras expressões IDF (intensidade-duração-frequência) a estabelecidas no Brasil (SILVEIRA, 2000).

Desde o final dos anos 1940, a expansão capitalista e urbana aumentou a participação de novas classes sociais – burguesia industrial e financeira, proletariado urbano e camadas médias – ligadas ao governo, à empresas privadas e ao setor de serviço. O setor de saneamento, por sua vez, desvinculou-se progressivamente do setor de saúde, passando a apresentar um caráter mais dinâmico, com novos modelos de gestão. Entre as décadas de 1950 e 1960 verificou-se uma transição entre a gestão centralizada do saneamento para serviços de natureza autônoma (REZENDE e HELLER, 2008).

¹ Tudo no esgoto.

Foram utilizadas as modernas tecnologias inglesas e francesas na construção de Belo Horizonte, como as tubulações em ferro fundido e aço, sistemas de bombeamento a vapor e o sistema *tout à l'égout*¹, mais conhecido como unitário, coletando águas pluviais e resíduárias simultaneamente. O sistema unitário foi bastante criticado por Saturnino, por sua inviabilidade econômica devido aos elevados índices pluviométricos (REZENDE e HELLER, 2008). Entretanto, as opiniões de Saturnino não foram consideradas, sendo as consequências sentidas logo nos primeiros anos da ocupação da cidade. A ausência do traçado sanitário dificultou a implantação do sistema de esgotamento bem como a ocupação do território, e o uso do sistema unitário representou um grande problema durante a estação chuvosa, quando enchentes eram recorrentes (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1997).

Quanto aos serviços prestados por Saturnino de Brito, sua mais importante participação ocorreu na cidade de Santos, na primeira década do século XX. A reforma sanitária da cidade de Santos constituiu um dos mais audaciosos empreendimentos realizados em cidades brasileiras até então, e a consistente posição de Saturnino foi decisiva na implantação do sistema separador absoluto de esgotos nessa cidade (YASSUDA, 1964 *apud* REZENDE e HELLER, 2008).

A segunda etapa conserva o conceito de evacuação rápida das águas urbanas porém, busca estabelecer cálculos hidrológicos mais aprimorados para o dimensionamento das obras hidráulicas. É nessa etapa que surge o método racional, uma relação analítica empírica que relaciona a intensidade de precipitação com a duração e o período de retorno, uma das primeiras expressões IDF (intensidade-duração-frequência) estabelecidas no Brasil (SILVEIRA, 2000).

Desde o final dos anos 1940, a expansão capitalista e urbana aumentou a participação de novas classes sociais – burguesia industrial e financeira, proletariado urbano e camadas médias – ligadas ao governo, às empresas privadas e ao setor de serviço. O setor de saneamento, por sua vez, desvinculou-se progressivamente do setor de saúde, passando a apresentar um caráter mais dinâmico, com novos modelos de gestão. Entre as décadas de 1950 e 1960 verificou-se uma transição entre a gestão centralizada do saneamento para serviços de natureza autônoma (REZENDE e HELLER, 2008).

¹ Tudo no esgoto.

em Maryland, nos Estados Unidos, iniciativas denominadas *Low Impact Development – LID*², tratando o escoamento superficial em pequena escala, próximo de sua fonte (SOUZA, GONÇALVES e GOLDENFUM, 2007). No Brasil esta prática tem sido encorajada, estando presente em publicação do Ministério da Integração³, para implantação e ampliação de sistemas de drenagem urbana.

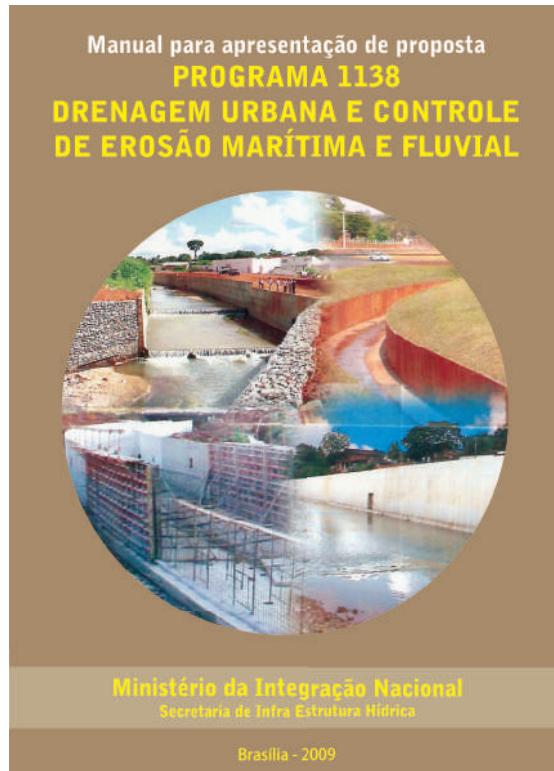


Figura 7: Manual para apresentação de proposta - Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial.

Fonte: MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2009.

² O modelo LID é apresentado em maior detalhe no item 7.2 do presente trabalho.

³ Em 2009 o Ministério da Integração Nacional publicou o *Manual para apresentação de propostas para o Programa Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial*.

Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/manual-erosao-maritima-e-fluvial>>

4 A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO E DO PLANEJAMENTO URBANO SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

4.1 UM RESUMO DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO A PARTIR DA SEGUNDA METADE DO SÉCULO XIX

A urbanização é um processo que acompanhou a trajetória humana ao longo da história, podendo ser caracterizada por três etapas distintas: (i) pré-industrial, (ii) industrial e (iii) atual ou das comunicações (também conhecida como “terceirização das decisões”) (TUCCI e BERTONI, 2003).

Desde da segunda metade do século XVIII, como consequência da revolução industrial, o processo de urbanização incrementou-se mundialmente em um ritmo cada vez mais acelerado. Em 1800 somente 1% da população mundial vivia em cidades, enquanto que na primeira metade do século XX ocorreu um aumento de 49% da população mundial e, subsequentemente, um aumento de 240% da população urbana (TUCCI e BERTONI, 2003). A Figura 8 ilustra o crescimento urbano entre 1960 e 2010, há uma acelerada expansão da parcela urbana, passando de pouco mais de 30% em 1960 para mais da metade da população mundial em 2010.

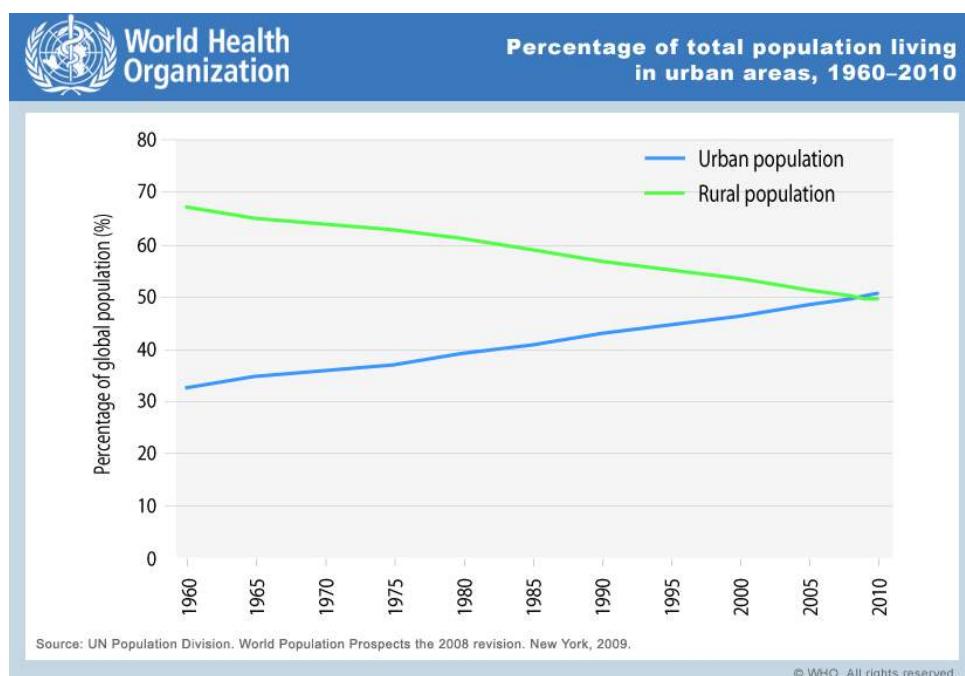


Figura 8: Porcentagem da população mundial habitando áreas urbanas entre 1960 e 2010.

Fonte: Divisão de Populações ONU. Panorama da População Mundial: revisão de 2008. Nova Iorque, 2009.

Já a Figura 9 ilustra o crescimento da população urbana pela classe de renda. Observa-se um crescimento expressivo da parcela urbana em países de baixa e média renda desde 1975, enquanto que, em países com alta renda esse crescimento foi pouco significativo.

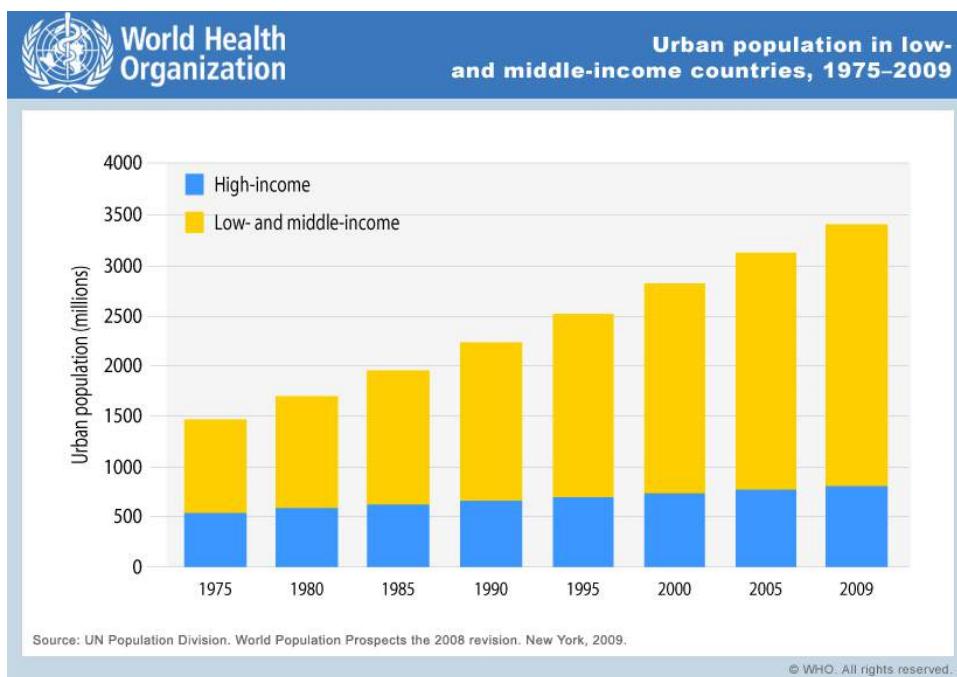


Figura 9: População Urbana em países de baixa e média renda entre 1975 e 2009.

Fonte: Divisão de Populações ONU. Panorama da População Mundial: revisão de 2008. Nova Iorque, 2009.

O processo de urbanização ocorreu de forma mais intensa desde a revolução industrial até o começo do século XX em países hoje considerados desenvolvidos, ao passo que a urbanização intensa em países em desenvolvimento começou de fato a partir da segunda metade do século XX, possuindo um caráter mais explosivo, ou seja, mais acelerado e pouco organizado. Em ambos os casos, o crescimento populacional, foi acompanhado por uma expansão espacial. Para comportar o crescente número de residentes urbanos, novos bairros foram criados, principalmente nas periferias dos centros urbanos.

No Brasil, a recente mudança da distribuição populacional de predominantemente rural para urbana vem ocorrendo, também, desde da metade do século XX. Estimasse que, por volta de 1950, 33 milhões de pessoas habitavam a área rural enquanto 19 milhões habitavam as cidades (GOUVÊA, 2005). Atualmente 84,4% dos 190 milhões de habitantes encontram-se em áreas urbanas (Censo IBGE, 2010).

A transição da área rural para as cidades não foi acompanhada pelo desenvolvimento da infraestrutura disponível, explicitando um molde de urbanização marcado pelo processo de inchamento populacional comprometendo a qualidade de vida oferecida nas cidades. A partir desse fenômeno de transição populacional, problemas como a favelização, cortiços, desvalorização dos centros, entre outros, passaram a integrar os desafios do planejamento urbano brasileiro (CAPACIDADES, 2013).

4.2 UM RESUMO DO PLANEJAMENTO URBANO NO BRASIL

Para José Afonso da Silva (2006), planejamento pode ser definido como “[...] um processo técnico instrumentado para transformar a realidade existente no sentido de objetivos previamente estabelecidos” (SILVA, 2006).

Muito embora a definição formal de planejamento urbano estar relacionada a um período posterior, verifica-se que o início de suas práticas pode ser atribuído ao último quarto do século XIX. Nesse período somavam-se a preocupação com a saúde nas cidades, a necessidade do rompimento com o passado colonial e ao desejo de implementar o novo conceito de “moderno” alavancado por uma nova classe dominante, exigindo o “embelezamento das cidades”, dando início ao processo de transformação das cidades (CAPACIDADES, 2013).

O planejamento urbano no Brasil pode ser dividido em três períodos (VILLAÇA, 2010): o primeiro tendo início no final do século XIX, por volta de 1875 indo até 1930. O segundo de 1930 até meados de 1992, quando inicia-se o terceiro período.

O **primeiro período** é marcado por um caráter ideológico, utilizando o preceito de embelezamento urbano para afirmar o Estado e a classe dirigente capitalista (VILLAÇA, 2010). É o mecanismo utilizado pela burguesia para abandonar o passado colonial e impor seus novos valores. É quando ocorre o surgimento de grandes avenidas, praças e monumentos (CAPACIDADES, 2013). Essas novas intervenções seguem os modelos introduzidos por Haussmann à Paris, primando por “cidades cartesianas e geométricas, iluministas, que modificariam a

sociedade por meio de uma reforma urbana” (PELUSO, 2003, p. 6) em conjunto com os preceitos higienistas⁴.

Este tipo de planejamento, porém, não abrangia todas as camadas da sociedade. As parcelas sociais que, por algum motivo, não pudessem executar os melhoramentos propostos pelas Comissões Sanitárias em seus imóveis ou não pudessem tê-los, eram postos às margens da cidade “bela, moderna e sadia”. Ressalta-se a contribuição de Pereira Passos a história do planejamento urbano brasileiro, em uma primeira fase marcada pelo higienismo, com a predominância de médicos sanitaristas, e uma segunda em que engenheiros e técnicos visavam soluções para o saneamento e a circulação urbana que iam além do cuidado com os padrões construtivos (CAPACIDADES, 2013).

Já o **segundo período**, iniciado na década de 1930, é marcado pelo pensamento de planejamento como técnica com embasamentos científicos, fundamental para a resolução dos “problemas urbanos” (VILLAÇA, 2010). É o momento da história nacional onde o aumento no preparo e consciência das classes operárias reflete na diminuição de poder das classes dominantes e “da hegemonia política da burguesia do café” (CAPACIDADES, 2013, p.5).

Nesta etapa os planos apresentam uma nova estrutura:

É o período do plano intelectual, que pretende impor-se e ser executado por que contém ‘boas idéias’, tem base científica e é correto tecnicamente. É o plano-discurso que se satisfaz com sua própria ‘verdade’ e não se preocupa com sua operacionalização e sua exequibilidade. Sua ‘verdade’ bastaria (VILLAÇA, 2010, p.204).

Este período é dividido em três subperíodos (CAPACIDADES, 2013), o primeiro chamado de **urbanismo e planos diretores**, entre 1930 e 1965, é definido pela tentativa de se justificar a falta de solução para o “caos urbano” e “crescimento descontrolado” atentando para a necessidade do planejamento. Neste subperíodo foram introduzidos planos para as duas maiores cidades brasileiras, São Paulo e Rio de Janeiro, em que se destacavam o enfoque para a infraestrutura, principalmente para saneamento e transportes. O segundo, o **planejamento integrado e**

⁴ “O higienismo é uma doutrina que nasce com o liberalismo, na primeira metade do século XIX quando os governantes começam a dar maior atenção à saúde dos habitantes das cidades. Considerava-se que a doença era um fenômeno social que abarcava todos os aspectos da vida humana. Havia, portanto, a necessidade de manter determinadas condições de salubridade no ambiente da cidade mediante a instalação de adução e tratamento da água, esgotos, iluminação nas ruas e etc. Tais preceitos justificaram grandes intervenções urbanas que culminaram com a expulsão da população mais pobre dos centros urbanos” (CAPACIDADES, 2013, p.4).

superplanos, entre 1965 e 1971, consolida o distanciamento entre o plano e a realidade das cidades, ou seja, o distanciamento entre a proposta e sua possibilidade de implementação. Estes planos passaram a ser elaborados por escritórios privados, baseando-se em conceitos de globalidade, sofisticação técnica e interdisciplinaridade do planejamento. O terceiro subperíodo, denominado **o plano sem mapa**, entre 1971 e 1992, em que “os planos passam da complexidade, do rebuscamento técnico e da sofisticação intelectual para o plano singelo, simples – na verdade, simplório – feito pelos próprios técnicos municipais, quase sem mapas, sem diagnósticos técnicos” (VILLAÇA, 2010, p.221).

O **terceiro período** do planejamento urbano no Brasil, com início em 1992, é marcado pela reação ao segundo período, migrando dos planos tecnocráticos para os planos políticos. Tem-se então a busca pela extração das barreiras dos escritórios técnicos, de forma que seja discutida técnica e politicamente a cidade real, explicitando suas necessidades e os diversos atores envolvidos. Entende-se que este período vigore até 2001, quando da promulgação do Estatuto da Cidade, dando início ao período atual, que busca promover a função social da propriedade e a participação social e estabelece instrumentos legais para assegurar o direito à cidade “de todos e para todos”, propondo a elaboração de um Plano Diretor Municipal elaborado de forma integrada e participativa (CAPACIDADES, 2013).

4.3 IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO URBANOS SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Como consequência do processo de desenvolvimento urbano, tendo em vista os modelos de planejamento adotados, verifica-se a ocorrência de diversos impactos negativos da urbanização sobre o sistema de drenagem urbana. Neste item buscou-se apresentar, resumidamente, as principais perturbações causadas ao sistema de drenagem urbana.

O crescimento populacional aumenta a demanda por água, constituindo o primeiro desafio do planejamento e desenvolvimento urbano, o desenvolvimento proporcional aos recursos hídricos existentes. Com a impermeabilização da superfície decorrente do processo de urbanização de uma bacia hidrográfica, incluindo a alteração da drenagem natural que é substituída por canais artificiais, aumenta as vazões escoadas superficialmente por diminuir a parcela de água capaz

de infiltrar o solo (NETO, [200-?]). Além disso verifica-se uma menor vazão nos rios, entre os períodos de chuva, quando estes seriam abastecidos pelos aquíferos, que passam a ser menos recarregados (TUCCI e MARQUES, 2000). A Figura 10 ilustra as consequências da urbanização sobre os recursos hídricos.

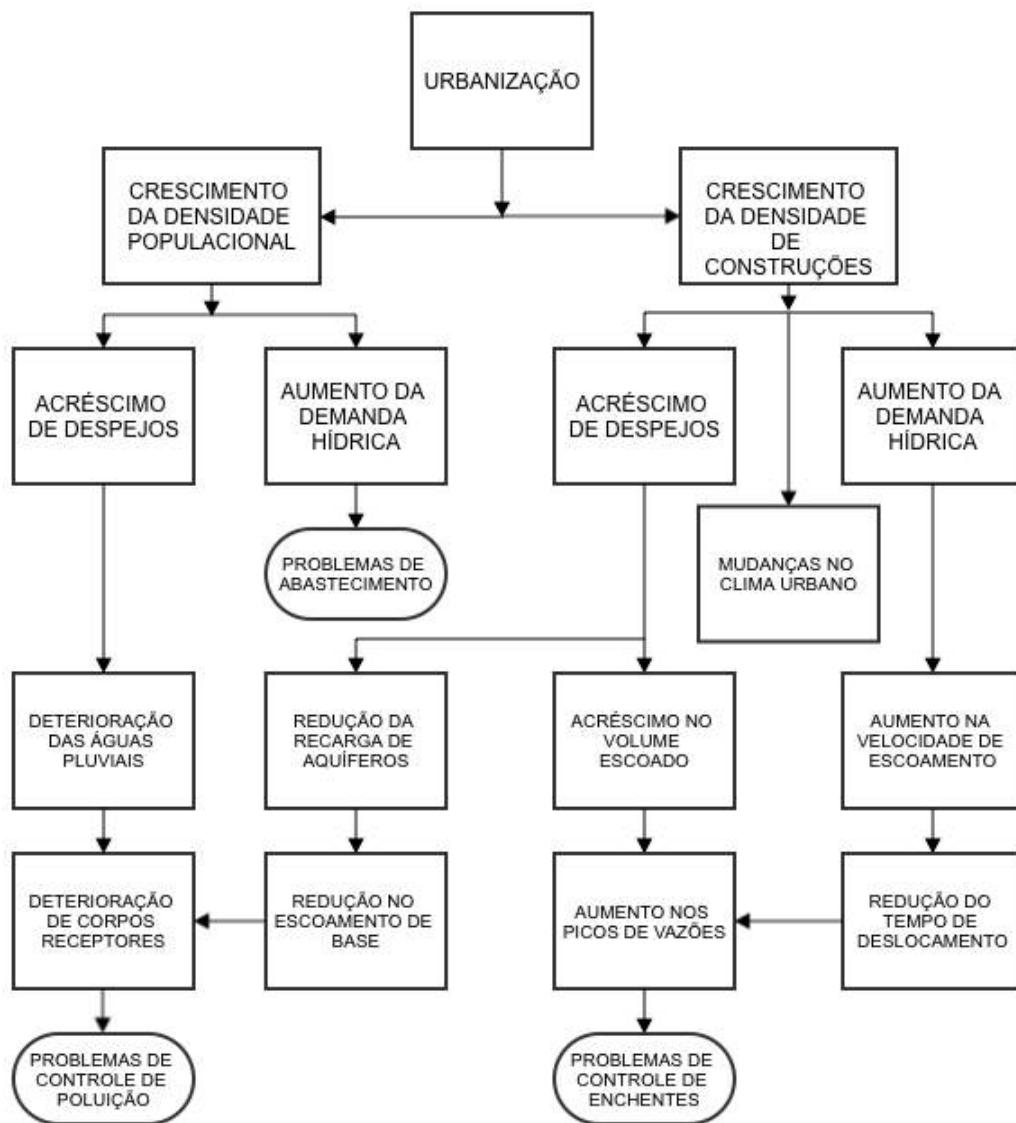


Figura 10: Efeitos da urbanização nos processos hidrológicos.

Fonte: Hall, M. J. Urban Hydrology. London and New York : Elsevier Applied Science Publisher, 1986.

O processo de desenvolvimento urbano trouxe diversas consequências no que concerne a água, segundo TUCCI e BERTONI, 2003, destacam-se:

- A contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos por efluentes urbanos como esgoto doméstico, pluvial e resíduos sólidos;
- Inadequada disposição de esgotos, águas pluviais e resíduos sólidos;

- Intensificação de processos erosivos e de sedimentação, gerando áreas degradadas;
- Ocupação de áreas ribeirinhas com elevado risco de inundação e áreas com grande declividades, como morros, propensas a deslizamentos após períodos chuvosos.

O Quadro 1 fornece uma relação entre processos decorrentes da urbanização e seus efeitos na ocorrência de inundações urbanas.

Quadro 1: Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Maiores picos de vazão
Redes de drenagem	Maiores picos a jusante
Resíduos sólidos urbanos	Entupimento de galerias e degradação da qualidade das águas
Redes de esgotos sanitários deficientes	Degradação da qualidade das águas e doenças de veiculação hídrica
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes, maior erosão e assoreamento
Ocupação das várzeas e fundos de vale	Maiores picos de vazão, maiores prejuízos e doenças de veiculação hídrica

Fonte: FEAM, 2006.

A partir do Quadro 1 é possível definir a sequência de eventos referentes a interação entre a urbanização e a ocorrência de inundações urbanas. Esse processo inicia-se pelo desmatamento de áreas vegetadas, cuja função ecológica, vai além de habitat, sendo fundamental para o equilíbrio hidrológico. Esse desmatamento ocorre devido a “necessidade” imposta pela expansão urbana, seja pelo aumento populacional, devido a especulação imobiliária, por fatores econômicos e políticos, ou ainda por uma combinação desses fatores. A retirada da cobertura vegetal promove uma mudança no processo hidrológico local, aumentando a parcela de água que passa a escoar superficialmente. Além disso, o solo exposto é erodido e escoado para os canais de drenagem. A urbanização, nos moldes clássicos, é acompanhada por uma intensa impermeabilização dos solos, o que aumenta significantemente o volume escoado, diminuindo ainda mais a infiltração no solo. O aumento do escoamento superficial, por sua vez, se apresenta um inconveniente para a área em questão, sendo necessário direcioná-lo através da instalação de

galerias de drenagem para corpos hídricos receptores. Ao instalar-se estes tipos de dispositivos aumenta-se o volume de água que chega em um ponto a jusante da área em questão o que, por sua vez, aumenta a possibilidade de ocorrência de inundações nesse ponto. O sistema de drenagem ainda interage com outros setores do sistema urbano e, muitas vezes as deficiências de qualquer um desses setores afeta, direta ou indiretamente, os demais componentes do sistema. Sendo assim, ineficiências no sistema de esgotamento sanitário podem impactar a qualidade das águas pluviais escoadas, que podem transportar esgotos, indevidamente, aos corpos hídricos. Já as deficiências do sistema de coleta de resíduos sólidos podem afetar a drenagem urbana por entupir as galerias de drenagem e também deteriorar a qualidade da água devido ao aporte de lixo escoado.

A Figura 11 ilustra os efeitos sobre o sistema de drenagem urbana devido a alterações no balanço hídrico e no padrão de escoamento e a consequente resposta da geometria de escoamento.

Como consequência da urbanização, há uma redução na vazão base, ou seja, a vazão nos períodos não chuvosos, devido a redução da infiltração e consequente recarga dos aquíferos. Durante o período chuvoso, após a urbanização, há um maior pico de vazão, já que grande parte da chuva passa a escoar superficialmente e, consequentemente, o limite da área de inundação do rio é alterado, passando a afetar uma maior área.

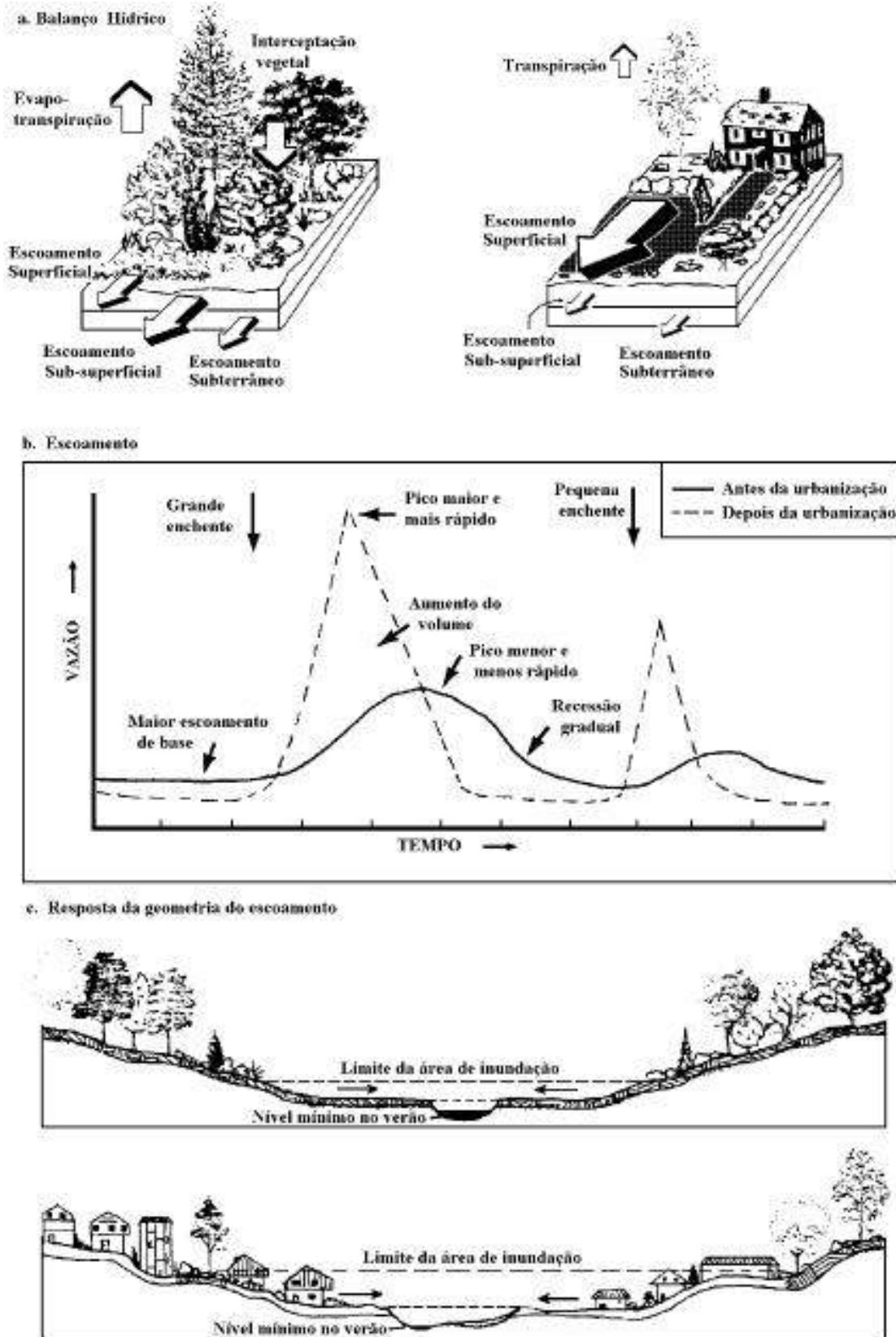


Figura 11: Efeitos da urbanização sobre o sistema de drenagem urbana.
Fonte: SCHUELER, 1987.

O Quadro 2 apresenta os impactos negativos provenientes da resposta do ecossistema às mudanças provocadas pelo aumento da impermeabilização causada pelo processo de urbanização. Já o Quadro 3 fornece os impactos sobre o ciclo hidrológico para diferentes graus de impermeabilização do solo.

Quadro 2: Respostas do ecossistema à urbanização.

Resultados do aumento da impermeabilização	IMPACTOS RESULTANTES					
	Inundações e alteração no fluxo dos rios	Perda de habitat	Erosão e Sedimentação	Alargamento do canal	Alteração do leito do canal	Alteração da qualidade da água
Aumento do volume escoado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aumento do volume de pico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aumento da duração do pico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aumento da temperatura dos rios		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
Diminuição do escoamento de base	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
Alteração na carga de sedimentos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010).

Quadro 3: Impacto da impermeabilização sobre o ciclo hidrológico.

PROCESSO ⁵	DISTRIBUIÇÃO DOS PROCESSOS NO CICLO HIDROLÓGICO (%)			
	Grau de impermeabilização (%)			
	0-10	10-20	35-50	75-100
Evapotranspiração	40	38	35	30
Escoamento superficial	10	20	30	55
Infiltração	25	21	20	10
Infiltração profunda	25	21	15	5

Fonte: Adaptado de U.S. EPA, 2007.

Através das informações contidas no Quadro 3, é possível verificar como a impermeabilização do solo, consequente do processo de urbanização, é capaz de alterar a distribuição dos processos que compõem o ciclo hidrológico. Com o aumento da impermeabilização ocorre uma diminuição dos processos de infiltração no solo, sendo que esta redução pode chegar a 80% dos valores iniciais. O mesmo ocorre com a evapotranspiração, porém em menor escala, podendo ser reduzida em até 25%. Na contra partida, o escoamento superficial apresenta uma grande ampliação, uma vez que toda a redução dos demais processos são convertidas em aumento do escoamento superficial. Este crescimento pode chegar a 450% dos valores iniciais.

⁵ Os processos do ciclo hidrológico serão abordados no item 5.1 deste documento.

O sistema de drenagem pluviais sofre, ainda, grande influência das demais atividades urbanas, impactando e sofrendo impacto de cada uma destas. Dentre as relações existentes entre o sistema de drenagem e setores da gestão das cidades destacam-se (SOUZA, GONÇALVES e GOLDENFUM, 2007):

- **Planejamento Urbano** – como já mencionado acima, a alteração do uso dos solos reflete em um aumento dos volumes de águas escoado superficialmente.
- **Transportes** – a malha viária, via de regra, é projetada de forma a impermeabilizar o solo onde esta se encontrará. Seus sistemas de drenagem seguem os conceitos higienistas e conduzem águas com baixa qualidade devido ao vazamento de fluídos automotivos. Estas acabam por direcionar o trajeto do sistema de drenagem, que segue adjacente a suas vias e, em locais mais baixos, sofrem com inundações urbanas que impedem o tráfego de veículos e pessoas.
- **Limpeza urbana** – a deposição indevida de lixo, rejeitos e entulhos de diversas origens veem a entupir os dispositivos de drenagem urbana que, muitas vezes, não são dimensionados para considerar tais circunstâncias. Em decorrência dessa situação tem-se origem inundações urbanas, que, por sua vez, espalham o lixo que seria coletado, dificultando a operação de limpeza urbana.
- **Esgoto sanitário** – conexões irregulares acabam por conduzir esgotos domiciliares nas redes de águas pluviais. A ocorrência de tais ligações acarreta em uma redução da qualidade da água escoada bem como num aumento do volume que é conduzido, podendo sobrecarregar o sistema projetado.
- **Abastecimento de água** – a transferência de água entre bacias para satisfazer as necessidades da população pode gerar um excedente hídrico a ser veiculado pelo sistema de drenagem, sendo que este pode não suportar este aporte.
- **Setor construtivo** – há um lançamento de sedimentos provenientes deste sistema a serem conduzidos pelos dispositivos de drenagem urbana. A sedimentação desses materiais reduz a vida útil do sistema, além de deteriorar a qualidade da água e assorear os corpos receptores.

Desta forma verifica-se que, para o desenvolvimento de uma drenagem urbana eficiente é necessário que haja uma integração todos estes setores que estão relacionados, direta ou indiretamente à gestão da água no espaço urbano.

4.4 A INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA AO PROCESSO DE PLANEJAMENTO URBANO

O gerenciamento dos recursos hídricos urbanos e de suas políticas de controle é uma função da estrutura institucional existente no país. Tal estrutura é dependente do espaço de abrangência, referente aos âmbitos legal e de gestão, inter-relacionando água, uso do solo e meio ambiente, abrangendo dois contextos espaciais distintos (TUCCI, 2002):

- Os impactos que ultrapassam os limites do município, como a ampliação de enchentes e contaminação a jusante de sistemas hídricos (rios, lagos e reservatórios), devem ser controlados por padrões e regulações existentes em legislações ambientais e de recursos hídricos federal ou estadual.
- Os impactos que atingem o município, com consequências a sua própria população, requerem controle através de medidas desenvolvidas localmente, através de legislação municipal e proposições estruturais específicas.

No contexto externo à cidade, as legislações que envolvem a drenagem urbana estão relacionadas com os recursos hídricos, uso do solo e licenciamento ambiental, como pode ser observado na Figura 12. Quanto aos recursos hídricos, a principal ferramenta de controle da drenagem urbana é o Plano de Bacia. Os Estados e a União podem estabelecer normas para o disciplinamento do uso do solo em busca da proteção ambiental, controle da poluição, saúde pública e segurança. No âmbito do licenciamento, a legislação estabelece limites de construção e operação dos canais de drenagem bem como a necessidade de licenças para obras hidráulicas (SILVEIRA, 2002).

Quanto a gestão municipal, ainda conforme apresentado na Figura 12, deve existir uma legislação municipal específica definida pelo Plano Diretor Urbano, abordando o uso do solo e as legislações ambientais e, menos comumente, a drenagem urbana (TUCCI, 2002).

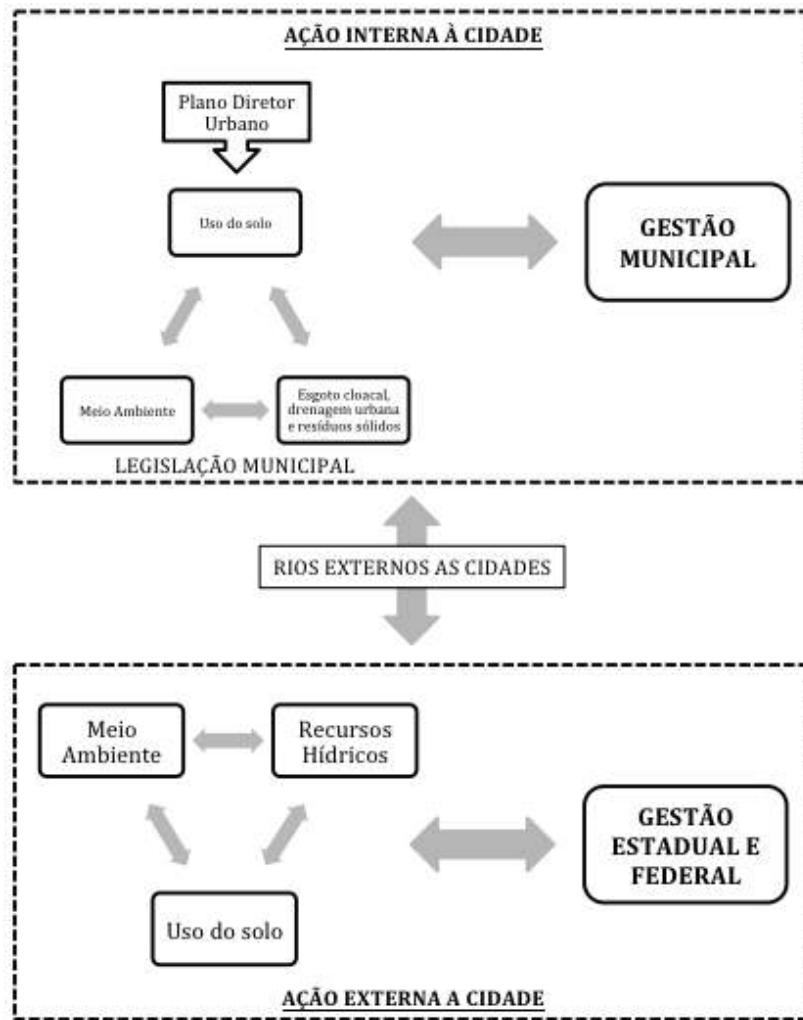


Figura 12: Política de controle do ciclo da água das cidades.

Fonte: (SILVEIRA, 2002)

Para SILVEIRA (2002), existem diversos fatores que dificultam a modernização da drenagem urbana em países em desenvolvimento, incluindo:

- Novidade do enfoque ambiental em relação ao modelo higienista;
- O processo de urbanização, legal e clandestino, não possui controle efetivo;
- Contaminação do escoamento superficial;
- Excessiva produção de sedimentos e lixo;
- Fatores climáticos que agravam riscos epidemiológicos e agregam custos às obras;
- Falta de interação com a população por parte da administração pública.

Com o intuito de se superar tais dificuldades, a principal ferramenta municipal é o Plano Diretor de Drenagem Urbana, levando em consideração a inter-

relação entre os usos do solo, controle ambiental e recursos hídricos tanto internamente na cidade como também na bacia hidrográfica.

O principal objetivo do Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU, é desenvolver mecanismos para a gestão do escoamento das águas pluviais e dos rios no contexto da infraestrutura urbana (TUCCI, 2002). As principais metas desse planejamento, estruturadas visando a melhoria das condições de saúde e do meio ambiente, incluem:

- Planejamento da distribuição de água no tempo e no espaço, baseando-se no perfil de ocupação urbana, de forma que tal desenvolvimento seja estruturado em conjunto com a infraestrutura necessária para prevenir-se danos econômicos e ambientais;
- Controle sobre a ocupação de áreas de risco de inundação, impondo-se restrições de ocupação em locais cujo risco seja alto;
- Integração das enchentes no contexto urbano em áreas de baixo risco.

As etapas de desenvolvimento do PDDU podem ser divididas, conforme apresentado na Figura 13, da seguinte forma (UFG; LOUGHBOROUGH UNIVERSITY, 2003):

- **Etapa 1 – Fundamentos/Concepção: levantamento dos dados existentes.**
Incialmente são coletadas as informações já existentes, incluindo coletas de campo e diagnósticos e legislação pertinente. Na etapa de fundamentação são definidos os princípios, objetivos e estratégias a comporem o PDDU. A cidade deve ser dividida em sub-bacias para facilitar a elaboração de um diagnóstico da drenagem urbana.
- **Etapa 2 – Desenvolvimento/Medidas: diagnóstico da situação atual.**
Nessa etapa, medidas de caráter urgente, verificadas no diagnóstico da situação atual, podem ser implementadas enquanto o plano passa pelo processo de detalhamento e aprovação (medidas – estruturais e não estruturais, viabilidade econômico-financeira).
- **Etapa 3 – Produtos: proposições para ampliação e melhoria do sistema.**
As medidas desenvolvidas na etapa anterior (divididas entre o tempo de ação – curto, médio ou longo prazo) são distribuídas em produtos

necessários para a implementação do PDDU, incluindo: planos de ação, planos de obras, legislação e manuais.

- **Etapa 4 – Programas: plano de ações e sistema de supervisão e controle.**

Nesta etapa estão inclusos todos os processos de longo prazo, como o monitoramento, a coleta de dados adicionais e programas de educação ambiental. Dessa forma é necessário a elaboração de um plano que considere os cenários futuros de desenvolvimento da bacia.

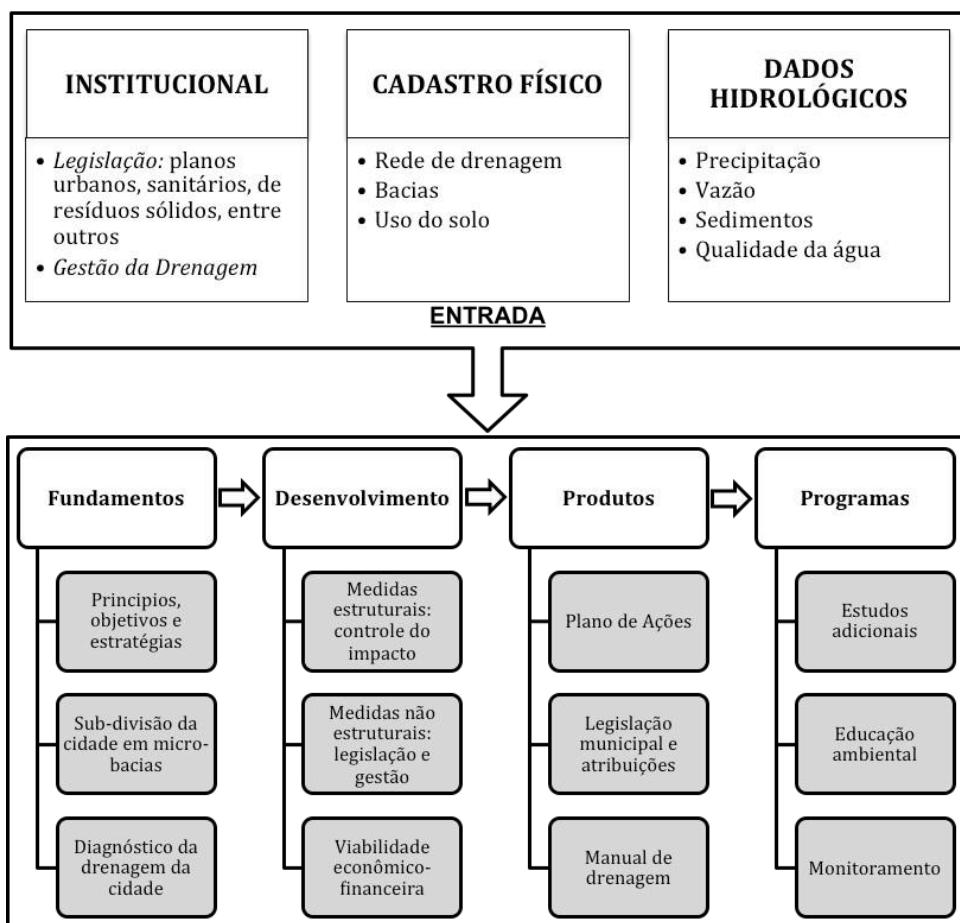


Figura 13: Estrutura do Plano de Drenagem Urbana.
Fonte: (SILVEIRA, 2002).

4.5 A IMPORTÂNCIA DA INCLUSÃO SOCIAL PARA O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

A Política Federal de Saneamento preconiza o sistema de drenagem urbana como parte integrante e fundamental do saneamento básico. Dessa forma, a sua imposição é assegurada por meios legais. Porém, a solução ou minimização de diversos dos problemas relacionados a este setor, e aos demais, só é possível caso

haja, primeiramente, uma sensibilização da comunidade afetada quanto a necessidade de se implementar tais mudanças. Sendo este o primeiro passo para que estas pessoas se mobilizem quanto a problemática existente no sentido de buscar as transformações desejadas e alterar o seu padrão de atitudes (BRASIL, 2009).

Os diversos atores da sociedade civil organizada – Organizações não Governamentais (ONG's), Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP), associações, cooperativas, sindicatos e grupos organizados – possuem poder de reivindicação e influência nas políticas públicas de educação ambiental e saneamento. Estes grupos e instituições são agentes fundamentais na relação entre estado e sociedade, ampliando a participação social nos processos decisórios, podendo atuar junto a órgão públicos cobrando investimentos, monitorando e fiscalizando ações, visando o aumento da eficiência do setor e uma possível minimização dos impactos socioambientais associados ao processo de desenvolvimento e urbanização (BRASIL, 2009).

Uma ferramenta comumente utilizada para aumentar a participação social é a prática do orçamento participativo, no qual a prefeitura municipal aprova seu orçamento anual após discussão com a população, o que aumenta a colaboração e compreensão da comunidade acerca dos problemas que afligem o município, incluindo, no caso da drenagem urbana, a ocorrência de enchentes e a importância de seu amortecimento (UFG; LOUGHBOROUGH UNIVERSITY, 2003).

Outra prática de inclusão da população no manejo do sistema de drenagem urbana acontece na implementação de um sistema de alerta. Esta prática é utilizada quando existe a necessidade de melhorias estruturais em uma determinada área em que não haja a disponibilidade de recursos para sua execução. Essa rede de alerta deve estar ligada ao sistema da Defesa Civil, que, dada a previsão meteorológica de um evento pluviométrico com magnitude expressiva, avisa a população e executa um plano de retirada (UFG; LOUGHBOROUGH UNIVERSITY, 2003). Observa-se que, para o sucesso deste tipo de sistema é fundamental a participação social e que, esta é assegurada pelo interesse direto que existe por parte desta comunidade, em especial no que concerne a segurança, diminuindo o risco de fatalidades durante a ocorrência de fortes chuvas.

Um dos principais elementos que asseguram a eficácia das técnicas apresentadas pelo LID é a participação social, uma vez que a manutenção das IMPs

deverão ser realizadas pelos proprietários dos lotes ou entidade responsável. Essa é uma das razões dos custos de implantação e manutenção dessas ferramentas serem reduzidos, tornando-as economicamente viáveis e socialmente interessantes. Além disso os governos locais podem ser capazes de reduzir impostos sobre os terrenos uma vez que ocorrerá uma redução na necessidade de manutenção dos dispositivos de drenagem pluviais de domínio público (MARYLAND, 1999).

Para assegurar a participação social, o LID prevê que os desenvolvedores, agências públicas e autoridades comuniquem, com eficiência, os benefícios de implementação das IMPs bem como as responsabilidades de manutenção, para potenciais proprietários e para os existentes. Para tanto é sugerido o desenvolvimento de um programa público de divulgação (MARYLAND, 1999), seguindo o modelo apresentado a seguir:

Passo 1: Definição dos objetivos do programa, como:

- Criação de mecanismos de marketing para atração de compradores ambientalmente conscientes.
- Promoção de proteção dos recursos naturais através da atribuição de poder aos cidadãos para tomarem iniciativas de proteção ambiental.
- Promoção de desenvolvimento urbanístico esteticamente atrativo através de projetos paisagísticos.
- Educação de proprietários quanto a práticas de prevenção da poluição.
- Educação de proprietários residenciais e comerciais quanto a economia de instalação e uso de práticas LID.
- Desenvolvimento de um senso de comunidade através das características de integração ambiental propostas.
- Garantia de manutenção dos dispositivos instalados.

Passo 2: Identificação do público alvo:

- Potenciais compradores.
- Construtoras e gerentes de obra.
- Proprietários de novos lotes.
- Proprietários existentes.
- Proprietários comerciais e industriais.

Passo 3: Desenvolvimento de materiais para esse público:

- Manuais (bio-retenção, infiltração, LID, drenagem, IMPs, prevenção da poluição).
- Panfletos e brochuras informativos.

Passo 4: Distribuição do material.

5 ESTUDO HIDROLÓGICO URBANO

5.1 O CICLO HIDROLÓGICO CONTINENTAL

O ciclo hidrológico constitui um fenômeno em escala mundial de circulação fechada da água entre a superfície terrestre (continentes e oceanos) e a atmosfera, em função, principalmente, da energia solar associada à força gravitacional e à rotação do planeta (SILVEIRA, 2002). A Figura 14 fornece uma ilustração do ciclo hidrológico, apresentando o fluxo de água em um corte hipotético do terreno.

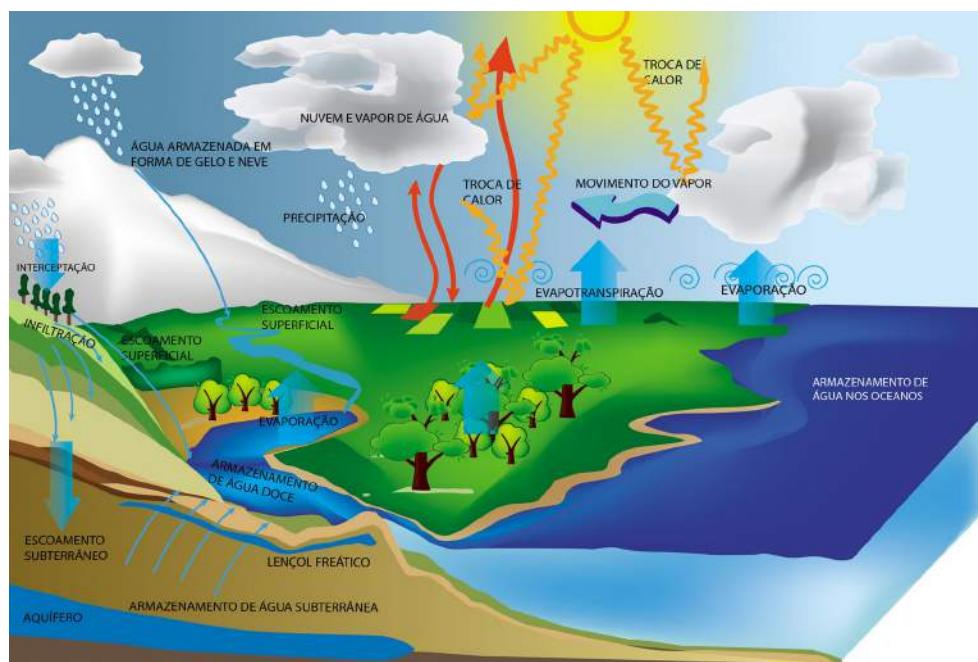


Figura 14: Ciclo Hidrológico.

Fonte: <<http://engenhariaondejahcivil.blogspot.com.br/>>, acessado em 04/07/2014.

SILVEIRA, 2002, define os principais elementos que constituem este ciclo da seguinte maneira:

- **Precipitação:** é o resultado da condensação de água atmosférica que é atraída para a superfície terrestre pela gravidade. Possui uma constituição complexa de origem meteorológica, possuindo significativa variância temporal e espacial.
- **Interceptação:** é a parcela do volume precipitado que, devido a cobertura vegetal ou construções antrópicas, deixa de atingir o solo.
- **Evaporação:** é a parcela de água que devido as ações de fatores climáticos como radiação solar, período de insolação, temperatura do ar, umidade

relativa, perfil de velocidade do vento e pressão atmosférica, retornam a atmosfera na forma de vapor.

- **Evapotranspiração:** é o conjunto evaporação e transpiração, sendo esta última um fenômeno biológico que depende da vegetação e umidade do solo.
- **Infiltração:** é a parcela do volume precipitado que, ao atingir a superfície, promove a recarga da umidade do solo, penetrando a sua zona não saturada.
- **Escoamento superficial:** é o excesso não infiltrado da precipitação que atinge o solo, percorrendo-o em direção a cotas mais baixas, após vencer o atrito com esta superfície.

5.2 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é uma unidade fisiográfica, cujos limites são compostos por divisores topográficos ou divisores de água, sendo estes as cristas das elevações do terreno, separando o escoamento da precipitação entre duas bacias adjacentes (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL , 2008). A bacia hidrográfica é composta por conjunto de superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos d'água confluentes, possuindo um rio principal com seus afluentes e suas respectivas nascentes, sendo que toda a precipitação escoada converge para um único ponto de saída, o exutório da bacia. Desta forma verifica-se que, neste sistema, a entrada de água é composta pelo volume precipitado enquanto a saída é compreendida pelo volume escoado pelo exutório (SILVEIRA, 2002). A Figura 15 ilustra a uma bacia hidrográfica e seus elementos.

O gráfico que relaciona a vazão pelo tempo é denominado de hidrograma, possuindo propriedades típicas, resultantes dos atributos geomorfológicos da bacia a que se referem. Dentre estas propriedades destacam-se a extensão e forma da bacia, distribuição do relevo, declividade, comprimento do rio principal, densidade de drenagem, cobertura vegetal e tipo e uso do solo (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL , 2008). A Figura 16 apresenta um hidrograma típico de uma bacia após a ocorrência de uma sequência de precipitações.

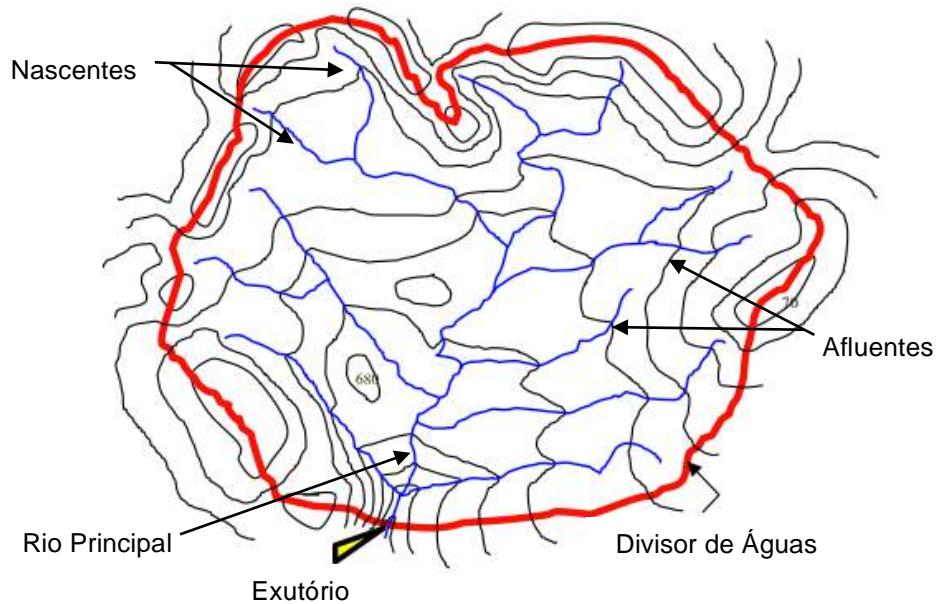


Figura 15: Visão esquemática de uma bacia hidrográfica.

Fonte: SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL , 2008.

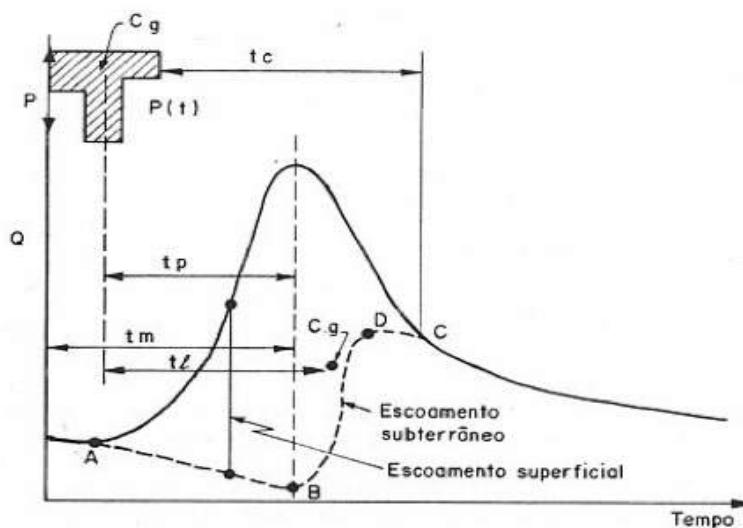


Figura 16: Hidrograma Típico.

Fonte: TUCCI, 2004, p.392.

É possível observar na Figura 16 que, após o início da chuva, há a ocorrência de intervalo de tempo antes do aumento de vazão. Esse retardamento ocorre, principalmente, devido as perdas por interceptação vegetal e depressões do solo, além do tempo de deslocamento da água dentro da própria bacia. O intervalo de elevação da vazão até o pico é composto principalmente pela contribuição do escoamento superficial, possuindo um gradiente mais elevado do que a parcela seguinte do hidrograma. Ainda nesse intervalo é possível observar uma redução da participação do escoamento subterrâneo, cujo comportamento muda de A para B,

devido ao processo de infiltração e percolação que, consequentemente aumentam o nível do aquífero. Essa mudança de nível gera um represamento do fluxo do aquífero nas proximidades com o rio e esse processo inverte-se quando a percolação aumenta e o escoamento superficial diminui, representado pelo ponto D (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL , 2008).

Os elementos que constituem o hidrograma apresentado são (NETO, [200-?]) :

- **Tempo de retardo – T_r** : é o intervalo de tempo entre os centros de gravidade da precipitação e do hidrograma.
- **Tempo de pico – T_p** : é o intervalo entre o centro de massa da precipitação e o tempo em que ocorre o pico do hidrograma.
- **Tempo de ascensão – T_m** : é o intervalo de tempo decorrido entre o início da chuva e o pico do hidrograma.
- **Tempo de base – T_b** : é o tempo entre o início da precipitação e aquele em que a precipitação ocorrida já escoou através da superfície, com o retorno das condições anteriores ao início da precipitação.
- **Tempo de recessão – T_e** : é o tempo necessário para a vazão baixar até o ponto C, quando termina o escoamento superficial proveniente da precipitação.
- **Tempo de concentração – T_c** : é o tempo requerido para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia participe na vazão no fundo do vale, ou ainda o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma.

5.2.1 Classificação das Bacias Urbanas

O estudo da hidrologia urbana considera todas as inter-relações entre causas e efeitos provenientes dos impactos hidrológicos. De maneira geral, as bacias urbanas possuem pequeno e médio porte e, considerando a variância natural dos elementos que influenciam o comportamento hidrológico da bacia, esta distinção entre bacias pequenas e médias é imprecisa e, de certa forma, subjetiva. Uma classificação amplamente utilizada classifica bacias pequenas como possuindo tempo de concentração inferior a 1 hora e/ou área de drenagem inferior a 2,5 km². Já as bacias de grande porte possuem tempo de concentração superior a 12 horas

e/ou área de drenagem maior do que 1.000 km², dessa forma infere-se que as bacias médias encontram-se entre esses dois intervalos (NETO, [200-?]).

Em bacias urbanizadas, a ocupação das margens e várzeas do rio encontra-se consolidada, reduzindo e limitando as ações que buscam a renaturalização ou mesmo a revalorização ecológica da área. Desta forma, o enfoque usual de ação para reduzir os picos de vazão referem-se a intervenções a montante do trecho. Estas soluções devem visar a minimização de enchentes através do aumento da infiltração da parcela que atinge a superfície do solo (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2006).

Este trabalho apresenta ações a serem implementadas diretamente na bacia urbanizada e não em trechos a montantes, uma vez que, embora ações executadas a montante da área urbanizada reduza o volume de água que chega a este trecho, não influencia significativamente nos trechos a jusante da área urbanizada, que continuariam a receber o escoamento superficial da área urbanizada, devido a impermeabilização do solo. A Figura 17 ilustra uma sub-bacia urbanizada.



Figura 17: Sub-bacia urbanizada.

Fonte: FEAM, 2006.

Muitas vezes registros e informações de vazão das áreas nas quais se deseja realizar obras de drenagem urbana não encontram-se disponibilizados, o que dificulta a execução de tais projetos. Uma alternativa de contorno para essa limitação é a utilização de vazões sintéticas⁶ a partir de dados de precipitação. Para tanto, a distinção entre bacias pequenas e médias é fundamental (NETO, [200-?]). O

⁶ Vazão sintética refere-se ao uso de formulações matemáticas que busquem fornecer uma estimativa da vazão com base nas características locais de uma determinada área.

Quadro 4 auxilia a escolha do método de cálculo a ser utilizado em função de alguns dos atributos das bacias pequenas e médias.

Quadro 4: Classificação de Bacias.

Características	Bacia Pequena	Bacia Média
Variação temporal da intensidade da chuva	Constante	Variável
Variação espacial da intensidade da chuva	Uniforme	Uniforme
Escoamento superficial	Predominantemente em superfícies	Em superfícies e canais
Armazenamento na rede de canais	Desprezível	Desprezível

Fonte: Sugerida por Ponce (1989) e citada por Tucci (1993).

Em bacias de pequeno porte utiliza-se o método racional, pois os parâmetros desse método se adaptam ao comportamento hidrológico característico dessas bacias. Já para bacias médias normalmente utilizam-se técnicas baseadas na teoria do Hidrograma Unitário (HU) uma vez que possibilitam considerar a variação da intensidade da chuva no tempo (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL , 2008).

5.3 DETERMINAÇÃO DA CHUVA DE PROJETO

Dentre as formas de precipitação que ocorrem naturalmente, a pluviométrica é a que gera maiores problemas para a drenagem urbana. O mecanismo básico de formação das chuvas é composto pela condensação do vapor de água existente na atmosfera, que é elevado às maiores altitudes, constituindo as nuvens. Sob a ação de certas condições hidrometeorológicas como pressão atmosférica, temperatura do ar e saturação, as nuvens carregadas podem produzir a precipitação pluviométrica (SÃO PAULO (CIDADE), 2012):

Precipitações máximas ou chuvas intensas são definidas como aquelas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo. Essa intensidade é obtida a partir da relação entre o total precipitado e o tempo decorrido, normalmente expressa em milímetros por hora ou milímetros por segundo. A determinação dessas intensidades é de fundamental importância em drenagem urbana, pois em muitas metodologias as vazões de projeto são obtidas indiretamente por transformação chuva-vazão (SÃO PAULO (CIDADE), 2012, p.15).

O DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica juntamente com a Escola Politécnica da Universidade elaborou informações sobre as equações de chuva do Estado de São Paulo conforme apresentado a seguir.

Nesse ponto vale ressaltar que as equações desenvolvidas para a caracterização das chuvas foram formuladas empiricamente com base em séries históricas de chuvas de diversas estações pluviométricas espalhadas pelo estado de São Paulo. Tais equações foram desenvolvidas, de maneira geral, a partir da segunda metade do século XX e utilizam dados pluviométricos referentes a séries históricas entre 1930 e 1990.

Tendo em vista a variabilidade temporal das chuvas e a data dos dados utilizados, além dos erros intrinsecamente inerentes de formulações, associados a mudanças das características locais ao longo do tempo é possível que tais equações não representem fielmente a realidade, porém ainda constituem a melhor opção para os cálculos de chuvas⁷.

Equação Usual

A equação usual para obtenção da relação IDF é elaborada a partir do ajuste de distribuição de frequência, como apresentada a seguir:

$$i = K \frac{T_r^m}{(t + t_0)^n}$$

Onde:

- i: intensidade pluviométrica média máxima para a duração t (mm/min);
- t: duração da chuva (min);
- T: período de retorno (anos);
- K, m, n e t_0 : parâmetros relativos ao ajuste da equação⁸.

Equação Eng. Otto Pfafstetter

Em 1957 o engenheiro Otto Pfafstetter desenvolveu uma equação empírica após analisar 98 postos pluviográficos espalhados pelo Brasil. Essa equação

⁷ Para mais informações: ZUFFO, A. C. **Equações de chuvas são Eternas?** XXI Congresso Latino-americano de Hidráulica. São Pedro. 2004.

⁸ Os valores dos coeficientes encontram-se em tabelas disponíveis no Anexo A.

empírica que define a precipitação máxima em função de sua duração tempo de recorrência segue a seguinte forma:

$$P = T^{\left(\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}\right)} [at + b \log(1 + ct)]$$

Onde:

P: precipitação total máxima (mm);

T: período de retorno (anos);

t: duração da precipitação (horas);

α : coeficiente que depende da duração da precipitação;

β : coeficiente que varia com o posto considerado e a duração da precipitação;

γ : coeficiente que assume o valor 0,25 para todo o Brasil;

a, b e c: coeficientes constantes para cada posto pluviográfico⁹.

Equação tipo “InIn”

As equações do tipo “InIn”, desenvolvidas entre 1979 e 1982 para o Estado de São Paulo levam em consideração as séries anuais e parciais de intensidades de chuvas (MERO, SALEMI FILHO e MAGNI, 1979) têm a forma:

$$i_{t,T} = A_j(t + B_j)^{C_j} + (t + D_j)^{E_k} \times \left[F_k + G_k \times \ln \ln \left(\frac{T}{t-1} \right) \right] + \left(M_j(t + P_j)^{Q_j} \times \ln(T - 0,5) \right)$$

Sendo:

j=k=1, para 10 min ≤ t ≤ 60 min.

j=k=2, para 60 min < t ≤ 180 min.

j=2 e k=3, para 180 min < t ≤ 1440min.

Onde:

i: intensidade da chuva, correspondente à duração t e período de retorno T (mm/min);

t: duração da chuva (min);

T: período de retorno em (anos);

⁹ Os valores dos coeficientes encontram-se em tabelas disponíveis no Anexo B.

A, B, C, D, E, F, G, M, P, Q: parâmetros que variam com o posto e a duração da chuva¹⁰.

Equação DAEE

O DAEE, em 1999 desenvolveu a seguinte equação de chuvas intensas para diversos municípios do Estado de São Paulo.

$$i_{t,T} = A(t + B)^C + D(t + E)^F \cdot [G + H \cdot \ln \ln [T/(T - 1)]]$$

Para $10 \leq t \leq 1440$

Com:

$i_{t,T}$: intensidade da chuva (mm/min);

t: duração da chuva (min);

T: período de retorno (anos);

A, B, C, D, E, F, G e H: parâmetros que variam com o posto¹¹.

5.3.1 Período de retorno

O período de retorno indica o número médio de anos transcorridos entre a ocorrência de dois eventos iguais. Em projetos de drenagem, o período de retorno é estabelecido para chuvas intensas, de modo a evitar danos e inconvenientes, sendo que estes podem variar desde uma proteção absoluta (estimativa do máximo evento possível) até 50 ou menos anos, dependendo da magnitude da cidade e das obras. Para projetos de microdrenagem adota-se, usualmente de 2 a 25 anos como período de retorno. Porém, dependendo das características locais e das estruturas existentes esse valor pode variar.

¹⁰ Os valores dos coeficientes se encontram em tabelas disponíveis no Anexo C.

¹¹ Os valores dos coeficientes se encontram em tabelas disponíveis no Anexo D.

5.4 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO

5.4.1 Método Racional

Poucas bacias urbanas possuem rede de monitoramento de vazões. Dessa forma, para a obtenção das vazões de projeto utiliza-se modelos de chuva-vazão, como o método racional ou o hidrograma unitário. A metodologia geral parte da definição da chuva de projeto, geralmente da relação I-D-F, do cálculo da chuva excedente e da determinação do hidrograma ou vazão de projeto (SÃO PAULO (CIDADE), 2012).

A equação do método racional é a seguinte:

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

Onde:

Q: vazão máxima (m^3/s)

0,278: fator de correção de unidade

C: coeficiente de escoamento superficial da bacia

I: intensidade da precipitação de projeto (mm/h)

A: área da bacia (km^2)

5.4.1.1 Coeficiente de escoamento do método racional

O coeficiente de escoamento superficial pode ser definido através de tabelas elaboradas considerando as características da bacia hidrográfica, ou da área de drenagem em questão. Tais tabelas relacionam o escoamento superficial com base no tipo de solo, vegetação e outros aspectos associados ao manejo do solo e a urbanização (JÚNIOR). A tabela a seguir apresenta os valores do coeficiente de escoamento superficial para diferentes usos do solo adotado pela Prefeitura de São Paulo.

Tabela 1: Valores de C adotados pela Prefeitura de São Paulo.

Zona	Descrição	C
Edificações muito densas	Partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 – 0,95
Edificações não muito densas	Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 – 0,70
Edificações com poucas superfícies livres	Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 – 0,60
Edificações com muitas superfícies livres	Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 – 0,50
Subúrbios com algumas edificações	Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 – 0,25
Matas, parques e campos de esporte	Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 – 0,20

Fonte: (JÚNIOR).

Quando a área de estudo for heterogênea, com ocupações diferenciadas, deve-se atribuir a cada sub-região um valor diferente para o escoamento superficial seguindo o seguinte modelo:

$$C = \frac{(C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n)}{A}$$

Onde:

C: coeficiente de escoamento superficial;

A: área de estudo;

C_n : coeficiente de escoamento superficial da área A_n ;

A_n : área de contribuição atribuída a um tipo de ocupação.

Diferentes intensidades de precipitação geram diferente magnitude de escoamento superficial. Como a intensidade de precipitação é função do período de retorno, a dependência do coeficiente de escoamento superficial está apresentada na tabela a seguir:

Tabela 2: Variação do coeficiente de escoamento superficial em função do período de retorno.

Tr (Anos)	Multiplicador de C
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Porém, o método racional é limitado a bacias de até 2 km² e tempo de concentração de até uma hora (TOMAZ, 2013). Para as demais bacias pode-se optar pelo método de I-Pai-Wu.

5.4.2 Método de I-Pai-Wu

O Método de I-Pai-Wu é aplicado em bacias que apresentam até 200 km² de área de drenagem, e constitui-se num aprimoramento do Método Racional. Este permite uma análise criteriosa dos diversos fatores intervenientes, como o armazenamento na bacia, distribuição da chuva e à forma da bacia.

Nos projetos de bacias urbanas mais comuns desenvolvidos, tem sido adotado na maioria das vezes, chuvas com duração de 2 ou 3 horas (SÃO PAULO (CIDADE), 1999).

A equação base para aplicação do método I-Pai-Wu é:

$$Q = 0,278 \times C \times i \times A^{0,9} \times K$$

$$Q_{pico} = Q_b + Q$$

Em que:

Q : a vazão de cheia (m³ s⁻¹);

Q_b : a vazão base (m³ s⁻¹), sendo $Q_b = 0,10 \times Q$;

C : o coeficiente de escoamento superficial;

i : a intensidade da chuva crítica (mm h⁻¹);

A : a área da bacia de contribuição (km²);

K : coeficiente de distribuição espacial da chuva.

O coeficiente de distribuição da chuva (K) é função da área de drenagem (km²) e do tempo de concentração (horas), obtido de maneira gráfica, na seguinte Figura:

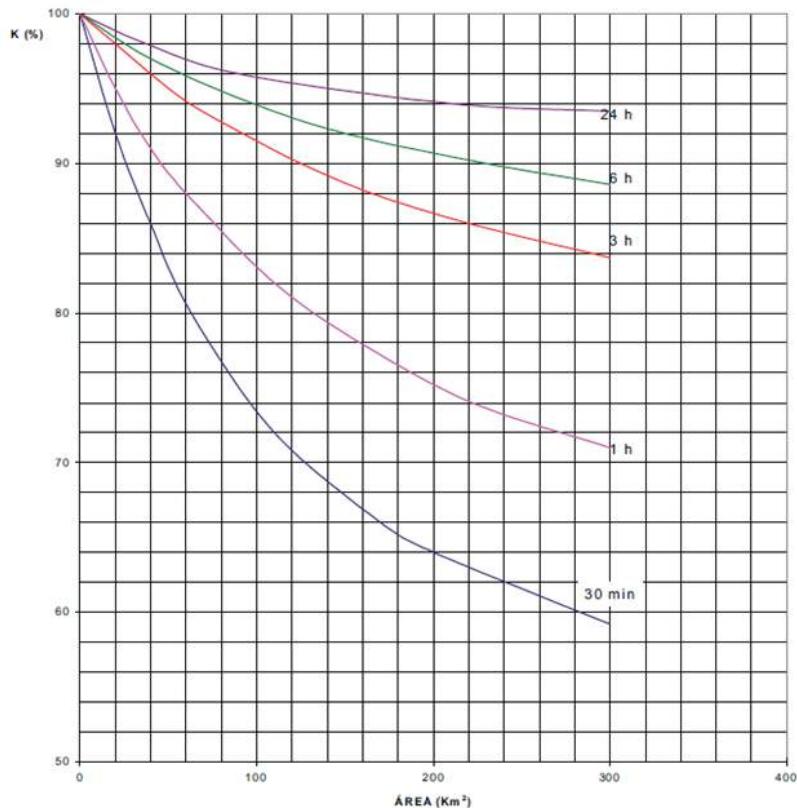


Figura 18: Coeficiente de distribuição da chuva.

Fonte: Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos, São Paulo (1999).

5.4.2.1 Coeficientes de Escoamento do Método de I-Pai-Wu

O coeficiente de escoamento superficial é função de uma série de fatores, dentre os quais, o tipo de solo, a ocupação da bacia, a umidade antecedente, a intensidade da chuva e outros de menor importância. A adoção, portanto, de um valor de C constante é uma hipótese pouco realista e deve ser feita tomando-se alguns cuidados.

Em bacias de forma alongada, no sentido do talvegue, o tempo de concentração poderá ser superior ao tempo de pico da chuva crítica, geralmente em bacias com área superior a 2 km². Dessa maneira, para calcular o coeficiente de escoamento (C) da bacia hidrográfica pelo Método de I-Pai-Wu, deve-se considerar o efeito da forma através do coeficiente de forma (C₁) e o coeficiente volumétrico de escoamento (C₂). O valor de C é dado pela expressão:

$$C = \left(\frac{C_2}{C_1}\right) \cdot \frac{2}{1 + F}$$

Em que:

- C : o coeficiente de escoamento superficial;
- C_1 : o coeficiente de forma;
- C_2 : o coeficiente volumétrico de escoamento;
- F : o fator de forma da bacia.

O coeficiente de forma, C_1 , é calculado através da seguinte equação:

$$C_1 = \frac{4}{(2 + F)}$$

O fator de forma, F , pode ser dado por:

$$F = \frac{L}{2 \cdot (A/\pi)^{0,5}}$$

Em que:

- L : o comprimento do talvegue (km);
- A : a área de contribuição (km^2);
- F : o fator de forma da bacia.

Conforme Morano, 2006 (apud Tomaz, 2010) quando:

$F = 1$ a bacia tem formato circular perfeito

$F < 1$ a bacia tem forma circular para a elíptica e o seu dreno principal está na transversal da área.

$F > 1$ a bacia foge da forma circular para elíptica e seu dreno principal está na longitudinal da área.

A Tabela abaixo fornece valores para o coeficiente volumétrico de escoamento C_2 adotados pela prefeitura de São Paulo para diferentes superfícies:

Tabela 3: Grau de impermeabilização do solo em função do seu uso.

GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	COBERTURA OU TIPO DE SOLO	USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO
Baixo	Vegetação rala e/ou esparsa	Zonas verdes não urbanizadas
	Solo arenoso seco	
	Terrenos cultivados	
Médio	Terrenos com manto fino de material poroso	Zona residencial com lotes amplos (maior que 1000 m ³)
	Solos com pouca vegetação	
	Gramados amplos	Zona residencial rarefeita
	Declividades médias	
Alto	Terrenos pavimentados	Zona residencial com lotes pequenos (100 a 1000 m ³)
	Solos argilosos	
	Terrenos rochosos estéreis ondulados	
	Vegetação quase inexistente	

Fonte: Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos, São Paulo, 1999.

O coeficiente C_2 deverá ser obtido pela ponderação dos coeficientes das áreas parciais ou sub-bacias, coeficientes que são classificados pelo grau de impermeabilização como especificado no Quadro 5.

Quadro 5: Coeficientes volumétricos de escoamento (C_2).

GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE VOLUMÉTRICO DE ESCOAMENTO
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Fonte: DAEE, São Paulo, 1999.

6 OBRAS DE DRENAGEM E OUTRAS MEDIDAS DE CONTROLE

O sistema de drenagem inclui toda a infraestrutura existente em um município para a realização da coleta, transporte e lançamento final das águas pluviais que escoam superficialmente e, ainda, compreende a hidrografia e seus talvegues. Esse sistema é formado por diversas medidas que buscam minimizar os efeitos do aumento do escoamento superficial, como os riscos e prejuízos a que as populações estão expostas quando ocorrem inundações, visando um desenvolvimento urbano articulado, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2006). O sistema pode ser dividido em:

Quadro 6: Divisão do sistema de drenagem.

MICRODRENAGEM	MACRODRENAGEM
São estruturas que conduzem as águas do escoamento superficial para galerias ou canais urbanos.	São dispositivos responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de microdrenagem urbana.
É constituída pelas redes coletoras de águas pluviais, poços de visita, sarjetas, bocas-de-lobo e meios-fios.	É constituída pelos principais talvegues, fundos de vale, cursos d'água, independentemente da execução de obras específicas e tampouco da localização de extensas áreas urbanizadas, por ser o escoadouro natural das águas pluviais.

Fonte: FEAM, 2006.

Quanto ao tipo de medidas a serem adotadas para o funcionamento adequado do sistema de drenagem existe uma distinção entre estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais são realizadas através de obras de engenharia cuja função é reduzir os riscos de ocorrência de inundações. Essas medidas podem ser subdivididas em extensivas e intensivas. As medidas extensivas atuam diretamente na bacia hidrográfica, buscando modificar a relação entre o escoamento e a precipitação. As medidas intensivas são ações implementadas diretamente nos rios e podem ser de três tipos: (a) aceleramento do escoamento: construção de diques; aumento da capacidade de descarga; retificação de canais. (b) redução do escoamento: reservatórios e bacias de retenção. (c) divergência do escoamento:

estruturas como canais de desvio (TUCCI, 2007). O quadro a seguir fornece um resumo das principais medidas estruturais.

Quadro 7: Resumo das medidas estruturais

MEDIDA	VANTAGEM PRINCIPAL	DESVANTAGEM PRINCIPAL	APLICAÇÃO
Medidas Extensivas			
Alteração da cobertura vegetal	Redução nos picos de inundações	Impraticável para áreas muito grande	Pequenas bacias
Controle da perda de solo	Redução da sedimentação	Impraticável para áreas muito grande	Pequenas bacias
Medidas Intensivas			
Diques e polders	Alto nível de proteção de uma área	Impacto significativo em caso de falha eventual	Grandes rios de planícies
<i>Melhorias no canal de drenagem</i>			
Redução da rugosidade através da remoção de obstruções	Aumento do fluxo com baixo custo	Efeito local	Pequenos rios
Corte de meandro	Aumento da proteção da área e aceleramento do fluxo	Impacto negativo em rios com fundo aluvionar	Áreas de inundação estreitas
<i>Reservatório</i>			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Dificuldade de locação devido a desapropriação	Bacias médias
Reservatórios com comportas	Mais eficientes com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos com propósitos múltiplos
Reservatórios de controle de enchentes	Fácil operação	Custo não compartilhado	Limitado ao controle de enchentes
<i>Alteração do canal</i>			
No curso da cheia	Atenuação do volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduc o escoamento no canal principal	Depende da topografia	Bacias médias e grandes

Fonte: Adaptado de Simons et al, 1977 apud Tucci, 2007.

As medidas estruturais, embora sejam eficientes mecanismos do sistema de drenagem, não fornecem uma proteção total contra enchentes. Medidas não estruturais, em conjunto ou não com medidas estruturais, auxiliam a minimizar os custos e prejuízos relacionados a ocorrência de eventos pluviométricos intensos. As

principais medidas não estruturais envolvem ações preventivas tais como: Sistema de previsão e aviso de enchentes, zoneamento de áreas de risco de inundação e seguro e proteção individual contra enchentes (TUCCI, 2007).

6.1 ESTRUTURAS CLÁSSICAS DA DRENAGEM

6.1.1 Elementos da Microdrenagem

As principais estruturas que compõem o sistema de microdrenagem são apresentados por BIDONE e TUCCI (1995) e estão relacionados a seguir:

- **Meios-fios:** são estruturas de concreto ou pedra, alocado entre a via pública e o passeio, paralelamente ao eixo da via e com face superior no mesmo nível do passeio.
- **Sarjetas:** são faixas de vias públicas paralelas e adjacentes ao meio-fio. Possui um formato de calha que recepta as águas pluviais que escoam sobre as vias públicas.
- **Sarjetões:** são calhas instaladas nos cruzamentos entre vias públicas com o intuito de direcionar o fluxo de escoamento das águas pelas sarjetas.
- **Bocas-de-lobo:** são elementos localizados nas sarjetas para a captação da água pluvial que por elas escoam. Usualmente são instaladas em ambos os lados da via, com um espaçamento máximo de 60 metros até a próxima boca-de-lobo. É conveniente que estas sejam alocadas ligeiramente a montante de cada faixa de cruzamento utilizada pelos pedestres, próximo às esquinas.
- **Galerias:** são canalizações de domínio público destinadas a condução das águas pluviais captadas pelas bocas-de-lobo e ligações provadas.
- **Condutos forçados:** estruturas semelhantes às galerias porém operando com sua seção transversal completamente preenchida pela água escoada.
- **Poços de visita:** são dispositivos alocados ao longo das galerias em pontos estratégicos por permitirem mudanças de direção, declividade, diâmetro e convergência de várias galerias, além de propiciar a inspeção e limpeza das canalizações.
- **Estações de bombeamento:** compreendem um conjunto de elementos destinados a retirar a água de um canal de drenagem na condição em que o

escoamento pela atuação da gravidade não for mais viável para um outro canal num nível mais elevado ou para um receptor final.

A Figura 19 a seguir ilustra algumas das estruturas que constituem a microdrenagem.

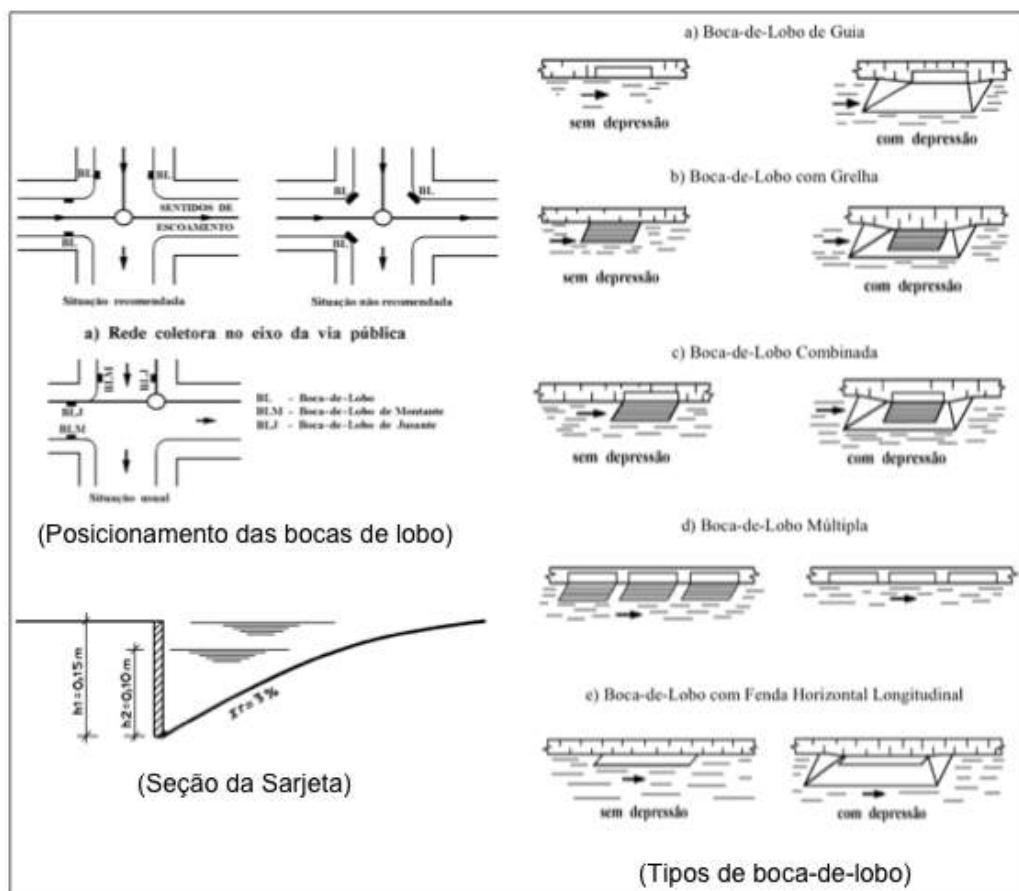


Figura 19: Estruturas da microdrenagem.

Fonte: (DAEE/CETESB, 1980).

Observa-se, então, que as estruturas que compõem o sistema clássico de microdrenagem são frutos da visão de escoamento rápido das águas pluviais urbanas. Ou seja, essas estruturas, embora cumpram suas funções de encaminhar as águas superficiais até os corpos de drenagem, não contribuem para a redução do volume de água escoado. Dessa forma, ao se empregar apenas as estruturas clássicas de drenagem em uma determinada área urbana, as chances de ocorrências de inundações serão significativas, uma vez que estas são projetadas com uma determinada capacidade, porém, na medida que a impermeabilização aumenta, se tornam insuficientes para transportar toda a vazão produzida pelas chuvas.

6.1.2 Elementos da Macrodrenagem

Os elementos da macrodrenagem são aqueles que recebem o escoamento proveniente das estruturas da microdrenagem, sendo constituídos por córregos, riachos e rios da área urbana do município. De maneira geral pequenos córregos e riachos são retificados e tamponados. As obras clássicas de macrodrenagem compreendem a retificação e ampliação das seções dos leitos naturais, a dissipação de energia, o amortecimento de picos, a proteção contra erosões e assoreamentos, a construção de travessias e estações de bombeamento (SILVEIRA, 2002).

Verifica-se, novamente, uma atuação intimamente relacionada ao escoamento veloz do volume de água gerado pelas chuvas. Ao optar-se por soluções que envolvam a alteração dos canais naturais dos rios urbanos, tornando-os capazes de suportar a vazão superficial excedente, proporciona-se a mesma situação observada para as estruturas da microdrenagem. Ao aumentar-se a impermeabilização do solo e, consequentemente, o escoamento superficial, as obras executadas nos canais de drenagem se tornarão incapazes de comportar o novo volume de água escoado. Evidenciando a necessidade de inclusão de medidas que visem reduzir o volume de água que chega aos elementos da macrodrenagem.

6.2 NOVOS ELEMENTOS A SEREM ADOTADOS – O CONCEITO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

A utilização das medidas clássicas de drenagem tem-se mostrado ineficiente para assegurar o bom funcionamento do sistema e solucionar os problemas encontrados nas bacias urbanizadas. Mesmo em projetos atuais ainda são empregados os conceitos clássicos de drenagem urbana, promovendo soluções que incluem apenas prevenir a ocorrência de enchentes através de uma sistema de escoamento eficiente.

Como já explicado anteriormente, essa visão de que a solução para as enchentes urbanas encontra-se no transporte das águas pluviais da forma mais rápida possível está ultrapassada e não condiz com a complexa realidade do meio urbano.

Ao se considerar somente o escoamento das águas pluviais pelo sistema de drenagem urbano, pelo fato do dimensionamento das estruturas ser estático, ou seja, capaz de suportar uma dada vazão (referente a uma determinada equação de

chuva ou dados pluviométricos), sujeita-se a área a um risco de inundações na medida que se aumenta o nível de impermeabilização e, consequentemente, sobrecarregando o sistema de drenagem.

Uma alternativa a este cenário é a utilização de medidas não convencionais. Essas medidas compreendem estruturas, obras, dispositivos e demais conceitos de projeto, cujo emprego ainda não é amplamente adotado. São soluções que distam do conceito clássico de canalização e escoamento rápido, mas podem estar a eles associadas, visando a adequação e melhoria do sistema de drenagem. Uma vez que, diversas bacias afetadas por inundações apresentam um padrão de ocupação de jusante para montante. Sendo assim, os picos de vazão afluentes às canalizações nas áreas de jusante aumentam a medida que a bacia se urbaniza, tornando a compatibilização das soluções adotadas difíceis ou mesmo inviáveis de serem implementadas (CANHOLI, 2009).

Nesse contexto surge como opção as estratégias de LID, ou desenvolvimento de baixo impacto. O LID combina técnicas de design funcionais do ponto de vista hidrológico com medidas de prevenção de poluição com vistas a compensar pelos impactos causados pelo desenvolvimento urbano sobre a hidrologia e qualidade hídrica (MARYLAND, 1999).

O LID é composto por uma variedade de estratégias de projeto associadas a técnicas de controle na fonte, em pequena escala, localizadas, denominadas **práticas de gestão integrada**, ou *Integrated Management Practices – IMPs*. Ao contrário das medidas clássica, de coleta e escoamento em encanamento ou redes canalizadas com controle de fluxo à jusante com auxílio de grandes dispositivos de gestão de águas pluviais, o LID apresenta uma abordagem descentralizada que diverge o fluxo e promove o manejo do escoamento próximo ao local de onde este se origina (SOUZA e TUCCI, 2005).

Resumidamente as principais estratégias, objetivos e ações que compreendem o LID estão dispostos na Tabela 1, a seguir. Observa-se que o LID prevê a manutenção das funções hidrológicas fundamentais de uma determinada área a ser desenvolvida, buscando a minimização dos impactos hidrológicos, ao associar técnicas e medidas de controle as etapas de planejamento e projeto bem como na promoção da educação ambiental para o beneficiamento da comunidade em questão.

Tabela 4: Estratégias, Objetivos e Ações LID.

ESTRATÉGIAS LID			
Minimização de impactos causados pelas águas pluviais	Medidas de armazenamento uniformemente dispersas (práticas de retenção, detenção e escoamento)	Manutenção do tempo de concentração para atingir valores semelhantes aos de pré-urbanização	Implementação de programas de educação pública efetiva
OBJETIVOS			
Providenciar incentivos econômicos encorajando o desenvolvimento ambientalmente consciente	Desenvolver completamente o potencial de projeto e planejamento ambientalmente consciente	Auxiliar na construção de comunidades baseadas em uma administração ambiental	
Promover a flexibilidade em regulamentos para permissão de inovações na engenharia e planejamento no âmbito do “crescimento inteligente”		Fomentar debates sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental, sobre práticas a serem adotadas e proposições de alternativas	
AÇÕES			
Redução/minimização da impermeabilidade	Distanciamento entre superfícies impermeáveis inevitáveis	Preservação e proteção de locais ambientalmente sensíveis	
Manutenção do tempo de concentração	Aplicação de IMPs em superfícies impermeáveis	Escolha de solos menos permeáveis para locação de elementos impermeáveis	

Fonte: Adaptado de (MARYLAND, 1999) e (SOUZA e TUCCI, 2005).

Uma das principais vantagens do LID em relação às medidas convencionais é a relação custo pela distância da fonte uma vez que prevê a instalação de dispositivos próximos ao ponto de geração, caracterizados pela descentralização das estruturas, o que significa menores dimensões e custos associados (MARYLAND, 1999), porém essa não é a única vantagem relacionada a aplicação dessas medidas. A seguir são apresentadas as principais relações entre as medidas convencionais e LID com alguns dos parâmetros hidrológicos.

Quadro 8: Comparação entre as respostas do sistema hidrológico às práticas LID e convencionais.

PARÂMETRO HIDROLÓGICO	DISPOSITIVOS CONVENCIONAIS	DISPOSITIVOS LID
<i>In loco</i>		
Cobertura Impermeável	Encorajada para obtenção de uma drenagem efetiva	Reduzida para minimizar impactos
Cobertura Natural/Vegetação	Reducida para melhorar a drenagem local eficientemente	Maximizada para manter o equilíbrio hidrológico
Tempo de Concentração	Reducido devido à eficiência do escoamento	Potencializado para assemelhar-se as condições de pré-desenvolvimento
Volume de Escoamento	Ocorre um aumento do volume escoado sem controle	Controlado para aproximar-se das condições de pré-desenvolvimento
Descarga de Pico	Controlado para chuva de projeto (2 anos)	Controlado para todas as chuvas
Frequência de Escoamento	Aumentada, em especial para chuvas frequentes	Controlada para todas as chuvas
Duração do Escoamento	Aumentada para todas as chuvas devido a falta de controle do volume	Controlada para a condição de pré-desenvolvimento
Interceptação, Infiltração, depressão e Armazenamento das Chuvas	Elevada redução em todos os elementos	As condições de pré-desenvolvimento são mantidas
Recarga de Água Subterrânea	Redução na recarga devido à impermeabilização	
<i>Dispersas</i>		
Qualidade da Água	Redução em cargas poluidoras, com pouco controle para eventos com descarga menor do que a de projeto	Aumento da redução de poluentes com controle total sobre os possíveis eventos
Corpos Receptores	Impactos significativos: erosão e degradação dos canais; aumento da sedimentação; redução da vazão de base; perda de habitat	Ecologia do sistema é mantida semelhante a condição de pré-desenvolvimento

PARÂMETRO HIDROLÓGICO	DISPOSITIVOS CONVENCIONAIS	DISPOSITIVOS LID
Inundações a Jusante	Há redução nas inundações imediatamente abaixo das estruturas, porém podem aumentar as inundações a jusante devido a impactos cumulativos	Controladas para a situação de pré-desenvolvimento ¹²

Fonte: Adaptado de (MARYLAND, 1999) e (SOUZA e TUCCI, 2005).

As principais práticas de gestão integradas, IMPs, estão descritas a seguir, conforme MARYLAND (1999) e CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION (2010):

- a. **Bio-retenção:** consiste na utilização de uma depressão rasa contendo solo preparado para plantação, capaz de filtrar e armazenar águas pluviais, combinando processo físico de filtragem com adsorção por processos biológicos. Sua utilização inclui desde lotes individuais até áreas públicas, incluindo parques e estacionamentos.



Figura 20: Exemplo de Bio-retenção.

Fonte: Schollen & Company Inc.

¹² Entende-se por condição de pré-desenvolvimento como sendo o conjunto dos parâmetros hidrológicos, com seus respectivos valores, para a situação anterior ao início do processo de urbanização. Dessa forma, ao buscar-se manter tais parâmetros nos mesmos níveis de antes da urbanização evita-se contribuir para a ocorrência de inundações.

- b. **Poço de Infiltração:** são escavações retangulares ou circulares cobertas com uma manta geotêxtil e preenchida com material granular (como pedras) para a formação de espaços vazios entre os grãos, recebendo o escoamento superficial através de canos com perfurações, permitindo assim a infiltração para o solo.
- c. **Faixa Filtrante e de Proteção:** as faixas filtrantes são normalmente compostas por vegetação rasteira, tipicamente, gramíneas, plantadas entre uma fonte potencial de poluição e um corpo receptor, também podem ser utilizadas como pré-tratamento quando associadas com outros mecanismos. Já as faixas de proteção são compostas por vegetação, nativa ou plantada, ao redor das chamadas áreas sensíveis como corpos d'água, remanescentes de florestas, solos propensos a erosão, entre outras, protegendo-as por reduzirem o escoamento e reterem parte dos sedimentos (possíveis fontes de poluição).
- d. **Vala Gramada:** tradicionalmente utilizadas para a drenagem de rodovias, as valas gramadas resultam em um armazenamento temporário do volume escoado e proporcionam um pré-tratamento desse volume antes de seu encontro com o corpo receptor.



Figura 21: Exemplo de Faixa Filtrante e de Vala Gramada.

Fonte: Trinkaus Engineering (Esquerda); Seattle Public Utilities (Direita).

- e. **Barril:** os barris são instalações com favorável relação custo x eficiência, apresentando baixa necessidade de manutenção, sendo um mecanismo LID que pode ser utilizado em lotes residenciais ou comerciais/industriais. Seu

funcionamento consiste na retenção de parte do volume (definido pelo seu tamanho) proveniente do escoamento de telhados em um barril instalado na lateral do, o excedente é escoado através de um cano de extravasamento. A água retida por ser utilizada, posteriormente, em jardins e gramados ou para limpeza de calçadas.

- f. **Cisterna:** é um mecanismo semelhante ao barril, porém é instalado no subsolo, possuindo uma maior capacidade de retenção (devido as dimensões da cisterna). Também possibilita o uso do volume armazenado posteriormente, reduzindo o consumo de água tratada para fins menos nobres como limpeza do lote e irrigação de jardins.

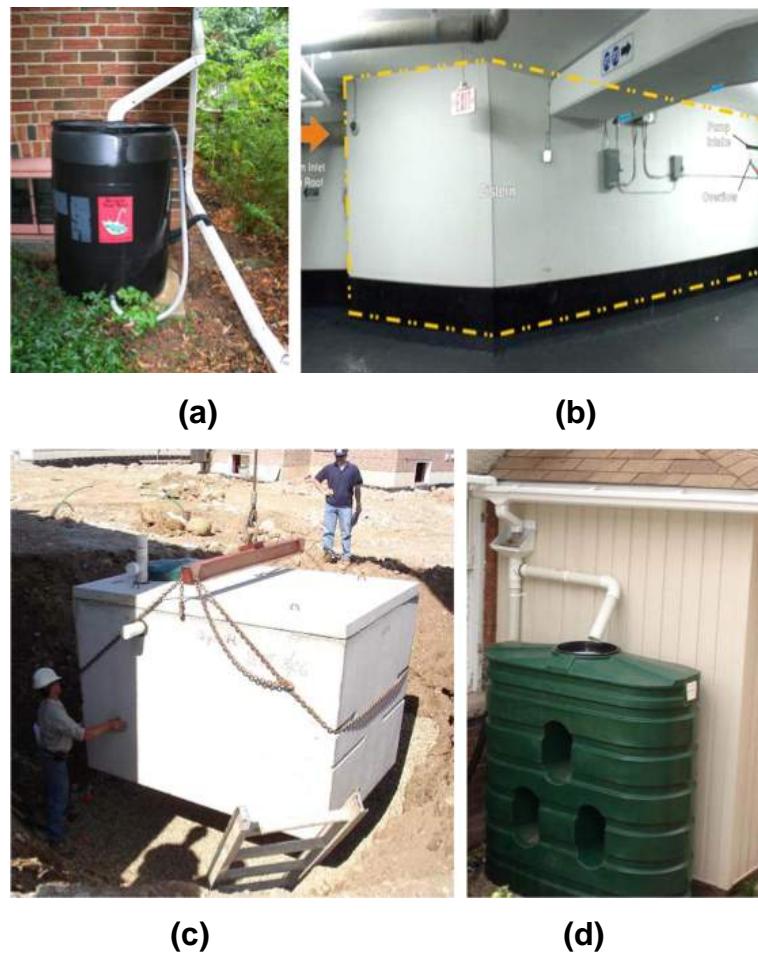


Figura 22: Exemplos de Barris e Cisternas:

- (a) e (d) Típico barril de plástico.
- (b) Cisterna de concreto integrada a um estacionamento.
- (c) Cisterna de concreto enterrada.

Fontes: TRCA e University of Guelph.

g. **Trincheira de Infiltração:** semelhantes ao poço de infiltração, as trincheiras de infiltração são estruturas retangulares cobertas com uma manta geotêxtil e preenchidas com material granular. Normalmente são instaladas em depressões. A eficiência da trincheira aumenta se sua instalação for acompanhada do uso de técnicas como as valas gramadas ou faixas de proteção, aumentando o aporte de escoamento captado.



Figura 23: Exemplos de Poço de Infiltração e de Trincheiras de Infiltração.

Fonte: Lanark Consultants (Esquerda); Cahill Associates (centro); North Dakota State University (direita).

O Quadro 9 apresenta a interação desses mecanismos LID com algumas das funções hidrológicas que são alteradas devido ao processo de urbanização.

Quadro 9: Funções Hidrológicas associadas às práticas de gestão integradas - IMPs.

FUNÇÕES HIDROLÓGICAS	BIO-RETENÇÃO	POÇO DE INFILTRAÇÃO	FAIXA FILTRANTE E DE PROTEÇÃO	VALA GRAMADA	BARRIL	CISTERNA	TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO
Interceptação	A	N	A	M	N	N	N
Armazenamento em Depressões	A	N	A	A	N	N	M
Infiltração	A	A	M	M	N	N	A
Recarga Subterrânea	A	A	M	M	N	N	A
Volume de Escoamento	A	A	M	M	B	M	A
Descarga de Pico	M	B	B	M	M	M	M
Frequência de Escoamento	A	M	M	M	M	M	M
Qualidade da Água	A	A	A	A	B	B	A
Fluxo de Base	M	A	A	M	M	N	B
Qualidade do Rio	A	A	A	M	N	B	A

Legenda

Alta	Moderada	Baixa	Nenhuma
------	----------	-------	---------

Fonte: Adaptado de (MARYLAND, 1999) e (SOUZA e TUCCI, 2005).

Observa-se que a técnica de Bio-retenção influencia significantemente as diversas funções apresentadas, apresentando-se como importante ferramenta para integrar o sistema de drenagem devido a sua capacidade em reverter efeitos

adversos do processo de urbanização. Outras vantagens desse mecanismo incluem a facilidade de instalação e de manutenção e, além destas, essa técnica apresenta um baixo custo de implementação, o que expande suas possibilidades de aplicabilidade nos diversos extratos do meio urbano.

Os poços e trincheiras de infiltração também possuem um significável efeito sobre as funções hidrológicas alteradas pela urbanização. Devido a sua ampla variação de escala, esses mecanismos também agregam propriedade ao sistema de drenagem, podendo ser utilizados em pequenas escalas, como em lotes individuais, até em espaços públicos.

As faixas filtrantes e de proteção e as valas gramadas possuem uma menor influencia sobre os elementos hidráulicos analisados, porém, são ferramentas importantes principalmente devido a sua capacidade em remover possíveis poluentes que, em contato com corpos d'água ou vegetações mais sensíveis, podem causar danos significativos.

Os barris e cisternas são os mecanismos com menor influência sobre os parâmetros hidrológicos apresentados, porém seu uso em escala local é muito interessante devido a sua capacidade de armazenar, mesmo em pequenas quantidades, uma parcela de água que, inevitavelmente, contribuiria para o sobrecarregamento do sistema de drenagem. A instalação desses mecanismos, quando em maiores quantidades, pode fornecer uma retenção significativa de água, reduzindo a ocorrência de enchentes. Além disso, o uso desses elementos promove o reuso dessa parcela d'água para outros fins, reduzindo o consumo de água tratada para fins de limpeza e aguamento de plantas.

A Agência de Proteção Ambiental americana – EPA examinou os custos das práticas LID na publicação *Redução dos Custos do Sistema de Águas Pluviais através de Estratégias e Práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)*¹³, em Dezembro de 2007. O relatório avaliou 17 casos nos Estados Unidos e Canadá em que o LID fora empregado para gerenciar as águas pluviais, a comparação de custos de aplicação do LID e das medidas convencionais é apresentada na Tabela 5 a seguir.

¹³ Título original: *Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices*.

Tabela 5: Sumário da comparação de custo entre desenvolvimento convencional e o LID.

PROJETOS ¹	CUSTO CONVENCIONAL	CUSTO LID	DIFERENÇA DE CUSTO ²	DIFERENÇA EM PORCENTAGEM ²
2 nd Avenue SEA Street, Seattle, Washington	\$868.803	\$651.548	\$217.255	25%
Auburn Hills, southwestern Wisconsin	\$2.360.385	\$1.598.989	\$761.396	32%
Bellingham City Hall, Bellingham, Washington	\$27.600	\$5.600	\$22.000	80%
Bloedel Donovan Park, Bellingham, Washington	\$52.800	\$12.800	\$40.000	76%
Gap Creek, Sherwood, Arkansas	\$4.620.600	\$3.942.100	\$678.500	15%
Garden Valley, Pierce County, Washington	\$324.400	\$260.700	\$63.700	20%
Kensington Estates, Pierce County, Washington	\$765.700	\$1.502.900	-\$737.200	-96%
Laurel Springs, Jackson, Wisconsin	\$1.654.021	\$1.149.552	\$504.469	30%
Mill Creek, Kane County, Illinois ³	\$12.510	\$9.099	\$3.411	27%
Prairie Glen, Germantown, Wisconsin	\$1.004.84	\$599.536	\$405.312	40%
Somerset, Prince George's County, Maryland	\$2.456.843	\$1.671.461	\$785.382	32%
Tellabs Corporate Campus, Naperville, Illinois	\$3.162.160	\$2.700.650	\$461.510	15%

Fonte: US EPA, 2007 apud (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010).

Notas:

1. Embora mais projetos terem sido analisados, os projetos não apresentados não forneciam informações que possibilitassem a comparação de custos.
2. Valores negativos denotam custos LID superiores aos custos convencionais.
3. Os custos desse empreendimento são apresentados por lote.

As principais conclusões do estudo são (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010):

- Dentre os 12 estudos de caso a economia na aplicação dos métodos LID variaram entre 15 e 80%. Em apenas um estudo os custos do LID foram superiores aos custos dos mecanismos convencionais.
- O estudo não incluiu benefícios associados a implantação do LID como aumento do valor da propriedade, maior facilidade de venda, melhoria de habitats, melhorias estéticas e de qualidade de vida, embora seja mencionado que tais benefícios sejam reais e significativos.
- Há a necessidade de realização de pesquisas que incluam o custo de ciclo de vida completo de ambos os sistemas (LID e convencional), considerando a operação, manutenção e eventual troca de componentes.

7 APLICAÇÃO DAS PRÁTICAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM ÁREAS URBANAS

7.1 APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

O aproveitamento das águas pluviais consiste na aplicação de métodos que interceptem, transportem e armazenem a água da chuva para usos futuros. Sua aplicação no meio urbano mostra-se altamente interessante por, além de reduzir o escoamento superficial, diminuir a utilização de água potável. Ao se utilizar a água captada para irrigação, por exemplo, a água será evapotranspirada pela vegetação ou infiltrará no solo o que, em ambos os casos reduz o escoamento superficial, auxiliando na restauração do balanço hídrico existente antes da urbanização.

As chuvas que incidem sobre superfícies impermeáveis, tais como telhados, são coletadas e transportadas para um tanque de armazenamento. A capacidade desses tanques varia conforme a área, em terrenos residenciais podem ser utilizados barris, com capacidade típica variando entre 190 a 400 litros, ou cisternas para áreas residenciais, comerciais ou industriais, com capacidade variando entre 750 a 40.000 litros (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010).

Existem dois tipos de design e operação para sistemas de aproveitamento de águas pluviais:

- a. Para usos no interior da edificação (água do vaso sanitário, por exemplo) e exterior (irrigação de jardins), chamados de sistemas de uso duplo, no qual se utiliza a água durante o ano todo.
- b. Para usos externos, onde o uso da água está relacionado a sazonalidade (capta-se a água durante a estação chuvosa e a utiliza-se durante a estação seca).

Observa-se, então, que o aproveitamento de águas pluviais é uma prática que pode ser aplicada a maioria dos lotes residenciais, comerciais, industriais e institucionais, desde que a água da chuva possa ser capturada e armazenada para usos posteriores. Uma das vantagens dessa técnica é sua flexibilidade locacional, podendo ser instalada no interior ou exterior de construções, acima ou abaixo do nível do terreno, sendo ideal para áreas já urbanizadas, em que o espaço físico e disposição das estruturas sejam considerados fatores limitantes significativos.

A Figura 24 apresenta um esquema típico de aproveitamento de águas pluviais em uma residência.

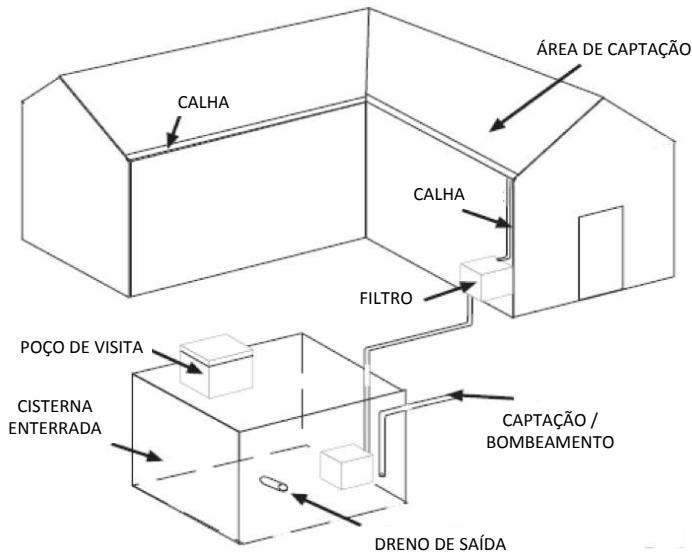


Figura 24: Componentes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais através do uso de cisterna.

Fonte: Adaptado de RUPP, 1998.

Pela figura acima é possível verificar que o sistema de aproveitamento de águas pluviais é composto por sete elementos principais, sendo eles (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010):

- **Área de captação:** constitui a superfície na qual a chuva incidente será coletada. Tipicamente considera-se o telhado dos lotes como a área de captação porém, áreas como estacionamentos e calçadas também podem ser utilizadas para captar água para usos posteriores não-potáveis.
- **Coleta e Transporte:** composto pelas calhas e canos que coletam a água da área de captação e a transportam para o tanque de armazenamento.
- **Pré-tratamento:** é necessário para remoção de elementos que possam estar depositados na área de captação como poeira, folhas e outros detritos, prevenindo o entupimento da tubulação de transporte.
- **Tanque de armazenamento:** é a parte central do sistema, e, comumente, a mais dispendiosa. Seu dimensionamento leva em consideração variáveis como a pluviosidade local, os usos pretendidos para a água captada, a área de captação, estética e orçamento disponível. Cisternas residenciais possuem, tipicamente, 5.000 Litros de capacidade.

- **Distribuição/Uso:** representa o modo como a água a ser utilizada vai ser transportada do tanque de armazenamento, sendo através da ação da gravidade ou com o uso de bombeamento.
- **Dreno de transbordo:** peça fundamental do sistema, o dreno de transbordo entra em ação quando o tanque de armazenamento atinge sua capacidade máxima, permitindo que o excesso de água seja escoado para fora do sistema e para o sistema convencional de drenagem.
- **Poço de visita:** indispensável elemento que permite a manutenção do tanque de armazenamento e outros elementos do sistema de reaproveitamento de águas pluviais.

7.2 TELHADO VERDE

O telhado verde é composto basicamente por uma dada vegetação crescendo sobre uma camada de solo e outros elementos no topo de edificações planas ou mesmo em declive. Seus benefícios para o meio urbano além de auxiliar na redução do escoamento superficial, promovendo o equilíbrio hídrico, incluem o aumento da eficiência energética, atuando na atenuação do efeito de ilhas de calor. Além disso representam áreas verdes urbanas passíveis de usos recreativos e de lazer.

Do ponto de vista de projeto, o telhado verde pode ser considerado um bio-retentor. Existem dois tipos de telhados verdes (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010):

- **Intensivos:** possuem mais de 15 centímetros de espessura do meio de crescimento, podendo aportar plantas com raízes mais profundas e são projetados para suportar o tráfego de pessoas. Para tanto a edificação deve ser capaz de suportar tais cargas.
- **Extensivos:** consistem em uma camada mais fina do que 15 centímetros de espessura, comportando plantas herbáceas.

Telhados verdes podem ser instalados em diferentes tipos de telhado, desde de pequenos telhados residenciais a largos telhados de instalações comerciais e industriais. É particularmente útil em áreas urbanas densamente ocupadas onde o espaço na superfície é extremamente limitado.

Os telhados verdes são compostos por múltiplas camadas que incluem (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010):

- **Estrutura do telhado:** deve ser capaz de suportar a carga das estruturas a serem instaladas, sendo assim é necessária análise técnica específica, por exemplo, de um engenheiro de estruturas. Telhados com declive de até 10% também podem comportar o telhado verde.
- **Membrana a prova d'água:** é a primeira camada acima do telhado, para proteger a estrutura do telhado e da edificação.
- **Camada de drenagem:** é composta por uma camada porosa e uma camada geosintética para prevenir o entupimento dos poros.
- **Captação e escoamento:** quando o meio poroso estiver saturado o excedente deve ser coletado e transportado para o sistema tradicional de drenagem.
- **Meio de crescimento (solo):** tipicamente composto por uma mistura de areia, cascalho, pedaços de tijolos quebrados, composto orgânico ou solo.
- **Vegetação:** as plantas selecionadas para o telhado verde devem levar em consideração as características da estrutura. Deve-se encorajar o uso de plantas nativas, porém deve-se verificar a profundidade que suas raízes podem atingir, sendo assim, o auxílio de especialista em botânica é fundamental.

A Figura 25 apresenta um esquema de telhado verde e a visão das diversas camadas que compõem sua estrutura.

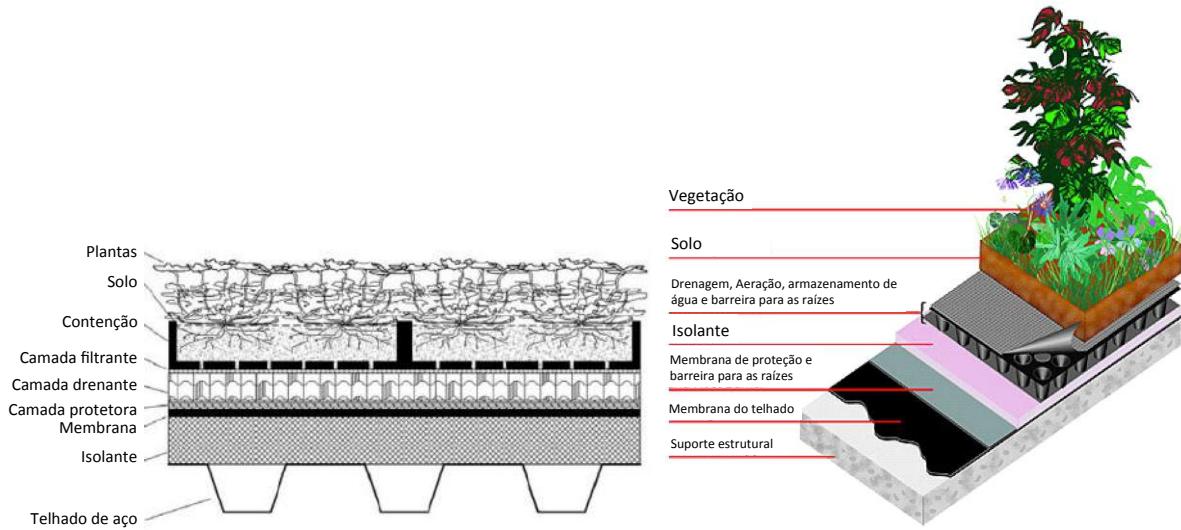


Figura 25: Esquema de um telhado verde com divisão de suas camadas.

Fonte: Adaptado de SHADE CONSULTING, 2003 e GREAT LAKE WATER INSTITUTE.

7.3 POÇOS E TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

Poços e trincheiras de infiltração podem ser utilizados em locais cujas condições do solo sejam propícias para a infiltração. Além de auxiliar na redução do pico de vazão, essas práticas também promovem uma melhor qualidade da água, já que ocorre a filtração de materiais poluentes transportados pelo escoamento superficial.

Poços de infiltração são normalmente utilizados em lotes individuais. Em maior escala existem poços manufaturados e instalados no subsolo, utilizados tipicamente em estacionamentos ou parques e praças, criando largos espaços vazios para o armazenamento temporário, permitindo a infiltração da água no solo por proporcionarem, tipicamente, contato direto com o solo na base e perfurações nas paredes laterais. Ademais podem possuir uma camada de material granular. Este tipo de poço é capaz de reter o escoamento de telhados, calçadas, estacionamentos e ruas.

Com funcionamento semelhante ao poço, aplicação da trincheira de infiltração é atribuída a lotes e áreas publicas como passeios e estacionamento cujo espaço de instalação seja limitado por faixas lineares.

Como a maioria dos componentes dessas estruturas encontram-se abaixo da superfície estas práticas são apropriadas para áreas densamente ocupadas, especialmente levando-se em consideração que outras estruturas como

estacionamentos, parques e campos de esporte podem ser instalados acima desses mecanismos.

A Figura 26 apresenta um esquema de poço de infiltração em um lote residencial¹⁴.

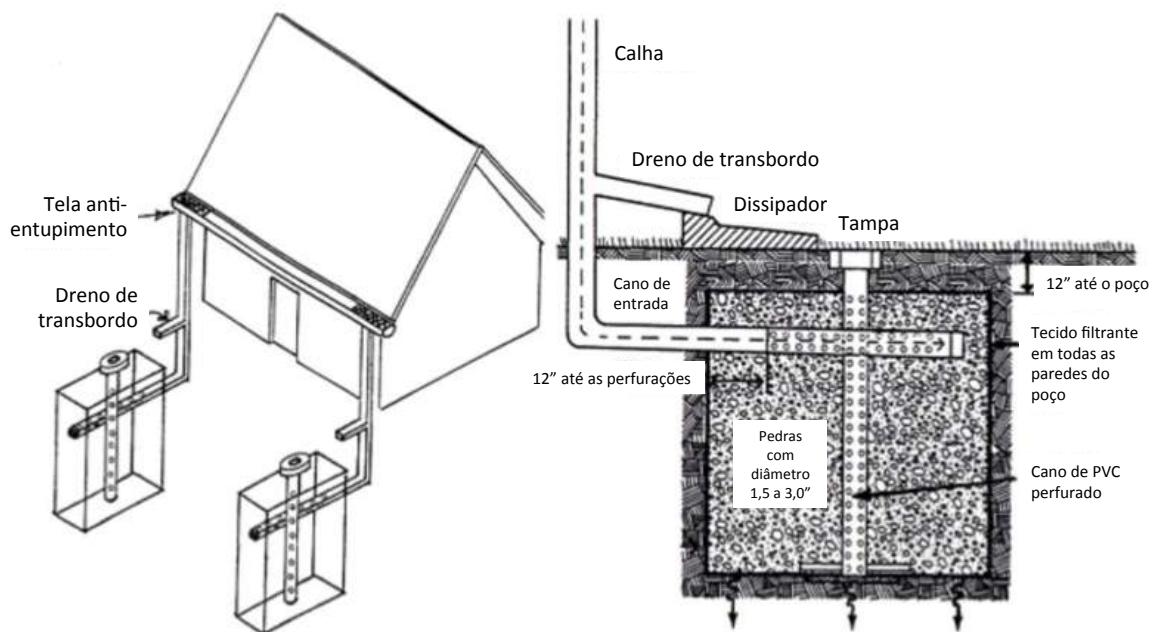


Figura 26: Esquema de um poço de infiltração em lote residencial.

Fonte: Adaptado de (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010).

Os principais parâmetros de projeto são (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010):

- **Geometria:** os poços de infiltração podem ser desenhados com diversos formatos enquanto as trincheiras são, normalmente, retangulares. A profundidade de ambos depende da taxa de infiltração do solo, da porosidade do cascalho utilizado para preencher os poços e do período necessário para alcançar-se a drenagem completa entre eventos pluviométricos (recomenda-se 48 horas). Para situações em que não esteja prevista a instalação de um dreno abaixo da estrutura, o dimensionamento pode ser feito seguindo a seguinte equação:

$$d_{máx} = i \times t_d / P_o$$

Em que:

$d_{máx}$: profundidade máxima (mm);

¹⁴ Outros exemplos de aplicação de poços e trincheiras de infiltração estão esquematizados no Anexo E.

i : taxa de infiltração do solo (mm/h);

t_d : tempo de drenagem (recomendado 48 horas);

P_o : Porosidade do material (tipicamente 0,4 para pedras com 50 mm).

- **Pré-tratamento:** importante etapa para evitar que sedimentos e outros detritos obstruam os poros existentes nos poços e trincheiras. Podem ser utilizados grades para reter folhas, filtros no solo antes da entrada no poço ou faixas gramadas e filtrantes.
- **Transporte e transbordo:** os canos de entrada nos poços e trincheiras são tipicamente perfurados. O cano de transbordo pode ser o mesmo cano de entrada que, encaminhe o excesso de água para um dissipador ou para o sistema convencional de drenagem.
- **Poço de inspeção:** recomendado para inspeção, composto por um cano perfurado que vá até a base do poço ou trincheira com uma tampa na parte superior, é útil para verificar o tempo de drenagem.
- **Meio filtrante:** o poço ou trincheira deve estar envolto em uma manta geotêxtil capaz de prevenir que o solo venha a obstruir os poros da estrutura. Esses poros devem representar 30 a 40% do espaço, com a utilização de pedras de diâmetro médio de 50 mm.

7.4 BIO-RETEAÇÃO

As estruturas da bio-retenção armazenam temporariamente águas pluviais coletadas, tratando-as e promovem a infiltração no solo. Essa prática pode apresentar algumas variações dependendo das condições de infiltração do solo e do espaço físico disponível, podendo ser dimensionada sem um dreno inferior para promover somente a infiltração, com um dreno inferior para infiltração parcial, ou com um fundo impermeável, promovendo somente a filtração da água, sendo comumente referido como bio-filtro.

Os bio-retentores são compostos por uma camada filtrante formada por uma mistura de areia e materiais finos e orgânicos, acima desta camada encontram-se as plantas adaptadas ao aporte de água dessa prática de controle. Sendo assim, uma das principais vantagens da bio-retenção, além da redução do escoamento

superficial, é a melhoria da qualidade da água. Além disso, também contribui para a diminuição do efeito de ilha de calor em áreas altamente urbanizadas.

Esse tipo de estrutura apresenta grande flexibilidade de aplicação no meio urbano, podendo ser empregado em diferentes contextos. Podem ser utilizados em áreas públicas como parques ou em estacionamentos, recebendo o escoamento de ruas e calçadas. Em áreas com densidade média de ocupação, como subúrbios, são chamados de jardins de chuva, recebendo o aporte do telhado e grama numa área com leve depressão em relação ao restante do terreno. Em áreas urbanas com grande densidade de ocupação podem ser utilizados em construções e praças, recebendo o escoamento das estruturas adjacentes. Também podem ser instalados entre a calçada e a rua, para receber o escoamento de ambas. Sendo assim verifica-se que sua aplicação é válida tanto para áreas industriais, comerciais, residenciais ou públicas.

A Figura 27 apresenta um exemplo de bio-retenção com infiltração para receber o escoamento proveniente do telhado de uma construção.

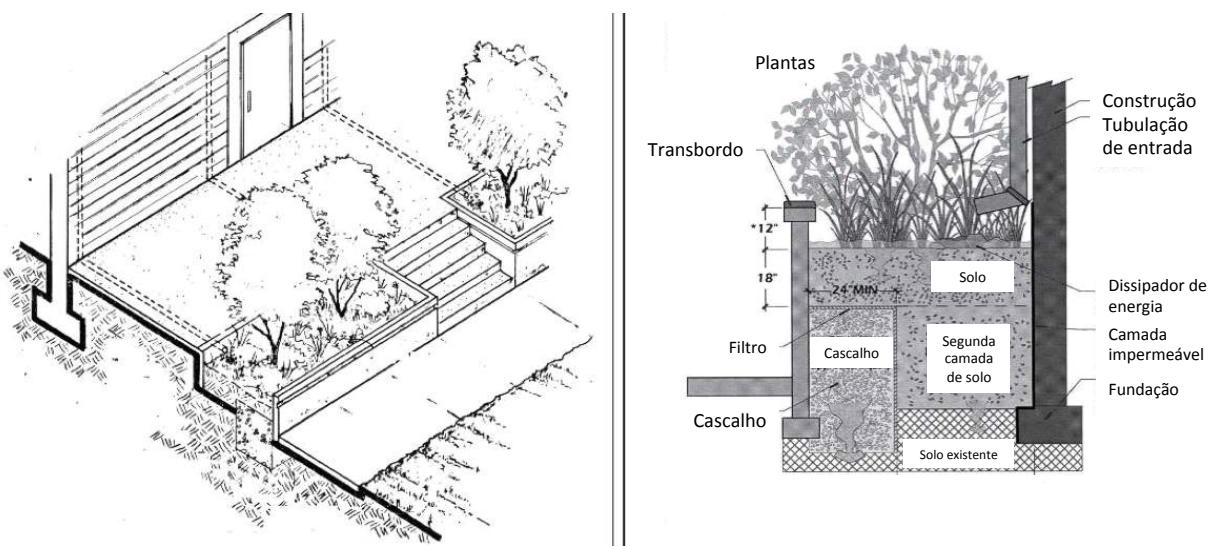


Figura 27: Exemplo de Bio-retentor.

Fonte: Adaptado de CITY OF PORTLAND, 2004.

As principais características de design dos bio-retentores incluem (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010):

- **Geometria e disposição no terreno:** o dimensionamento depende da área a ser drenada para o bio-retentor, sendo esta área, tipicamente, entre 100m² a 0,5 hectares. A geometria da estrutura pode considerar fatores como

construções adjacentes, calçadas, corredores, paredes, entre outros, sendo altamente adaptável a diversas situações.

Para bio-retentores sem dreno inferior a profundidade necessária pode ser calculada através da seguinte equação:

$$d_{máx} = i \times \left(t_d - \frac{d_s}{P_o} \right)$$

Em que:

$d_{máx}$: profundidade máxima (mm);

i : taxa de infiltração do solo (mm/h);

t_d : tempo de drenagem (recomendado 48 horas);

P_o : Porosidade do material (tipicamente 0,4 para pedras com 50 mm);

d_s : profundidade máxima da lâmina d'água na superfície (mm).

Para os bio-retentores com dreno inferior a camada filtrante deve possuir profundidade entre 1,00 a 1,25 metros. Para calcular a altura da camada de armazenamento abaixo do dreno pode utilizar-se a seguinte equação:

$$d_{máx} = i \times t_d / P_o$$

Em que:

$d_{máx}$: profundidade máxima abaixo do dreno (mm);

i : taxa de infiltração do solo (mm/h);

t_d : tempo de drenagem (recomendado 48 horas);

P_o : Porosidade do material (tipicamente 0,4 para pedras com 50 mm).

- **Pré-tratamento:** o pré-tratamento da água drenada para o bio-retentor evita a ocorrência de entupimento dos poros do meio filtrante, reduzindo a necessidade de manutenção. No caso de áreas de contribuição que produzam poucos sedimentos, como telhados, o bio-retentor pode operar sem um pré-tratamento.
- **Entrada e saída:** os bio-retentores podem estar conectados diretamente ou não com o sistema convencional de drenagem. Quando estão conectados, toda a água drenada de uma determinada superfície passa pela estrutura, o volume que excede a capacidade de infiltração dimensionada é escoado por um dreno de saída, sendo encaminhado para o sistema convencional.

Quando não estão conectados, somente uma parcela da água escoada entra na estrutura, normalmente através de um sistema by-pass, formado por tubulações ou bocas de lobo, assim o volume excedente segue no sistema convencional sem afetar a estrutura do bio-retentor. As estruturas de entrada e saída devem ser projetadas de forma a não colaborarem com erosão ou sedimentação, caso necessário podem ser instalados dissipadores de energia.

- **Elementos paisagísticos:** esta prática proporciona a oportunidade de se associar estruturas de controle da drenagem com elementos artísticos urbanos. A entrada do sistema pode ser realizada através de cascatas ou rodas d'água, por exemplo, integrando a estrutura a paisagem urbana.
- **Poços de inspeção:** recomenda-se a instalação de uma tubulação vertical perfurada, com a mesma dimensão da estrutura, com uma tampa na superfície para verificar o tempo de dreno da água infiltrada e avaliar a necessidade de manutenção.
- **Camada de armazenamento:** a camada de armazenamento, composta por cascalhos, deve possuir uma profundidade mínima de 300 mm, sendo dimensionada para armazenar o volume desejado. O material granular deve possuir diâmetro médio de 50 mm.
- **Meio filtrante:** deve ser composto pela mistura de 85-88% em peso de areia com diâmetro entre 2,00 a 0,050 mm, 8-12% material granular fino, com diâmetro inferior a 0,050 mm e 3-5% de matéria orgânica. A profundidade usual é de 1,00 a 1,50 metros.
- **Dreno inferior:** utilizado quando a taxa de infiltração do solo é inferior a 15 mm/hr. Consiste em um tubo perfurado localizado a pelo menos 100 mm da base da camada de armazenamento. O volume captado é encaminhado ao sistema convencional de drenagem.

7.5 FAIXA FILTRANTE E VALA GRAMADA

Faixas filtrantes são estruturas com moderada declividade e densamente vegetadas que recebem o escoamento superficial de áreas impermeáveis adjacentes. Sua função inclui reduzir a velocidade do escoamento e filtrar sedimentos suspensos e materiais poluentes, além de promover a infiltração de

parcela desse volume. Podem ser associados a outras práticas de drenagem, fornecendo um pré-tratamento para o volume escoado. Não é recomendada a instalação de valas gramadas em áreas altamente urbanizadas por necessitarem de um grande espaço na superfície. Podem ser empregadas em estacionamentos de áreas menos densas ou ao longo de estradas. A Figura 28 ilustra uma faixa filtrante.



Figura 28: Exemplo de faixa filtrante.

Fonte: adaptado de GVRD, 2005.

As valas gramadas transportam, tratam e atenuam o escoamento superficial das superfícies adjacentes. Essas estruturas reduzem a velocidade do escoamento, favorecendo a sedimentação, a infiltração e a evapotranspiração. Em áreas cuja densidade de ocupação, topografia e profundidade do lençol freático permitam, as valas gramadas podem substituir o sistema convencional de drenagem, podendo ser incorporadas ao desenho do entorno, proporcionando maior área permeável, aumento da área verde urbana e efeito visual agradável. A Figura 29 exemplifica o uso de vala gramada como substituta do sistema convencional de drenagem. Assim como a faixa filtrante, a vala gramada é uma estrutura que demanda uma área superficial que normalmente não está disponível em áreas já altamente urbanizadas. Sua aplicação é adequada para locais menos adensados ou ainda na etapa de planejamento da urbanização.

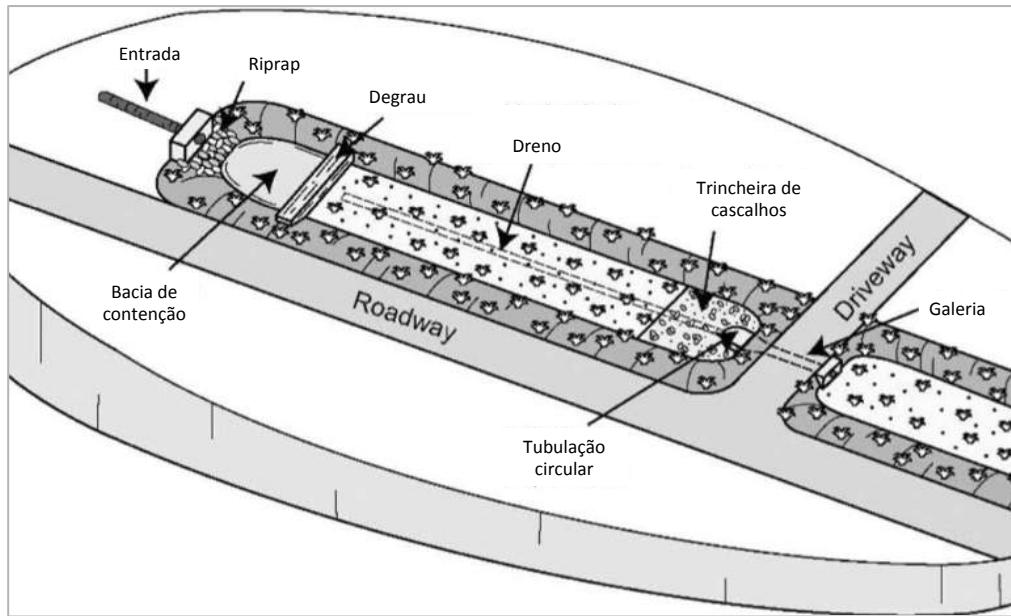


Figura 29: Exemplo de vala gramada.

Fonte: Adaptado de OMOE, 2003.

7.6 PAVIMENTO PERMEÁVEL

Em contrapartida ao pavimento tradicional, o pavimento permeável permite o escoamento da água da chuva através de seus poros para um reservatório preenchido por pedras de onde, dependendo das características locais, infiltra para o solo abaixo, ou é drenado parcialmente ou totalmente para o sistema de drenagem, sendo assim armazenado temporariamente. Sua utilização no meio urbano é variada, sendo viável em ruas de baixo tráfego, estacionamentos, garagens, praças e calçadas, sendo uma alternativa interessante para áreas com baixa disponibilidade de espaço na superfície.

Existem algumas variações do tipo de pavimento:

- Blocos de concreto permeáveis;
- Grid de concreto ou plástico;
- Concreto permeável;
- Asfalto poroso.

Além de reduzirem o volume de águas pluviais escoadas superficialmente, outras vantagens dessa prática incluem a redução do efeito de ilha de calor em centros urbanos, pois apresentam menor condutividade e capacidade térmica do que os pavimentos tradicionais, e resultam em ruas mais silenciosas, pois a superfície porosa absorve a energia sonora e dissipa a pressão do ar antes que o

som seja gerado (FERGUNSON, 2005). A Figura 30 apresenta a seção típica do pavimento permeável.

O dimensionamento de pavimentos permeáveis devem seguir as seguintes características (CAHILL ASSOCIATES, 1993), (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010):

- **Geometria e disposição no terreno:** podem ser instalados em toda a área do estacionamento ou garagem e podem receber o escoamento de áreas impermeáveis adjacentes. De maneira geral a área impermeável de contribuição não deve exceder em 1,2 vezes a área do pavimento permeável. Para situações que não incluem o dreno, a seguinte equação pode ser utilizada para determinar a altura da camada de reserva:

$$d = \frac{(P \times R + P - i \times T)}{P_o}$$

Em que:

d: profundidade do reservatório granular (m);

P: altura da chuva de projeto (m);

i: taxa de infiltração do solo (m/hr);

R: Área de contribuição/Área do pavimento;

P_o: Porosidade do material (tipicamente 0,4 para pedras com 50 mm);

T: tempo para preenchimento do reservatório (tipicamente 2 horas).

Para os projetos que incluem um dreno no reservatório granular, a altura dessa camada pode ser obtida pela equação:

$$d_{máx} = \frac{i \times t_d}{P_o}$$

Em que:

d_{máx}: altura abaixo do dreno (mm);

i: taxa de infiltração do solo (mm/h);

t_d: tempo de drenagem (recomendado 48 horas);

P_o: Porosidade do material (tipicamente 0,4 para pedras com 50 mm).

- **Pré-tratamento:** normalmente a superfície do pavimento atua como pré-tratamento do escoamento para a camada de reserva.
- **Entrada e saída:** o projeto deve prever a instalação de um mecanismo de transbordo que conecte a estrutura projetada com o sistema tradicional de

drenagem. A entrada é realizada através de toda a superfície da estrutura. Em áreas com taxa de infiltração inferior a 15 mm/hr é necessária a instalação de um dreno perfurado próximo ao topo da camada granular de reserva.

- **Monitoramento:** deve ser projetado um tubo vertical perfurado para monitoramento do tempo de infiltração do mecanismo e verificar a necessidade de manutenção. Além disso é necessário realizar a limpeza periódica da superfície para evitar o entupimento dos poros.
- **Reservatório granular:** esta camada deve ser projetada de forma a atender a demanda de reserva bem como a demanda de suporte estrutural.
- **Camada geotêxtil:** a utilização de uma camada geotêxtil entre o reservatório granular e o solo é opcional, porém é uma estrutura interessante por prevenir que os grãos do solo venham a entupir os espaços vazios existentes no reservatório.
- **Restrições nas bordas:** as bordas da estrutura devem ser projetada de forma a fornecer estabilidade a superfície do pavimento, prevenindo a movimentação das partes quando estiverem sobre o efeitos de cargas. Podem ser utilizadas estruturas semelhantes a meios-fios como bordas do pavimento.



Figura 30: Seção típica de pavimento permeável.
Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2011.

7.7 DISCUSSÃO DAS PRÁTICAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

A Tabela 6 apresenta uma estimativa da redução no escoamento superficial pelas práticas de drenagem sustentável apresentadas anteriormente. Essas estimativas são apenas valores iniciais para balizar a escolha de tais práticas para

aplicação no manejo das águas pluviais urbanas. A eficiência de cada prática varia com base nas especificidades do local de instalação e, portanto, deve ser dimensionada levando em consideração tais características.

Tabela 6: Estimativa de redução no escoamento superficial para cada prática de drenagem sustentável.

PRÁTICA		ESTIMATIVA DA REDUÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL¹⁵
Aproveitamento de águas pluviais		40%
Telhado verde		45 a 55%
Poço e trincheira de infiltração		85%
Bio-retenção	Sem dreno inferior	85%
	Com dreno inferior	45%
Vala gramada		25 a 50%
Faixa filtrante	Sem dreno inferior	85%
	Com dreno inferior	45%
Pavimento permeável	Sem dreno inferior	85%
	Com dreno inferior	45%

Fonte: (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010).

Observa-se que todas as práticas apresentadas resultam em uma redução estimada do escoamento superficial de pelo menos 25%, alcançando valores de até 85%. Sendo assim parece ser inegável a eficiência de tais mecanismos como medidas de controle da drenagem urbana.

Técnicas que, além de resultarem na retenção do escoamento superficial, e consequente redução das vazões de pico, promovem a infiltração no solo auxiliam na promoção do reequilíbrio do ciclo hidrológico urbano, como é o caso dos poços e trincheiras de infiltração, da bio-retenção, das faixas filtrantes, das valas gramadas e do pavimento permeável. Outra vantagem que algumas das práticas sustentáveis podem apresentar é melhoria da sensação térmica por preverem a incorporação de vegetação em seu projeto. A cobertura vegetal é fundamental para o funcionamento adequado das estruturas as quais estão associadas estimulando a evapotranspiração, atuando na atenuação do efeito da urbanização convencional sobre o ciclo hidrológico.

Uma das principais características que diferenciam as práticas apresentadas do modelo clássico de drenagem é o repasse da responsabilidade pelo escoamento superficial para o local de geração, ou seja, cada lote seria responsável por controlar

¹⁵ Vale ressaltar que os valores estimados foram produzidos levando em consideração as características climáticas da região de Toronto, no Canadá. Sendo assim, são necessários estudos aprofundados que considerem as características de áreas tropicais ou subtropicais para relacionar a eficiência em cidades Brasileiras.

sua contribuição para o escoamento superficial urbano. Dessa forma verifica-se que, para o funcionamento dessas medidas, é necessário haver um planejamento no sentido de mobilizar e conscientizar a sociedade quanto ao emprego de tais mecanismos.

7.8 APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS

Nesse item são apresentados exemplos de aplicações das práticas de drenagem sustentáveis discutidas nesse trabalho levando em consideração seu benefício para a redução do escoamento superficial. Sendo assim são discutidos os aspectos construtivos referentes ao caráter hidráulico e hidrológico. Numa situação de projeto existem outros elementos a serem considerados para garantir a viabilidade e eficiência de tais mecanismos.

7.8.1 Área de estudo

O município de São Carlos está inserido no Estado de São Paulo possuindo uma população de 221.950¹⁶ habitantes, sendo a população urbana equivalente a 96% da total. A área de estudo está localizada na área urbana do município de São Carlos em uma das principais avenidas da cidade, a Avenida São Carlos, próxima ao cemitério municipal nas coordenadas 201543.20 mE e 7564186.24 mS da zona 23 K. A Figura 31 apresenta a área de estudo para a aplicação das práticas sustentáveis de drenagem urbana.



Figura 31: Área de estudo para aplicação das práticas sustentáveis de drenagem.
Fonte: Adaptado de Google Earth Pro.

¹⁶ IBGE, Censo Demográfico 2010.

Trata-se de um terreno comercial, mais especificamente um supermercado. A Tabela 7 apresenta as principais dimensões da área de estudo. Os valores foram obtidos com o uso do Google Earth Pro através das ferramentas de cálculo de área e distância.

Tabela 7: Principais dimensões da área de estudo.

LEGENDA	DIMENSÃO
Área total	5.939 m ²
Área do telhado	2.868 m ²
Área do estacionamento	2.303 m ²
Maior distância	108,74 m

7.8.2 Estudo hidrológico da área

Nesse estudo considerou-se o período de retorno como sendo de 10 anos (valor típico para elementos de microdrenagem) para uma chuva de 1 hora de duração. Para o cálculo da chuva de projeto utilizou-se a equação geral para o município de São Carlos, conforme BARBASSA (1991). A equação com os devidos parâmetros é apresentada a seguir:

$$i = 25,330 \frac{10^{0,236}}{(60 + 16,000)^{0,935}}$$

Sendo assim, uma chuva com período de retorno de 10 anos produz uma precipitação de **45,93 mm/h**.

Para o cálculo da vazão de projeto utilizou-se o método racional (uma vez que a área em questão é menor do que 2 km²). Por se tratar de uma área altamente urbanizada (quase completamente impermeabilizada) considerou-se o coeficiente de escoamento superficial como sendo 0,95, como pode ser observado na equação a seguir:

$$Q = 0,278 \times 0,95 \times 45,63 \times A$$

Onde:

Q: vazão máxima (m³/s)

0,278: fator de correção de unidade

A: área (km²)

A tabela a seguir apresenta as vazões para a chuva de projeto calculada. Os valores são referentes à área total estudada bem como à área do telhado e à área do estacionamento.

Tabela 8: Vazões de pico para a área de estudo.

DESCRÍÇÃO	ÁREA (km ²)	VAZÃO DE PICO	
		(m ³ /s)	(L/s)
Área total	0,005939	0,07157	71,57
Área do telhado	0,002868	0,03456	34,56
Área do estacionamento	0,002303	0,02775	27,75

Sendo assim é possível estimar o volume total de água que será produzido por uma chuva de uma hora de duração e 10 anos de período de retorno. Para tanto utilizou-se o hidrograma do método racional.

O primeiro passo foi calcular o tempo de concentração e, para tanto, utilizou-se o método cinemático, considerando que só ocorra escoamento superficial e que a declividade seja de 0,1%, conforme apresentado a seguir:

$$t_c = \frac{L}{(6,10 \times S^{0,5}) \times 60} = \frac{108,74}{(6,10 \times 0,001^{0,5}) \times 60} = 9,39 \text{ min}$$

Como a duração da chuva (d) é superior ao tempo de concentração (t_c) o hidrograma do método racional possuirá um formato trapezoidal, conforme apresentado na Figura 32.

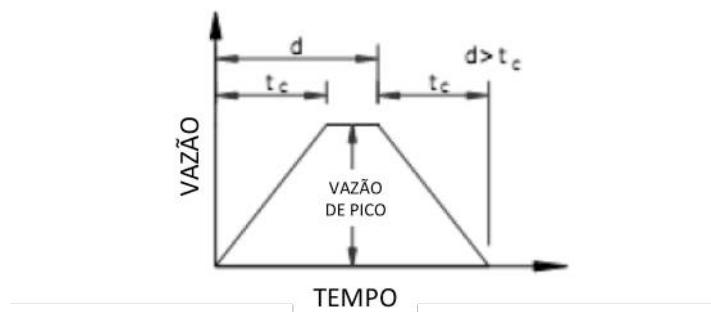


Figura 32: Hidrograma trapezoidal do método racional.
Fonte: Adaptado de (TOMAZ, 2013).

Os volumes produzidos pela chuva de projeto estão dispostos na Tabela 9. Estes volumes podem ser obtidos pela área do trapézio do hidrograma do método racional.

Tabela 9: Volumes produzidos para a chuva de projeto.

Descrição	VOLUME PRODUZIDO	
	(m³)	(L)
Área total	108,65	108.647,57
Área do telhado	52,47	52.466,95
Área do estacionamento	42,13	42.130,89

7.8.3 Práticas aplicáveis para redução do escoamento superficial

7.8.3.1 Aproveitamento de águas pluviais

Por se tratar de uma área comercial a instalação de uma cisterna apresenta-se como uma opção interessante tanto do ponto de vista da drenagem quanto do ponto de vista econômico, pois a água armazenada pode ser utilizada para limpeza da área externa, por exemplo.

Construtivamente é mais fácil projetar uma cisterna que armazene a água proveniente do telhado e esteja localizada acima do nível da superfície (opção 1). Porém, esta opção pode não ser tão interessante por utilizar uma área significante da superfície disponível no terreno. Pode-se optar por uma cisterna que retenha a água do telhado, mas que esteja enterrada, aumentando o nível de dificuldade da obra, mas reduzindo o uso da área superficial do terreno (opção 2). Por fim pode-se construir uma cisterna capaz de armazenar tanto a água do telhado quanto a do estacionamento, porém há uma maior complexidade construtiva, uma vez que a água escoada pelo estacionamento deve ser encaminhada para a cisterna, aumentando o custo da obra (opção 3). A Tabela 10 apresenta as possíveis reduções no escoamento superficial para as alternativas propostas.

- **Opção 1:** para esta opção, como o espaço pode ser um fator limitante, optou-se por uma cisterna com 3 metros de comprimento por 2 metros de largura e 2 metros de altura.
- **Opção 2:** por ser enterrada o sistema pode ter dimensões maiores, porém não deve ser muito profunda por questões construtivas e para não atingir o lençol freático. Optou-se por duas cisternas com 4 metros de comprimento por 3 metros de largura e 1,8 metros de altura.
- **Opção 3:** nessa situação dobrou-se o número de cisternas da opção 2, mantendo as mesmas dimensões.

Tabela 10: Redução do escoamento superficial com o uso de cisternas.

OPÇÃO	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO	REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
1	12,0 m ³	11,04%
2	43,2 m ³	39,76%
3	86,4 m ³	79,52%

7.8.3.2 Telhado verde

Nesse estudo considerou-se apenas a participação da camada porosa para retenção da água da chuva, admitindo-se porosidade de 40%. Além disso considerou-se que esta prática pudesse ser instalada em toda a área telhada e que o telhado verde a ser instalado fosse do tipo extensivo, devido a sua maior facilidade de instalação e operação e menor custo associado. Considerou-se 2 opções para a espessura da camada porosa ou camada de drenagem, 3 ou 5 centímetros. A Tabela 11 apresenta os valores encontrados.

Tabela 11: Redução do escoamento superficial com o uso de telhado verde.

ESPESSURA	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO	REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
3 cm	34,42 m ³	31,68%
5 cm	57,36 m ³	48,29% ^(a)

^(a) Como a capacidade de armazenamento ultrapassa o volume de chuva que incide no telhado utilizou-se o volume produzido para o cálculo da redução do escoamento superficial.

7.8.3.3 Poço de infiltração

Considerando que o poço não possuirá dreno inferior e utilizando equação apresentada no item 7.3 em conjunto com a taxa de infiltração conforme o Quadro 10 tem-se a seguinte expressão para a obtenção da espessura máxima ($d_{máx}$) do poço de infiltração:

$$d_{máx} = \frac{7,62 \times 48}{0,40} = 914,4 \text{ mm}$$

Quadro 10: Estimativa da infiltração final de Horton.

TIPO DE SOLO	TAXA DE INFILTRAÇÃO (mm/h)
Solo argiloso com areia, silte e húmus	0 a 1,27
Solo arenoso argiloso	1,27 a 3,81
Solo siltoso com areia, silte e húmus	3,81 a 7,62
Solo arenoso	7,62 a 11,43

Fonte: AKAN, 1993.

Como a área está inserida na formação Itaqueri, composta por arenitos mal selecionados, médios a grosseiros, imaturos com níveis conglomeráticos basais, considerou-se a taxa de infiltração como sendo 7,62 mm/hr.

Foram consideradas duas possibilidades, na primeira o poço de infiltração receberia somente o escoamento proveniente do telhado enquanto que na segunda receberia também o escoamento do estacionamento. As implicações são semelhantes as apresentadas para as opções 2 e 3 do aproveitamento de águas pluviais (item 7.8.3.1). A Tabela 12 apresenta as possíveis reduções no escoamento superficial para as alternativas propostas.

- **Opção 1:** optou-se por 4 poços com 6 metros de comprimento por 2 metros de largura e 0,9 metros de altura.
- **Opção 2:** nessa situação dobrou-se o número de poços de infiltração da opção anterior, mantendo as mesmas dimensões.

Tabela 12: Redução do escoamento superficial com o uso de poços de infiltração.

OPÇÃO	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO	REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
1	17,28 m ³	15,90%
2	34,56 m ³	31,81%

O anexo D apresenta um esquema de poço de infiltração abaixo de um estacionamento de um estabelecimento comercial.

7.8.3.4 Bio-retenção

No dimensionamento do bio-retentor foram analisadas duas alternativas, ambas considerando que não seria instalado um dreno inferior na estrutura. A primeira alternativa consiste na instalação de um bio-retentor para o armazenamento e infiltração do escoamento do telhado e a segunda alternativa somando mais um bio-retentor para o escoamento do estacionamento. Em ambos os casos a capacidade de redução do escoamento superficial foi avaliada apenas com base na capacidade de reserva e infiltração da camada de cascalho acrescida da lâmina d'água na superfície da estrutura.

Vale ressaltar que, embora este tipo de prática necessite de espaço na superfície, também fornece a oportunidade de que se integre elementos paisagísticos ao projeto, o que interessante para empreendimentos comerciais.

Para bio-retentores sem dreno inferior a profundidade necessária ($d_{máx}$) foi calculada seguindo a equação apresentada no item 7.4 e considerando a mesma taxa de infiltração utilizada anteriormente. Além disso considerou-se que a lâmina d'água na superfície do bio-retentor pode atingir até 50 mm. A equação assume a seguinte forma:

$$d_{máx} = 7,62 \times \frac{(48 - \frac{50}{7,62})}{0,4} = 789,4 \text{ mm}$$

A Tabela 13 apresenta as possíveis reduções no escoamento superficial para as alternativas propostas.

- **Opção 1:** optou-se por 2 bio-retentores com 6 metros de comprimento por 2 metros de largura e 0,75 metros de altura da camada filtrante.
- **Opção 2:** nessa situação dobrou-se o número de poços de infiltração da opção 1, mantendo as mesmas dimensões.

Tabela 13: Redução do escoamento superficial com o uso de poços de infiltração.

OPÇÃO	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO	REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
1	7,68 m ³	7,07%
2	15,36 m ³	14,14%

7.8.3.5 Faixa filtrante e vala gramada

Tendo vista o perfil de ocupação da área de estudo verifica-se que a aplicação dessas práticas sustentáveis não são adequadas, uma vez que, como já explicado anteriormente, essas práticas são de difícil implementação em áreas densamente ocupadas, como é o caso da área estudada. Exemplificando a limitação de emprego dos mecanismos apresentados em determinadas circunstâncias de ocupação urbana. Além disso esses tipos de práticas, devido a sua característica linear, é mais compatível com áreas maiores, como condomínios, ruas e avenidas em estágio de planejamento.

7.8.3.6 Pavimento permeável

Considerando a característica de infiltração do solo local, conforme apresentada anteriormente (7,62 mm/hr), o dimensionamento do pavimento permeável incluiu a instalação de um dreno inferior e, sendo assim, a altura da camada de reserva é calculada seguindo a equação:

$$d_{máx} = 7,62 \times 48 / 0,4 = 914,4 \text{ mm}$$

Assim como nas demais práticas para efeito de verificação da capacidade de redução do escoamento superficial considerou-se a capacidade de reserva na camada granular. Para esta estimativa adotou-se a área do pavimento permeável como sendo um quarto da área do estacionamento, ou seja, 575 m² e que 1/3 do volume escoado ou infiltrado é drenado para o sistema convencional de drenagem urbana.

Tabela 14: Redução do escoamento superficial com o uso de poços de infiltração.

OPÇÃO	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO	REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
575 m ² x 0,5 m	38,33 m ³	35,28%

7.8.4 Comparação das práticas adotadas quanto à redução do escoamento pluvial

A Tabela 15 expressa a comparação entre as práticas de drenagem sustentável aplicáveis à área de estudo quanto a redução do escoamento superficial.

Tabela 15: Comparação entre as práticas adotadas para a redução do escoamento superficial.

PRÁTICA	OPÇÃO	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO	REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
Aproveitamento de águas pluviais	1	12,0 m ³	11,04 %
	2	43,2 m ³	39,76 %
	3	86,4 m ³	79,52 %
Telhado verde	3 cm	34,42 m ³	31,68 %
	5 cm	57,36 m ³	48,29 %
Poço de infiltração	1	17,28 m ³	15,90 %
	2	34,56 m ³	31,81 %
Bio-retenção	1	7,68 m ³	7,07 %
	2	15,36 m ³	14,14 %
Pavimento permeável	única	38,33 m ³	35,28%

Dentre as práticas apresentadas, a cisterna (aproveitamento de águas pluviais) resultou na maior redução do escoamento superficial, aproximadamente 80%, quando considerada a opção 3. Além da retenção do escoamento superficial esse tipo de mecanismo proporciona a oportunidade de se empregar a água reservada para outros usos. A principal desvantagem de utilização dessa prática é dificuldade construtiva, existe a necessidade de escavar uma área extensiva,

impossibilitando o uso do estacionamento durante o período de implementação da obra.

A prática do telhado verde também apresentou uma significante eficiência de redução do escoamento superficial, alcançando valores próximos a 49% do total. Porém vale ressaltar que o dimensionamento levou em consideração somente a capacidade de armazenamento da camada específica para este fim. Para valores mais próximos da realidade devem ser considerados elementos como a taxa de infiltração do solo e a lâmina d'água admissível na superfície da estrutura. A principal desvantagem do mecanismo é a complexidade construtiva, necessitando projetos que adequem a estrutura do telhado para suportar o peso da estrutura.

O pavimento permeável apresentou uma redução de 35% do escoamento superficial, porém é uma prática que demandaria a reconstrução de grande parte do estacionamento. Os valores obtidos são preliminares pois dependem da altura da lâmina d'água na superfície da estrutura e de estudos da capacidade de infiltração do solo.

O poço de infiltração apresenta uma eficiência de até 32%, aproximadamente. Para este tipo de mecanismo um dos principais parâmetros restritivos é a taxa de infiltração do solo, limitando a altura das células a serem instaladas. A desvantagem dessa prática é apenas momentânea, fato semelhante ao ocorrido em relação à cisterna, ou seja, a restrição ao uso do estacionamento durante sua instalação.

A bio-retenção foi a prática que resultou menores reduções do escoamento superficial, com valores de até 14%. Esse fato é observado devido a necessidade de se utilizar áreas superficiais para a instalação da estrutura. Como grande parte da área é ocupada por estacionamento para os clientes do supermercado, a aplicação fica restrita a áreas marginais do terreno.

Considerando as técnicas apresentadas verifica-se, portanto, que a instalação de cisternas subterrâneas seriam a prática mais adequada às características da área de estudo, resultando em uma grande redução na contribuição do lote com o escoamento superficial.

8 CONCLUSÃO

Desde os primórdios da formação das sociedades humanas foi verificada a necessidade de interação com o ciclo hidrológico. Ao longo de milhares de anos as maneiras pelas quais o ser humano passou a se relacionar com esses elementos mudou. Novas técnicas, novos mecanismos, novas maneiras de pensar, agir e planejar foram desenvolvidas para proporcionar soluções para as diversas consequências da ocupação e alteração do meio físico pelas comunidades humanas. O modelo de resposta também se modificou ao longo dos anos, o planejamento tornou-se uma ferramenta fundamental para nortear as maneiras pela qual o desenvolvimento deveria ocorrer.

No ambiente das cidades tem-se o planejamento urbano como elemento fundamental para promover não somente o desenvolvimento nos âmbitos social e econômico, mas, principalmente a partir do final do último século, incluir a perspectiva ambiental. O manejo das águas superficiais urbanas está inserido dentro do contexto do planejamento urbano e integra o novo modelo de planejar que agregue o impacto ao meio ambiente.

As deficiências do sistema de drenagem urbana encontradas na maioria das cidades brasileiras atualmente impactam não somente a qualidade do meio ambiente físico, mas também geram graves problemas para as comunidades locais, devido a ocorrência de enchentes e inundações. Esses sistemas de drenagem ainda tem por prerrogativa o modelo de escoamento rápido, lançando volumes cada vez maiores de água para jusante sem nenhum controle, tornando-se obsoletos com o avanço da urbanização e sua consequente impermeabilização do solo.

Com a finalidade de se reverter este quadro é necessário incluir o uso de práticas de drenagem que, ao invés de promoverem o escoamento superficial, foquem na retenção das águas pluviais o mais próximo possível de sua fonte. Ao se adotar tais práticas, diminui-se a carga aportada pelo sistema de drenagem clássico, além de aumentar a parcela de água infiltrada, revertendo alguns dos efeitos negativos da urbanização e contribuindo para o reequilíbrio do ciclo hidrológico.

A utilização de tais práticas, como apresentado nesse trabalho, é uma maneira eficiente de se reduzir o volume escoado pelo sistema de drenagem urbana, porém integra um conjunto de medidas a serem incluídas no planejamento da drenagem urbana que necessitam de participação social ativa. Ao compartilhar a

responsabilidade da gestão da drenagem urbana com a sociedade é necessário que, primeiramente, haja um extensivo programa de educação ambiental voltado a informar a todos os interessados os benefícios associados ao planejamento e emprego de tais práticas bem como os deveres referentes a manutenção do mesmo e da importância da participação efetiva para o funcionamento adequado do sistema.

As práticas sustentáveis de drenagem podem representar alternativas financeiramente viáveis para solucionar os defeitos existentes no modelo clássico de drenagem, possibilitando sua utilização de modo extensivo nos centros urbanos brasileiros.

Ao se aplicar essas práticas de drenagem sustentável na área de estudo apresentada nesse trabalho foi possível verificar numericamente, de maneira preliminar, os benefícios associados ao seu emprego na redução do escoamento superficial. Para cada tipo de ocupação (residencial, comercial e industrial) existem práticas que melhor se adequem, ainda levando em consideração o grau de urbanização no qual a área a se implantar as práticas esteja inserida.

Verifica-se então que, para o sucesso das práticas de drenagem sustentável, é necessário haver primeiramente o interesse do setor público, inserindo tais mecanismos no planejamento urbano e promovendo a participação da sociedade. Dessa forma, residências, estacionamentos, subúrbios, praças, calçadas, prédios públicos, áreas comerciais e industriais, deverão ser dotados de tais mecanismos. A eficiência desse tipo de prática depende da extensão da adesão ao seu uso. É necessário, portanto, que sejam previstas formas de divulgação dessas práticas.

9 BIBLIOGRAFIA

- BIDONE, F. R.; TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. M.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1995. p. 77-105.
- BISHOP, M. **The Middle Ages**. Boston: Houghton Mifflin Company , 1968.
- BRASIL. **Caderno metodológico para ações de educação ambiental e mobilização social em saneamento**. Ministério das Cidades. Brasília, p. 100. 2009.
- BURIAN, S. J.; EDWARDS, F. G. **Historical Perspectives of Urban Drainage**. Global Solutions for Urban Drainage. [S.I.]: American Society of Civil Engineers. 2002. p. 16.
- CAHILL ASSOCIATES. **Stormwater Management Systems: Porous Pavement with Underground Recharge Beds**. West Chester: [s.n.], 1993.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CAPACIDADES. **Programa Nacional de Capacitação das Cidades - Curso: Reabilitação Urbana com foco em Áreas Centrais**. Brasília: Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos - SNAPU, v. Módulo 1 - Unidade 1, 2013.
- CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION. **Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide**. Toronto: [s.n.], 2010.
- DANIEL, G. **The First Civilisations: The Archaeology of their Origins**. Londres: Thames and Hudson, 1968.
- DEÁK, C.; SCHIFFER, S. R. **O Processo de Urbanização no Brasil**. Segunda. ed. São Paulo: EdUSP, 1999.
- DRENAGEM URBANA. **Manual de Projeto**. Segunda Edição. ed. São Paulo: DAEE: CETESB, 1980.
- FERGUNSON, B. K. **Porous Pavements. Integrative Studies in Water Management and Land Development**. New York: Taylor and Francis, 2005.
- FERNANDES, C. **Microdrenagem, um estudo inicial**. Campina Grande: DEC/CCT/UFPB, 2002. 196 p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Saneamento Básico em Belo Horizonte: Trajetória em 100 Anos.** Belo Horizonte: Sistema Estadual de Planejamento, 1997.
- GEST, A. P. Engineering. In: ROBINSON, G. D.; HADZSITS, D. M. **Our debt to Greece and Rome.** Nova Iorque: Cooper Square Publishers, Inc., 1963.
- GOUVÊA, R. G. **A questão metropolitana no Brasil.** Rio de Janeiro: FGV Editora, 2005.
- GRAY, H. F. Sewerage in ancient and mediaeval times. **Sewage Works Journal**, v. 12, n. 5, p. 939-946, Setembro 1940.
- HILL, D. **A history of engineering in classical and medieval times.** Londres: Croom Helm Ltd. , 1984.
- HOCHMAN, G. **A era do saneamento:** as bases da política de saúde pública no Brasil. São Paulo: Editora Hucitec, 1998.
- HODGE, A. T. **Roman aqueducts & water supply.** Londres: Gerald Duckworth & Co. Ltd. , 1992.
- JÚNIOR, A. R. B. Escoamento Superficial. **Elementos de Hidrologia Aplicada.** Disponível em: <http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/16_escoamento%20superficial.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2014.
- KIRKMAN, E. Architecture in the Era of Napoleon III. **Haussmann's Paris The Art History Archive - Architecture,** 2007. Disponível em: <<http://wwwarthistoryarchive.com/arthistory/architecture/Haussmanns-Architectural-Paris.html>>. Acesso em: 04 Junho 2014.
- KRUPA, F. Parisian Sanitation from 1200-1789. **Paris - urban sanitation before the 20th century.** Disponível em: <http://www.simple-is-beautiful.org/fredek/parisproject/sanit1200_1789.html>. Acesso em: 04 Junho 2014.
- MARYLAND, P. G. C. **Low-impact Development Design Strategies.** Largo: Department of Environmental Resource/ Programs and Planning Division, 1999.
- MERO, F.; SALEMI FILHO, A.; MAGNI, N. L. G. & P. B. **Análise das precipitações intensas na cidade de São Paulo.** São Paulo: Comunicação Técnica - Centro Tecnológico de Hidráulica, 1979. 98 p.
- MORRIS, A. E. J. **Historia De La Forma Urbana.** [S.I.]: Editorial Gustavo Gili, 1998. 480 p.
- NETO, A. C. **Agência Nacional das Águas,** [200-?]. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%>>

20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em: 30 Junho 2014.

NIEMCZYNOWICZ, J. **State of the art in urban stormwater design and research**, Kuala Lumpur, Malaysia, 12-14 Novembro 1997. Invited paper presented at the Workshop and Inaugural Meeting of UNESCO Center for Humid Tropics Hydrology.

PELUSO, M. L. Brasília: do mito ao plano, da cidade sonhada à cidade administrativa. **Espaço & Geografia** , Brasília, 6, Dezembro 2003. 1-29.

REID, D. **Paris sewers and sewermen - realities and representations**. Londres: Harvard University Press, 1991.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. **O Saneamento no Brasil - Políticas e Interfaces**. Belo Horizonte: EDITORAUFmg, 2008.

SÃO PAULO (CIDADE). **Diretrizes para projetos de hidráulica e drenagem**. São Paulo: Secretaria de Vias Públicas: Superintendências de projetos e deobras, 1999.

SÃO PAULO (CIDADE). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos**. São Paulo: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2012.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Águas Pluviais: planejamento setorial de drenagem urbana: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Salvador: ReCESA , 2008.

SILVA, J. A. D. **Direito Urbanístico Brasileiro**. São Paulo: Malheiros, 2006.

SILVEIRA, A. L. L. D. Hidrologia Urbana no Brasil. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. D. M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 2000.

SILVEIRA, A. L. L. D. **Drenagem Urbana - Aspectos de Gestão**. POrto Alegre: IPH-UFRGS e Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002.

SOUZA, C. F.; GONÇALVES, L. S.; GOLDENFUM, J. A. **Planejamento Integrado do Sistema de Drenagem Urbana**. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 2007.

SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2005.

TOMAZ, P. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**, 2013. Disponivel em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo02.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2014.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, p. 5-27, Jan/Mar 2002.

- TUCCI, C. E. M. **Urban Flood Management**. Porto Alegre: World Meteorological Organization, 2007.
- TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
- TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. D. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 2000.
- UFG; LOUGHBOROUGH UNIVERSITY. **Drenagem Urbana no Brasil**. Relatório do Workshop em Goiânia-GO. Goiânia, p. 24. 2003.
- VILLAÇA, F. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: DEÁK, C.; SCHIFFER, S. R. **O Processo de Urbanização no Brasil**. Segunda. ed. São Paulo: Fupam, 2010.

10 ANEXOS

10.1 ANEXO A – CONSTANTES PARA A EQUAÇÃO USUAL

Local	Tipo	Autores	Parâmetros das Equações					
			<i>k</i>	<i>m</i>	<i>T_θ</i>	<i>n</i>	<i>d</i>	<i>p</i>
Campinas	I	Vieira	42,081	0,1429	20,000	0,9483	---	---
Juquiá	I	Hidrobrasileira S A	23,333	0,150	18,000	0,750	---	---
Piracicaba	II	Vieira et al.	54,972	10,856	24,000	---	1,043	0,00004
Presidente Prudente	I	Sudo et al.	13,9059	0,168	15,000	0,7247	---	---
		Figueiredo	21,200	0,271	28,000	0,850	---	---
São Carlos	I	Barbassa	25,330	0,236	16,000	0,935	---	---
São Paulo	I	Wilken	29,130	0,181	15,000	0,890	---	---
		Occhipinti	<i>t</i> ≤ 1 h	27,960	0,112	15,000	---	0,860
			<i>t</i> > 1 h	20,210	0,150	---	0,820	---

Fontes: Barbassa [1991], Hidrobrasileira SA [1975], Occhipinti [1965], Porto et al. [1997], Sudo et al. [1981], Wilken [1978], Vieira [1981], Vieira et al. [1988]

10.2 ANEXO B – CONSTANTES PARA A EQUAÇÃO ENG. OTTO PFAFSTETTER

Valores de α .

Duração													
Minutos			Horas						Dias				
	5	15	30	1	2	4	8	14	24	48	3	4	6
α	0,108	0,122	0,138	0,156	0,166	0,174	0,176	0,174	0,170	0,166	0,160	0,156	0,152

Fonte: Pfafstetter, 1982.

Valores de β .

Município	Posto/ Entidade	Duração			
		5 min.	15 min.	30 min.	1h. a 6d.
Avaré	Avaré 83773/ INMET	0,00	0,04	0,08	0,08
Bauru	Bauru 83625/ INMET	- 0,04	0,08	0,08	0,08
Campos do Jordão	Campos do Jordão 83705/ INMET	- 0,04	0,08	0,12	0,12
Lins	Lins 83674/ INMET	0,00	0,04	0,08	0,04
Piracicaba	Piracicaba 83720/ INMET	- 0,08	0,04	0,12	0,08
	Tupi 83859/ INMET	- 0,08	0,12	0,12	0,04
Santos	Santos 83782/ INMET	0,12	0,12	0,16	0,20
	Itapema 83823/ INMET	0,12	0,20	0,20	0,12
São Carlos	São Carlos 83726/ INMET	- 0,04	0,08	0,08	0,12
São Paulo	Congonhas/ DEPV	- 0,04	0,04	0,04	0,04
	Mirante de Santana 83781/ INMET	- 0,04	0,12	0,12	0,04
São Simão	São Simão 83669/ INMET	0,00	0,04	0,08	0,08
Taubaté	Taubaté 347/ INMET	0,12	0,12	0,12	0,16
Ubatuba	Ubatuba 83852/ INMET	0,04	0,16	0,16	0,16

Fonte: Pfafstetter [1982]

Município	Posto/ Entidade	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Avaré	Avaré 83773/ INMET	0,3	25	20
Bauru	Bauru 83722/ INMET	0,5	24	20
Campos do Jordão	Campos do Jordão 83705/ INMET	0,2	32	20
Lins	Lins 83674/ INMET	0,4	19	20
Piracicaba	Piracicaba 83720/ INMET	0,3	25	20
	Tupi 83859/ INMET	0,3	18	60
Santos	Santos 83782/ INMET	0,7	44	10
	Itapema 83823/ INMET	0,2	50	20
São Carlos	São Carlos 83726/ INMET	0,4	29	20
São Paulo	Congonhas/ DEPV	0,6	16	60
	Mirante de Santana 83781/ INMET	0,4	25	20
São Simão	São Simão 83669/ INMET	0,4	26	20
Taubaté	Taubaté 347/ INMET	0,3	24	20
Ubatuba	Ubatuba 83852/ INMET	0,6	46	10

Fonte: Pfafstetter [1982]

10.3 ANEXO C – CONSTANTES PARA A EQUAÇÃO TIPO “LNLN”

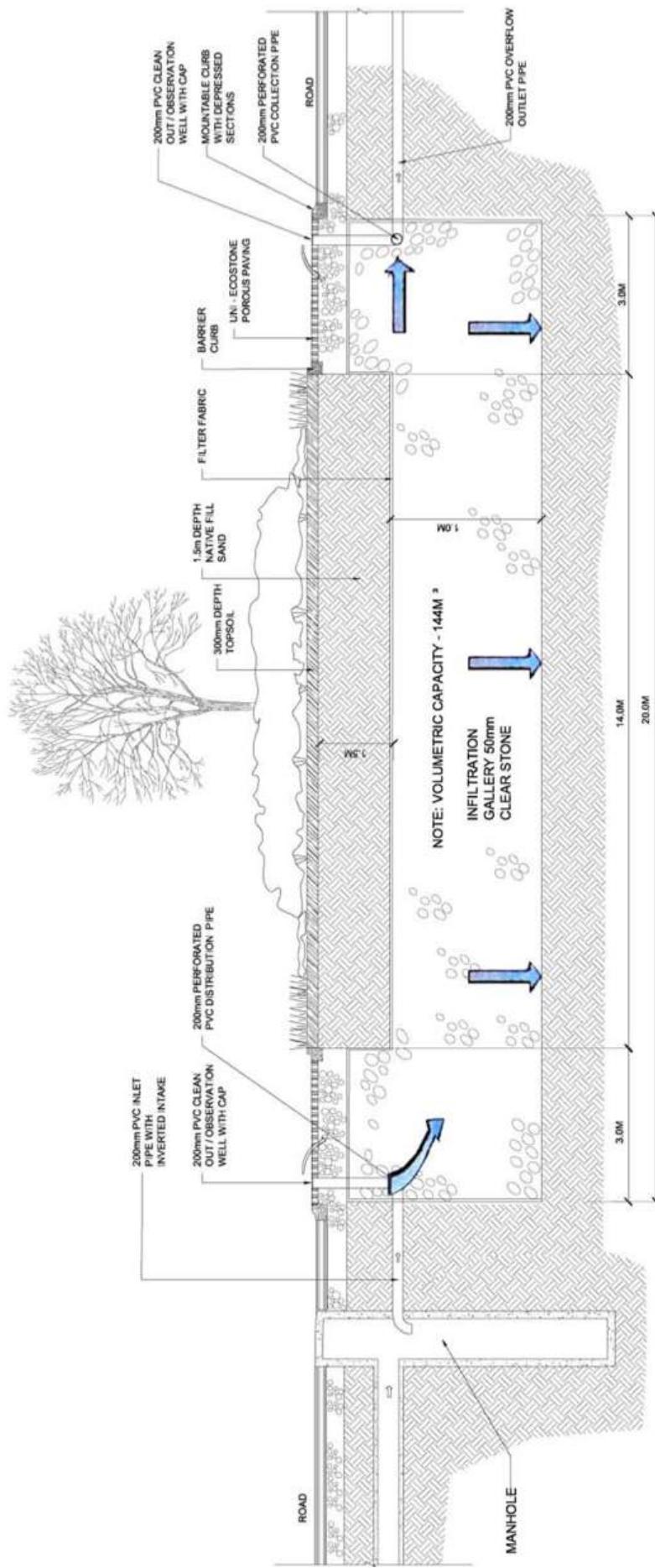
	Apare-cida	Avaré	Barrretos	Bauru	Lins	Piraci-caba	Santos	São Paulo	São Simão	Tapirai	Ubatu -ba
A₁	46,38	100,00	19,18	15,79	32,19	43,20	18,85	37,05	33,54	70,01	10,38
B₁	30	30	20	15	15	20	---	20	20	30	15
C₁	-0,912	-1,109	-0,849	-0,719	-0,916	-0,988	-0,760	-0,914	-0,903	-1,060	-0,583
D₁	30	30	---	15	15	---	20	20	10	---	---
E₁	-0,912	-0,792	---	-0,719	-0,916	---	-0,760	-0,914	-0,461	---	-0,236
F₁	-8,174	-4,000	---	-2,224	-4,951	---	-3,315	-5,966	-0,608	---	-0,330
G₁	-15,91	-7,70	---	-4,17	-9,82	---	-6,08	-10,88	-1,121	---	-0,62
M₁	---	---	5,37	---	---	11,67	---	---	---	28,00	---
P₁	---	---	20	---	---	20	---	---	---	30	---
Q₁	---	---	-0,849	---	---	-0,988	---	---	---	-1,060	---
A₂	39,91	43,29	17,78	28,40	15,12	20,44	10,44	19,24	26,26	28,90	15,73
B₂	10	15	20	15	5	10	---	---	20	20	15
C₂	-0,923	-0,965	-0,834	-0,860	-0,768	-0,841	-0,662	-0,821	-0,851	-0,890	-0,682
D₂	10	15	---	15	5	---	---	---	10	---	---
E₂	-0,923	-0,951	---	-0,860	-0,768	---	-0,662	-0,821	-0,781	---	-0,236
F₂	-7,034	-6,995	---	-3,999	-2,325	---	-1,836	-3,098	-2,745	---	-0,330
G₂	-13,28	-13,47	---	-7,49	-4,61	---	-3,36	-5,65	-5,06	---	-0,62
M₂	---	---	4,98	---	---	5,52	---	---	---	11,56	---
P₂	---	---	20	---	---	10	---	---	---	20	---
Q₂	---	---	-0,834	---	---	-0,841	---	---	---	-0,890	---
E₃	-0,923	-0,951	---	-0,860	-0,768	---	-0,662	-0,821	-0,781	---	-0,724
F₃	-7,034	-6,995	---	-3,999	-2,325	---	-1,836	-3,098	-2,745	---	-4,302
G₃	-13,28	-13,47	---	-7,49	-4,61	---	-3,36	-5,65	-5,06	---	-8,04

10.4 ANEXO D – CONSTANTES PARA A EQUAÇÃO DAEE

LOCALIDADE	COEFICIENTES								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
ANDRADINA	34,5743	20	-0,8809	2,6906	10	-0,6683	-0,4766	-0,8977	
ARARAQUARA	10≤ t ≤ 105	32,4618	15	-0,8684	2,1429	15	-0,5482	-0,4772	-0,9010
	105 < t ≤ 1440	32,4618	15	-0,8684	18,4683	15	-0,9984	-0,4772	-0,9010
BAURU	35,4487	20	-0,8894	5,9664	20	-0,7749	-0,4772	-0,9010	
BOTUCATU	30,6853	20	-0,8563	3,9660	10	-0,7566	-0,4754	-0,8917	
BRAGANÇA	33,7895	30	-0,8832	5,4415	10	-0,8442	-0,4885	-0,9635	
CACHOEIRA	57,1456	30	-0,9495	22,7285	30	-0,9986	-0,4716	-0,8716	
CAMPOS DO JORDÃO	19,1535	15	-0,7928	2,0341	5	-0,6590	-0,4778	-0,9046	
CUBATÃO	25,1025	20	-0,7522	6,4266	20	-0,7050	-0,4772	-0,9010	
ELDORADO	38,4622	30	-0,8939	19,0899	30	-0,9296	-0,4688	-0,8573	
GARÇA	52,0793	30	-0,9365	12,1571	20	-0,9424	-0,4793	-0,9126	
IACRI	33,3984	20	-0,8486	2,2482	5	-0,6276	-0,5009	-1,0334	
IGUAPE	10≤ t ≤ 120	129,8902	77	-0,9373	1,7487	77	-0,2852	-0,4801	-0,9171
	120 < t ≤ 1440	129,8902	77	-0,9373	31,7694	77	-0,8328	-0,4801	-0,9171
ITARARÉ	20,0196	10	-0,7961	11,4493	10	-0,9224	-0,4778	-0,9046	
ITU	52,9364	30	-0,9526	8,0659	25	-0,8537	-0,4793	-0,9126	
LEME	35,1348	20	-0,8823	7,9502	20	-0,8101	-0,4760	-0,8946	
LINS	57,4647	30	-0,9386	16,5999	65	-0,9078	-0,4778	-0,9046	
MARTINÓPOLIS	51,3805	30	-0,9334	20,5323	40	-0,9671	-0,4754	-0,8917	
PIRACICABA	47,8273	30	-0,9110	19,2043	30	-0,9256	-0,4820	-0,9273	
PIRAJU	37,3614	30	-0,8660	10,0167	60	-0,8427	-0,4766	-0,8977	
SALTO GRANDE	26,4615	20	-0,8479	5,1394	10	-0,8016	-0,4713	-0,8699	
SÃO JOSÉ DO RIO PARDO	24,1997	20	-0,8367	3,9564	10	-0,7504	-0,4681	-0,8540	
SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	57,6545	30	-0,9480	13,1313	30	-0,9485	-0,4754	-0,8917	
SÃO PAULO	39,3015	20	-0,9228	10,1767	20	-0,8764	-0,4653	-0,8407	
SERRANA	39,8213	25	-0,8987	9,1245	15	-0,8658	-0,4786	-0,9085	
TAPIRAÍ	27,4379	20	-0,8447	4,3767	15	-0,7369	-0,4744	-0,8863	
TATUÍ	19,7523	20	-0,7872	5,5111	20	-0,7609	-0,4766	-0,8977	
TAUBATÉ	54,5294	30	-0,9637	11,0319	20	-0,9116	-0,4740	-0,8839	
TEODORO SAMPAIO	47,2091	30	-0,9150	7,0141	20	-0,8321	-0,4786	-0,9085	
UBATUBA	28,4495	40	-0,7564	17,2878	70	-0,8236	-0,4700	-0,8637	
VOTUPORANGA	59,1192	30	-0,9566	7,5593	30	-0,8250	-0,4744	-0,8863	

1.1 ANEXO E – EXEMPLOS DE POÇOS E TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

Exemplo de poço de infiltração numa rotatória (rotunda).



Fonte: (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010)

Vista em planta de uma trincheira de infiltração abaixo de uma rua.



Fonte: (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010)

Vista em corte de uma trincheira de infiltração abaixo de uma rua.



Fonte: (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010).

Esquema de câmaras de infiltração abaixo de um estacionamento.



Fonte: (CREDIT VALLEY CONSERVATION; TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2010).