

Elaboração:



**CURITIBA**  
A CIDADE DA GENTE



**IPPUC**  
INSTITUTO DE PESQUISA  
E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA

**SMOP**

SECRETARIA MUNICIPAL  
DE OBRAS PÚBLICAS

**SMMA**

SECRETARIA MUNICIPAL  
DE MEIO AMBIENTE

# Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba

## Volume IV - Manual de Drenagem



---

Plano Diretor de Drenagem - Etapa  
Macro drenagem nas bacias Atuba, Belém,  
Barigui, Iguaçu, Padilhas e Passaúna,  
inseridas no município de Curitiba.

---

VOLUME IV  
MANUAL DE DRENAGEM

Volume Técnico referente ao Contrato 19390 de  
Prestação de Serviços que entre si fazem o MUNICÍPIO  
DE CURITIBA com a interveniência do INSTITUTO DE  
PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA -  
IPPUC e a COBRAPE CIA BRASILEIRA DE PROJETOS E  
EMPREENDEMENTOS.

COB-7548-Volume IV

## RELAÇÃO DE VOLUMES

***O Plano diretor de Macrodrenagem Urbana de Curitiba foi dividido em 6 volumes sendo eles:***

### **VOLUME I – RESUMO EXECUTIVO**

Mostra de maneira concisa todas as diretrizes do plano.

### **VOLUME II– VOLUME TÉCNICO**

O volume técnico é dividido em cinco tomos distintos, sendo eles:

**Tomo 1: SISTEMA INSTITUCIONAL** – Apresenta uma síntese do Sistema Institucional existente e propõe um rol de minutas de leis para complementação do sistema institucional de modo a permitir a aplicação legal, a efetivação e a gestão do Plano Diretor de Drenagem. Compatibiliza o Plano Diretor de Drenagem do Alto Iguaçu com este e dá as diretrizes para todas as medidas não estruturais.

**Tomo 2: POLITICAS E AÇÕES NÃO ESTRUTURAIS** – Apresenta as políticas e ações para controle do solo urbano com o objetivo de minimizar os impactos de cheias.

**Tomo 3: CAPACIDADE DO SISTEMA ATUAL**– Identifica as áreas críticas sob risco de inundação e seus principais aspectos. Apresenta um diagnóstico das inundações máximas observadas.

**Tomo 4: CARACTERIZAÇÕES DAS BACIAS E MEDIDAS DE CONTROLE ESTRUTURAIS** – Caracterizações das áreas em estudo por unidade de bacia, estudos hidrológicos e hidráulicos, análises, cenários e intervenções de medidas de controle estruturais.

**Tomo 5: SUBSIDIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS** – Avalia os benefícios técnicos e econômicos das intervenções propostas para mitigação de cheias.

### **VOLUME III– IMPLANTAÇÃO DA REDE TELEMÉTRICA**

Descreve os equipamentos da implantação telemétricas, bem como local de instalação dos equipamentos, configurações e custos.

### **VOLUME IV – MANUAL DE DRENAGEM**

Apresenta os critérios, fundamentação teórica e um resumo do Plano Diretor de Drenagem com a síntese dos trabalhos elaborados e ações propostas. Apresenta também as recomendações da Prefeitura Municipal de Curitiba quanto às intervenções para retenção e infiltração da água excedente de chuva.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 Apresentação.....	10
<b>2. REGULAMENTAÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>3. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 O Ciclo Hidrológico</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2 Erosão</b> .....	<b>22</b>
3.2.1. <i>Formas de Erosão</i> .....	23
<b>3.3 Inundações e Enchentes</b> .....	<b>24</b>
3.3.1 <i>Enchentes em Áreas Ribeirinhas</i> .....	24
3.3.2 <i>Inundações</i> .....	25
3.3.3 <i>Consequências</i> .....	25
3.3.4 <i>Registro de Inundações e Enchentes em Curitiba</i> .....	26
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS</b> .....	<b>28</b>
4.1 <b>Bacia do Rio Atuba</b> .....	<b>28</b>
4.2 <b>Bacia do Rio Barigui</b> .....	<b>33</b>
4.3 <b>Bacia do Rio Belém</b> .....	<b>38</b>
4.4 <b>Bacia do Ribeirão dos Padilhas</b> .....	<b>43</b>
4.5 <b>Bacia do Rio Passaúna</b> .....	<b>48</b>
4.6 <b>Bacia do Rio Iguaçu</b> .....	<b>51</b>
<b>5. CONCEITOS E DEFINIÇÕES SOBRE DRENAGEM URBANA</b> .....	<b>56</b>
5.1 <b>Apresentação</b> .....	<b>56</b>
5.2 <b>Regimes de Escoamento</b> .....	<b>57</b>
5.2.1. <i>Definições</i> .....	57
5.2.2. <i>Caracterização do escoamento</i> .....	58
5.2.3. <i>Número de Froude</i> .....	58
5.3 <b>Linha de Energia em Regime Permanente</b> .....	<b>60</b>
5.3.1. <i>Metodologia para a linha de energia</i> .....	60
5.3.2. <i>Perda de carga singular ou localizada</i> .....	61
5.4 <b>Microdrenagem</b> .....	<b>62</b>
5.5 <b>Macrodrenagem</b> .....	<b>63</b>
5.5.1. <i>Terminologia - macrodrenagem</i> .....	63
5.6 <b>Tempo de Concentração</b> .....	<b>64</b>
5.7 <b>Tempo de Retorno</b> .....	<b>65</b>
5.8 <b>Permeabilidade</b> .....	<b>66</b>
5.8.1. <i>Taxa de Permeabilidade</i> .....	66
5.9 <b>Capacidade de Retenção do Solo - Número da Curva (CN)</b> .....	<b>66</b>
5.9.1. <i>Tipo de solo</i> .....	68
5.10 <b>Parâmetros Físicos da Bacia Hidrográfica</b> .....	<b>69</b>
5.10.1. <i>Coeficiente de Compacidade</i> .....	69
5.10.2. <i>Fator de Forma</i> .....	69
5.10.3. <i>Densidade de Drenagem (Dd)</i> .....	70

5.10.4. Extensão Média do Escoamento Superficial (L) .....	70
5.10.5. Sinuosidade do Curso da Água (SIN).....	70
<b>6. SISTEMAS DE MICRODRENAGEM .....</b>	<b>71</b>
<b>6.1 Terminologia .....</b>	<b>71</b>
<b>6.2 Cálculos e Dimensionamentos .....</b>	<b>72</b>
6.2.1. Cálculo da Vazão de projeto para microdrenagem.....	72
6.2.1.1. Método Racional.....	72
6.2.2. Precipitação .....	74
6.2.3. Coeficiente de "Run off".....	77
6.2.4. Condução hidráulica de ruas e sarjetas.....	79
6.2.4.1. Dimensionamento de Bocas-de-Lobo.....	80
6.2.4.2. Dimensionamento de Galerias.....	84
<b>7. SISTEMAS DE MACRODRENAGEM.....</b>	<b>85</b>
<b>7.1 Cálculos e Dimensionamentos .....</b>	<b>85</b>
7.1.1. Precipitação de projeto .....	85
7.1.1.1. Distribuição espacial e coeficientes de abatimento .....	85
7.1.1.2. Distribuição temporal .....	85
7.1.1.3. Método dos blocos alternados.....	86
7.1.1.4. Hidrograma unitário triangular .....	88
<b>7.2 Projetos de Redes Pluviais de Macrodrenagem.....</b>	<b>90</b>
7.2.1. Planejamento.....	91
7.2.2. Etapas do estudo de planejamento .....	92
7.2.2.1. Caracterização da bacia .....	93
7.2.2.2. Definição dos cenários.....	93
7.2.2.3. Simulação dos cenários.....	93
7.2.2.4. Seleção de alternativas para controle.....	94
7.2.2.5. Simulação das alternativas previstas.....	95
7.2.2.6. Avaliação da qualidade da água.....	96
7.2.2.7. Avaliação econômica:.....	96
7.2.2.8. Seleção da melhor alternativa: .....	96
<b>8. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MICRODRENAGEM.....</b>	<b>97</b>
<b>8.1 Pavimento Poroso .....</b>	<b>97</b>
<b>8.2 Trincheira de Retenção e Infiltração.....</b>	<b>101</b>
<b>8.3 Vala de Infiltração.....</b>	<b>110</b>
<b>8.4 Poço de Infiltração / Injeção .....</b>	<b>114</b>
<b>8.5 Microrreservatório e Microrreservatório Poroso.....</b>	<b>118</b>
<b>8.6 Telhado Reservatório.....</b>	<b>122</b>
<b>8.7 Manta de Infiltração.....</b>	<b>124</b>
<b>9. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MACRODRENAGEM .....</b>	<b>126</b>
<b>9.1 Parque Isolado Associado a Reservatório de Amortecimento .....</b>	<b>126</b>
<b>9.2 Parque Linear Ribeirinho.....</b>	<b>126</b>
<b>9.3 Proteção das Cabeceiras das Bacias .....</b>	<b>127</b>

9.4	Restauração de Várzeas .....	128
9.5	Banhados Construídos (Wetlands).....	129
9.6	Restauração de Margens .....	130
9.7	Recomposição de Vegetação Ciliar .....	130
9.8	Renaturalização de Rios e Córregos .....	131
9.9	Contenção de Encostas Instáveis .....	131
9.10	Bacias de Contenção de Sedimentos.....	132
9.11	Dissipadores de Energia.....	133
9.12	Adequação de Canais para Retardar Escoamento .....	133
9.13	Obras de Desassoreamento .....	134
9.14	Sistema de Galeria de Águas Pluviais.....	134
9.15	Sistema de Reuso de Águas Pluviais.....	135
9.16	Bacia de Detenção.....	135
9.17	Bacias de Retenção.....	139
9.18	Bacias Subterrâneas .....	142
9.19	Conduitos de Armazenamento.....	143
9.20	Faixas e Valetas Gramadas .....	144
10.	PARÂMETROS PARA PROJETOS DE DRENAGEM .....	147
10.1	Aplicação da Norma e Aprovação .....	147
10.2	Elaboração dos Projetos .....	148
10.3	Padronizações .....	149
11.	REFERÊNCIAS .....	150

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Legislação Federal relacionada com a Drenagem Urbana .....	13
Quadro 2 – Legislação Estadual relacionada com a Drenagem Urbana.....	17
Quadro 3 – Legislação Municipal relacionada com a Drenagem Urbana .....	19
Quadro 4 – Registros Pluviométricos na cidade de Curitiba .....	27
Quadro 5 – Valores do Coeficiente de Rugosidade de Manning.....	58
Quadro 6 – Regime de escoamento de acordo com o número de Froude.....	59
Quadro 7 – Tempos de retorno (T) – DAEE e CETESB (1980) .....	66
Quadro 8 – CN para áreas urbanas considerando percentual de área impermeável – NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK (2004).....	67
Quadro 9- Condutividade hidráulica saturada em diversos tipos de solo.....	69
Quadro 10 – Coeficientes de escoamento superficial C – ASCE (1969) .....	78
Quadro 11 – Fatores de Redução de Escoamento das Sarjetas (DAEE/CETESB, 1980).....	84
Quadro 12 – Hietograma - Método dos Blocos Alternados .....	88
Quadro 13 - Coeficiente de Escoamento.....	97
Quadro 14 – Valores de Coeficiente de Escoamento (C) para algumas superfícies ...	99
Quadro 15 – Valores dos parâmetros para Sistemas de Reservação e Infiltração sem tubos, apenas a vala mais a pedra brita .....	108
Quadro 16 – Valores dos parâmetros para Sistemas de Reservação e Infiltração sem tubos, para execução com miniescavadeira .....	108

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Figura representativa de inundação e enchente .....	24
Figura 2 – Diagrama Unifilar do Sistema de Macrodrenagem – Bacia do rio Atuba ....	29
Figura 3 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Atuba.....	30
Figura 4 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Atuba.....	32
Figura 5 – Diagrama Unifilar do Sistema de Macrodrenagem – Bacia do rio Barigui .....	34
Figura 6 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Barigui .....	35
Figura 7 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Barigui .....	37
Figura 8 – Diagrama Unifilar do Sistema de Macrodrenagem - Bacia do rio Belém ....	39
Figura 9 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Belém .....	41
Figura 10 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Belém .....	42
Figura 11 – Diagrama Unifilar – Bacia do Ribeirão dos Padilhas.....	44
Figura 12 – Mapa da hidrografia da Bacia do Ribeirão dos Padilhas.....	45
Figura 13 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Ribeirão dos Padilhas .....	47
Figura 14 – Diagrama Unifilar – Bacia do Rio Passaúna .....	48
Figura 15 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Passaúna .....	49
Figura 16 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Passaúna ....	50
Figura 17 – Diagrama Unifilar – Bacia do Rio Iguaçu.....	52
Figura 18 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Iguaçu .....	54
Figura 19 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Iguaçu .....	55
Figura 20 – Determinação da linha de energia utilizando a equação de Bernoulli.....	60
Figura 21 - Tipos de boca-de-lobo (DAEE/CETESB, 1980 - Adaptado) .....	72
Figura 22 – Chuvas Intensas - Equação COHAPAR (2000) - Duração em minutos.....	76
Figura 23 - Seção da sarjeta .....	80
Figura 24 – Capacidade de engolimento (DAEE/CETESB, 1980 - adaptado).....	82
Figura 25 – Capacidade de esgotamento das bocas de-lobo com depressão de 5 cm em pontos baixos das sarjetas (DAEE/CETESB, 1980 - Adaptado).....	83
Figura 26 – Hidrograma triangular SCS (Tucci, 1993 - Adaptado).....	89
Figura 27 – Etapas do Planejamento - Projeto de rede pluvial de macrodrenagem ....	92
Figura 28 – Representação de pavimento poroso.....	100
Figura 29 – Representação de pavimento poroso.....	101
Figura 30 – Representação do Sistema de Reservação e Infiltração com seção retangular .....	103
Figura 31 – Representação do Sistema de Reservação e Infiltração com tubos de concreto com diâmetro de 1,20 m.....	104
Figura 32 – Trincheira de infiltração (Schueler, 1987 - Adaptado).....	108
Figura 33 – Trincheira de infiltração (Schueler, 1987 - Adaptado).....	109
Figura 34 – Detalhe PLANTA PEDRÃO – DRENO LATERAL PARA RESERVAÇÃO E INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS (Secretaria Municipal de Obras Públicas - Adaptado).....	109

Figura 35 – Detalhe do DRENO LATERAL PARA RESERVAÇÃO E INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS (Secretaria Municipal de Obras Públicas - Adaptado).....	110
Figura 36 – Vala de infiltração (Schueler, 1987 - Adaptado).....	113
Figura 37 - Vala de retenção (Azzout et al., 1994 - Adaptado) .....	114
Figura 38 - Poço de infiltração preenchido com brita (Azzout et al., 1994 - Adaptado).....	117
Figura 39 – Poço de infiltração e poço de injeção (Azzout et al., 1994 - Adaptado)..	117
Figura 40 – Poço de infiltração associado com bacia de infiltração (Azzout et al., 1994 - Adaptado) .....	117
Figura 41 – Poço de infiltração em parques ou praças (Azzout et al., 1994 - Adaptado).....	118
Figura 42 – Microrreservatório em alvenaria (Cruz et al, 1998 - Adaptado).....	121
Figura 43 - Microrreservatório poroso enterrado (Schueler, 1987 - Adaptado).....	121
Figura 44 - Telhados reservatório (Azzout,1994 - Adaptado).....	123
Figura 45 - Telhados reservatório com cascalho (Azzout et al, 1994 - Adaptado).....	123
Figura 46 – Manta de infiltração - Planta.....	125
Figura 47 – Manta de infiltração – Perfil .....	125
Figura 48 – Sediment basin (Mecklenberg, 1996 - Adaptado) .....	132
Figura 49 – Sediment pond (Mecklenberg, 1996 - Adaptado).....	132
Figura 50 - Bacia de detenção (Schueler, 1987 - Adaptado) .....	139
Figura 51 - Bacia de retenção (Schueler, 1987 - Adaptado) .....	141
Figura 52 - Bacia subterrânea (STU, 1993 - Adaptado).....	143
Figura 53 - Faixas Gramadas (fonte: Urban Drainage and Flood District, 1992 - Adaptado).....	145
Figura 54 – Valeta Gramada (fonte: Urban Drainage and Flood District, 1992 - Adaptado).....	146

**TOMO V – MANUAL DE DRENAGEM**

---

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

Drenagem é o termo comumente empregado na designação das instalações destinadas a coletar e transportar a água que se precipita nos eventos de chuva no meio urbano.

O sistema de drenagem deve, em tese, evitar o acúmulo dessa água precipitada, que possa vir a provocar transtornos à saúde das pessoas, bem como danos e prejuízos ao patrimônio público e privado.

O sistema de drenagem urbana tem vinculação direta com outros aspectos componentes da infraestrutura, tais como: o sistema de abastecimento de água, o sistema de coleta e tratamento de esgoto, o sistema de coleta, transporte e disposição final de resíduos sólidos. Tem relação, ainda, com a determinação e controle das condições de escoamento proporcionadas pelos cursos de água e seus componentes de erodibilidade e assoreamento, bem como aspectos de natureza legal e institucional, uso e ocupação do solo, parcelamento do solo e áreas de preservação permanente.

Os estudos e diretrizes do Plano Diretor de Drenagem (PDD), aliados ao Plano Diretor Urbano (PDU) vigente, fornecem ao Manual de Drenagem os subsídios necessários para que seja um instrumento orientativo para projetistas sobre as restrições e métodos aceitos no dimensionamento da drenagem na cidade, em consonância com normas e leis vigentes em âmbito nacional, estadual e municipal a respeito da drenagem urbana e do uso do solo urbano.

O Manual de Drenagem integra e ressalta a importância de todos os estudos desenvolvidos no PDD para as Bacias do Atuba, Belém, Barigui, Padilhas, Passaúna e Iguaçu inseridas no Município de Curitiba. A partir desses estudos, o manual sintetiza as informações pertinentes para a consulta pelos profissionais que planejam e projetam a drenagem urbana no município de Curitiba e atribui critérios construtivos e de projeto para que se tenha uma uniformização do tratamento dos aspectos de drenagem no município.

Todavia, o Manual de Drenagem é restrito para fins de orientação e não possui

valor legislativo, sendo os únicos elementos limitantes aqueles relacionados à legislação pertinente.

## 2. REGULAMENTAÇÃO

O presente capítulo apresenta, em forma de tabela, a síntese da regulamentação relacionada com a drenagem urbana. O objetivo é facilitar a consulta das leis que tratam de drenagem, no momento da elaboração de estudos e projetos a ela relacionados.

A tabela está dividida em legislação Federal, Estadual e Municipal, cada parte disposta em colunas, apresentadas da seguinte maneira:

- **TIPO:** classifica se a legislação listada é uma Lei, Decreto-Lei, Decreto, Medida Provisória, Lei Complementar ou Resolução;
- **NÚMERO E DATA:** apresenta o número do documento e a data em que entrou em vigor;
- **ABORDAGEM:** indica sob quais aspectos são abordadas as questões de drenagem. Foram atribuídos quatro aspectos:
  - **S** Aborda questões referentes ao Saneamento
  - **MA** Aborda questões referentes ao Meio Ambiente
  - **GU** Aborda questões referentes à Gestão Urbana
  - **I** Aborda questões referentes a Estabelecimentos ou Modificações Institucionais
- **DISPOSIÇÃO:** apresenta a disposição ou a finalidade do documento;
- **STATUS:** indica se o documento está em vigor;

**Quadro 1 – Legislação Federal relacionada com a Drenagem Urbana**

	TIPO	N°	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS
				S	MA	GU	I		
<b>FEDERAL</b>									
1	Constituição Brasileira	-	05/10/88				X	"Institui princípios, direitos e garantias fundamentais; direitos e deveres individuais e coletivos."	Vigente
2	LEIUIeLeHH	4.771	15/09/65		X			"Código Florestal Brasileiro."	Vigente
3	Lei	6.766	19/12/79			X		"Dispõe sobre o parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências."	Vigente
4	Lei	6.803	02/07/80			X		"Dispõe sobre as diretrizes básicas para o Zoneamento Industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências."	Vigente
5	Lei	6.938	31/08/81		X		X	"Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências."	Vigente
6	Lei	7.735	22/02/89		X		X	"Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente."	Vigente
7	Lei	7.804	18/07/89		X			"Altera a Lei n. 6.938 (1), de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei n. 7.735 (2), de 22 de fevereiro de 1989, a Lei n. 6.803 (3), de 2 de julho de 1980, a Lei n.6.902 (4), de 21 de abril de 1981, e dá outras providências."	Vigente
8	Lei	9.433	08/01/97	X				"Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art.21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989."	Vigente
9	Lei	9.605	12/02/98		X			"Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências". Também conhecida como "Lei dos Crimes Ambientais".	Vigente
10	Lei	9.785	29/01/99			X		"Altera o Decreto-Lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941 (desapropriação por utilidade pública) e as Leis nºs 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (registros públicos), e 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (parcelamento do solo urbano)".	Vigente

Quadro 1 (continuação) – Legislação Federal relacionada com a Drenagem Urbana

TIPO	N°	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS	
			S	MA	GU	I			
<b>FEDERAL</b>									
11	Lei	9.985	18/07/00	X				“Regulamenta o art. 225, 1º, incisos I,II,III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e de outras providências”.	Vigente
12	Lei	9.984	17/07/00	X		X		“Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Água- ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências”.	Vigente
13	Lei	10.257	10/07/01		X			“Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.” Também conhecida como “Estatuto da cidade”.	Vigente
14	Lei	10.406	10/01/02				X	“Institui o Código Civil.”	Vigente
15	Lei	11.445	05/01/07	X				“Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.” Conhecido como “Lei do Saneamento Básico”.	Vigente
16	Lei	12.305	02/08/10	X			X	“Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.”	Vigente
17	Lei Complementar	14	08/06/73			X		“Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza.”	Vigente
18	Medida Provisória	2.166-67	24/08/01	X			X	“Altera os arts. 1º,4º,14,16 e 44, e acresce dispositivos à Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10 da Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, que dispõe sobre o imposto sobre a Propriedade Territorial Rural – ITR, e dá outras providências.”	Vigente
19	Decreto-Lei	852	11/11/38	X				“Mantém, com modificações, o decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 e dá outras providências.”	Vigente
20	Decreto-Lei	3.365	21/06/41			X		“Dispõe sobre desapropriações por utilidade pública.”	Vigente

Quadro 1 (continuação) – Legislação Federal relacionada com a Drenagem Urbana

	TIPO	Nº	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS
				S	MA	GU	I		
<b>FEDERAL</b>									
21	Decreto	24.643	10/07/34	X				"Decreta o Código de Águas."	Parcialmente Vigente
22	Decreto	89.336	31/01/84		X			"Dispõe sobre as Reservas Ecológicas e Áreas de Relevante Interesse Ecológico, e dá outras providências."	Vigente
23	Decreto	2.612	03/06/98	X			X	"Regulamenta o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras providências."	Vigente
24	Decreto	4.613	11/03/03	X			X	"Regulamenta o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras providências."	Vigente
25	Decreto	99.274	06/06/90		X		X	"Regulamenta a Lei nº 6.902 e a Lei nº 6.938 que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências."	Vigente
26	Resolução CONAMA	004	18/09/85		X			"Reservas Ecológicas."	Revogada
27	Resolução CONAMA	001	17/02/86		X			"Estudo de Impacto Ambiental."	Vigente
28	Resolução CONAMA	20	18/06/86	X				"Classificação Águas."	Revogada
29	Resolução CONAMA	237	19/12/97		X			"Licenciamento Ambiental."	Vigente
30	Resolução CONAMA	303	20/03/02		X			"Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente."	Vigente

**Quadro 1 (continuação) – Legislação Federal relacionada com a Drenagem Urbana**

	TIPO	Nº	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS
				S	MA	GU	I		
<b>FEDERAL</b>									
<b>31</b>	Resolução CONAMA	377	09/10/06	X	X			“Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário.”	Vigente
<b>32</b>	Resolução CONAMA	357	17/03/05	X				“Classificação Corpos de Água”	Vigente
<b>33</b>	Resolução CONAMA	369	28/03/06		X	X		“Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente - APP.”	Vigente
<b>34</b>	Resolução CONAMA	54	28/11/05	X	X			“Estabelece modalidades e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água e dá outras providências.”	Vigente

**Quadro 2 – Legislação Estadual relacionada com a Drenagem Urbana**

	TIPO	Nº	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS
				S	MA	GU	I		
<b>ESTADUAL</b>									
<b>35</b>	Lei	6.513	18/12/73		X			“Dispõe sobre a proteção dos Recursos Hídricos contra agentes poluidores e dá outras providências.”	Vigente
<b>36</b>	Lei	6.517	02/01/74				X	“Institui a Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - COMEC.”	Vigente
<b>37</b>	Lei	8.485	03/06/87				X	“Dispõe sobre a reorganização da estrutura básica do Poder Executivo no Sistema de Administração Pública do Estado do Paraná.”	Vigente
<b>38</b>	Lei	8.935	07/03/89	X	X			“Dispõe sobre o lançamento de efluentes em mananciais definidos como os situados à montante do ponto de captação.”	Vigente
<b>39</b>	Lei	10.066	27/07/92		X		X	“Cria a Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA, a entidade autárquica Instituto Ambiental do Paraná – IAP e adota outras providências.”	Vigente
<b>40</b>	Lei	12.248	31/07/98		X		X	“Cria o Sistema Integrado de Gestão e Proteção dos Mananciais da RMC.”	Vigente
<b>41</b>	Lei	12.726	27/11/99	X			X	“Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.”	Vigente
<b>42</b>	Lei	16.242	13/10/09	X			X	“Cria o Instituto das Águas do Paraná, conforme específica e adota outras providências.”	Vigente
<b>43</b>	Decreto	2.314	18/07/00	X			X	“Regulamenta o Conselho Estadual de Recursos Hídricos e adota outras providências.”	Vigente
<b>44</b>	Decreto	2.315	18/07/00	X			X	“Regulamenta o processo de instituição de Comitês de Bacia Hidrográfica, e adota outras providências.”	Vigente

**Quadro 2 (continuação) – Legislação Estadual relacionada com a Drenagem Urbana**

TIPO	N°	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS	
			S	MA	GU	I			
<b>ESTADUAL</b>									
45	Decreto	2.316	18/07/00	X			X	Vigente	"Regulamenta a participação de Organizações Cíveis de Recursos Hídricos no Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH/PR e adota outras providências."
46	Decreto	2.317	18/07/00	X	X		X	Vigente	"Regulamenta as competências da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos como órgão executivo, gestor e coordenador central do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH/PR e adota outras providências."
47	Decreto	4.646	31/08/01	X			X	Vigente	"Dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos e adota outras providências."
48	Decreto	5.361	26/11/02	X			X	Vigente	"Regulamenta a cobrança pelo direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências."
49	Decreto	3.411	10/09/08	X				Vigente	"Declara as Áreas de Interesse de Mananciais de Abastecimento Público para a Região Metropolitana de Curitiba e dá outras providências."
50	Resolução CEMA/PR	31	24/08/98		X		X	Vigente	"Dispõe sobre o licenciamento ambiental, autorização ambiental, autorização florestal e anuência prévia para desmembramento e parcelamento de gleba rural."
51	Resolução CERH/PR	49	20/12/06	X			X	Vigente	"Dispõe sobre a instituição de Regiões Hidrográficas, Bacias Hidrográficas e Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Paraná."
52	Resolução SEMA/PR	52	06/11/09	X				Vigente	"Estabelece parâmetros quantitativos para qualificação como insignificantes os usos de recursos hídricos referentes ao lançamento concentrado de águas pluviais em cursos de água."
53	Resolução CEMA/PR	65	04/07/08		X			Vigente	"Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências."
54	Resolução CONAMA	237	19/12/97		X			Vigente	"Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente"

**Quadro 3 – Legislação Municipal relacionada com a Drenagem Urbana**

	TIPO	N°	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS
				S	MA	GU	I		
<b>MUNICIPAL</b>									
55	Lei	12	13/02/48			X		“Lei orgânica de Curitiba.”	Vigente
56	Lei	7.230	30/08/88		X	X		“Toma obrigatório o plantio de árvores, arbustos e vegetações rasteiras, nas faixas não edificáveis de fundo de vales.”	Vigente
57	Lei	7.622	01/04/91			X		Dispõe sobre a utilização do recuo do alinhamento predial dos terrenos edificadas como área verde. (Revogada pela Lei nº 9.800/2000, ressalvo o disposto no artigo 48).”	Revogada
58	Lei	7.833	19/12/91		X			“Dispõe sobre a política de proteção, conservação e recuperação do meio ambiente, revoga a lei nº 7.447/90, o artigo 3º da lei nº 5.263/75, e dá outras providências.”	Vigente
59	Lei	9.800	03/01/00			X		“Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências.”	Vigente
60	Lei	9.801	03/01/00			X	X	“Dispõe sobre os instrumentos de política urbana no município de Curitiba.”	Vigente
61	Lei	9.802	03/01/00			X	X	“Institui incentivos para a implantação de programas habitacionais de interesse social, e revoga a lei nº 7.841/91.”	Vigente
62	Lei	9.803	03/01/00			X		“Dispõe sobre a transferência de potencial construtivo.”	Vigente
63	Lei	9.804	03/01/00		X	X		“Cria o sistema de unidades de conservação do município de Curitiba e estabelece critérios e procedimentos para implantação de novas unidades de construção.”	Vigente
64	Lei	9.805	03/01/00	X	X	X		“Cria o setor especial do anel de conservação sanitário ambiental e dá outras providências.”	Vigente

**Quadro 3 (continuação) – Legislação Municipal relacionada com a Drenagem Urbana**

	TIPO	N°	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS
				S	MA	GU	I		
<b>MUNICIPAL</b>									
<b>65</b>	Lei	9.806	03/01/00		X		X	"Institui o código florestal do município de Curitiba, revoga as leis nº 8.353/93 e 8.436/94, e dá outras providências."	Vigente
<b>66</b>	Lei	10.785	18/09/03				X	"Cria no município de Curitiba, Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações - PURAE."	Vigente
<b>67</b>	Lei	11.095			X		X	"Dispõe sobre as normas que regulam a aprovação de projetos, o licenciamento de obras e atividades, a execução, manutenção e conservação de obras no município, e dá outras providências"	Vigente
<b>68</b>	Lei	11.266	16/12/04			X		Dispõe sobre a adequação do Plano Diretor de Curitiba ao Estatuto da Cidade – Lei Federal nº 10.257/01, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do Município."	Vigente
<b>69</b>	Lei	13.909	19/12/2011		X			"Aprova a Operação Urbana Consorciada Linha Verde, Estabelece diretrizes Urbanísticas para a área de influência da atual Linha Verde, desde o Bairro Atuba até os bairros Cidade Industrial de Curitiba – CIC e Tatuquara, cria incentivos por meio de instrumentos de política urbana para sua implantação, institui o Grupo Gestor, a Comissão Executiva e dá outras providências."	Regulamentada
<b>70</b>	Lei	12.080	19/12/2006		X			"Estabelece a criação da Reserva Particular do Patrimônio Natural Municipal – RPPNM."	Vigente
<b>71</b>	Lei	13.899	09/12/2011		X		X	"Altera dispositivos da Lei Municipal 12.080."	Vigente
<b>72</b>	Decreto	733	07/06/01			X		"Classifica trechos viários como setores especiais das vias setoriais, vias coletoras 1, vias coletoras 2, vias coletoras 3 e sistema viário linhão do emprego."	Vigente
<b>73</b>	Decreto	983	26/10/04				X	Regulamenta os Arts.12, 21 e 22 da Lei nº 7.833, de 19 de dezembro de 1991, dispondo sobre a coleta, transporte, o tratamento e a disposição final de resíduos sólidos no município de Curitiba."	Vigente

**Quadro 3 (continuação) – Legislação Municipal relacionada com a Drenagem Urbana**

	TIPO	Nº	DATA	ABORDAGEM				FINALIDADE	STATUS
				S	MA	GU	I		
<b>MUNICIPAL</b>									
74	Decreto	992	28/10/04			X		"Classifica trechos viários como setor especial das vias coletoras 1 e dá outras providências."	Vigente
75	Decreto	133	20/03/07	X				"Regulamenta a Lei Municipal nº 13.909, de 19 de dezembro de 2011, que aprovou a Operação Urbana Consorciada Linha Verde – OUC-LV, no que se refere aos parâmetros construtivos e aspectos urbanísticos a serem adotados para licenciamento dos empreendimentos que utilizarem os benefícios nela previstos"	Vigente
76	Decreto	176	20/03/07	X		X		"Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias."	Vigente
77	Decreto	293	22/03/06		X	X	X	"Regulamenta a Lei nº 10.785/03, e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências."	Vigente
78	Decreto	1.756	23/12/2010		X			"Institui o Plano Municipal de Recursos Hídricos."	Vigente
79	Decreto	1.153	07/12/04			X		"Regulamenta os Arts. 7º e 9º, da lei nº 7.833/91, institui o sistema de licenciamento ambiental no município de Curitiba e dá outras providências."	Vigente

### **3. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM**

#### **3.1 O Ciclo Hidrológico**

A água é a substância essencial para a vida na Terra, sendo válido afirmar que toda a quantidade de água existente no planeta é constante. A mudança de estado físico da água entre sólido, líquido e gasoso, que ocorre entre as geleiras, oceanos, águas superficiais, águas subterrâneas e atmosfera, constitui um sistema fechado conhecido como ciclo hidrológico.

A precipitação é parte do ciclo hidrológico. Do volume de água que atinge o solo, parte infiltra (abastecendo os lençóis freáticos e aquíferos), parte evapora e outra parte escoia pela superfície, sendo drenada através de canais, naturais ou artificiais, para rios, lagos, mares e oceanos.

#### **3.2 Erosão**

Movimentação da camada superficial do solo por deflúvio ou precipitações pluviais, alterando o estado natural de equilíbrio desta camada. Segundo Fendrich, (1984, p. 18), a erosão pode ser traduzida como um processo de “desagregação, transporte e deposição do solo, sub-solo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos ou geleiras”.

A erosão pode ter impacto significativo no sistema de drenagem, quando camadas de solo são deslocadas, soterrando tubulações, dispositivos de contenção, alterando leitos ou diminuindo a seção dos mesmos. Como consequência pode ser aumentada a velocidade de escoamento ou ainda carrear sedimentos para outras áreas ou bacias.

No meio urbano, o processo erosivo é mais acentuado quando em área pouco urbanizada, movimentando grande aporte de sólidos; e menos acentuado (representando menor risco) quando em áreas mais urbanizadas, movimentando menor volume de sólidos, decaindo gradualmente até a consolidação da bacia.

Pode-se afirmar que quanto mais coberto for o solo por vegetação, menor a

probabilidade de erosão. Porém, a matéria orgânica depositada pela vegetação urbana na camada de solo pode torná-lo poroso e propiciar um novo evento de movimento destas camadas: agravando um processo de erosão ou iniciando um novo processo erosivo.

A erosão pode ser agravada com a urbanização de áreas inadequadas, suscetíveis a deslizamentos de camadas, com a ocupação de áreas críticas e técnicas inadequadas de manejo do solo.

### 3.2.1. Formas de Erosão

A erosão pode ter natureza eólica ou hídrica. A erosão de natureza eólica é produzida por ação aerodinâmica, onde as partículas se desprendem do solo e são transportadas em suspensão até que haja condições de deposição.

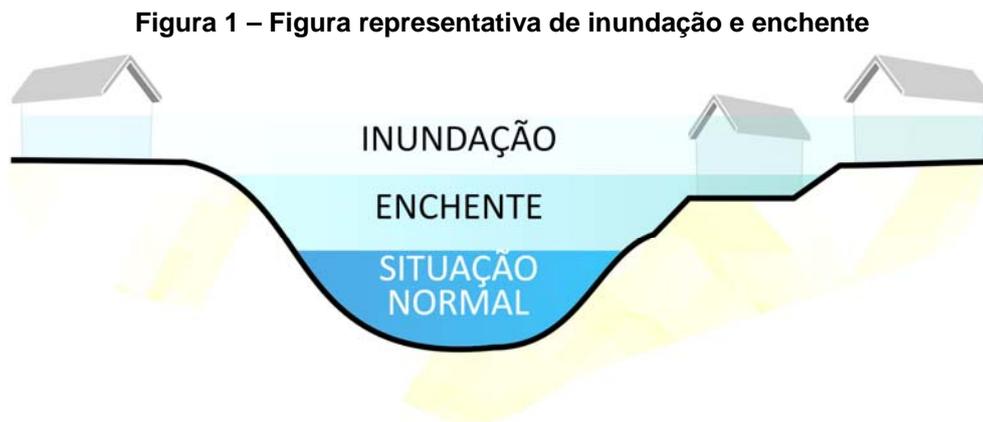
Na erosão de natureza hídrica, a ação hidrodinâmica (por exemplo, precipitações) desagrega as partículas do solo, desprendendo-as do seu local de origem. Quando a precipitação no local supera a capacidade de infiltração do solo, inicia-se o escoamento superficial, que poderá produzir a erosão superficial. Enquanto esta erosão estiver restrita às camadas superficiais denomina-se erosão laminar. Quando a concentração do escoamento produzir caminhos preferenciais, gerando um aumento dos esforços cortantes sobre o solo e aprofundamento de sulcos, classifica-se o processo erosivo de erosão em sulco. A erosão em sulco, em grandes proporções, resulta na formação de ravinas.

As formas de erosão mais agressivas, que resultam em sulcos, ravinas e voçorocas, são localizadas e denominadas em geral de *erosões lineares*. De maneira geral estas erosões estão ligadas às deficiências de micro-drenagem e demandam maior atenção, pois, além de prejuízos econômicos e antropológicos representam perigos potenciais.

Normalmente, as erosões que registram grande aporte de volume sólido aos cursos d'água são frutos das ações hidrodinâmicas e dependentes também de características tais como a geomorfologia da bacia e sua cobertura.

### 3.3 Inundações e Enchentes

Caracteriza-se como enchente o aumento do volume de água dos rios até seu leito maior. Ao ultrapassar esta margem e entrar em área urbana (não necessariamente área urbanizada) denomina-se o processo de alagamento de inundações.



#### 3.3.1 Enchentes em Áreas Ribeirinhas

As enchentes em áreas ribeirinhas ocorrem principalmente pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos e, em média, com tempo de retorno superior a dois anos.

As enchentes nestas áreas se agravam quando há ocupação irregular neste leito maior do rio. Tais ocupações ocorrem, em geral, devido à falta de fiscalização do uso e ocupação do solo nas áreas ribeirinhas e devido à não adequação do uso das áreas sujeitas a enchentes, tornando-as suscetíveis a invasões.

Outras causas podem estar relacionadas ao processo de urbanização, com o surgimento de novas singularidades ao longo dos rios tais como pontes, aterros, desvios, canalizações, inserção de galerias e bueiros; que em maior ou menor grau, produzem obstruções ao fluxo das águas.

### 3.3.2 *Inundações*

As ocorrências das inundações usualmente estão associadas a um conjunto de causas. Dentre as principais, cita-se a crescente e contínua impermeabilização das áreas das bacias contribuintes. Também estão associados às inundações o assoreamento do canal de drenagem, desmatamento, elevada densidade de edificações e as falhas ou mau dimensionamento das redes de condutos de escoamento.

Existe ainda o aspecto do lançamento de resíduos de toda natureza no leito dos rios, que além de comprometer a qualidade das águas também provoca uma redução da seção de fluxo e na capacidade de transporte.

Os processos de urbanização não controlada e o excesso de obras impermeabilizantes reduzem a capacidade de infiltração da água no solo e conseqüentemente aumentam o seu escoamento superficial.

### 3.3.3 *Consequências*

Dentre as principais consequências das enchentes e inundações no meio urbano, podem-se citar a interrupção das atividades econômicas, a disseminação de doenças de veiculação hídrica, a contaminação da água pela inundação de locais com materiais nocivos à saúde, destruição de equipamentos urbanos, além da transposição das camadas de terra resultantes da erosão causada pela inundação em áreas de risco, de agricultura ou impróprias.

As enchentes e inundações no meio urbano têm um alto custo para os cofres públicos. Estes custos são classificados em tangíveis, incluindo os danos físicos (custos de separação e limpeza de prédios, perdas de objetos, mobília, equipamentos, entre outros), custos de emergência (evacuação, reocupação, habitação provisória, etc.) prejuízos financeiros (devido à interrupção do comércio, indústrias) e custos intangíveis, que não têm valor de mercado, como a perda de vida ou obras, prédios históricos e economias (áreas anteriormente cultiváveis ou de cultura permanente).

### *3.3.4 Registro de Inundações e Enchentes em Curitiba*

Até 1990 o Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) era o órgão responsável pelo gerenciamento e pesquisa sobre inundações no âmbito nacional. Com a sua extinção no governo Collor e a informação sistematizada, registros históricos e relatórios sobre inundações desapareceram. Assim, existe uma lacuna relativa a este tópico. Depois de 1990 a defesa Civil (DC) passou a ser a única instituição que possui registros oficiais de inundações da cidade de Curitiba no Paraná. Existem algumas informações no acervo do Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE), Superintendência do Controle de Erosão e Saneamento Ambiental (SUCEAM), Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC) e Instituto de Pesquisa e Planejamento de Curitiba (IPPUC).

Os primeiros registros históricos de inundações na cidade de Curitiba datam da década de 20, tendo como local mais vulnerável a região central compreendida pela Praça Zacarias, Rua Luiz Xavier e Praça Osório.

Naquela época os rios Bigorriho, Ivo e Água Verde, pelos seus talvegues que cruzavam e ainda cruzam a malha urbana central, representavam os locais de maior vulnerabilidade às inundações.

De acordo com Zanella (2006), dentre os principais eventos relacionados a enchentes e inundações ocorridos em Curitiba, podemos destacar:

**Quadro 4 – Registros Pluviométricos na cidade de Curitiba**

DATA	REGISTRO PLUVIOMÉTRICO	BAIRROS AFETADOS
05 de fevereiro de 1982	100,6 mm em 24 horas	Bairros mais afetados foram Uberaba, Boqueirão, Vila Sofia, Santa Quitéria, Vila Oficinas, Santa Felicidade, Santa Cândida, Vila Hauer e Jardim Virgínia
11 de dezembro de 1983	Equivalente a 97,9 mm	As regiões que mais sofreram com a chuva foram o centro de Curitiba e os bairros Cajuru e Guabirota. Os impactos causados pela chuva foram alagamentos, árvores caídas e danos à rede elétrica
14 de maio de 1993	138,00 mm em 24 horas	O município de Pinhais foi o mais atingido. Em Curitiba o bairro Cajuru foi o mais atingido.
07 a 13 de janeiro 1995	Equivalente a 361,8 mm (INMET)	Os bairros mais atingidos foram Vila Verde, Vila Sofia, Uberaba, Weisópolis (Pinhais), Maria Antonieta (Pinhais), Vila Oficinas, Bairro Alto, Bacacheri, BR-277, São Judas Tadeu, Jardim Acrópole, Vila Tarumã (Pinhais) e Jardim Ipê (São José dos Pinhais)
12 de fevereiro de 1997	102,5 mm em 24h	Os bairros mais atingidos foram Boqueirão, Cajuru, Portão, Bairro Alto, Vila Oficinas e Cidade Industrial.
22 de fevereiro de 1999	146,2 mm sendo que 143 mm caíram em apenas 3 horas	Os bairros atingidos foram: Mercês, Santa Felicidade, Bom Retiro, Rebouças, Campina do Siqueira e Boqueirão.
21 de setembro de 2003	Equivalente a 103,3 mm em 24 horas	Os locais mais atingidos foram os bairros da cidade industrial: Vila Jacira, Beija-Flor, Nossa Senhora Aparecida e Terminal de Cargas. Pinheirinho, Santa Cândida, Bairro Alto, Vila Guaira e Vila Acrópole

#### **4. CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS**

As bacias inseridas no perímetro urbano de Curitiba são: do rio Atuba, rio Barigui, rio Belém, rio Passaúna, Ribeirão dos Padilhas e do rio Iguaçu.

##### **4.1 Bacia do Rio Atuba**

O rio Atuba é afluente pela margem direita do rio Iguaçu e possui 27,86km de extensão. Possui nascente na região Serrana do Açungui no município de Colombo com sentido Norte-Sul até sua foz, no rio Iguaçu, no município de São José dos Pinhais.

Sua bacia hidrográfica, cujo canal principal tem uma extensão aproximada de 32,45 km, abrange uma área total de drenagem de cerca de 127,20km<sup>2</sup> e seu principal contribuinte é a bacia do rio Bacacheri, com área de drenagem estimada em 30,68 km<sup>2</sup>.

Situada no primeiro planalto paranaense e ocupando uma área aproximada de 63,70 km<sup>2</sup> no município de Curitiba, a bacia do rio Atuba abrange também parte dos municípios de Almirante Tamandaré, Colombo e Pinhas.

O rio Atuba encontra com o rio Iraí na Área de Proteção Ambiental do Rio Iguaçu (APA Iguaçu), localizada próximo à estação de captação de Água da SANEPAR na rodovia BR-277. Este local é conhecido como o marco zero do rio Iguaçu, ponto que faz divisa de três municípios: Curitiba, São José dos Pinhais e Pinhas.

Os principais afluentes do rio Atuba são: Rio Bairro Alto, Rio Bacacheri, Rio Vila Oficinas, Rio Teófilo Otoni, Rio Jardim Natália, Rio Jardim Mercúrio, Rios Arruda e Monjolo que não estão inseridos no município de Curitiba.

As figuras a seguir mostram a o diagrama unifilar do Sistema de Macrodrenagem da bacia do rio Atuba e o mapa da hidrografia dentro do limite do município de Curitiba:

Figura 2 – Diagrama Unifilar do Sistema de Macrodrenagem – Bacia do rio Atuba

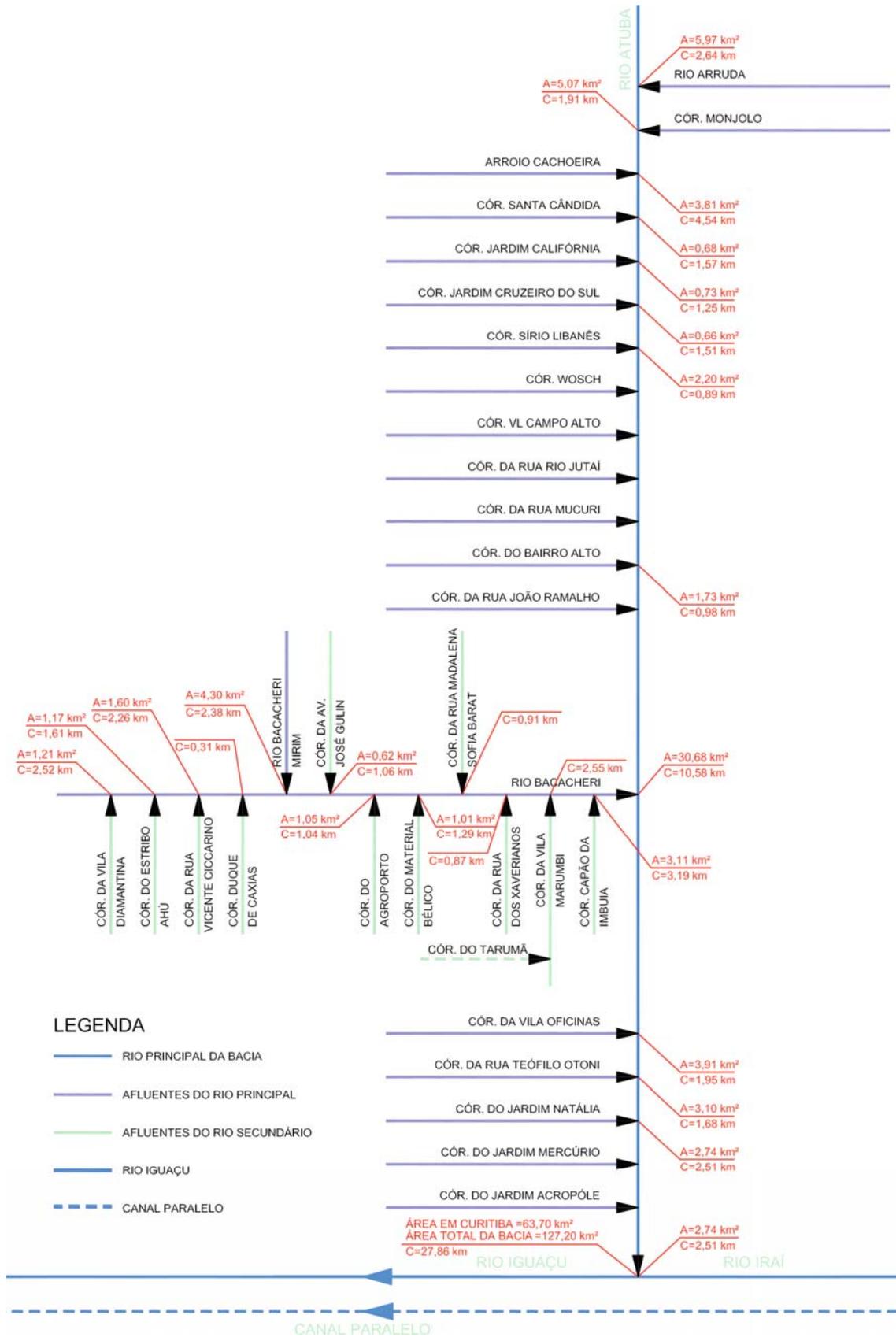
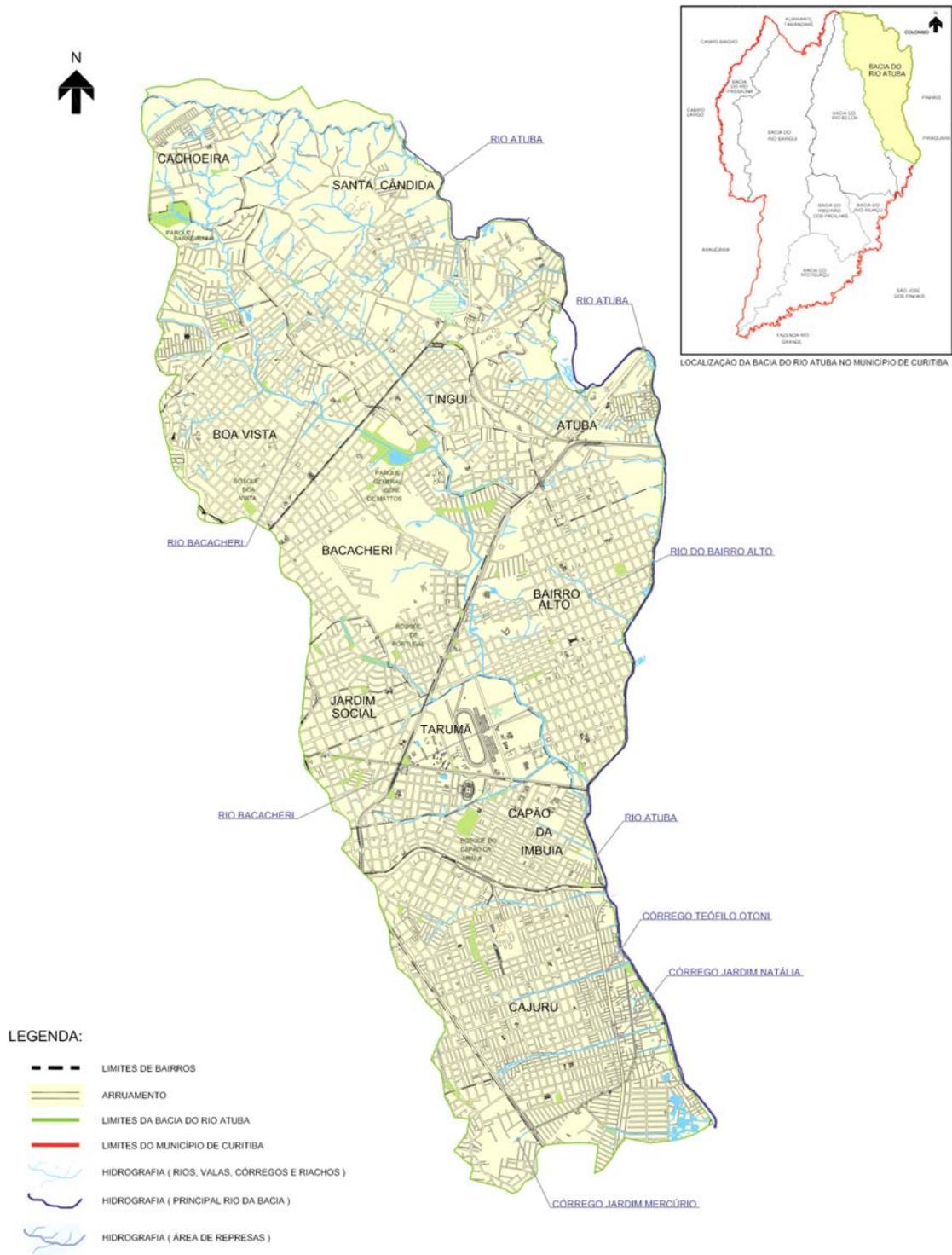


Figura 3 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Atuba



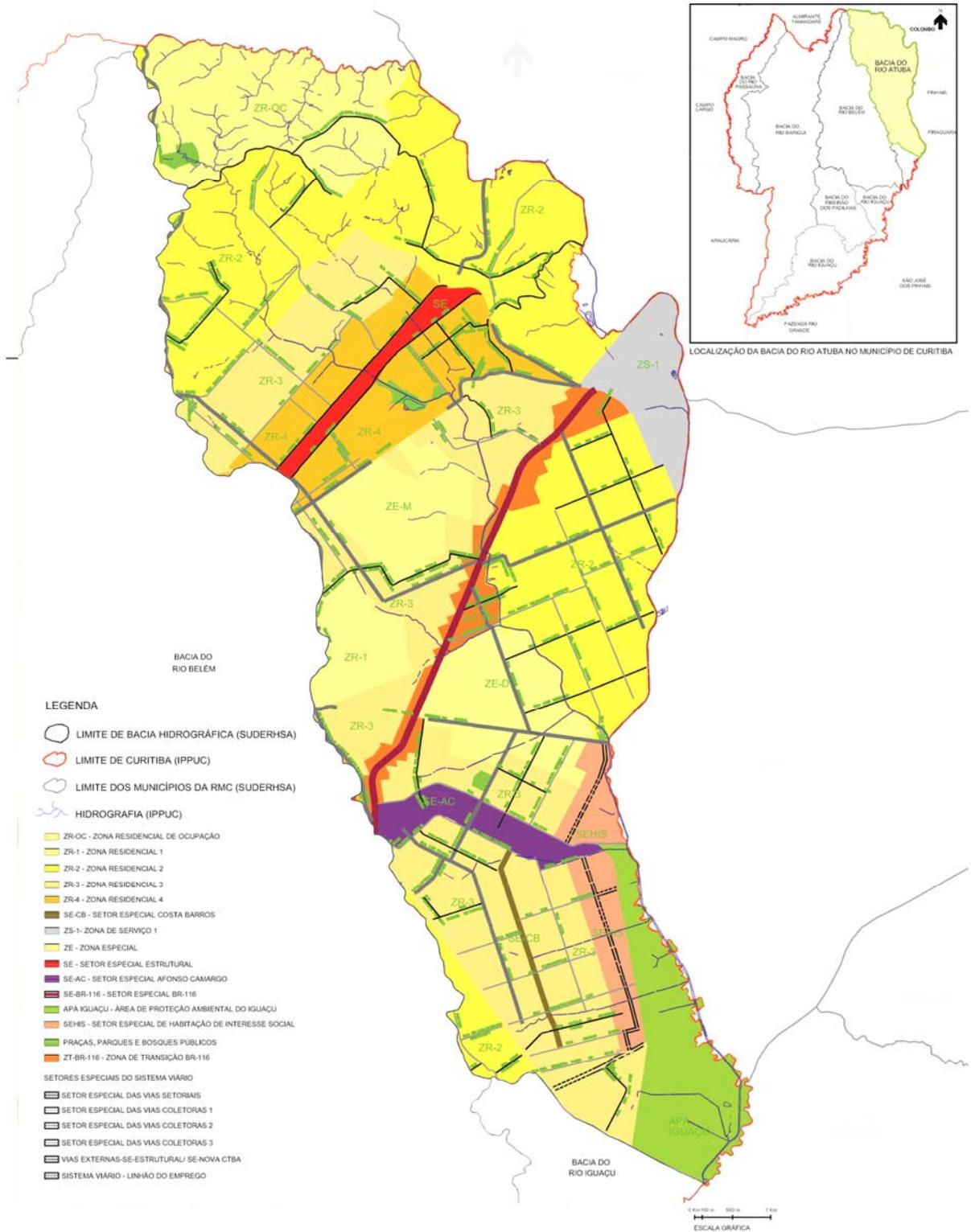
Com relação ao zoneamento urbano de Curitiba determinado no Plano Diretor Urbano, a bacia do Rio Atuba possui parte significativa de sua área regulamentada como zona residencial (ZR), sendo expressiva a área classificada como ZR-OC (zona residencial de ocupação controlada), com taxa de permeabilidade do solo regulamentada é de 50%. Possui parte da APA do Iguaçu e poucas áreas de praças. Estão presentes nesta bacia zonas de como a ZT-BR116 e setor especial estrutural, esta última com regulamentação que permite a verticalização e impermeabilização do solo.

As áreas verdes e de lazer, na bacia do rio Atuba, perfazem um total de 8.642.990 m<sup>2</sup>, que representam um índice de 29,42 m<sup>2</sup> de área verde/habitante (SMMA, 2007). Destacam-se entre os parques e bosques, os seguintes: Parque Barreirinha, Parque do Atuba, Parque Bacacheri, Parque Santa Clementina, Bosque de Portugal, Bosque do Capão da Imbuia.

Dados obtidos com a análise do canal existente e dos estudos hidrológicos de condução e detenção, indicam que a bacia do Rio Atuba se encontra sob forte efeito de erosão nas cabeceiras, o que se comprova com a elevada inclinação do álveo e a profundidade do curso principal. O fluxo transporta o material erodido até próximo da foz, assoreando o canal e diminuindo a capacidade de escoamento. A mudança de traçado do canal do rio Atuba a montante do rio Iguaçu, feita para proteção da ETE Sanepar provavelmente afeta a dinâmica de sedimentação, aumentando o ritmo do assoreamento.

A figura a seguir mostra o zoneamento, uso e ocupação do solo na região da bacia do rio Atuba:

**Figura 4 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Atuba**



## 4.2 Bacia do Rio Barigui

O rio Barigui, principal canal da bacia, nasce no município de Almirante Tamandaré, na serra da Betera na cota 1.080 metros. Cruza a região central do município de Almirante Tamandaré, desenvolve-se cruzando a região central do município de Curitiba no sentido Norte-Sul e tem sua foz na cota 870 metros à margem direita do rio Iguaçu, no município de Araucária.

Com uma extensão total estimada em 60 km, tem seu caminho iniciado no município de Curitiba pelo bairro Abranches, passando Taboão, Pilarzinho, Vista Alegre, Cascatinha Mercês, Bigorriho, Santo Inácio, Mossunguê, Campina do Siqueira, Seminário, Campo Comprido, Santa Quitéria, Fazendinha, Cidade Industrial, Tatuquara, Campo do Santana e finalmente no bairro do Caximba, alcançando o Rio Iguaçu no município de Araucária. A extensão estimada percorrida dentro do município de Curitiba é 45 km. A área total de drenagem ocupada pela bacia dentro do município de Curitiba representa cerca de 35% da área de bacias dentro do município. O que evidencia sua importância no desenvolvimento social, político e econômico do município.

Os afluentes do rio Barigui são: Rio Cascatinha, Rio Mossunguê, Rio Campo Comprido, Rio Campina do Siqueira, Rio Hermes Fontes, Rio Vila Izabel, Rio Vila Formosa, Rio Capão Raso, Rio Campo do Santana.

Destacam-se entre os parques e bosques, os seguintes: Parque Barigui, Parque Tingui, Parque Tanguá, Bosque da Fazendinha, Bosque do Trabalhador, Bosque da Vista Alegre, Bosque Italiano.

As figuras a seguir mostram a o diagrama unifilar do Sistema de Macrodrenagem e o mapa da hidrografia da bacia do rio Barigui inserida no município de Curitiba:

Figura 5 – Diagrama Unifilar do Sistema de Macrodrenagem – Bacia do rio Barigui

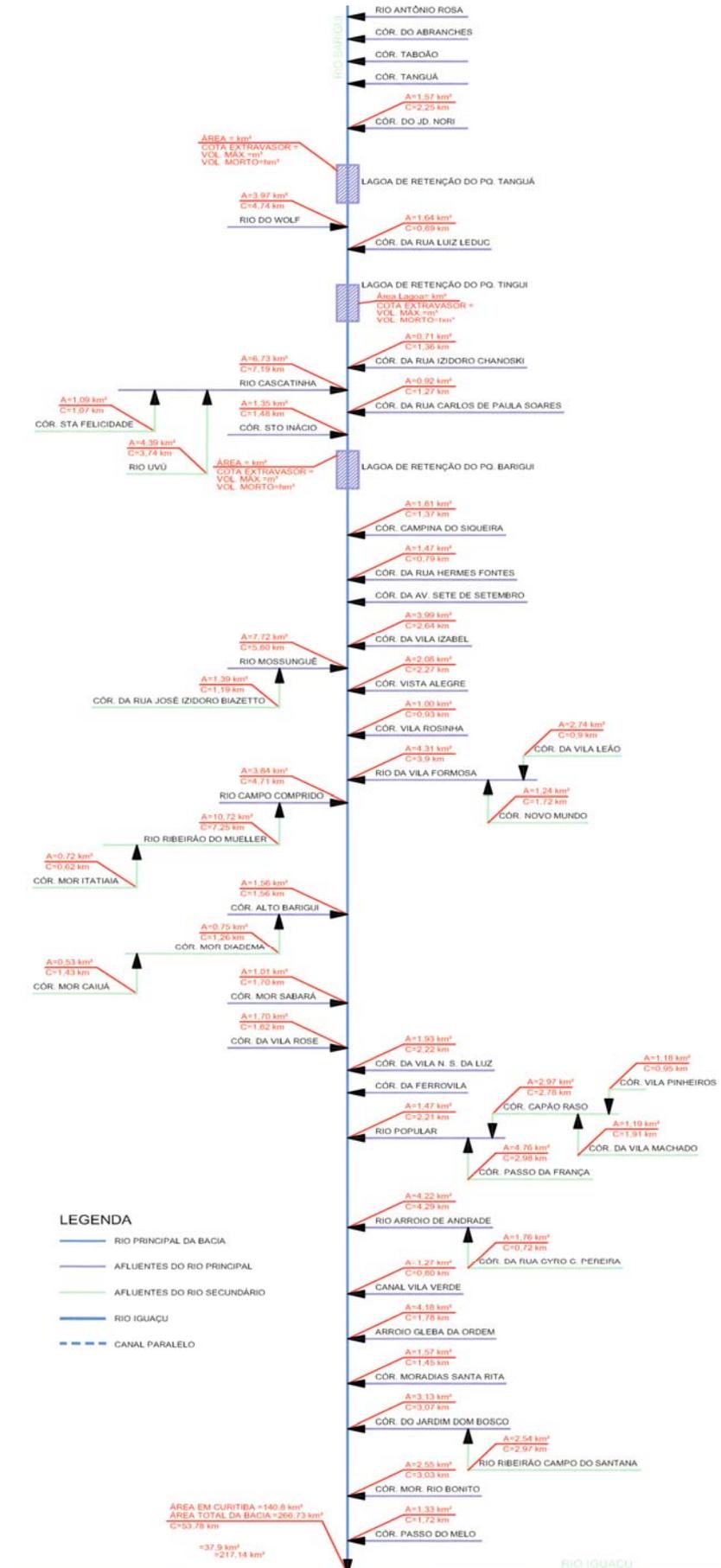
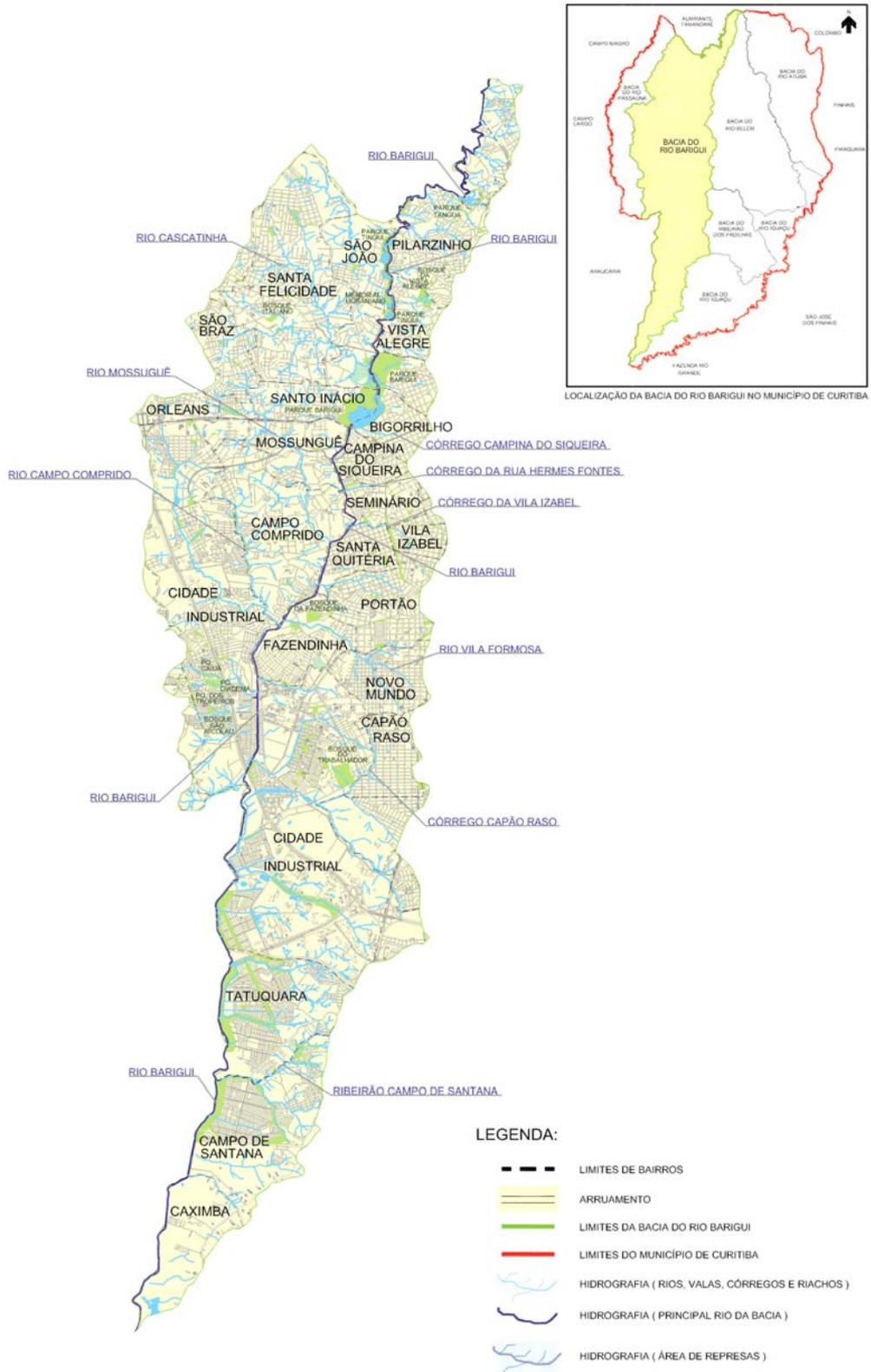


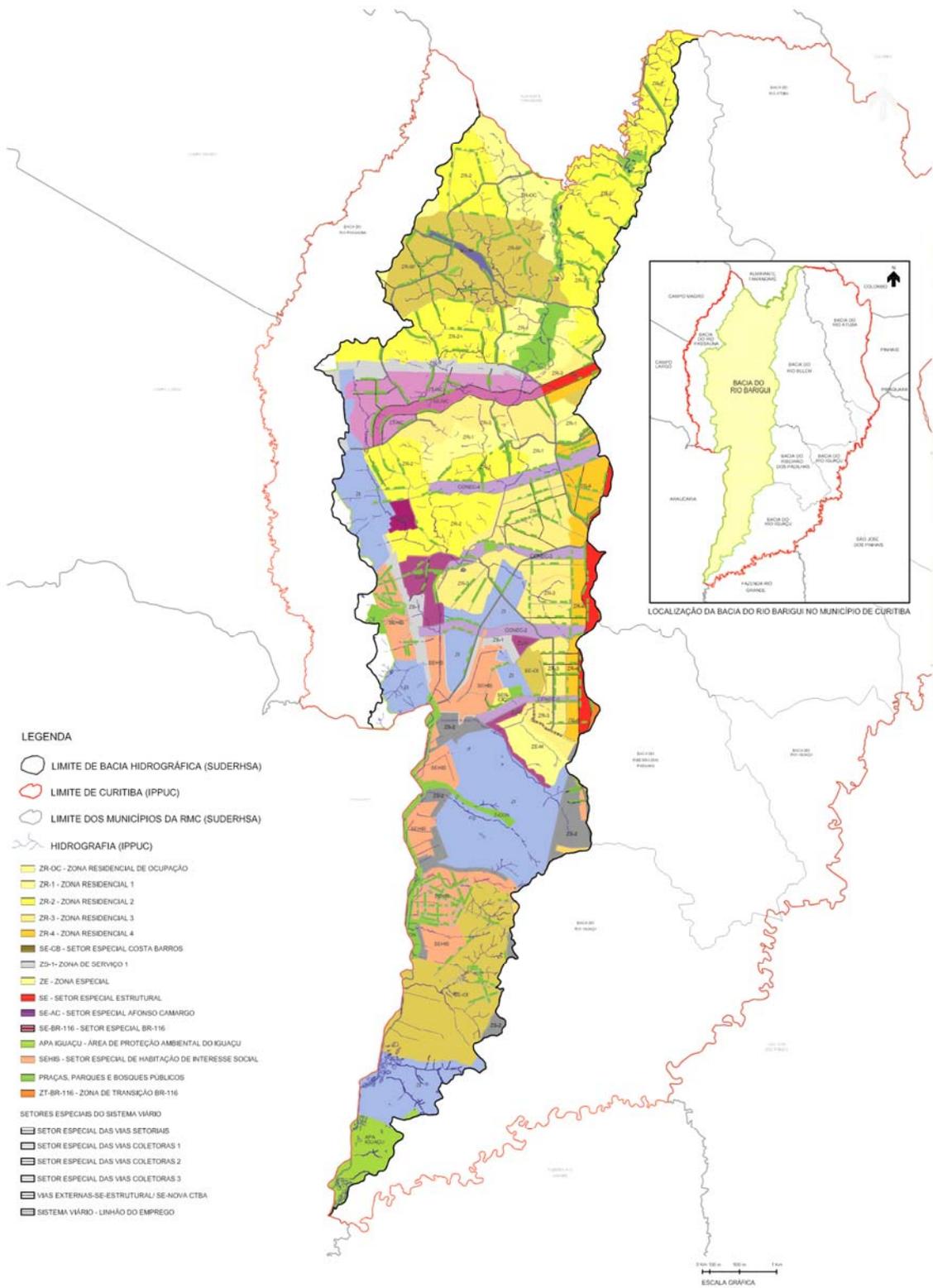
Figura 6 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Barigui



Há uma predominância no uso rural do solo nas regiões da bacia próximas a no município de Almirante Tamandaré, com algumas ocorrências de núcleos urbanos dispersos e baixa densidade urbana. Na parte central do rio, no município de Curitiba, a ocupação urbana é densa, a taxa de impermeabilização é alta e há predominância dos usos do solo para fins residenciais, de comércio e serviços. Mais ao sul, em áreas ainda pertencentes ao município de Curitiba ao longo da margem esquerda e em áreas pertencentes ao município de Araucária ao longo da margem direita, há predominância do uso do solo para fins industriais, localizando-se nesta região: a Cidade Industrial de Curitiba (CIC), parte da Cidade Industrial de Araucária (CIA), a Refinaria da Petrobrás (Repar), etc. Os últimos sete quilômetros são caracterizados sua faixa de preservação ainda desocupada, predominantemente rural. Porém, há previsões de crescimento populacional nesta área.

A Figura a seguir mostra o zoneamento, uso e ocupação do solo na região da bacia do rio Barigui:

**Figura 7 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Barigui**



### 4.3 Bacia do Rio Belém

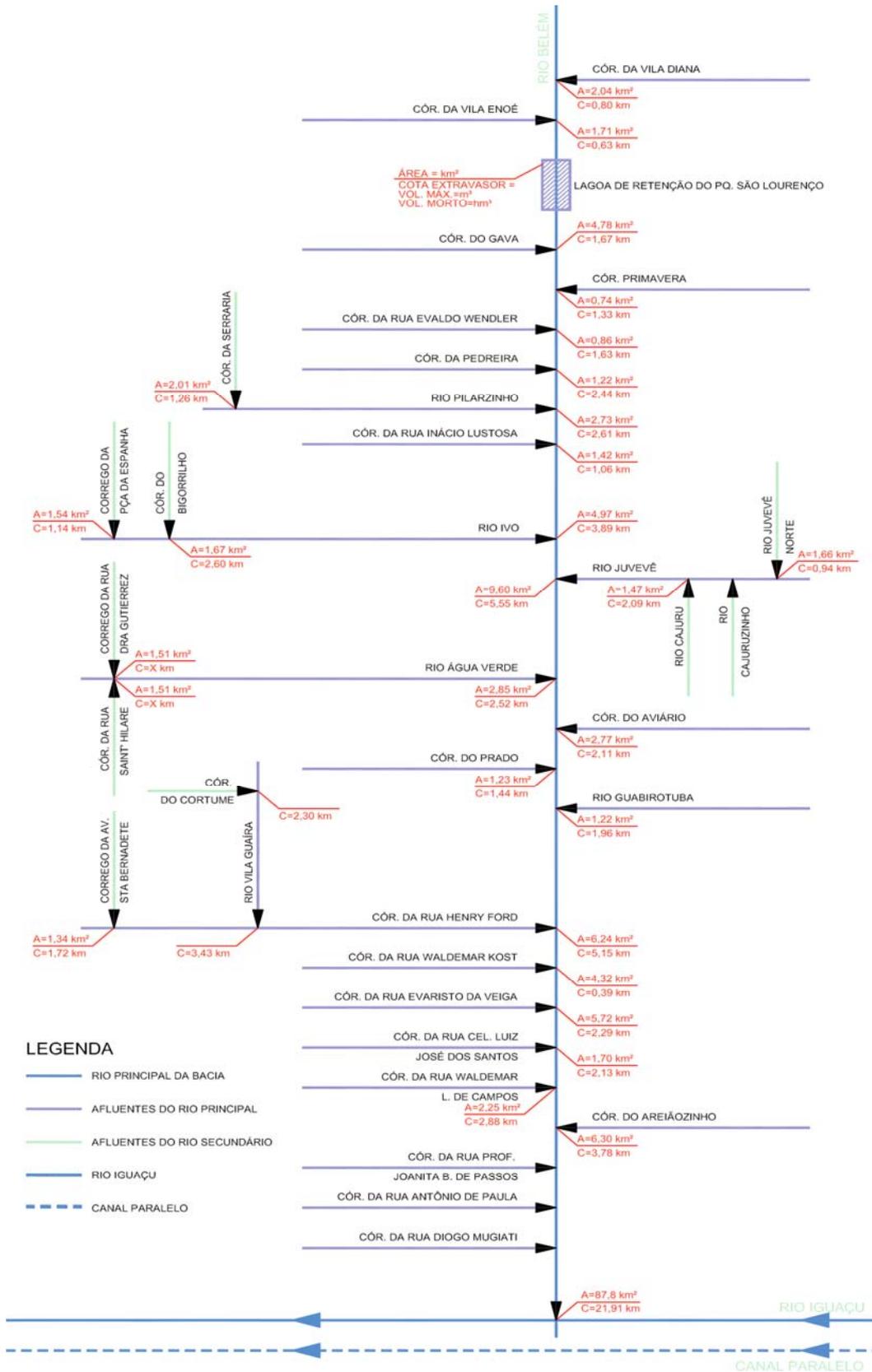
A bacia do rio Belém está localizada inteiramente dentro do município de Curitiba, na região central. Tem como seu principal canal o rio Belém com extensão de 17,13Km. Este nasce no bairro Cachoeira a 900 metros do nível do mar, atravessa a cidade de norte a sul, percorrendo vários bairros da cidade até desaguar no rio Iguaçu, no bairro Boqueirão. A bacia do Rio Belém importante relevância, pois ocupa uma área de drenagem de 87,80 km<sup>2</sup>, equivalente a 20,32% da área total ocupada por bacias no município.

Os principais afluentes considerados do rio Belém, como pode ser visto na Figura XX, são: Rio Areiãozinho, Córrego Evaristo da Veiga, Rio Pinheirinho, Rio Água Verde, Rio Juvevê, Rio Ivo, Rio Pilarzinho, Rio Vila Guaíra, Rio Juvevê do Norte.

Devido à intensa impermeabilização das áreas de drenagem da Bacia Hidrográfica Urbana do Rio Belém, por meio da expansão e urbanização da região central do município de Curitiba, a ocorrência de enchentes tem se tornado cada vez mais freqüente na bacia deste rio. Para o controle e estudo das precipitações pluviais na Bacia Hidrográfica Urbana do Rio Belém, está instalada no Campus Curitiba, da PUCPR, a Estação Pluviográfica Curitiba Prado Velho, com registros diários das alturas e intensidades das precipitações pluviométricas.

A Figura a seguir mostra a o diagrama unifilar do Sistema de Macrodrenagem da bacia do rio Belém:

Figura 8 – Diagrama Unifilar do Sistema de Macrodrenagem - Bacia do rio Belém



Na bacia do rio Belém existem quatro parques importantes e outras áreas de preservação, recreação e lazer para a comunidade, pode-se destacar: Parque Nascentes do Belém, Parque São Lourenço (drenagem superficial), Bosque do Papa (trecho canalizado do rio), Passeio Público (utilizado antigamente como bacia de retenção para diminuição do impacto de cheia causado pelo rio Ivo), Jardim Botânico, Ópera de Arame, Pedreira Paulo Leminski, Bosque do Alemão (próximo à nascente do rio Pilarzinho, afluente do rio Belém).

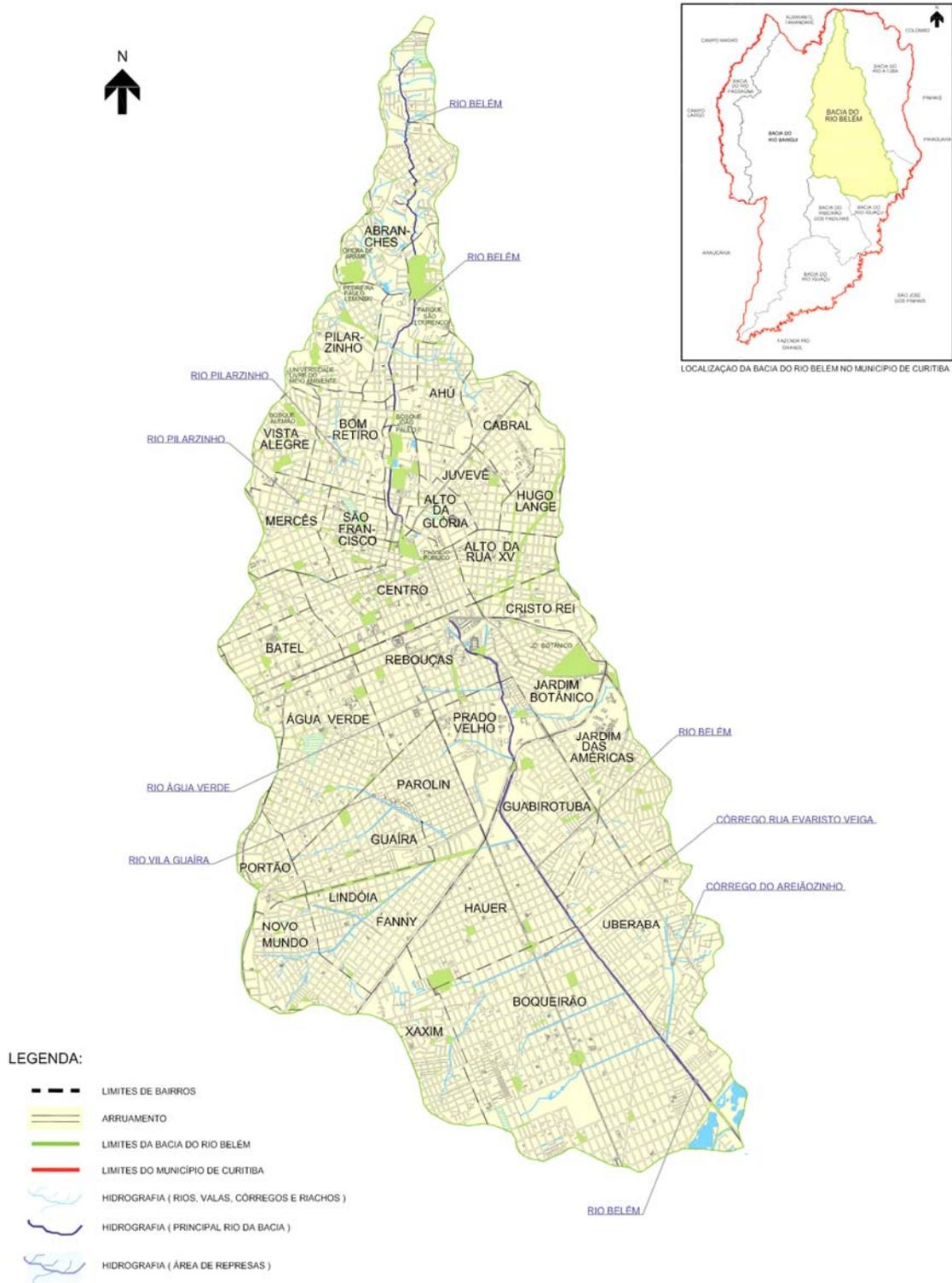
Visando a proteção da área, na nascente do rio Belém foi criado o Parque Nascente do Belém, e com o objetivo de promover a recuperação ambiental do rio. No seu percurso passa pelo Parque São Lourenço, pelo Bosque do Papa e começa a ser canalizado no bairro Centro Cívico. Reaparece na confluência de dois afluentes importantes o rio Ivo e o rio Juvevê, também canalizados, ao lado da Rodoferroviária. O rio Belém deságua no rio Iguaçu na cota 870 metros do nível do mar, dentro do Município de Curitiba, nas proximidades do Parque Iguaçu.

Com relação ao zoneamento urbano de Curitiba determinado no Plano Diretor Urbano, nota-se que grande parte da área da bacia do Rio Belém está sujeita à regulamentação da zona residencial. Estão presentes na área da bacia setores especiais estruturais e toda a zona central de Curitiba, cuja regulamentação permite a verticalização e impermeabilização do solo.

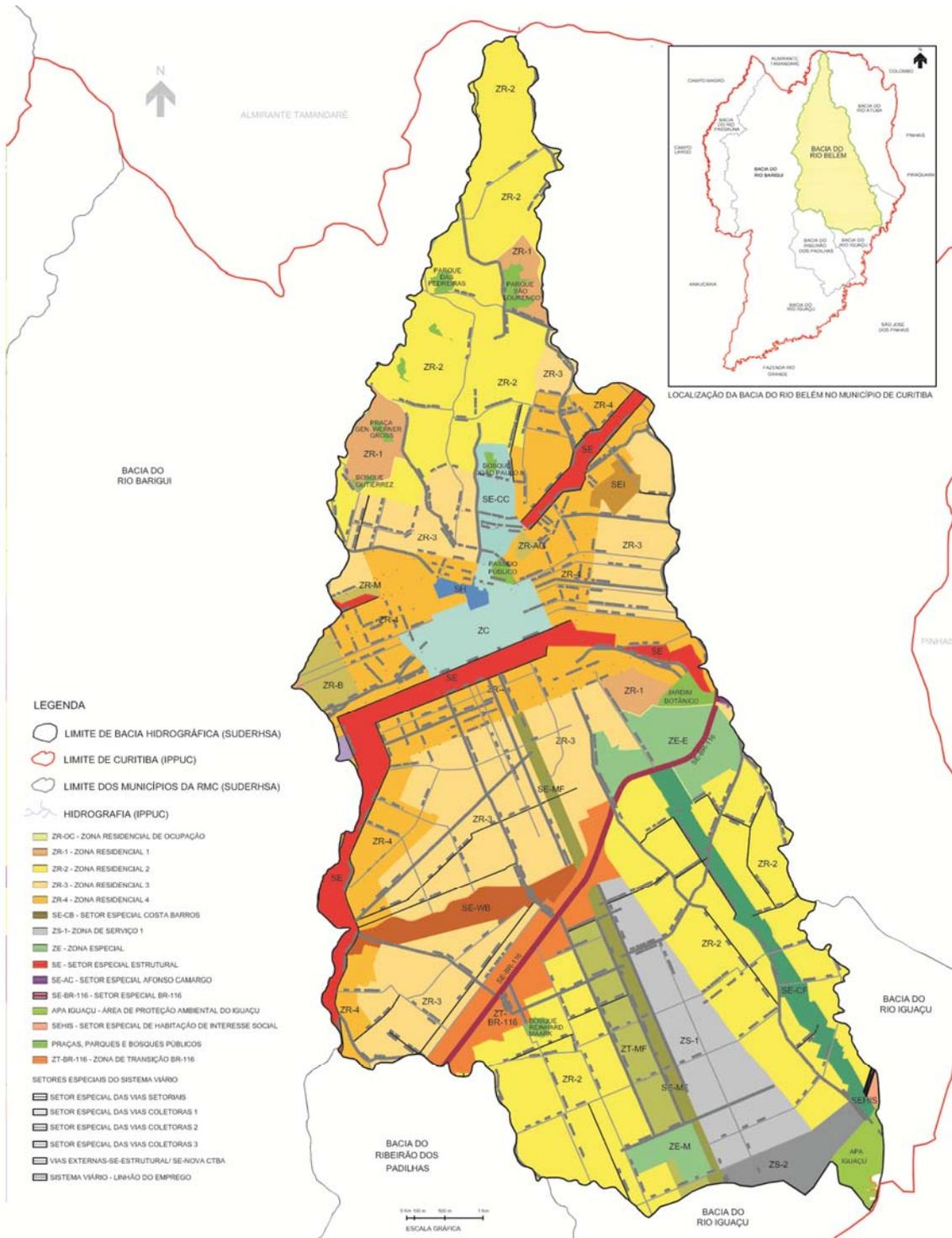
Destacam-se entre os parques e bosques, já citados, os seguintes: Parque Barigui, Parque Tingui, Parque Tanguá, Bosque da Fazendinha, Bosque do Trabalhador, Bosque da Vista Alegre, Bosque Italiano.

As figuras a seguir mostram o mapa da hidrografia e o zoneamento, uso e ocupação do solo na região da bacia do rio Belém:

Figura 9 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Belém



**Figura 10 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Belém**



#### **4.4 Bacia do Ribeirão dos Padilhas**

O Ribeirão dos Padilhas é afluente do rio Iguaçu pela margem direita e tem sentido Norte-Sul. A extensão de sua bacia é de 217 km<sup>2</sup> e abrange os municípios de Almirante Tamandaré, Campo Magro, Curitiba e Araucária. A bacia do rio Passaúna é um dos mananciais de água para abastecimento público da Região Metropolitana de Curitiba. A água é captada pela Sanepar, no reservatório formado pela represa do Passaúna.

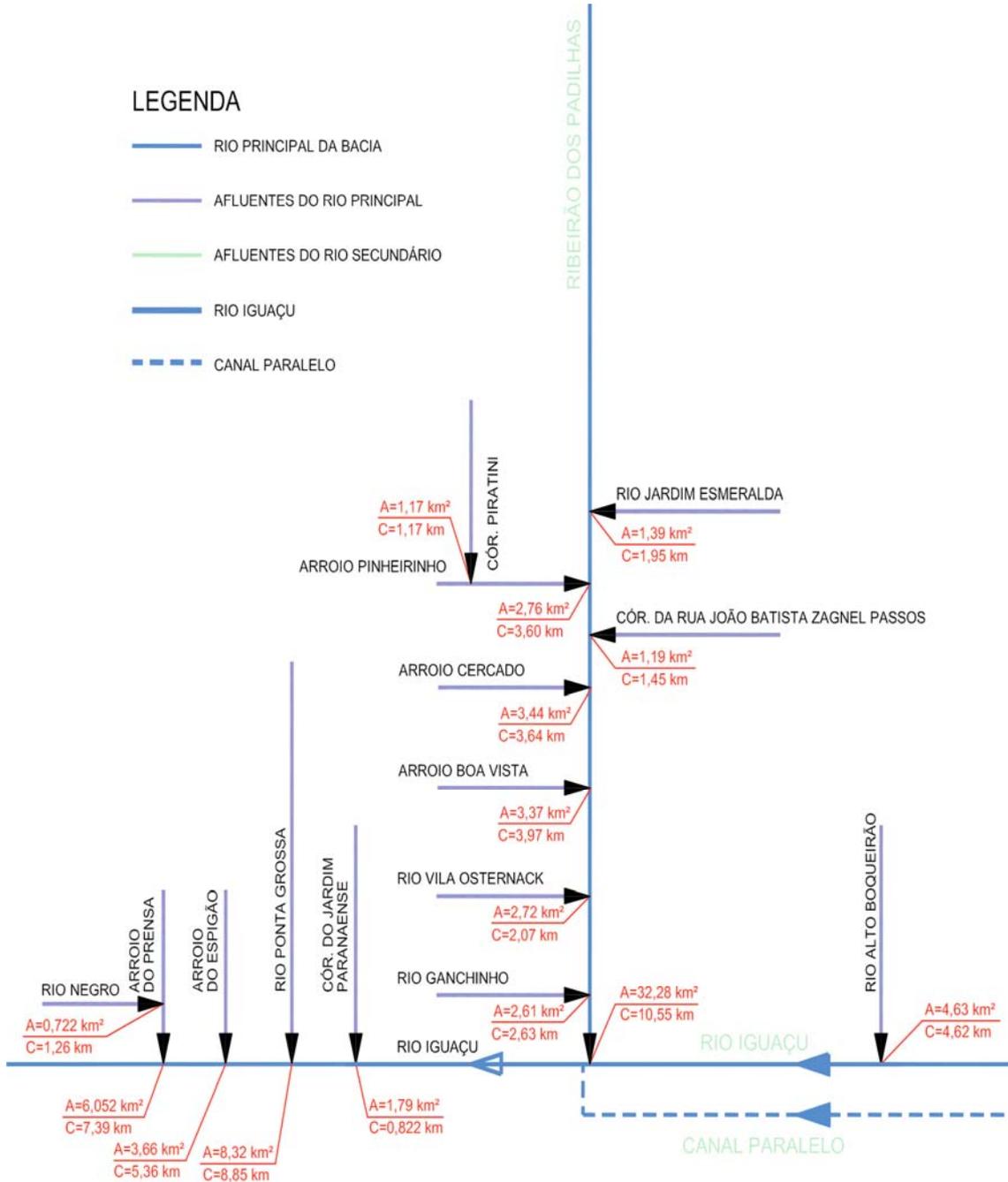
Tem como principais afluentes: Arroio Pinheirinho, Arroio Cercado, Arroio Boa Vista, Rio Ganchinho, Córrego do Jardim Esmeralda, Rio Vila Osternack, Córrego da Rua João Batista Zagonel Passos, Córrego Piratini.

A sua bacia hidrográfica, totalmente situada na parte sul/sudeste do município de Curitiba, abrange uma extensão territorial de 32,28 km<sup>2</sup> e possui extensão estimada de 10,55 km. Nasce no bairro Capão Raso próximo a Avenida Winston Churchill. É divisor de águas com a bacia do Rio Barigui e deságua no rio Iguaçu no bairro Ganchinho.

Compreende, total ou parcialmente, os seguintes bairros: Capão Raso, Xaxim, Pinheirinho, Sítio Cercado, Alto Boqueirão e Ganchinho.

As Figuras a seguir mostram o diagrama unifilar do Sistema de Macrodrenagem e o mapa da hidrografia da bacia do Ribeirão dos Padilhas inserida no município de Curitiba:

Figura 11 – Diagrama Unifilar – Bacia do Ribeirão dos Padilhas





A bacia do Ribeirão dos Padilhas compreende, de acordo à Lei de Zoneamento Uso e Ocupação do Solo, as seguintes zonas e setores: Zona Residencial 2 (ZR-2), Zona Residencial 3 (ZR-3), Zona Residencial 4 (ZR-4), Zona de Transição da BR-116 (ZT-116), Setor especial de Habitação de Interesse Social (SEHIS), Setor especial de Linhão do Emprego (SE-LE), Setor Especial da BR-116 (SE-116). Parte reduzida da Área de Proteção Ambiental do Iguaçu (APA-IGUAÇU), Zona Residencial de Ocupação Controlada (ZR-OC) e uma parte insignificante do setor Estrutural Sul (SE). As ocupações irregulares estão mais concentradas na Zona Residencial-2, Setor Especial de Habitação de Interesse Social.

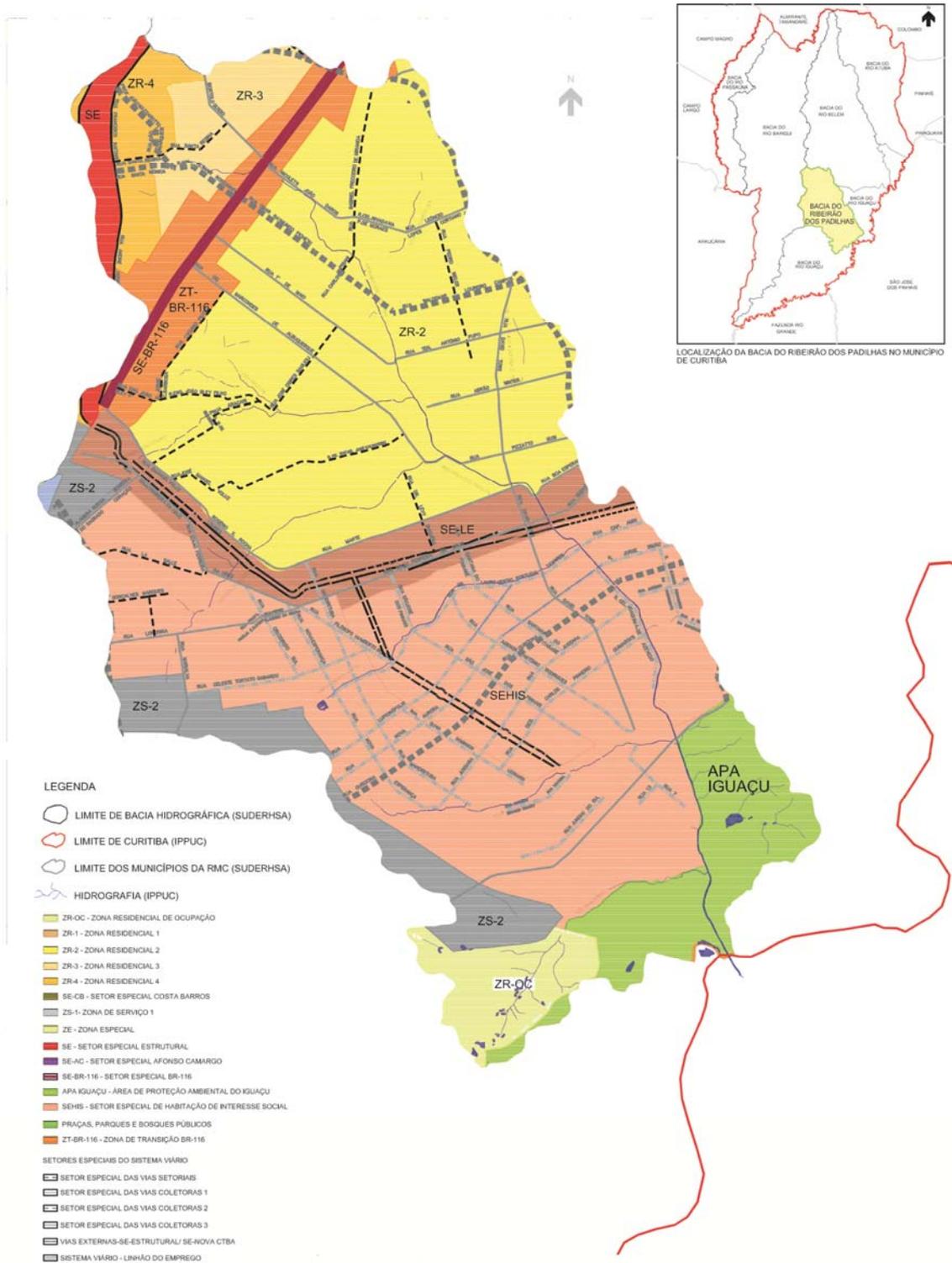
As principais ocupações que estão em áreas de risco de inundações são aquelas as margens do Ribeirão dos Padilhas no Bairro Xaxim, Sítio Cercado e Ganchinho.

Segundo dados obtidos a partir do Plano Municipal de Regularização Fundiária em Área de Proteção Permanente, num total de 65.702 domicílios nesta bacia, 42 são assentamentos espontâneos, 4 são lotes clandestinos e 86 PROLOCAR e desses 60% das residências estão em Área de Preservação Permanente (APP). As ocupações irregulares estão mais concentradas na Zona Residencial-2, Setor Especial de Habitação de Interesse Social. Sendo esta a bacia, em termos proporcionais, com maior número ocupações em áreas sujeitas à enchente.

A área industrial segue principalmente o traçado da rodovia Régis Bittencourt, influenciando no impacto ambiental negativo por se tratar da localização de nascentes; foram constadas canalizações precárias do esgoto diretamente nos cursos fluviais. Dentre as bacias hidrográficas de Curitiba, é a que têm a menor incidência de áreas verdes e de bosques, perfazendo um total de 2.859.791m<sup>2</sup>, índice de 13,36 m<sup>2</sup> de área verde/habitante. As áreas de lazer representam um total de 407.998m<sup>2</sup> nesta bacia, sendo o Parque do Semeador e o uma parte do Jardim Zoológico estão nesta bacia.

A figura a seguir mostra o zoneamento, uso e ocupação do solo na região:

Figura 13 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Ribeirão dos Padilhas



## 4.5 Bacia do Rio Passaúna

O rio Passaúna abrange cerca de 48,3 Km e é afluente pela margem direita do Rio Iguaçu. A extensão de sua bacia é de 217 km<sup>2</sup>, nos municípios de Almirante Tamandaré, Campo Magro, Curitiba e Araucária.

A bacia do rio Passaúna é um dos mananciais de água para abastecimento público da Região Metropolitana de Curitiba. A água é captada pela Sanepar, no reservatório formado pela represa do Passaúna. Através do Decreto Estadual n.º 458 de 05/06/1991 foi instituída a Área de Proteção Ambiental – APA do Rio Passaúna, visando à preservação deste manancial.

As figuras a seguir mostram a o diagrama unifilar do Sistema de Macrodrenagem e o mapa da hidrografia da bacia do Rio Passaúna inserida no município de Curitiba:

**Figura 14 – Diagrama Unifilar – Bacia do Rio Passaúna**

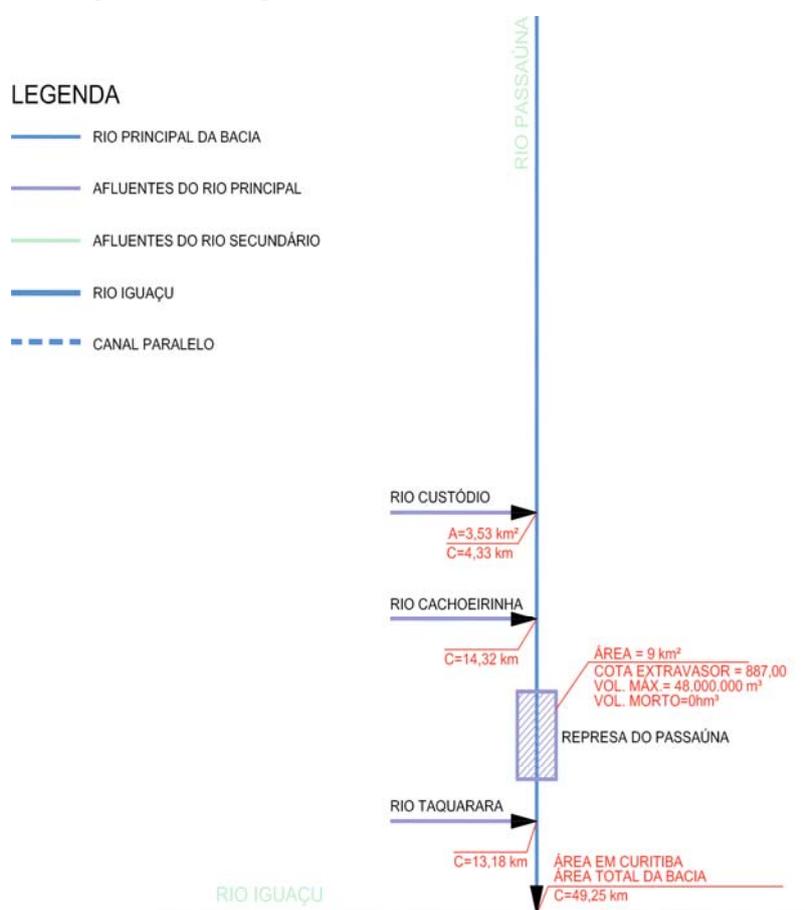


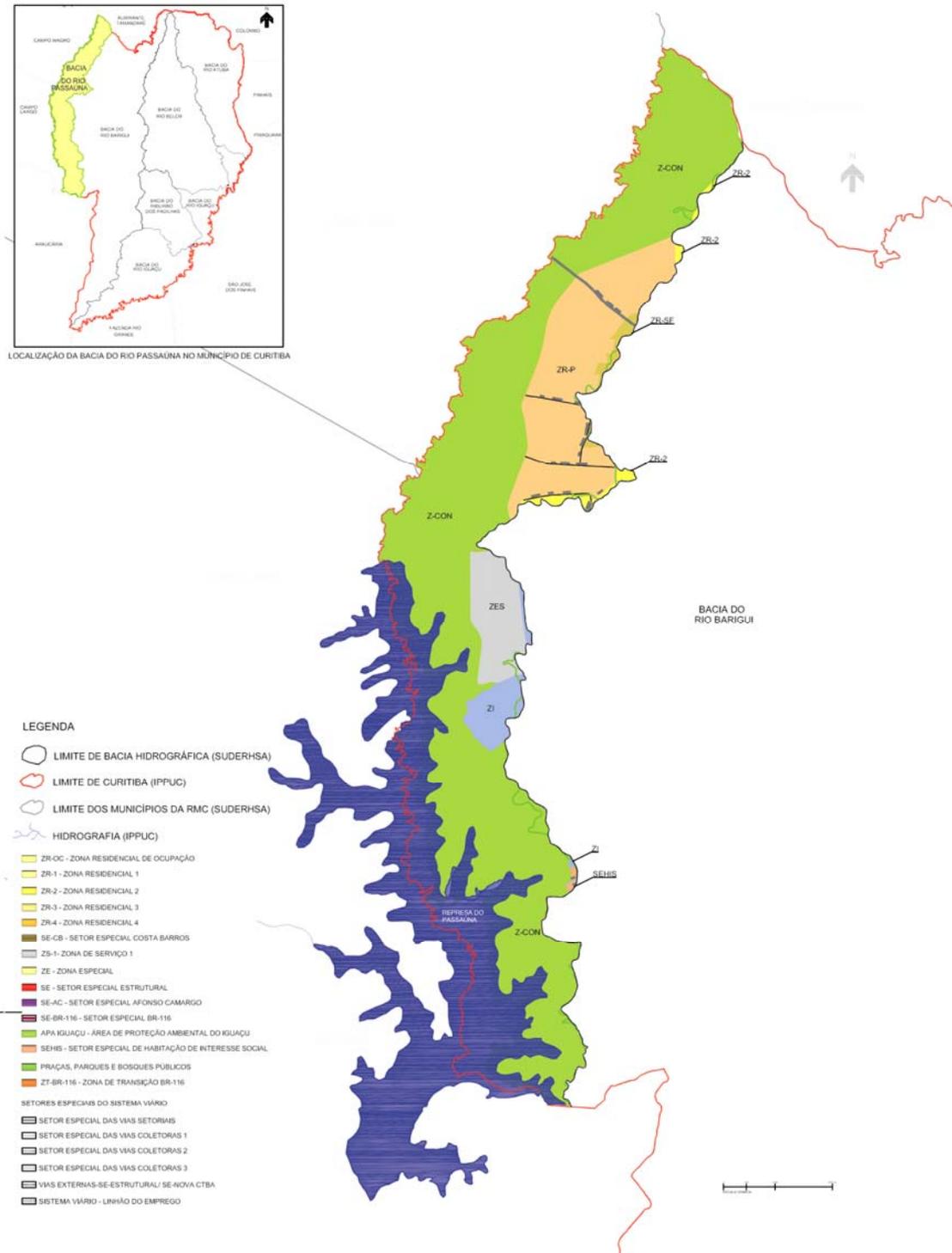
Figura 15 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Passaúna



Através do Decreto Estadual n.º 458 de 05/06/1991 foi instituída a Área de Proteção Ambiental – APA do Rio Passaúna, visando à preservação deste manancial. Embora existam alguns núcleos urbanos dispersos na bacia, o seu uso é predominantemente rural. Segundo dados de 1999, a população residente nestes núcleos está estimada em 72 mil habitantes.

A Figura a seguir mostra o zoneamento, uso e ocupação do solo na região da bacia do Rio Passaúna:

**Figura 16 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Passaúna**



#### **4.6 Bacia do Rio Iguaçu**

A bacia do rio Iguaçu, no município de Curitiba é composta por 4 sub-bacias: sub-bacia ribeirão Ponta Grossa, sub-bacia arroio Espigão, sub-bacia arroio da Prensa e sub-bacia rio alto Boqueirão.

O rio Alto Boqueirão é afluente do rio Iguaçu pela margem direita. A sua bacia hidrográfica, totalmente situada no município de Curitiba, abrange área de cerca de 6 km<sup>2</sup>.

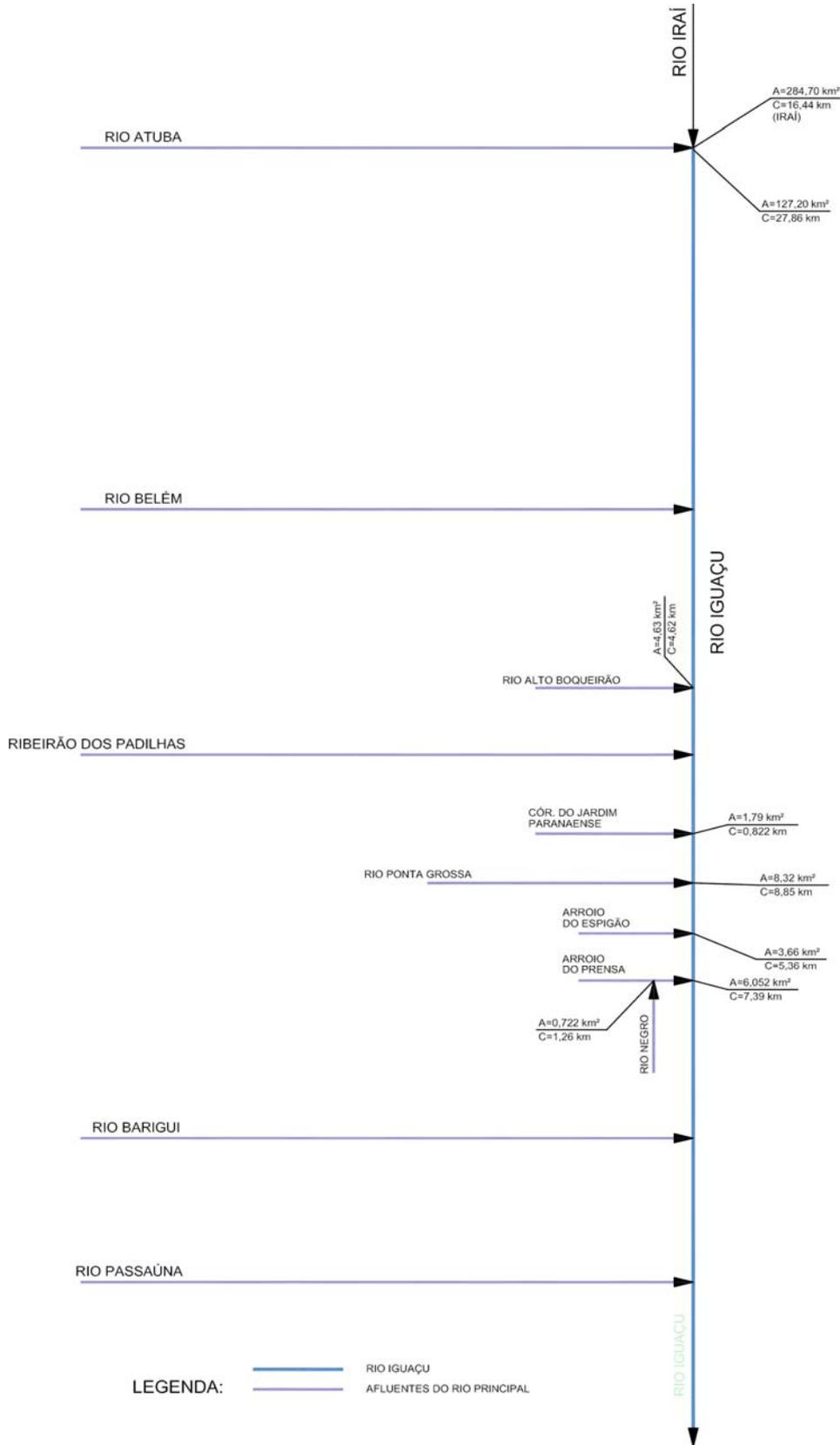
O ribeirão Ponta Grossa é afluente do rio Iguaçu pela margem esquerda. A sua bacia hidrográfica situada no município de Curitiba, abrange uma extensão territorial de cerca de 11,8 km<sup>2</sup>.

O arroio Espigão é afluente pela margem direita do rio Iguaçu. A sua bacia hidrográfica abrange uma extensão territorial de cerca de 6 km<sup>2</sup>. Esta bacia localiza-se inteiramente dentro do município de Curitiba.

O arroio da Prensa é afluente do rio Iguaçu pela margem direita. A sua bacia hidrográfica, totalmente situada no município de Curitiba, abrange cerca de 10 km<sup>2</sup>.

A figura a seguir mostra a o diagrama unifilar do Sistema de Macrodrenagem da bacia do Rio Iguaçu.

Figura 17 – Diagrama Unifilar – Bacia do Rio Iguaçu

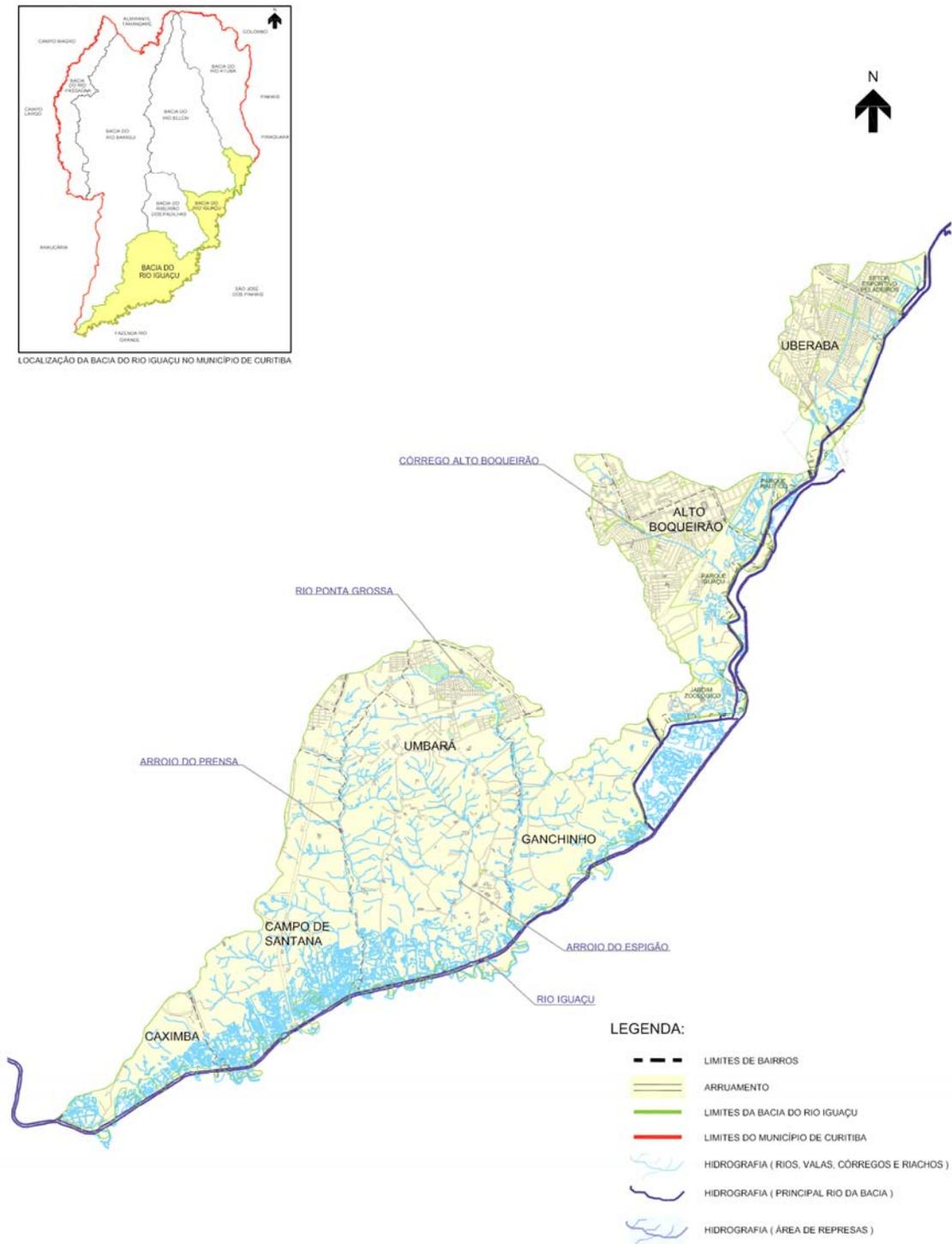


A Bacia do rio Iguaçu tem importância internacional, tendo sua nascente no município de Piraquara na cota 908 metros acima do nível do mar. Tem como seu canal principal o rio Iguaçu, percorrendo uma extensão de cerca de 1.100 km até desaguar no rio Paraná na cota 78 metros acima do nível do mar, na cidade de Foz do Iguaçu, localizada no extremo oeste do estado do Paraná. Devido a sua enorme extensão, esta Bacia está dividida em três bacias: bacia do Alto Iguaçu, bacia do Médio Iguaçu e bacia do Baixo Iguaçu

A bacia do Alto Iguaçu é composta por 18 municípios, entre eles: Almirante Tamandaré, Araucária, Campo Largo, Curitiba, São José dos Pinhais. Entretanto, para este manual a região de interesse está restringida a parcela da inserida dentro do município de Curitiba, com cerca de 40 km de extensão de seu canal principal.

A figura a seguir mostra a hidrografia da bacia do Rio Iguaçu que está inserida no município de Curitiba:

**Figura 18 – Mapa da hidrografia da Bacia do Rio Iguçu**

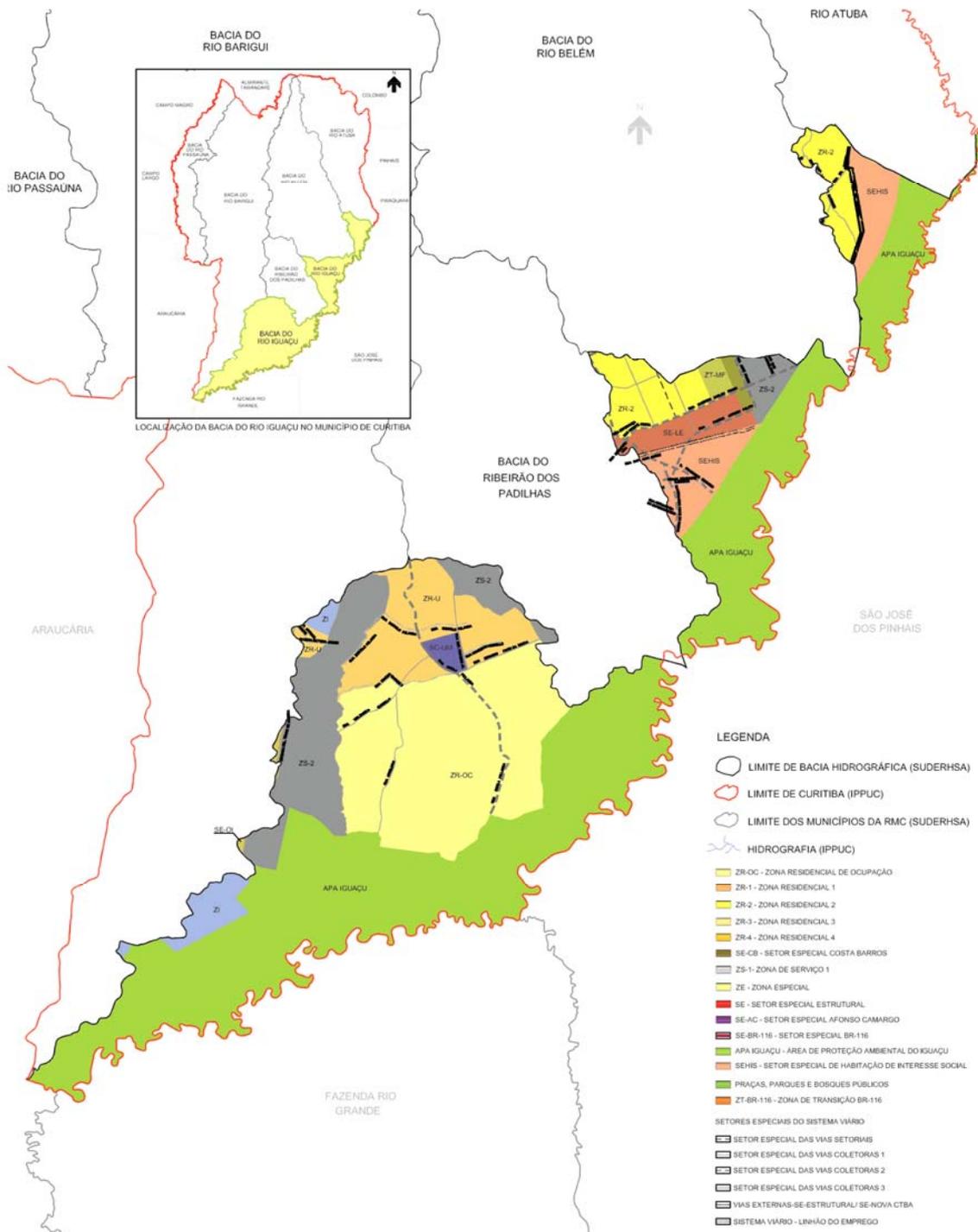


Com relação ao zoneamento urbano de Curitiba determinado no Plano Diretor Urbano, grande parte da área da bacia do Rio Iguçu pertence à área de Proteção Ambiental (APA) do Iguçu, sujeita à regulamentação ambiental específica. Há também parte da zona industrial de Curitiba ali localizada, bem

como zonas habitacionais de interesse social (ZHIS. Na bacia do rio Iguaçu também se encontra uma área ZR-OC (zona residencial de ocupação controlada), cuja taxa de permeabilidade do solo regulamentada é de 50%.

A figura a seguir mostra o zoneamento, uso e ocupação do solo na região da bacia do Rio Passaúna:

**Figura 19 – Mapa de zoneamento e ocupação do solo da Bacia do Rio Iguaçu**



## **5. CONCEITOS E DEFINIÇÕES SOBRE DRENAGEM URBANA**

### **5.1 Apresentação**

O sistema de drenagem faz parte do conjunto de melhoramentos públicos que compõem a infraestrutura básica que deve existir em uma área urbana, assim como as redes elétricas, sistema público de água e de esgotos sanitários e sistema de coleta de resíduos sólidos.

Para que o acúmulo não seja danoso à comunidade, deve-se permitir o escoamento desta água através de tubulações e galerias, planejadas, projetadas e construídas de modo a minimizar os riscos e os prejuízos decorrentes de inundações.

O escoamento da água da chuva sempre ocorre independente da existência de um sistema de drenagem; portanto a qualidade e o desempenho desse sistema é que determinará se os benefícios ou prejuízos à população serão maiores ou menores.

Entendida como um sistema, a drenagem de uma área urbana pode ser classificada de acordo com seu alcance e tamanho em sistema de micro e de macrodrenagem.

Ambos obedecem às mesmas regras e equações que determinam as vazões de escoamento, apenas que em função do porte e amplitude devem ser planejados e projetados sob critérios diferenciados.

## 5.2 Regimes de Escoamento

### 5.2.1. Definições

O escoamento em um rio, arroio ou canalização depende de vários fatores que podem ser agregados em dois conjuntos:

- Condicionantes de jusante: atuam no sistema de drenagem de forma a modificar o escoamento a montante. Estes condicionantes são obstruções parciais que reduzem a vazão de rios, tais como reservatórios, pontes, aterros, mudança de seção ou o próprio oceano.
- Condicionantes locais: são as características físicas de cada seção do rio tais como área, largura, seção, perímetro e rugosidade das paredes. Estas características definem a capacidade de escoamento em cada seção do rio; quanto maior a capacidade de escoamento, menor será o nível de água.

O escoamento pode acontecer de acordo com dois regimes: regime permanente ou não permanente.

O escoamento permanente é utilizado para projeto, geralmente com as vazões máximas previstas para um determinado sistema hidráulico.

O regime não permanente permite conhecer os níveis e vazões ao longo do rio e no tempo, representando a situação real.

Geralmente uma obra hidráulica que depende apenas da vazão máxima é dimensionada para condições de regime permanente e verificada em regime não-permanente.

**Quadro 5 – Valores do Coeficiente de Rugosidade de Manning**

CARACTERÍSTICAS		$\eta$
Canais retilíneos com grama de até 15 cm de altura		0,30 - 0,40
Canais retilíneos com capins de até 30 cm de altura		0,30 - 0,060
Galeria de concreto pré-moldado com bom acabamento		0,011 - 0,014
moldado no local com formas metálicas simples		0,012 - 0,014
moldado no local com formas de madeira		0,015 - 0,020
Sarjetas	asfalto suave	0,013
	asfalto rugoso	0,016
	concreto suave com pavimento de asfalto	0,014
	concreto rugoso com pavimento de asfalto	0,015
	pavimento de concreto	0,014-0,016
Pedras		0,016

Fonte: PDD-2002

Nota: Estes coeficientes de perda são utilizados no cálculo da linha de energia para escoamento em condição subcrítica.

### *5.2.2. Caracterização do escoamento*

A identificação do regime de escoamento do sistema (subcrítico, crítico ou supercrítico) deve ser realizada para iniciar o cálculo numérico da vazão do escoamento. Determina-se o tipo de escoamento a partir do cálculo do número de Froude, considerando a profundidade normal do escoamento.

### *5.2.3. Número de Froude*

Nos projetos de drenagem urbana, a relação entre forças de inércia e gravidade no escoamento são representadas pelo número de Froude (F):

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h_n}}$$

Sendo:

F : número de Froude (adimensional);

V: velocidade média do escoamento (m/s);

g: aceleração gravidade ( $m/s^2$ ).

$h_n$ : profundidade normal (m).

A profundidade normal utilizada na equação pode ser obtida diretamente do projeto ou pode ser determinada por cálculo.

O valor do número de Froude permite identificar que tipo de regime de escoamento está ocorrendo no sistema.

**Quadro 6 – Regime de Escoamento de acordo com o número de Froude**

NÚMERO DE FROUDE	CARACTERÍSTICA DO REGIME DE ESCOAMENTO
se $F < 1$	Regime <b>SUBCRÍTICO</b>
se $F = 1$	Regime <b>CRÍTICO</b>
se $F > 1$	Regime <b>SUPERCRÍTICO</b>

- No caso de escoamento em regime subcrítico (situação mais freqüente de ocorrência de escoamento em rede de drenagem urbana), as forças gravitacionais têm efeito pronunciado, enquanto o escoamento tem baixa velocidade e grande profundidade. Este regime se desenvolve, tipicamente, em declividades suaves.
- Os casos de escoamento em regime crítico apresentam instabilidade e devem ser evitados em projetos de drenagem urbana.
- Os casos de escoamento supercrítico apresentam número de Froude maior que um. O escoamento tem alta velocidade e baixa profundidade e a preponderância das forças inerciais sobre as gravitacionais. Este regime de escoamento também deve ser evitado, pois existe grande probabilidade de provocar a erosão interna dos condutos e canalizações.

Portanto, determinado o número de Froude, se ele for menor que a unidade, deve-se utilizar o procedimento apresentado a seguir:

### 5.3 Linha de Energia em Regime Permanente

#### 5.3.1. Metodologia para a linha de energia

As redes de drenagem devem ser dimensionadas de forma a transportar as vazões sem sobrecarregar o sistema. Torna-se necessário verificar a linha piezométrica na rede de drenagem, de forma a identificar os locais onde esta linha ultrapassa o nível das sarjetas, podendo haver refluxos de água para as ruas, ou mesmo projetar as redes para que trabalhem sob pressão.

A metodologia de cálculo apresentada neste manual foi desenvolvida (Chow, 1959) para escoamento em regime permanente, e a equação utilizada para a determinação da linha de energia é de Bernoulli, devendo ser aplicada entre duas seções do canal.

$$Z_a + \frac{V_a^2}{2g} = Z_b + \frac{V_b^2}{2g} + hf$$

Sendo:

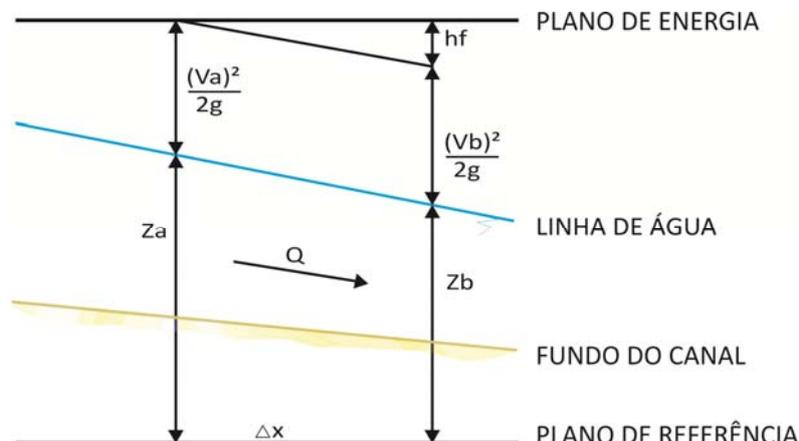
$Z_a$  e  $Z_b$ : são os níveis nas seções a e b;

$V_a$  e  $V_b$ : velocidade nas seções respectivas;

$hf$ : somatório de perdas de carga entre seções;

$g$ : aceleração gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );

Figura 20 – Determinação da linha de energia utilizando a equação de Bernoulli



O termo  $h_f$  é o somatório das perdas de carga singulares ou localizadas ( $h_s$ ) e perdas de carga lineares ( $h_l$ ), então:

$$h_f = h_s + h_l$$

A perda de carga linear deve-se principalmente ao atrito, e pode ser calculada utilizando uma equação para condições de escoamento pleno derivada da equação de Manning:

$$S_f = \frac{149,62 \cdot v^{1,49}}{R_h^{4,75}} \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right)$$

Sendo:

$S_f$ : declividade provocada pelo atrito (m/m);

$V$ : velocidade do escoamento (m/s);

$n$ : coeficiente de rugosidade de Manning (quadro 04);

$g$ : aceleração gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);

$R_h$ : raio hidráulico (m), calculado conforme a equação:

$$R_h = \frac{A}{P_m}$$

Sendo:

$A$ : área da seção transversal (m<sup>2</sup>);

$P_m$ : perímetro molhado da seção transversal (m).

### 5.3.2. Perda de carga singular ou localizada

Durante o percurso entre a entrada e saída dos condutos, observa-se uma variedade de configurações ao longo do escoamento, tais como: mudanças de

tamanho, ramificações, curvas, junções, expansões e contrações. Configurações estas, que impõem perdas adicionais àquelas resultantes do atrito. As perdas podem ser expressas genericamente conforme a equação.

$$H = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Sendo:

H: perdas de carga (m):

K: o coeficiente de perdas;

V: a velocidade do escoamento (m/s);

g: a aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Além da verificação da linha de energia, deve-se assegurar que a velocidade no interior dos condutos obedeça às velocidades mínimas e máximas:

- Velocidade mínima 0,80 m/s;
- Velocidade máxima 5,00 m/s.

#### **5.4 Microdrenagem**

O sistema de microdrenagem, projetado para atender à drenagem de precipitações de risco moderado, realiza a coleta e o afastamento das águas superficiais ou subterrâneas. É composto pelos elementos de pavimentação das ruas, condutos de águas pluviais (guias e sarjetas), aberturas coletoras (bocas de lobo), rede de galerias de águas pluviais e canais de pequenas dimensões. Deve ser dimensionado para o escoamento de vazões de 2 a 10 anos de período de retorno.

Se projetado adequadamente e tiver uma correta manutenção, minimiza ou elimina as interrupções das atividades urbanas advindas das inundações.

## 5.5 Macrodrenagem

O sistema de macrodrenagem destina-se ao escoamento das águas pluviais superficiais, inclusive as captadas pela estrutura de microdrenagem. É, portanto, constituído pelo sistema de microdrenagem, rios canalizados (obras de grande vulto, de retificação ou de embutimento dos corpos aquáticos) e, em geral, por canais abertos ou totalmente fechados, de grandes dimensões, tanto em seção de escoamento como em extensão, projetados para vazões de 25 a 100 anos de período de retorno. É do sistema de macrodrenagem adequadamente adaptado, projetado e de pleno funcionamento que depende a minimização dos danos à propriedade, do risco à vida e à saúde da população quando da incidência das inundações e grande aporte de águas pluviais.

As obras de macrodrenagem retificam os cursos d'água natural e reduzem o percurso a ser vencido pelo escoamento superficial, objetivando maiores velocidades de escoamento.

### 5.5.1. Terminologia - macrodrenagem

Com a finalidade de uniformizar conceitos e afinar a terminologia e nomenclatura dos termos mais comumente utilizados, apresentam-se abaixo definições de elementos de projeto e obras de macrodrenagem:

- Conduto por gravidade: condutos destinados ao transporte de águas pluviais, sem o preenchimento da seção transversa (seção parcial). Porém em alguns períodos de chuva intensa, pode haver o preenchimento total da seção da tubulação, o que transforma a classificação de conduto livre para conduto forçado (ou de seção plena).
- Conduto forçado: conduto destinado ao transporte das águas superficiais coletadas, podendo ter sua seção de tubulação totalmente preenchida.
- Estação de bombeamento: conjunto de obras e equipamentos com a função de transportar a água de um canal para outro de nível mais

elevado quando houver impossibilidade de seu escoamento por gravidade. A condução poderá ser também para um receptor final da drenagem. Esta é uma intervenção atípica, utilizada em alguns casos excepcionais em cidades de grande porte e em áreas adensadas e com alta taxa de impermeabilização.

- Galeria: canais projetados e executados para a condução de águas pluviais provenientes da superfície, sendo das ligações privadas e/ou dos elementos coletores públicos, tais como as bocas-de-lobo. Podem ser em tubulações de concreto enterradas para DN até 1800 mm, tais como as implantadas na Linha Verde ou em galerias de seção retangular, tal como a existente sob o pavimento da rua Mariano Torres, por onde passa o rio Belém.
- Poço de Visita: dispositivos situados em pontos selecionados do sistema de galerias que permitem visitação, inspeção e limpeza, além de estarem situados em pontos que permitam mudanç as de direção, de declividade e de diâmetro.
- Sarjeta: dispositivo em forma de canal ou calha longitudinal, em geral de formato aproximado ao triangular ou trapezoidal invertido, situado entre a guia e a pista de rolamento, destinado a coletar e conduzir as águas precipitadas sobre a pista de rolamento ou áreas laterais às rodovias, direcionando-as para os bueiros ou talvegues naturais, ou até os pontos de coleta. Possui boa funcionalidade para extensões inferiores a 20,0 m, pois para extensões superiores a esta, o fluxo pode em determinadas circunstâncias adquirir velocidades elevadas, trazendo riscos aos transeuntes.
- Trecho: tubulação da galeria situada entre dois poços de visita.

## **5.6 Tempo de Concentração**

Ao somatório dos tempos necessário de deslocamento de fluidos para toda a área de uma bacia contribua com o escoamento na seção de desague d -se o nome de tempo de concentração e este é calculado segundo a fórmula:

$$t_c = \frac{1}{60} \sum_i^m \frac{L_i}{v_i}$$

Sendo:

$t_c$  = o tempo de concentração da bacia em minutos;

$L_i$  = o comprimento do trecho  $i$ ;

$v_i$  = velocidade do trecho  $i$ , obtida por uma das equações anteriores;

$m$  = número de sub-trechos.

As áreas contribuintes a cada trecho de rede são determinadas pela análise do projeto. Essas áreas são medidas em planta e para cada trecho são adicionadas, progressivamente, as áreas locais de contribuição. Estas áreas locais correspondem às parcelas contribuintes dos quarteirões adjacentes.

### 5.7 Tempo de Retorno

O tempo de retorno ( $Tr$ ) é o inverso da probabilidade  $p$  e representa o tempo, em média, que um evento, pode se repetir:

$$Tr = \frac{1}{p}$$

O risco ou a probabilidade de ocorrência de uma precipitação ou vazão igual ou superior num determinado período de  $n$  anos é:

$$Pn = 1 - (1 - p)^n$$

Os valores atribuídos para  $Tr$  estão relacionados com os riscos de perdas devido à ocorrência de eventos. Existe, portanto, diferença entre os valores de  $Tr$  para a macrodrenagem e para a microdrenagem.

A macrodrenagem assume valores maiores de  $Tr$  uma vez que neste sistema encontra-se o destino final das águas escoadas e o próprio sistema engloba o sistema de microdrenagem. Já os valores de  $Tr$  atribuídos à microdrenagem variam de acordo com a o nível de urbanização e ocupação da área.

Com base em estudos e em publicações do Departamento de Águas e Energia

Elétrica (DAEE) e da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), ambos de São Paulo, é possível estabelecer valores para Tr.

**Quadro 7 – Tempos de retorno (T) – DAEE e CETESB (1980)**

Sistema	Tipo de Ocupação	Tr (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
	Áreas de importância específica	100*

*\*Valores podem variar de acordo com o tipo de obra e necessidade do projeto.*

## 5.8 Permeabilidade

### 5.8.1. Taxa de Permeabilidade

Conforme a Lei 9.800/00<sup>1</sup>, artigo 42, inciso VI, a definição de taxa de permeabilidade: “é o percentual da área do terreno que deve ser mantido permeável”.

Esta taxa é variável e normatizada segundo os anexos da supracitada lei, vinculada ao zoneamento urbano.

## 5.9 Capacidade de Retenção do Solo - Número da Curva (CN)

Para o cálculo da capacidade de retenção de água no solo utilizar-se-á a metodologia sugerida pelo Soil Conservation Service (SCS), que consiste em avaliar o Número de Curva – CN (Curve Number) a partir da tipologia do solo e do uso e da ocupação do solo na bacia.

O Número da Curva (CN) é um parâmetro empírico utilizado na hidrologia para prever o coeficiente de runoff ou a infiltração devido a chuvas excessivas.

Entre outros aspectos, um que deve ser considerado na avaliação do Número

---

<sup>1</sup> LEI N° 9.800 de 03 de janeiro de 2000. “Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências.”

de Curva (CN) é a condição de umidade antecedente do solo.

No presente estudo, considerou-se a condição II – situação média na época das chuvas, ou seja, as chuvas nos últimos 5 dias anteriores ao da precipitação de projeto, que totalizam entre 15 e 40 milímetros. Estes valores (Condição II) são os apresentados no quadro abaixo:

**Quadro 8 – CN para áreas urbanas considerando percentual de área impermeável – NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK (2004)**

Descrição do Tipo de Cobertura e Condição Hidrológica	% Média de Área Imperm.	CN para Grupo de Solo Hidrológico			
		A	B	C	D
Zonas Urbanas Desenvolvidas					
Espaços Abertos (Jardins, parques, cemitérios, etc.)					
Más Condições (cobertura gramada < 50%)		68	79	86	89
Condições Razoáveis (cobertura gramada entre 50% a 75%)		49	69	79	84
Boas Condições (cobertura gramada > 75%)		39	61	74	80
Áreas Impermeáveis					
Estacionamentos pavimentados, lotes, telhados, etc.		98	98	98	98
Ruas e Rodovias					
Pavimentadas com guias de drenagem		98	98	98	98
Pavimentadas com valas de drenagem		83	89	92	93
Cascalho		76	85	89	91
Terra natural		72	82	87	89
Áreas urbanas não ocupadas					
Paisagem natural (apenas áreas permeáveis)		63	77	85	88
Paisagem artificial (barreiras impermeáveis, vegetação com 2,5 a 5 cm de cascalho)		96	96	96	96
Distritos urbanos					

Descrição do Tipo de Cobertura e Condição Hidrológica	% Média de Área	CN para Grupo de Solo Hidrológico			
Comercial e serviços	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Distritos residenciais com lotes médios					
500 m <sup>2</sup> (casas)	65	77	85	90	92
1.000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
1.350 m <sup>2</sup>	30	57	72	8	86
2.000 m <sup>2</sup>	25	54	70	80	85
4.050 m <sup>2</sup>	20	51	68	79	84
8.100 m <sup>2</sup>	12	46	65	77	82
Áreas urbanas em desenvolvimento					
Implantação de novas áreas (apenas áreas permeáveis, sem vegetação)		77	86	91	94

### 5.9.1. Tipo de solo

Segundo a classificação do SCS (SCS, 1957) os tipos de solo mencionados são classificados da seguinte forma:

- Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila;
- Solo B: menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média;
- Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.
- Solo D: solos contendo argilas expansivas, pouco profundos, com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de

escoamento superficial.

Os valores típicos da porosidade efetiva e da condutividade hidráulica, está apresentado no quadro a seguir:

**Quadro 9- Condutividade hidráulica saturada em diversos tipos de solo**

<b>Tipo de solo</b>	<b>Condutividade hidráulica (m/s)</b>
Cascalho	$10^{-3} - 10^{-1}$
Areia	$10^{-5} - 10^{-2}$
Silte	$10^{-9} - 10^{-5}$
Argila (saturada)	$<10^{-9}$

Fonte: Urbonas e Stahre, 1993

## **5.10 Parâmetros Físicos da Bacia Hidrográfica**

### *5.10.1. Coeficiente de Compacidade*

O coeficiente de compacidade relaciona a forma da bacia a um círculo, ou seja, constitui uma relação entre o perímetro de uma bacia e uma circunferência de mesma área. Trata-se de um coeficiente adimensional que varia de acordo com a forma e o tamanho da bacia. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Isto significa que um coeficiente mínimo ou próximo a 1 corresponde a uma bacia circular (mais propensa à inundação). Infere-se que quanto maior o índice, menor a propensão da bacia à inundação.

### *5.10.2. Fator de Forma*

Este índice, que relaciona a forma da bacia à de um retângulo, também indica a maior ou menor tolerância para enchentes de uma bacia. Uma bacia com fator de forma baixo, ou seja, com comprimento total do talvegue principal grande, terá menor propensão a enchentes que outra com a mesma área.

### *5.10.3. Densidade de Drenagem (Dd)*

É a relação entre o comprimento total de cursos de água de uma bacia e a sua área total.

Uma área de baixa densidade de drenagem e quando a condição de drenagem da bacia constituir-se de um relevo plano e suave, de alta permeabilidade, permitindo uma rápida infiltração e conseqüente formação de lençóis aquíferos.

Geralmente trata-se de pequenas áreas: abaixo de 5 km/km<sup>2</sup>.

As áreas de alta densidade de drenagem, maiores de 13 km/km<sup>2</sup>, apresentam terrenos com relevo de maior movimentação topográfica. O escoamento superficial mais rápido nas encostas provoca o aparecimento da ação erosiva em sulco ou voçoroca, que em épocas de chuvas abrem grandes fendas, por onde o escoamento concentrado tende a alargar a escavação, progredindo e aumentando a voçoroca formada, até transformá-la em ravina.

### *5.10.4. Extensão Média do Escoamento Superficial (L)*

Este parâmetro indica a distância média que a chuva teria que escoar sobre os terrenos da bacia (em linha reta) do ponto onde ocorreu sua queda até o curso d'água mais próximo.

Para isso transforma-se a bacia em estudo em um retângulo de mesma área, onde o lado maior é a soma dos comprimentos dos rios da bacia.

### *5.10.5. Sinuosidade do Curso da Água (SIN)*

É a relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento do talvegue, que é a medida em linha reta entre o ponto inicial e o final do curso de água principal.

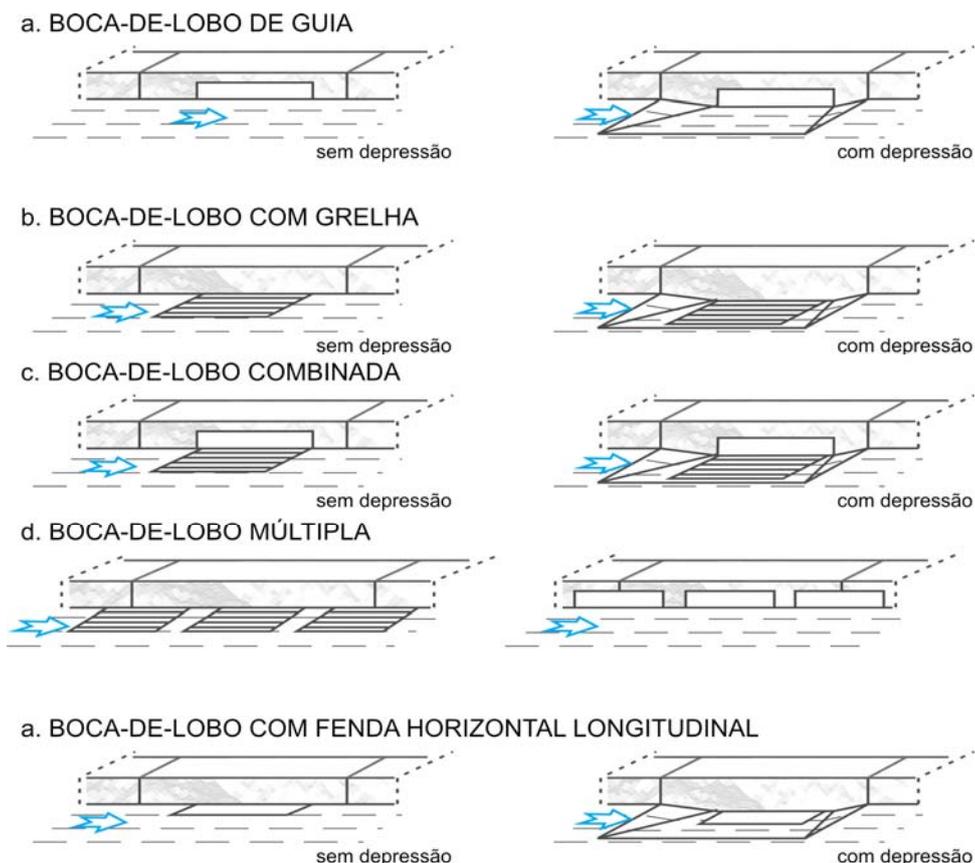
## 6. SISTEMAS DE MICRODRENAGEM

### 6.1 Terminologia

Com a finalidade de uniformizar conceitos e afinar a terminologia e nomenclatura dos termos mais comumente utilizados, apresentam-se abaixo definições de elementos de projeto e obras de microdrenagem.

- **Tubo de ligação:** tubulação destinada à condução das águas pluviais que foram captadas nas bocas-de-lobo, até as galerias ou poços de visita.
- **Meio-fio ou guia:** elemento em pedra ou pré-moldado em concreto destinado a separar a faixa de pavimentação da faixa de passeio, instalado paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio.
- **Sarjetas:** são canaletas ou calhas, geralmente de forma triangular, abertas, e feitas para conduzir as águas pluviais para a canalização geral;
- **Sarjetões:** Calhas localizadas no cruzamento de vias públicas, com inclinação formada pela própria pavimentação, com a função de orientar o escoamento das águas sobre as sarjetas.
- **Boca de lobo:** Dispositivo instalado em sarjetas, cuja finalidade é de captar as águas pluviais. Para definir a posição e espaçamento das bocas de lobo existem normas regulamentares já consagradas pelo uso. As bocas de lobo podem ser classificadas em três grupos principais: bocas ou ralos de guias; ralos de sarjetas (grelhas); ralos combinados. Cada tipo inclui variações quanto a depressões (rebaixamento), em relação ao nível da superfície normal do perímetro e ao seu número (simples ou múltipla).

Figura 21 - Tipos de boca-de-lobo (DAEE/CETESB, 1980 - Adaptado)



## 6.2 Cálculos e Dimensionamentos

### 6.2.1. Cálculo da Vazão de projeto para microdrenagem

#### 6.2.1.1. Método Racional

O método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas ( $< 2 \text{ km}^2$ ). Os princípios básicos dessa metodologia são:

- A duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade.
- Adotar um coeficiente único de escoamento, denominado C, estimado com base nas características da bacia.

Conforme já apresentado, o método racional será utilizado para as porções de

área do empreendimento que não são controladas por MCs (controle na fonte). Para MCs compostas por dispositivos de infiltração, a área controlada terá contribuição nula para a rede de drenagem.

No caso de MCs compostas por dispositivos de armazenamento, será adotada uma vazão específica de 27 l/(s.ha), que deverá ser adicionada nos pontos devidos, conforme a configuração do sistema.

O método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas. Para o dimensionamento de redes, utilizando o método racional, adota-se como limite uma área de até 2,0 km<sup>2</sup>, ou seja, 200 hectares.

Os princípios básicos do Método Racional são:

- a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade;
- há um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões, portanto não pode ser utilizado para o dimensionamento de reservatórios de amortecimento.

A equação do modelo é a seguinte:

$$Q = \frac{C * I * A}{3600}$$

Onde:

Q: vazão máxima (L/s);

C: coeficiente de escoamento;

I: intensidade da precipitação (mm/h);

A: área da bacia (km<sup>2</sup>).

A intensidade da precipitação depende dos seguintes fatores:

- Equação IDF (precipitação) característica da região: as equações IDF da cidade de Curitiba estão apresentadas no PDDU-2012.
- Tempo de concentração: usualmente entre 10 a 30 minutos; preferencialmente acima de 20 minutos, já que deve ser considerado igual à duração da precipitação;
- Período de retorno (Tr): o Tr utilizado na microdrenagem varia de dois a dez anos.

Os coeficientes de escoamento recomendados para as superfícies urbanas estão apresentados no item específico e dependem das seguintes características:

- solo;
- cobertura;
- tipo de ocupação;
- tempo de retorno;
- intensidade da precipitação.

### *6.2.2. Precipitação*

A precipitação é a principal informação hidrológica de entrada utilizada no cálculo das vazões de projeto das obras de drenagem pluvial. Para estabelecer o valor da precipitação são utilizadas as equações da chuva e a partir desta a vazão de projeto.

As precipitações de projeto são normalmente determinadas a partir de relações

intensidade-duração-freqüência (curvas IDF) das precipitações sobre a bacia contribuinte.

Expressas sob a forma de tabelas ou equações, as curvas IDF fornecem a intensidade da precipitação para qualquer duração e período de retorno. Pode-se obter uma lâmina ou altura de precipitação, multiplicando-se a intensidade dada pela IDF pela sua correspondente duração.

Em locais com informações pluviográficas, os dados devem ser sintetizados na forma de relações de intensidade-duração-freqüência, comumente chamadas de curvas IDF.

A curva IDF de determinado local fornece a intensidade da chuva (normalmente em mm/h) para uma dada duração e período de retorno. A maioria dos métodos que estabelecem chuvas de projeto em todo o mundo baseiam-se na curva IDF.

Há dados pluviográficos em vários pontos da Região Metropolitana de Curitiba, porém foram selecionadas 3 equações de chuva mais representativas. Neste manual sugere-se a utilização da equação da chuva – COHAPAR (2000).

- Equação de Parigot de Souza (1959):

$$i = \frac{(5950 * T_r^{0,217})}{(t_d + 26)^{1,45}}$$

- Equação de Fendrich relativa ao posto do Prado Velho (1989):

$$i = \frac{(3221,07 * T_r^{0,258})}{(t_d + 26)^{1,010}}$$

- Equação da chuva – COHAPAR (2000):

$$i = \frac{(5726,64 * T_r^{0,159})}{(t_d + 41)^{1,041}}$$

Sendo:

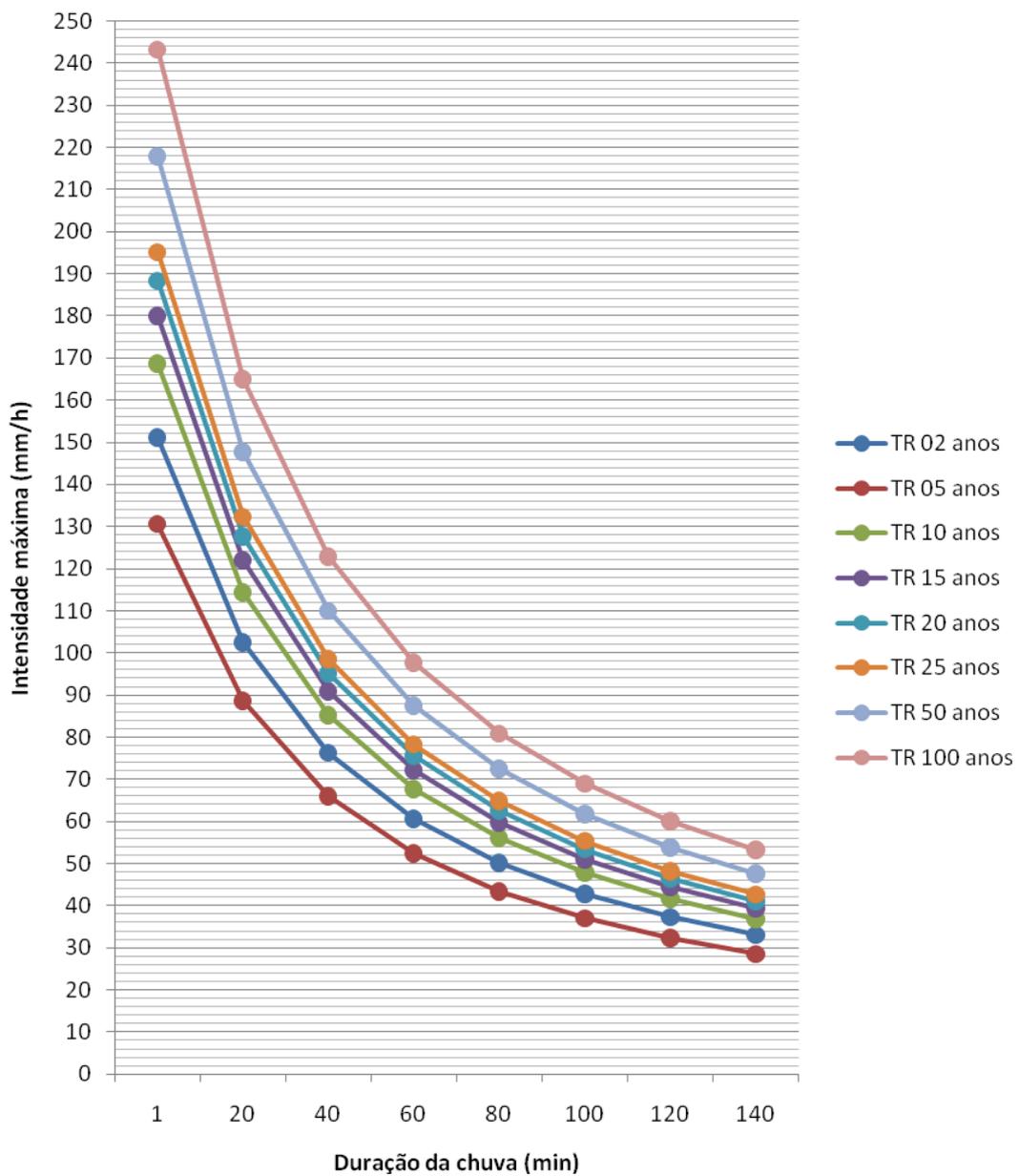
$I$  : intensidade da chuva (mm/h);

$t_d$ : assumido igual ao tempo de duração da chuva (min);

$Tr$  : tempo de recorrência (anos);

Para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos e com a duração de chuva variando de 1 a 140 minutos, obtém-se as seguintes curvas IDF:

**Figura 22 – Chuvas Intensas - Equação COHAPAR (2000) - Duração em minutos**



### 6.2.3. Coeficiente de "Run off"

O Coeficiente de escoamento superficial representa o percentual do escoamento total precipitado que é escoado pela superfície. Determina-se em 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. Adota-se um valor constante, ainda que seja uma hipótese pouco realista e deve ser feita com os seguintes cuidados:

- o valor deve ser determinado para as condições futuras de urbanização da bacia;
- se a ocupação da bacia for muito heterogênea, deve-se estimar o valor pelo método da média ponderada, conforme exemplo neste capítulo;
- o efeito da intensidade da chuva deve ser levado em conta por meio de correção feita em função do período de retorno.

Usualmente, o coeficiente de escoamento superficial (C) é determinado em função da ocupação do solo. A tabela fornece os valores de C para períodos de retorno da ordem de 5 a 10 anos. Apenas para períodos de retorno maiores, isto é, cálculo de vazão para macrodrenagem, recomenda-se corrigir o valor de C, o que pode ser feito através da expressão:

$$C_T = 0,8 * Tr^{0,1} * C_{10}$$

Sendo:

$C_T$ : coeficiente de escoamento superficial para o período de retorno T, em anos;

$C_{10}$ : coeficiente de escoamento superficial para período de retorno de 10 anos;

$Tr$ : período de retorno, em anos.

Quando a bacia apresenta ocupação muito heterogênea, é recomendável calcular um valor médio de C pela média ponderada dos diversos valores de C

para cada ocupação específica:

$$C = \left( \frac{1}{A} \right) * \sum_{i=1}^n C_i * A_i$$

Onde:

C: coeficiente médio de escoamento superficial;

A: área de drenagem da bacia;

C<sub>i</sub>: coeficiente de escoamento superficial correspondente à ocupação "i";

A<sub>i</sub>: área da bacia correspondente à ocupação "i".

**Quadro 10 – Coeficientes de escoamento superficial C – ASCE (1969)**

Ocupação	C
Área comercial	
- central	0,70 a 0,90
- bairros	0,50 a 0,70
Área residencial	
- residências isoladas	0,35 a 0,50
- unidades múltiplas, separadas	0,40 a 0,60
- unidades múltiplas, conjugadas	0,60 a 0,75
- lotes com área maior que 2.000 m <sup>2</sup>	0,30 a 0,45
- área com apartamentos	0,50 a 0,70
Área industrial	
- indústrias leves	0,50 a 0,80
- indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Parques e cemitérios	0,10 a 0,25
Praças	0,20 a 0,35
Pátios e ferroviárias	0,20 a 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 a 0,30

O valor de T na microdrenagem pode variar de 2 a 10 anos. Selecionando o valor adequado ao projeto e utilizando a equação da chuva, obtém-se o valor correto para a intensidade de precipitação. Ainda, conhecendo-se a área de projeto e adotando o valor de C conforme quadro acima, chega-se ao valor da vazão de projeto.

Seguindo o mesmo procedimento acima, com T variando de 50 a 100 anos ou conforme necessidade de projeto, é possível encontrar o valor da vazão de projeto para macrodrenagem.

Convém salientar que as áreas para o cálculo da microdrenagem são significativamente menores que as áreas utilizadas para o cálculo das vazões de macrodrenagem.

#### *6.2.4. Condução hidráulica de ruas e sarjetas*

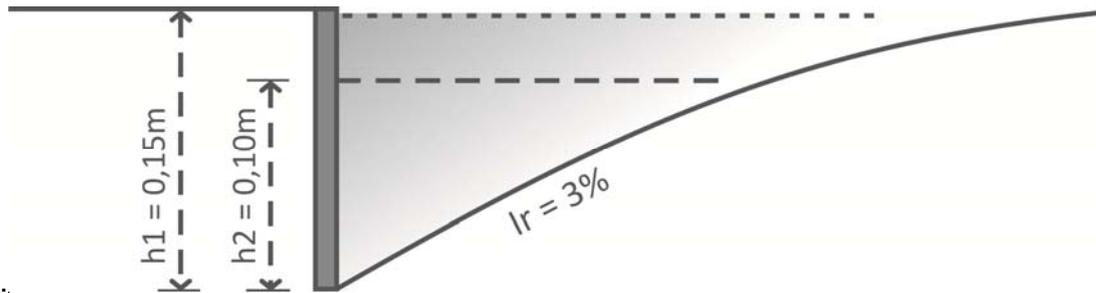
As águas, ao caírem nas áreas urbanas, escoam inicialmente pelos terrenos até chegarem às ruas. Sendo as ruas abauladas (declividade transversal) e tendo inclinação longitudinal, as águas escoarão rapidamente para as sarjetas e, destas, ruas abaixo. Se a vazão for excessiva poderão ocorrer alagamentos e seus reflexos; inundação de calçadas e velocidades exageradas, com erosão do pavimento.

A capacidade de condução da rua ou da sarjeta pode ser calculada a partir de duas hipóteses:

- a água escoando por toda a calha da rua;
- a água escoando somente pelas sarjetas

Para a primeira hipótese, admitem-se a declividade da rua (seção transversal) de 3% e a altura de água na sarjeta  $h_1 = 0,15$  m. Para a segunda hipótese, admite-se declividade também de 3% e  $h_2 = 0,10$  m.

Figura 23 - Seção da sarjeta



O dimensionamento hidráulico pode ser obtido pela equação de Manning:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Onde:

A: área de drenagem;

R: raio hidráulico;

S: declividade do fundo

n: coeficiente de rugosidade.

O dimensionamento do escoamento em sarjeta tem caráter muito específico e não está detalhado neste manual.

Para as dimensões das sarjetas prevalecem as dimensões comumente usadas pelas municipalidades e pelos fabricantes de artefatos de concreto.

#### 6.2.4.1. Dimensionamento de Bocas-de-Lobo

Quando a água se acumula sobre a boca-de-lobo, gera uma lâmina com altura menor do que a abertura da guia. Esse tipo de boca-de-lobo pode ser considerado um vertedor, e a capacidade de engolimento (esgotamento) será:

$$Q = 1,7 * L * (y)^{\frac{3}{2}}$$

Onde:

Q: vazão de engolimento em m<sup>3</sup>/s;

y: altura de água próxima à abertura na guia em m;

L: comprimento da soleira em m.

Quando a altura de água sobre o local for maior do que o dobro da abertura na guia, a vazão será calculada por:

$$Q = 3,01 * L * (h)^{\frac{3}{2}} * \left(\frac{y_1}{h}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

L: comprimento da abertura em m;

h: altura da guia em m;

y<sub>1</sub>: carga da abertura da guia em m (y<sub>1</sub> = y - h/2).

Para cargas de uma a duas vezes a altura da abertura da guia (1 < y/h < 2), a opção por um ou outro critério deve ser definida pelo projetista.

As bocas-de-lobo com grelha funcionam como um vertedor de soleira livre para profundidade de lâmina de até 12 cm.

Para profundidades de lâmina maiores que 42 cm, a vazão é calculada por:

$$Q = 2,91 * A * (y)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

A: área da grade, excluídas as áreas ocupadas pelas barras, em m<sup>2</sup>;

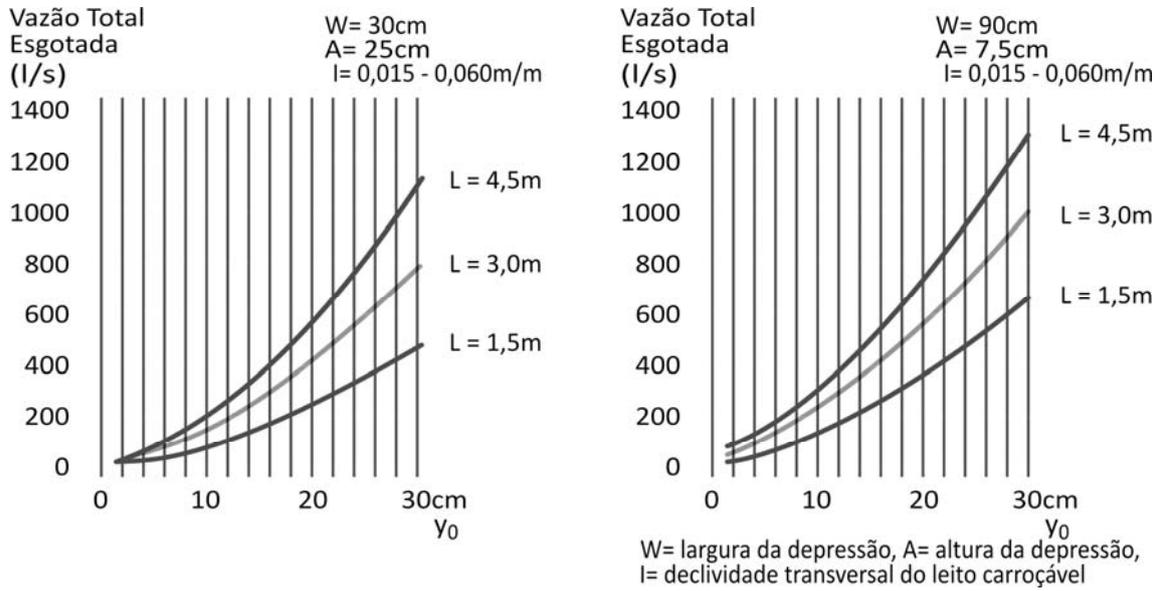
y: altura de água na sarjeta sobre a grelha.

Na faixa de transição entre 12 e 42 cm, a carga a ser adotada é definida segundo julgamento do projetista.

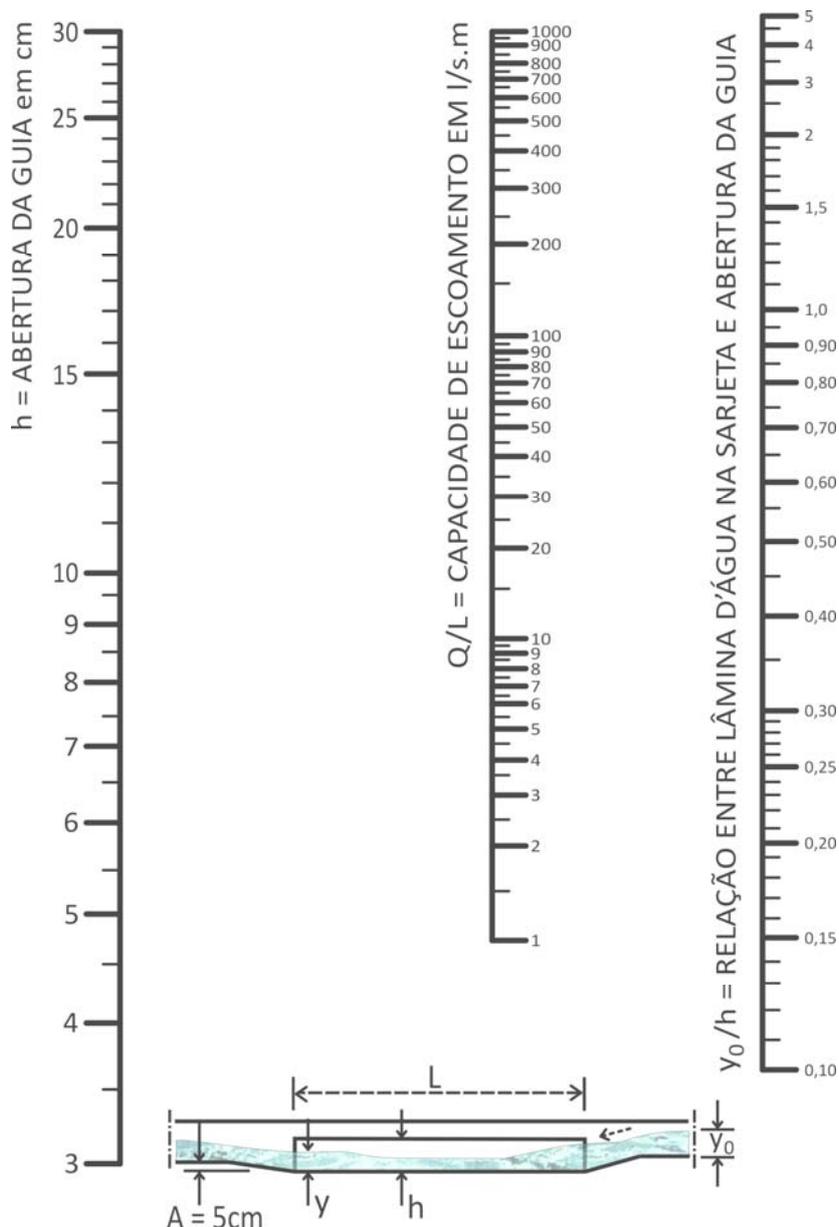
A capacidade teórica de esgotamento das bocas-de-lobo combinadas é igual,

aproximadamente, à somatória das vazões pela grelha e pela abertura na guia, consideradas isoladamente.

**Figura 24 – Capacidade de engolimento (DAEE/CETESB, 1980 - adaptado)**



**Figura 25 – Capacidade de escoamento das bocas de-lobo com depressão de 5 cm em pontos baixos das sarjetas (DAEE/CETESB, 1980 - Adaptado)**



- Fatores de redução da capacidade de escoamento:

As capacidades de escoamento podem sofrer redução no valor calculado, a fim de aproximar o resultado teórico das limitações existentes nos casos reais.

No caso das sarjetas e bocas de lobo, uma vez calculada a capacidade teórica é usual multiplicar o seu valor por um fator de redução, que leva em conta a possibilidade de obstrução de sarjetas de pequenas declividade por sedimentos. Recomenda-se como fator de redução o valor de 0,6.

A capacidade de esgotamento das bocas-de-lobo é menor que a calculada devido a vários fatores, entre os quais: obstrução causada por detritos, irregularidades nos pavimentos das ruas junto às sarjetas e alinhamento real.

**Quadro 11 – Fatores de Redução de Escoamento das Sarjetas (DAEE/CETESB, 1980)**

Declividade da Sarjeta (%)	0,4	1 a 3	5	6	8	10
Fator de Redução	0,50	0,80	0,50	0,40	0,27	0,20

#### *6.2.4.2. Dimensionamento de Galerias*

O dimensionamento das galerias é realizado com base nas equações hidráulicas de movimento uniforme, como a de Manning, Chezy e outras. O cálculo depende do coeficiente de rugosidade e do tipo de galeria adotado.

## 7. SISTEMAS DE MACRODRENAGEM

### 7.1 Cálculos e Dimensionamentos

#### *7.1.1. Precipitação de projeto*

As redes pluviais de macrodrenagem drenam áreas superiores a 2 km<sup>2</sup>. Nestes casos, a natural variabilidade espacial e temporal da chuva não pode ser desconsiderada. A seguir, são sugeridas metodologias para levar em conta a distribuição espaço-temporal da chuva na determinação de precipitações de projeto.

#### *7.1.1.1. Distribuição espacial e coeficientes de abatimento*

A precipitação natural possui grande variabilidade espacial mesmo numa pequena área de alguns quilômetros quadrados.

Os tipos de precipitação de projeto sugeridas neste Manual são aplicáveis em casos comuns de projeto. Em casos especiais, pode ser necessária a aplicação de outros tipos, como seqüências cronológicas históricas ou sintéticas de chuva.

#### *7.1.1.2. Distribuição temporal*

A exemplo do que acontece espacialmente, a precipitação natural possui também grande variabilidade temporal durante um evento chuvoso e de evento para evento. Assim também a variabilidade temporal da precipitação natural dificilmente segue um padrão formal identificável, ou seja, os hietogramas que se sucedem no tempo são diferentes uns dos outros.

A consideração da variabilidade temporal nas chuvas de projeto depende do método hidrológico utilizado. O Método Racional, por exemplo, considera a chuva de projeto com intensidade constante em toda a sua duração, retirada diretamente da curva IDF. Já métodos como os baseados em hidrogramas unitários, exigem que a chuva de projeto incorpore uma variabilidade temporal.

Para estes casos, os métodos mais consagrados são aqueles que atribuem

uma distribuição arbitrária temporal para chuvas de projeto. O objetivo é obter, para determinado período de retorno, alturas de chuva a intervalos de tempo discretos e iguais, cuja soma (dos intervalos) é a duração crítica, ou simplesmente a duração total do hietograma de projeto. Recomenda-se uma precisão de minuto para os intervalos. Toleram-se pequenos arredondamentos tanto para a duração total do hietograma quanto para os intervalos de tempo, de modo que a soma resulte, com precisão de minuto, exatamente no valor da referida duração total.

Sugere-se considerar intervalos entre 5 e 10 minutos em hietogramas com duração total de até 2 horas. Para durações maiores que 2 horas recomenda-se utilizar intervalos entre 10 e 20 min.

O método dos Blocos Alternados constrói o hietograma de projeto a partir da curva IDF e é apresentado a seguir, como sugestão de metodologia a empregar.

#### *7.1.1.3. Método dos blocos alternados*

Apesar de posicionar o pico de chuva de forma centralizada, o método é de aplicação simples.

Inicialmente, através das intensidades obtidas pela IDF, determina-se o hietograma completamente adiantado (pico no primeiro intervalo de tempo. O tempo de concentração da área contribuinte, usualmente, define o limite da duração crítica da chuva. O partir do pico do primeiro intervalo é calculada a altura de chuva para cada duração cumulativa, tendo como limite a duração crítica do evento. Um mesmo período de retorno é atribuído a cada intensidade do hietograma. Este é um método derivado das relações IDF.

Seqüencialmente, o hietograma completamente adiantado é reordenado para o reposicionamento do pico no centro do hietograma. Cada 'bloco' de chuva do hietograma adiantado é sucessiva e alternadamente colocado no entorno do 'bloco' do pico, à direita e à esquerda.

Abaixo, exemplo modelo para o método dos blocos alternados:

O método pode ser resumido nos seguintes passos:

Para este exemplo adotou-se  $T_d$  igual a 60 minutos:

$T_d = 60$  min.

1. Determinar a duração crítica do evento ( $T_d$ ). Usualmente, o tempo de concentração da área contribuinte.
2. Dividir o tempo de duração total da chuva em intervalos de duração cumulativa, com variação ( $D_t$ ) constante:
  - Para  $D_t = 10$  min. E  $T_d = 60$  min.:
  - Intervalos = 10 min. (10, 20, 30, 40, 50 e 60 min.)
3. Através da IDF, calcula-se a intensidade de chuva para cada duração cumulativa
4. Multiplicando a intensidade de chuva pelo respectivo tempo de duração, determina-se o total precipitado em cada intervalo.
5. Obtêm-se os incrementos de chuva correspondentes a cada incremento de duração:
  - (total precipitado no intervalo) - (total precipitado no intervalo anterior)
6. Reordena-se os incrementos de chuva para posicionar o pico de forma centralizada:
  - Cada 'bloco' de chuva do hietograma adiantado é alternada e sucessivamente colocado no entorno do 'bloco' do pico, à direita e à esquerda

Exemplo didático do método:

Definição de uma chuva de projeto de 40 minutos na RMC, com período de retorno de 5 anos, em intervalos de 5 minutos. Conforme a tabela abaixo:

**Quadro 12 – Hietograma - Método dos Blocos Alternados**

<u>Tempo</u>	<u>i(1)</u>	<u>Pacumulada (2)</u>	<u>Pdesacumulada(3)</u>	<u>Ordem comp. adiantada</u>	<u>Ordem alternada</u>	<u>Prerr(4)</u>
min	mm/h	mm	mm			mm
5	152,08	12,67	12,67	1°	7°	2,93
10	130,76	21,79	9,12	2°	5°	4,30
15	114,66	28,67	6,88	3°	3°	6,88
20	102,08	34,03	5,36	4°	1°	12,67
25	91,98	38,33	4,30	5°	2°	9,12
30	83,69	41,85	3,52	6°	4°	5,36
35	76,76	44,78	2,93	7°	6°	3,52
40	70,89	47,26	2,48	8°	8°	2,48

(1) calculado com a IDF do Prado Velho com T dado pela 1ª coluna.

(2) multiplicação da 1ª coluna (tempo) pela 2ª (i) dividida por 60.

(3) é o hietograma completamente adiantado obtido pela desacumulação da 3ª coluna (Pacum).

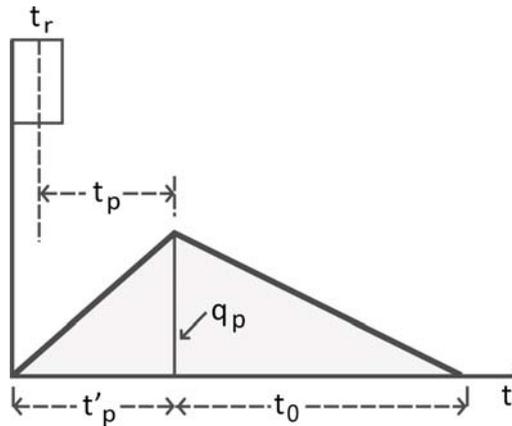
(4) é o hietograma final resultante do rearranjo dado pela ordenação alternada.

#### 7.1.1.4. Hidrograma unitário triangular

Neste método, a precipitação é transformada em vazão de projeto. A precipitação pode ser de projeto ou, eventualmente, uma precipitação observada.

O método do Hidrograma Unitário Triangular (HUT) do Soil Conservation Service é indicado para áreas de contribuição superiores a 4 km<sup>2</sup>, ou quando o conhecimento da distribuição temporal das vazões e o volume da cheia é necessário. Proposto inicialmente para bacias rurais e posteriormente adaptado para bacias urbanas, este modelo foi estruturado para efetuar estimativa das vazões para bacias sem dados. Portanto, o método é baseado nas características do solo e sua ocupação.

Figura 26 – Hidrograma triangular SCS (Tucci, 1993 - Adaptado)



A equação da vazão máxima do hidrograma triangular é dada por:

$$q_p = \frac{2,08 * A}{T_p^i}$$

Onde:

$q_p$ : vazão de pico do hidrograma unitário triangular (em  $m^3/s$ )

A: área da bacia contribuinte (em  $km^2$ )

$T_p^i$ : tempo de máxima vazão, contado do início da precipitação (em horas)

O tempo  $T_p^i$  é o tempo de máxima vazão (tempo de pico), contando-se do início da precipitação. Dado por:

$$T_p^i = \frac{T_d}{2} + 0,6 * T_c$$

Onde:

$T_d$ : duração da precipitação, em horas;

$T_c$ : tempo de concentração em horas.

Com base na observação de várias bacias, diversos autores adotaram:

$$TE = 1,67 * T_p$$

A partir de informações de bacias hidrológicas em diversas regiões dos Estados Unidos, A SCS desenvolveu o Método da Curva-Número para obtenção da precipitação efetiva (precipitação que gera escoamento superficial, a ser aplicada ao Hidrograma Unitário Triangular, descrito acima) Trata-se de um método empírico para determinar a precipitação efetiva, PEF, em função da precipitação total, P. Os autores verificaram que, em média, as perdas iniciais representavam 20% da capacidade máxima S, obtendo a formulação:

$$P_{ef} = \frac{(P-0,2S)^2}{P+(0,8+S)}$$

Esta equação é válida para  $P > 0,2 S$ .

- Quando  $P < 0,2 S$  ;  $Q = 0$ . Para determinar a capacidade máxima da camada superior do solo S, os autores relacionaram esse parâmetro da bacia com um fator CN pela seguinte expressão:

$$S = \left( \frac{25400}{CN} \right) - 254$$

## 7.2 Projetos de Redes Pluviais de Macrodrenagem

A macrodrenagem compreende o sistema de córregos urbanos, naturais ou canalizados, que drenam áreas superiores a 4 km<sup>2</sup>, onde o escoamento é gerado em regiões urbanizadas e não urbanizadas.

Estudos de alternativas de projetos, medidas de planejamento do controle de macrodrenagem e definição de cenários são componentes do planejamento da drenagem urbana no âmbito da macrodrenagem.

Este capítulo apresenta o planejamento da bacia, nas suas diferentes etapas,

incluindo a metodologia de simulação qualitativa e quantitativa dos diferentes cenários, integrado com os elementos de controles previstos.

### *7.2.1. Planejamento*

A canalização de córregos e rios urbanos tem sido realizada para o controle do impacto do aumento do escoamento devido à urbanização das áreas de macrodrenagem. Os canais são dimensionados para escoar uma vazão de projeto com tempos de retorno adotados entre 10 e 100 anos. Não obstante, o aumento do escoamento superficial devido ao desenvolvimento urbano da bacia de montante pode acarretar valores de vazões propícios a tornar a inundar as áreas protegidas.

Através do planejamento adequado do desenvolvimento da bacia este fenômeno pode ser evitado. Para tal duas situações devem ser analisadas:

- Bacia com loteamentos implantados e desenvolvidos:

Desenvolvimento do plano de controle com medidas de retenção e ampliação de rede pluvial de acordo com a visão de conjunto da bacia e considerando todos os efeitos do escoamento.

- Bacia em estágio rural: bacia no 1º estágio de urbanização

Estratégia sugerida:

- O poder público regulamenta o uso do solo e ocupação em áreas naturalmente inundáveis. Propostas introduzidas neste Plano;
- Definição destas áreas como bacias de retenção urbanas;
- Regulamentação da microdrenagem de modo a não ampliar a enchente natural, utilizando MCs quando possível e necessário;
- Planejamento parques e outras as áreas públicas, com função de reservatórios naturais, para amortecer e preservar os hidrogramas entre diferentes sub-bacias;

- Uso adequado para as áreas ribeirinhas de risco não pertencentes ao poder público. Redução dos impostos de acordo com as restrições, prever a troca por solo criado para implementação de uso público, como parques, campos de esporte, entre outros.
- Nenhuma área desapropriada pelo poder público pode ficar sem implantação de infraestrutura pública, parque ou área esportiva para evitar invasões.

### 7.2.2. Etapas do estudo de planejamento

Recomendam-se as etapas de desenvolvimento apresentada na figura abaixo para o estudo de planejamento do controle da drenagem urbana de uma bacia.

**Figura 27 – Etapas do Planejamento - Projeto de rede pluvial de macrodrenagem**



### *7.2.2.1. Caracterização da bacia*

Esta etapa inclui:

- Definições: da bacia, sub-bacias, sistema de drenagem natural e construído. Características físicas tais como: seção de escoamento, cota, comprimento e bacias contribuintes à drenagem.
- Avaliação do tipo de solo, relevo, geologia, hidrogeologia, ocupação urbana, população caracterizada por sub-bacia para os cenários de interesse.
- Dados hidrológicos: precipitação, caracterização pontual, espacial e temporal. Verificação da existência de dados de vazão que permitam ajustar os parâmetros dos modelos hidrológicos.
- Dados de qualidade da água e produção de material sólido.

### *7.2.2.2. Definição dos cenários*

Os cenários são produzidos com base no Plano Diretor Urbano, que define o desenvolvimento previsto para a cidade. Considera-se áreas ocupadas que não foram previstas, áreas desocupadas parceladas e áreas que deverão ser parceladas no futuro.

Modelos de hidrogramas ao longo do sistema de drenagem são simulados para a confecção do cenário de ocupação atual e definição da capacidade de drenagem. Os resultados são verificados e são definidos os locais onde o sistema de drenagem não tem capacidade de escoar ou inundar.

### *7.2.2.3. Simulação dos cenários*

Os cenários simulam as condições de drenagem existentes. Identifica-se o sistema tem capacidade em atender a evolução urbana prevista. Nesta análise é considerando apenas a capacidade de drenagem.

A metodologia consiste basicamente das seguintes etapas:

- **Escolha do risco da precipitação:** Adota-se tempo de retorno ( $T_r$ ) de 10 anos para a macrodrenagem. No caso de prejuízos maiores e risco de vida este valor pode aumentar.
- **Determinação da precipitação de projeto:** baseando-se nos registros de precipitação da área mais próxima da bacia deve-se escolher a curva de IDF e determinar a precipitação com duração igual ou maior que o tempo de concentração da bacia. Este valor deve ser distribuído no tempo em intervalos de tempo escolhidos para a simulação, deve ser menor ou igual a 1/5 do tempo de concentração da bacia. Para bacias maiores que 25 km<sup>2</sup> é necessário a verificação do abatimento espacial do valor máximo de precipitação.
- **Simulação com modelo hidrológico:** a precipitação determinada no item anterior é utilizada no modelo hidrológico que calcula as vazões resultantes.
- **Avaliação dos resultados:** nesta fase são analisados os resultados obtidos para o cenário e risco simulado.

#### *7.2.2.4. Seleção de alternativas para controle*

Identificado o risco de enchentes relacionado com a precipitação em um ou mais cenários de ocupação urbana, procura-se por uma combinação de intervenções no sistema de drenagem para a eliminação do risco.

Para determinar esta combinação, o planejador poderá verificar as alternativas disponíveis:

- Redução do escoamento superficial através de medidas na fonte (geralmente para futuros cenários);
- Bacias de detenções em locais onde existem áreas disponíveis ou mesmo em locais enterrados quando não existirem;
- Ampliação da capacidade de escoamento do sistema.

Com o entendimento das medidas de controle necessárias para o controle do risco, torna-se necessário a definição das modificações físicas capazes de produzir o efeito desejado com o menor custo de implantação. Isto pode ser realizado através de tentativa, variando algumas combinações com um modelo hidrológico.

#### *7.2.2.5. Simulação das alternativas previstas*

Nesta fase, com o sistema escolhido e dimensionado no item anterior, são utilizadas inundações com risco superior ao de projeto visando verificar quais as condições de risco durante inundações superiores às de projeto, visando alertar a Defesa Civil, tráfego e outros elementos urbanos, minimizando os impactos que não sejam de ordem material na área.

Os modelos de simulação do escoamento em galerias, canais e condutos em geral podem possuir as seguintes características:

- Modelo do tipo armazenamento: este tipo de modelo é útil para representar o escoamento de projeto, onde geralmente são definidos a capacidade dos condutos, ou a primeira verificação da capacidade de escoamento no sistema de drenagem existente. Considera-se basicamente os efeitos de armazenamento no conduto ou canal, trasladando as ondas de cheias. Não considera efeitos de remanso no escoamento. O modelo deste tipo frequentemente utilizado na prática é o de Muskingun-Cunge.
- Modelo Hidrodinâmico: o modelo hidrodinâmico pode ser de dois tipos, superfície livre ou considerações das condições de pressão dentro dos condutos. Este último considera todos os efeitos do escoamento dentro dos condutos como refluxo, remanso, ressalto, escoamento supercrítico e o escoamento sob pressão de gradientes de pressão moderados. O modelo deste tipo descrito neste capítulo se baseou em equações básicas da literatura, mas foi desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

#### *7.2.2.6. Avaliação da qualidade da água*

As etapas da avaliação da qualidade da água são:

- determinação da carga poluidora de esgotos sanitários que não é coletada pela rede;
- determinação da carga poluidora de resíduos sólidos;
- determinação da carga poluidora de esgoto pelo pluvial;
- avaliação da capacidade de redução das cargas em função das medidas de controle previstas nas alternativas. A avaliação da qualidade da água depende da existência da rede de esgotamento sanitário.

#### *7.2.2.7. Avaliação econômica:*

Os custos das alternativas são quantificados permitindo analisar a alternativa mais econômica para controle da drenagem, envolvendo, quando possível, também a melhoria da qualidade da água pluvial.

#### *7.2.2.8. Seleção da melhor alternativa:*

Em função dos condicionantes econômicos, sociais e ambientais, deve ser recomendada uma das alternativas de controle para o sistema estudado, estabelecendo etapas para projeto executivo, sequência de implementação das obras e programas que sejam considerados necessários.

## 8. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MICRODRENAGEM

### 8.1 Pavimento Poroso

#### ▪ **Função:**

Armazenamento temporário. Contribui para a recarga do lençol freático e para a umidade do solo.

#### ▪ **Conceito:**

Pavimento com camada de base porosa, geralmente cascalho poroso, utilizada como reservatório. Subdivide-se em 4 tipos:

- De infiltração e revestimento permeável;
- De infiltração e revestimento impermeável;
- De retenção e revestimento permeável;
- De retenção e revestimento impermeável.

Contribui para a recarga do lençol freático e para a umidade do solo, mas a variante que usa o exutório, não. É hidraulicamente autônomo. O revestimento superficial poroso evita empoçamentos, projeções d'água e aquaplanagem de veículos, além de reduzir ruídos do tráfego. Sua utilização dá maior visibilidade das marcas pintadas na pista. Age positivamente ao filtrar na camada porosa e no solo os escoamentos fracamente poluídos.

**Quadro 13 - Coeficiente de Escoamento**

<b>SUPERFÍCIE</b>	<b>C</b>
Solo compactado	0,66
Concreto	0,95
Bloco de concreto	0,78
Paralelepípedo	0.60
Bloco vazado	0.03
Concreto permeável	0.03

Fonte: Gestão de Águas Pluviais – 2005

Utilizado em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego. É viável quando o solo tem capacidade de infiltração superior a 7 mm/h. Profundidade do lençol freático no período chuvoso maior que 1,20m. A camada impermeável deve estar a mais de 1,20m de profundidade.

- **Restrições de Aplicação:**

A camada porosa deve ter exutório para a rede convencional ou arroio. Necessita estruturas de pré-tratamento e decantação nos pontos de injeção.

Inadequado para grandes áreas e não recomendado para esforços e tráfego intensos. A princípio, recomenda-se não assentá-lo em áreas de alta declividade. Não é indicado em locais com lençol freático alto, aquífero em risco, solo frágil à água e subsolo impermeável. Considera-se ainda inadequada a aplicação dessa medida de controle se o volume armazenado for destinado para infiltração. Pode apresentar risco de contaminação e colmatação.

- **Pré-dimensionamento:**

Com base na equação IDF de Fendrich e Freitas (1989) uma expressão aproximada do volume de acumulação na camada porosa é dada por:

$$H = (7,11 * \sqrt{\beta} * T^{0,25} - 0,64 * \sqrt{q * s})^2$$

Sendo:

H: volume de acumulação, em mm sobre a área em planta do dispositivo

$\beta$ : coeficiente adimensional dado pelo coeficiente de escoamento multiplicado pela razão entre área contribuinte e área do dispositivo

T: período de retorno em anos

qs: vazão de saída constante do dispositivo, em mmh-1

Para o pavimento poroso o que se procura é o cálculo da espessura da camada reservatório do pavimento.

A área de captação da água é a área do próprio pavimento mais a área de contribuição exógena, portanto:

$$\beta = \frac{A_{pav} + (C * A)}{A_{pav}}$$

Sendo:

$A_{pav}$ : área do pavimento em  $m^2$

A: área de contribuição ao pavimento em  $m^2$

C: coeficiente de escoamento da área de contribuição

**Quadro 14 – Valores de Coeficiente de Escoamento (C) para algumas superfícies**

TIPO DE SUPERFÍCIE	VALOR RECOMENDADO	FAIXA DE VARIAÇÃO
Concreto, asfalto e telhado	0,95	0,90 - 0,95
Paralelepípedo	0,70	0,58 - 0,81
Blockets	0,78	0,70 – 0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,02 – 0,05
Solo compactado	0,66	0,59 – 0,79
Matas, parques e campos de esporte	0,10	0,05 – 0,20
Gramma solo arenoso	0,10	0,08 – 0,18
Gramma solo argiloso	0,20	0,15 – 0,30

Para a superfície do pavimento considerou-se um coeficiente de escoamento igual a 1, pois toda chuva aí precipitada penetra no dispositivo.

A vazão de saída  $q_s$  (em mm/h) corresponde à condutividade hidráulica saturada  $K_{SAT}$  do solo (em mm/h), afetada de um coeficiente redutor  $a$  devido à colmatação.

$$q_s = \alpha * K_{sat}$$

A condutividade hidráulica saturada  $K_{SAT}$  deve ser determinada através de ensaios de infiltração. A literatura técnica recomenda valores de  $\alpha$  entre 0,1 e 0,5. No caso de pavimentos porosos que não infiltram e direcionam à uma rede pluvial, o valor de  $q_s$  é fixado pela administração municipal. Para a RMC, este valor é de 27 l/(s.ha).

O passo seguinte é calcular  $V$  pela expressão dada e fazer:

$$H = \frac{V}{10 * \eta}$$

Sendo:

$V$ : volume em mm

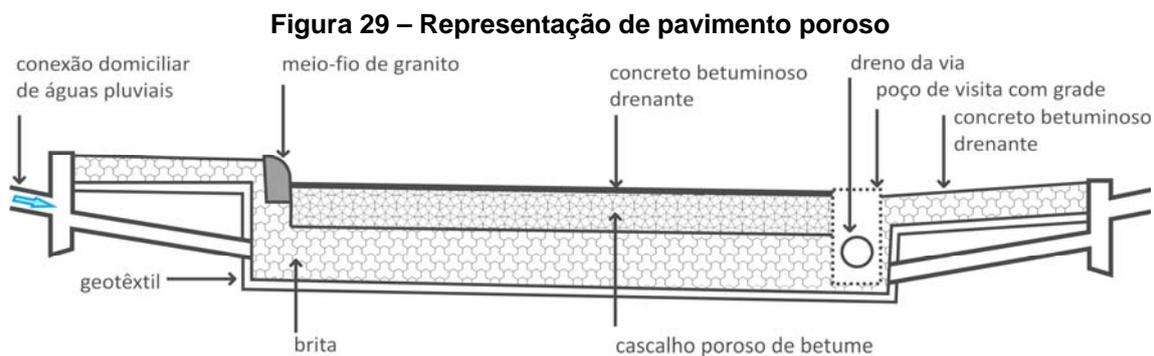
$H$ : espessura da camada porosa do pavimento em cm

$\eta$ : porosidade do material estruturante da camada reservatório

Valores referenciais de  $H$ , da experiência internacional, com brita, englobando dimensionamento hidráulico e mecânico, situam-se entre 50 a 80 cm, mas estes valores não devem ser vistos como valores limites.

▪ **Exemplo / Representação:**





## 8.2 Trincheira de Retenção e Infiltração

### ▪ Função:

Retem e infiltram no solo, de forma concentrada e linear a água da chuva caída em superfície limítrofe. Abate as descargas de pico do escoamento superficial e promove a recarga do lençol freático e deste contribui com a recarga do aquífero.

Devido aos aspectos de larga possibilidade de aplicação, simplicidade operacional, baixo custo de implantação e boa eficiência na retenção de vazões excedentes, tem seu uso recomendado pela equipe técnica de drenagem da PM de Curitiba.

### ▪ Conceito:

É um dispositivo linear, de pouca profundidade; normalmente não excede 1,5 m; escavado no solo para receber as águas de escoamento. A recepção das águas se dá de forma perpendicular ao comprimento. Segundo o modo de evacuação das águas, distinguem-se as trincheiras de retenção e as de infiltração.

Quando são recobertas com gramado contribuem positivamente no aspecto dos cenários paisagísticos. Trata-se de um dispositivo hidraulicamente autônomo e pode favorecer por infiltração no solo o tratamento de escoamentos levemente poluídos.

- **Restrições de Aplicação:**

Adequado para infiltrações a partir de 21 L/ m<sup>2</sup> dia.

Aplicável ao longo de extensas áreas de recebimento de águas pluviais e aplicável ao longo das rodovias.

A profundidade do lençol freático no período chuvoso deve ser maior que 1,5 m e a camada impermeável do subsolo deve estar a mais de 1,5 m de profundidade.

A largura da trincheira deve ser projetada de modo que a execução da MC não seja dificultada: caso seja demasiadamente larga, exige muito espaço no terreno. Recomenda-se que as seções sejam da ordem de (0,5 x 0,5) m a (1,0 x 1,0 ) m que são normalmente utilizadas.

São inadequadas para solos com freático alto, solos frágeis à água e solos impermeáveis – K menor que 21,0 L / m<sup>2</sup> dia.

Também são inadequadas em locais com altas declividades e/ou com presença de instalações subterrâneas; inadequadas também para esforço e tráfego intensos. Pode ter sua função reduzida ao longo do tempo por sedimentação de material sólido na área, caso não se utilize manta geotêxtil.

Recomenda-se tratar ou desviar escoamentos com significativa carga de poluentes e sedimentos.

Uma vantagem significativa das trincheiras refere-se ao fato da água ser armazenada enterrada o que impede a proliferação de insetos.

- **Pré-dimensionamento:**

As premissas de dimensionamento recomendadas pela PM de Curitiba, consideram uma chuva base com altura de 40 mm, ou seja, admite-se o armazenamento de 20 mm e o escoamento de 20 mm. Primeiramente armazena-se e na sequência o excedente esco para a galeria de águas pluviais.

Uma precipitação com intensidade de 40,0 mm/h é suficiente para causar danos às pessoas e inundações das áreas baixas.

Admite-se que destes 40 mm, 20 mm seja direcionado ao dispositivo denominado SRI – Sistema de Retenção e Infiltração e se infiltre no solo e a outra parcela de 20 mm escorra para a boca de lobo mais próxima à qual estará acoplada a galeria de águas pluviais.

A área de contribuição do SRI corresponde à área da rua que contribui para a caixa de captação das águas pluviais, que pode ser uma boca de lobo adaptada para essa finalidade.

A PM de Curitiba tem adotado 30,0 m como espaçamento médio entre caixas de captação.

Para uma rua com 7,0 m de largura tem-se:

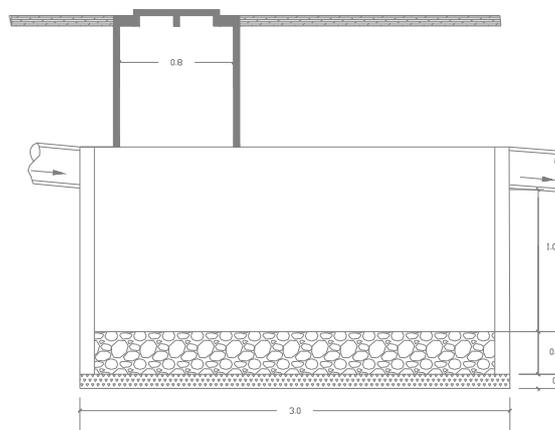
$$\text{Área de contribuição} = 3,5 \times 30 = 105 \text{ m}^2$$

O volume a ser armazenado é de:

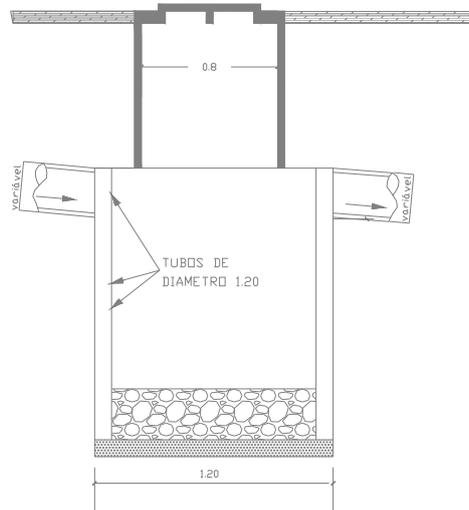
$$V = 105 \text{ m}^2 \times 0,02 = 2,1 \text{ m}^3 = 2.100 \text{ litros}$$

Neste caso pode ser empregado, o armazenamento em numa tubulação de concreto DN 1000, extensão de 3,0 m apoiada em lastro de brita com espessura de 0,3 m e capacidade total de acúmulo de 2.370 litros.

**Figura 30 – Representação do Sistema de Reservação e Infiltração com seção retangular**



**Figura 31 – Representação do Sistema de Reservação e Infiltração com tubos de concreto com diâmetro de 1,20 m**



Alternativamente a esta proposição a PM de Curitiba recomenda o uso de trincheiras de infiltração com seção de armazenamento da água com as dimensões de (0,5 x 0,5) m = 0,25 m<sup>2</sup>; cujo tempo de infiltração é menor.

Tem-se:  $T = V_t / ( K/1000 ) \times A_t$

T = tempo de infiltração (dias)

V<sub>t</sub> = Volume total (m<sup>3</sup>)

K = coeficiente de infiltração (L/m<sup>2</sup> dia)

A<sub>t</sub> = Área do sistema em contato com o solo (m<sup>2</sup>)

A seção de armazenamento é constituída de brita considerando o valor de 45% como índice de vazios.

Resulta o volume armazenado por metro linear:

$$V = 0,25 \times 0,45 = 0,1125 \text{ m}^3 = 112,5 \text{ L/m}$$

No exemplo acima considerado seria necessário uma extensão de:

$$L = 2100 / 112,5 = 19,0 \text{ m}$$

Exemplificando para uma área maior, para que se tenha uma noção da amplitude do empreendimento, para uma área assemelhada a um estacionamento 5.000 m<sup>2</sup> tem-se um volume de 100.000 L; que requer uma vala com extensão de:

$$100.000 / 112,25 = 890,0 \text{ m}$$

Porém, caso se adote a vala com seção de ( 1,0 x 1,0 ) m, resulta um volume armazenado de 450 litros por metro linear, que conduz a uma vala com extensão de 100.000 / 450 = 222,0 m.

Os modelos de SRI adotados pela PM de Curitiba estão apresentados no anexo, inclusive tabela com características dimensionais.

Para facilitar o entendimento deste manual e auxiliar o usuário interessado apresenta-se também um modelo de projeto desenvolvido pelo Departamento de Pontes e Drenagem – Gerência de Estudos e Projetos – SMOP – PM de Curitiba.

Existem outras metodologias e outras intervenções cujas finalidades são similares às adotadas pela PM de Curitiba, entretanto com formulação mais acadêmica e complexa, sem que se agreguem benefícios substantivos às da prefeitura.

Entretanto para dotar este manual de maior abrangência e flexibilidade apresenta-se no seguimento esta metodologia dita alternativa para as trincheiras.

Primeiramente determina-se o comprimento da trincheira e a largura. Pode ser definido com base no traçado arquitetônico. Fixando-se o comprimento e a largura, a profundidade da trincheira é definida basicamente pelo dimensionamento da profundidade de brita. Com base na equação IDF (Fendrich e Freitas, 1989) tem-se a expressão aproximada do volume de acumulação na trincheira:

$$V = (7,11 * \sqrt{\beta} * T^{0,129} - 0,64 * \sqrt{\gamma} * \sqrt{H} * \sqrt{qs})^2$$

Onde:

V = volume de acumulação, em mm sobre a área em planta do dispositivo

$\beta$  = coeficiente adimensional dado pelo coeficiente de escoamento multiplicado pela razão entre área contribuinte e área do dispositivo

T = período de retorno em anos

H = profundidade média, em mm, da camada de armazenamento do dispositivo

$\gamma$  = razão entre a área de percolação e a área do dispositivo em planta, dividida por H, em mm<sup>-1</sup>

qs = vazão de saída constante do dispositivo, em mmh<sup>-1</sup>

O que se procura é o cálculo da profundidade da trincheira, ou seja, o valor de H. Uma vez definidos o comprimento L e a largura B da trincheira, é possível calcular  $\beta$  (adimensional), como:

$$\beta = \frac{C * A}{B * L}$$

Onde:

A = área contribuinte à trincheira, pavimento em m<sup>2</sup>

C = coeficiente de escoamento da área contribuinte

B = largura da trincheira em m

L = comprimento da trincheira em m

A área de percolação corresponde à área das paredes laterais. Tem-se:

$$\gamma = \frac{2 * L}{L * B} = \frac{2}{B}$$

Sendo B em milímetros.

Com  $\beta$  e  $\gamma$  definidos, calcula-se V pela expressão dada.

No caso de uma trincheira de infiltração no solo, a capacidade de infiltração deste é o elemento básico de projeto. Como vazão de saída qs, a que percola pelas paredes da trincheira, tem-se o produto da condutividade hidráulica saturada K<sub>SAT</sub> do solo por um coeficiente redutor  $\alpha$  devido à colmatagem.

$$qs = \alpha * K_{sat}$$

A condutividade hidráulica saturada KSAT deve ser determinada através de ensaios de infiltração. Para trincheiras, valores recomendados de  $\alpha$  situam-se entre 0,1 e 0,5. O solo que recebe a trincheira deve ser natural (não compactado ou aterrado) e ter KSAT da ordem de 15 a 60 mmh-1.

Abaixo, a expressão de  $\eta$  introduzida na de  $V_{m\acute{a}x}$ :

$$\eta * H = (k_1 - k_2 * \sqrt{H})^2$$

Onde:

$$\eta H = V$$

$\eta$  = porosidade do material de enchimento do poço

$$k_1 = 7,11b^{1/2} T^{0,129}$$

$$k_2 = 0,64g^{1/2}q_s^{1/2}$$

A solução, para a profundidade H da trincheira, em cm, é:

$$H = \frac{1}{10} * \left[ \frac{k_1 * (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - k_2^2} \right]^2$$

A profundidade total da trincheira é o valor de H somado às alturas das camadas de fundo (filtro de areia, se houver) e de superfície (recobrimento, se houver). Um valor de referência para H é da ordem de 100cm.

No caso de trincheiras de retenção que direcionam sua saída para a rede pluvial, o valor de  $q_s$  é fixado pela administração municipal. Para a RMC, este valor é de 27 l/(s.ha). O dispositivo regulador de saída pode ser uma estrutura tipo orifício e deve ser calculada segundo os manuais de hidráulica.

Para o dimensionamento do dreno lateral para reservação e infiltração das águas pluviais, utiliza-se os quadros 15 e 16.

**Quadro 15 – Valores dos parâmetros para Sistemas de Reservação e Infiltração sem tubos, apenas a vala mais a pedra brita**

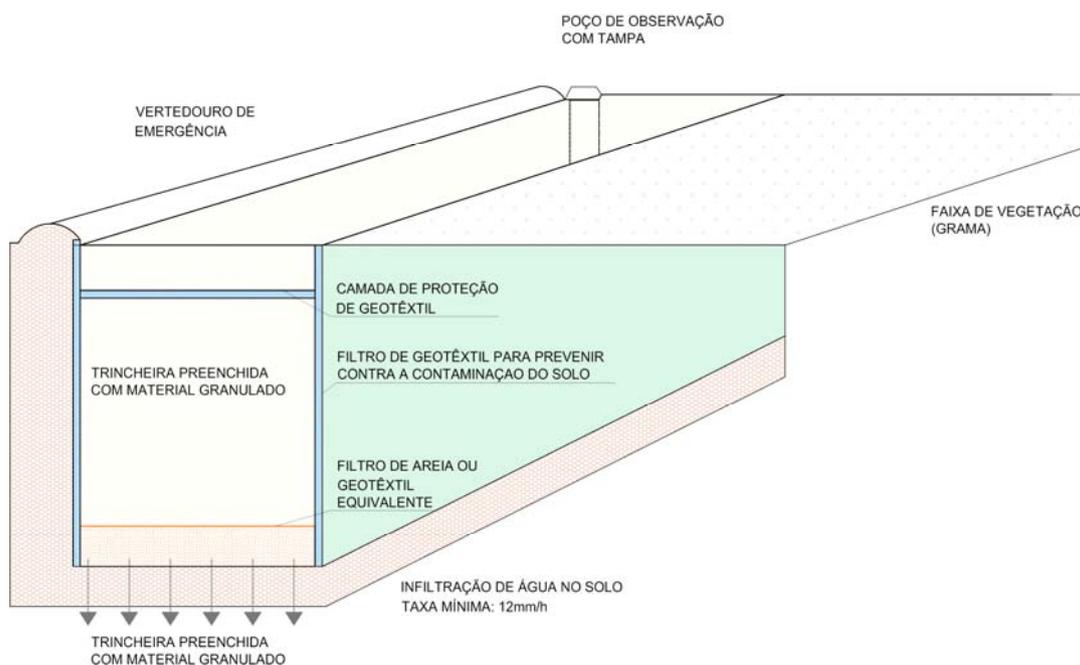
LARG (m)	COMPR (m)	ALTURA (m)	ÁREA DA BASE (m <sup>2</sup> )	ÁREA ALTURA (m <sup>2</sup> )	Nº DE VALAS	ÁREA TOTAL (m <sup>2</sup> )	COEF. INF. (L/m <sup>2</sup> /DIA)	VOL (m <sup>3</sup> )	VOL ÁGUA (m <sup>3</sup> )	TEMPO DE ESVAZIA MENTO (DIAS)
0,5	24,00	0,5	12,00	12,00	01	48,00	21	6	3	3
0,5	24,00	0,5	12,00	12,00	01	48,00	64	6	3	1
0,5	24,00	0,5	12,00	12,00	01	48,00	89	6	3	0,7

**Quadro 16 – Valores dos parâmetros para Sistemas de Reservação e Infiltração sem tubos, para execução com miniescavadeira**

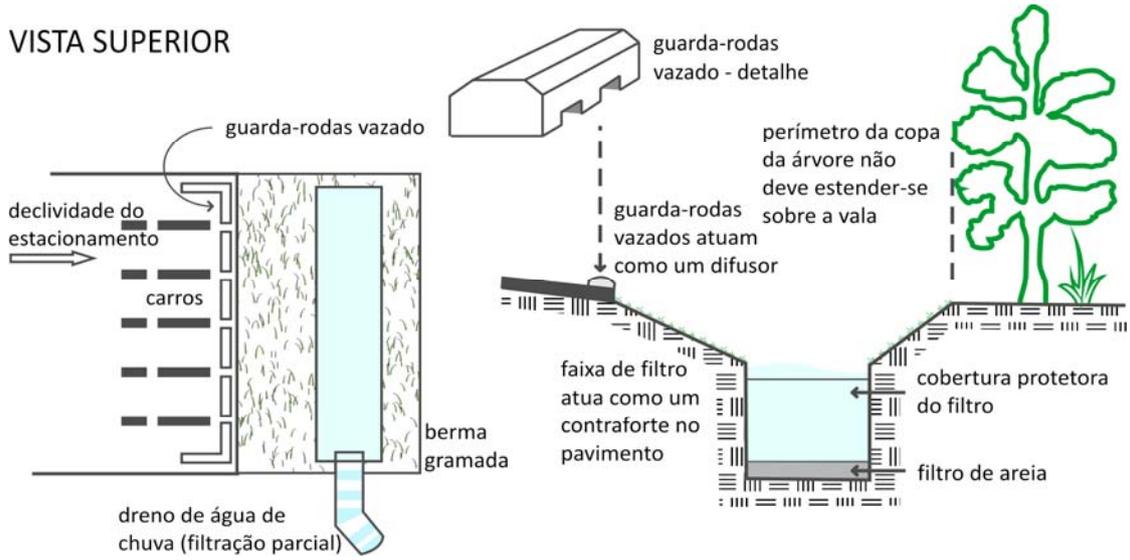
LARG (m)	COMPR (m)	ALTURA (m)	ÁREA DA BASE (m <sup>2</sup> )	ÁREA ALTURA (m <sup>2</sup> )	Nº DE VALAS	ÁREA TOTAL (m <sup>2</sup> )	COEF. INF. (L/m <sup>2</sup> /DIA)	VOL (m <sup>3</sup> )	VOL ÁGUA (m <sup>3</sup> )	TEMPO DE ESVAZIA MENTO (DIAS)
0,35	24,00	0,5	8,40	12,00	01	40,8	21	4,20	2,10	2,5
0,35	24,00	0,5	8,40	12,00	01	40,8	64	4,20	2,10	0,8
0,35	24,00	0,5	8,40	12,00	01	40,8	89	4,20	2,10	0,6

▪ **Exemplo / Representação:**

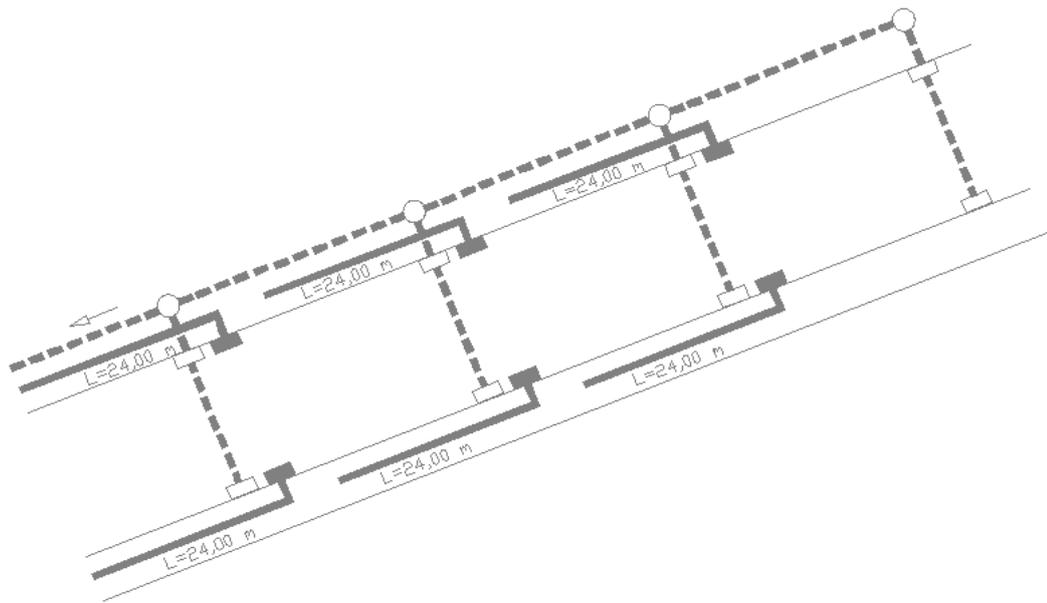
**Figura 32 – Trincheira de infiltração (Schueler, 1987 - Adaptado)**



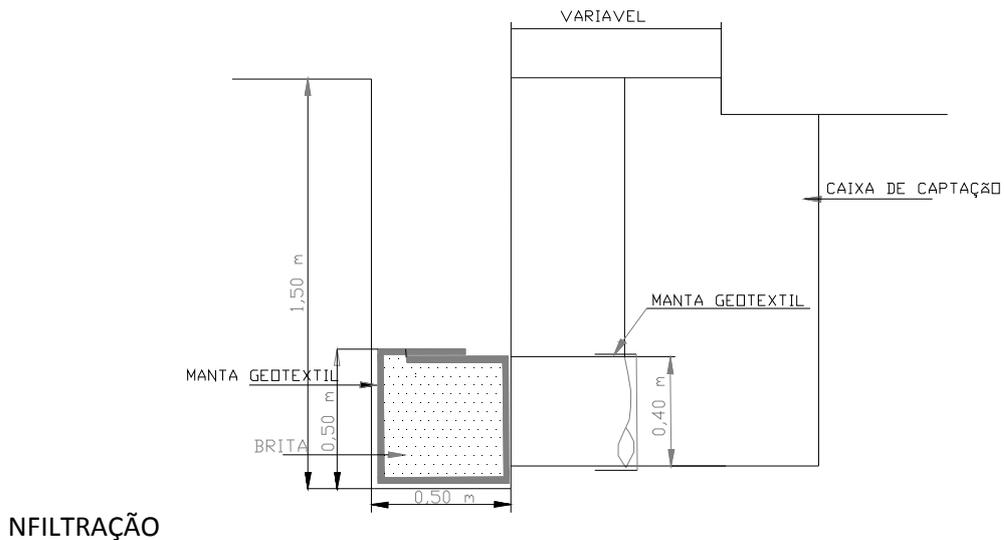
**Figura 33 – Trincheira de infiltração (Schueler, 1987 - Adaptado)**



**Figura 34 – Detalhe PLANTA PEDRÃO – DRENO LATERAL PARA RESERVAÇÃO E INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS (Secretaria Municipal de Obras Públicas - Adaptado)**



**Figura 35 – Detalhe do DRENO LATERAL PARA RESERVAÇÃO E INFILTRAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS (Secretaria Municipal de Obras Públicas - Adaptado)**



### 8.3 Vala de Infiltração

- **Função:**

Tem a função de reservatório de detenção já que a drenagem que escoar para o valo é superior à capacidade de infiltração. Funciona como uma variante de retardo do escoamento de sedimentos.

- **Conceito:**

São depressões lineares, de drenagem lateral, utilizada paralela às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais entre outros. São concebidos para funcionar como pequenos canais onde o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado parcialmente no percurso, com o excesso destinado a uma rede pluvial convencional.

Funcionam como pequenos canais onde o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado parcialmente no percurso, com o excesso destinado a uma rede pluvial convencional. Seu volume deve ser o suficiente para não ocorrer alagamento. Nos períodos com pouca precipitação ou de estiagem, ele é mantido seco. Pode incorporar pequenas barragens de desaceleração favorecedoras de infiltração. Existe uma variante chamada de vala de retenção que contém barragens, vedando praticamente toda a seção transversal, com a

finalidade de abater o pico do escoamento, controlado por orifícios. Esta é uma alternativa para solos pouco permeáveis. Contribui para a recarga do lençol freático e para a umidade do solo, mas a variante de retenção contribui menos. Integra bem a paisagem verde quando recoberta por grama. Com funcionamento hidráulico requer sempre supervisão.

- **Restrições de Aplicação:**

Capacidade de infiltração acima de 7mm/h. Sua função se mantém para declividades menores de 5%. Os planos devem ter declividade que permita o escoamento para fora do mesmo. Profundidade do lençol freático no período chuvoso maior que 1,20m. A camada impermeável deve estar a mais de 1,20m de profundidade. O solo deve ser permeável.

Inadequado para declividades superiores a 5%. Inadequado para solos com má capacidade de infiltração, para freáticos próximos à superfície e para águas subterrâneas vulneráveis. Restrito o uso com tráfego intenso de pedestres ou circulação de veículos – que podem compactar a vala. Deve-se evitar o aporte de esgoto cloacal e de sedimentos de solos nus. O acúmulo de água no plano durante o período chuvoso não permite trânsito sobre a área.

- **Pré-dimensionamento:**

Primeiramente, calcula-se a vazão de saída (vazão de infiltração) pela multiplicação da capacidade de infiltração mínima do solo com a superfície de infiltração. Pode-se adotar esta superfície de infiltração equivalente à superfície em planta (largura x comprimento).

O volume de armazenamento necessário pode ser calculado por metro linear de comprimento de vala para que, na sequência, seja transformado no perfil transversal máximo molhado em função da geometria do perfil transversal da vala.

O pré-dimensionamento pode se basear no cálculo da profundidade média de armazenamento máximo na vala de infiltração.

Com base na equação IDF (Fendrich e Freitas, 1989) uma expressão aproximada do volume máximo de acumulação na vala é dada por:

$$V = (7,11 * \sqrt{\beta} * T^{0,129} - 0,64 * \sqrt{q_s})^2$$

Onde:

V = volume de acumulação, em mm sobre a área em planta da vala

$\beta$  = coeficiente adimensional dado pelo coeficiente de escoamento multiplicado pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo

T = período de retorno em anos

$q_s$  = vazão de saída constante do dispositivo, em mmh-1

Admitem-se conhecidos o comprimento L e a largura B do espelho d'água. Procura-se ainda o cálculo da profundidade média de água acumulada na vala, através da expressão:

$$\beta = \frac{C * A}{B * L}$$

Onde:

A = área contribuinte à vala de infiltração, pavimento em m<sup>2</sup>

C = coeficiente de escoamento da área contribuinte.

B = largura da vala em m

L = comprimento da vala em m

Para o projeto da vala de infiltração, a capacidade de infiltração do solo é determinante para uma aplicação eficaz da medida de controle. A vazão de saída  $q_s$ , que infiltra pelo leito da vala, é a multiplicação da condutividade hidráulica saturada do solo  $K_{SAT}$  (determinada através de ensaios de infiltração) por um coeficiente redutor.

$$q_s = \alpha * K_{sat}$$

Para valas de infiltração, recomendam-se valores de  $q_s$  entre 0,1 e 0,5. Caso contrário, devem-se aumentar as dimensões da vala de infiltração, ou combiná-la com outra MC, para se aproximar do valor recomendado.

No caso de valas de retenção que direcionam o escoamento para um exutório,

o valor de  $q_s$  é fixado pela administração municipal. Para a RMC, este valor é de 27 l/(s.ha).

Com  $\beta$  e  $\gamma$  definidos, calcula-se V:

$$H = \frac{V}{10 \cdot \eta}$$

Sendo H a profundidade média (em cm) do volume máximo acumulado na vala.

- **Exemplo / Representação:**

**Figura 36 – Vala de infiltração (Schueler, 1987 - Adaptado)**

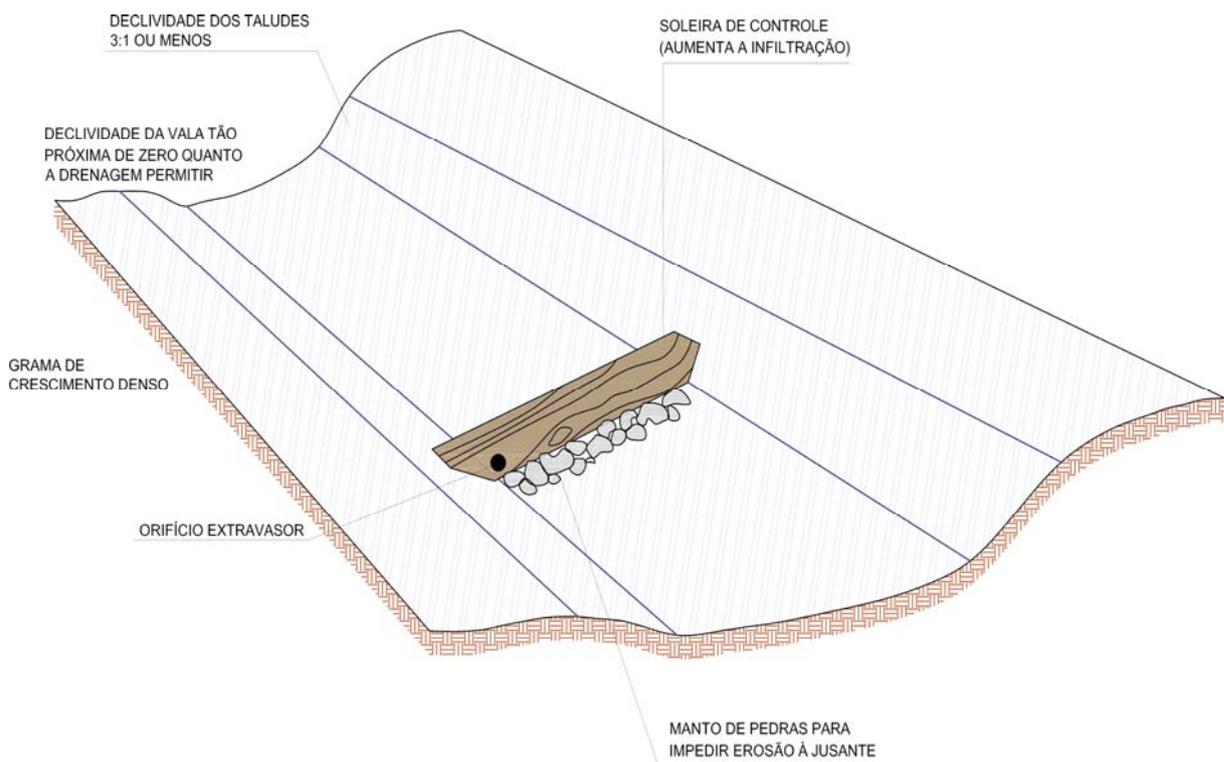
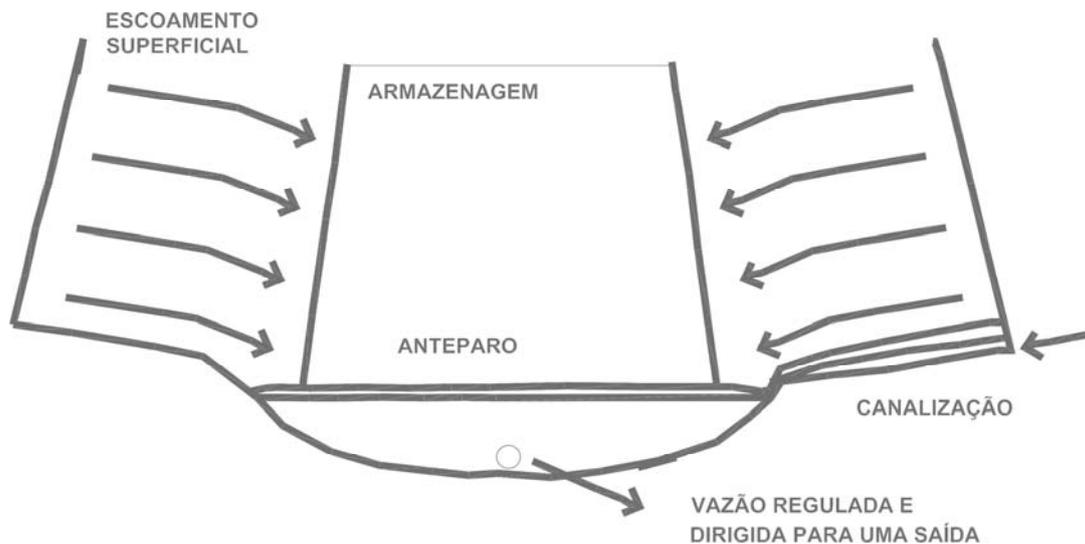


Figura 37 - Vala de retenção (Azzout et al., 1994 - Adaptado)



#### 8.4 Poço de Infiltração / Injeção

- **Função:**

Regular as cheias/chuvas infiltrando-as pontualmente ou não infiltrando-as no subsolo. Funcionam como pequenos reservatórios.

- **Conceito:**

Reservatório vertical e pontual, escavado no solo, que permite a evacuação do escoamento superficial para dentro do solo.

É uma medida de controle de escoamento superficial de pequenas áreas contribuintes. Dimensionado para infiltrar toda a água de escoamento superficial que lhe é direcionada em determinado período de retorno, pode ser apresentado sob dois tipos:

Poço de infiltração: situado acima do nível freático. É esgotado por absorção da camada não saturada do solo

Poço de injeção: situado no nível freático ou em parte dele. Esgota a água armazenada diretamente na zona saturada do solo.

Construtivamente pode estar estruturado por preenchimento com brita (meio

poroso) ou por revestimento estrutural fixando a parede interna e possibilitando o interior vazio.

▪ **Pré-dimensionamento:**

Fixa-se o diâmetro D do poço e determina-se sua profundidade H. A vazão de saída de projeto, por metro linear de poço, é dada pelo produto da capacidade de absorção do solo pela área interna do poço.

Com base na equação IDF (Fendrich e Freitas, 1989) uma expressão aproximada do volume máximo de acumulação no poço é:

$$V = (7,11 \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{0,129} - 0,64 \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{qs})^2$$

Onde:

V = volume de acumulação, em mm, sobre a área em planta do poço

$\beta$  = coeficiente adimensional dado pelo coeficiente de escoamento multiplicado pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo

T = período de retorno em anos

H = profundidade média, em mm, da camada de armazenamento do dispositivo

$\gamma$  = razão entre a área de percolação e a área do dispositivo em planta, dividida por H, em mm<sup>-1</sup>

qs = vazão de saída constante do dispositivo, em mmh<sup>-1</sup>

Procura-se o valor de H, ou seja, o cálculo da profundidade do poço de infiltração. Admite-se como conhecido o diâmetro D do poço.

Para um poço, tem-se:

$$\beta = \frac{4 \cdot C \cdot A}{\pi \cdot D^2}$$

Onde:

A = área contribuinte ao poço em m<sup>2</sup>

C = coeficiente de escoamento da área contribuinte.

D = diâmetro do poço em metro

O valor de g, por sua vez, é dado por:

$$F = \frac{4 \cdot \pi \cdot D}{\pi \cdot D^2} = \frac{4}{D}$$

Onde D é calculado em milímetro.

A capacidade de infiltração do solo é o elemento básico do projeto de um poço de infiltração. A vazão de saída  $q_s$ , que percola pela parede do poço, é calculada pela multiplicação da condutividade hidráulica saturada KSAT do solo por um coeficiente redutor.

$$q_s = \alpha * K_{SAT}$$

Valores recomendados para a condutividade hidráulica saturada KSAT (determinada através de ensaios de infiltração) situam-se entre 0,1 e 0,5.

A expressão de  $\gamma$  introduzida na expressão de V, estabelece a seguinte equação:

$$\eta H = (k_1 - k_2 * \sqrt{H})^2$$

Onde:

$$\eta H = V$$

$\eta$  = porosidade do material de enchimento do poço

$$k_1 = 7,11\beta^{1/2}T^{0,129}$$

$$k_2 = 0,64\gamma^{1/2}q_s^{1/2}$$

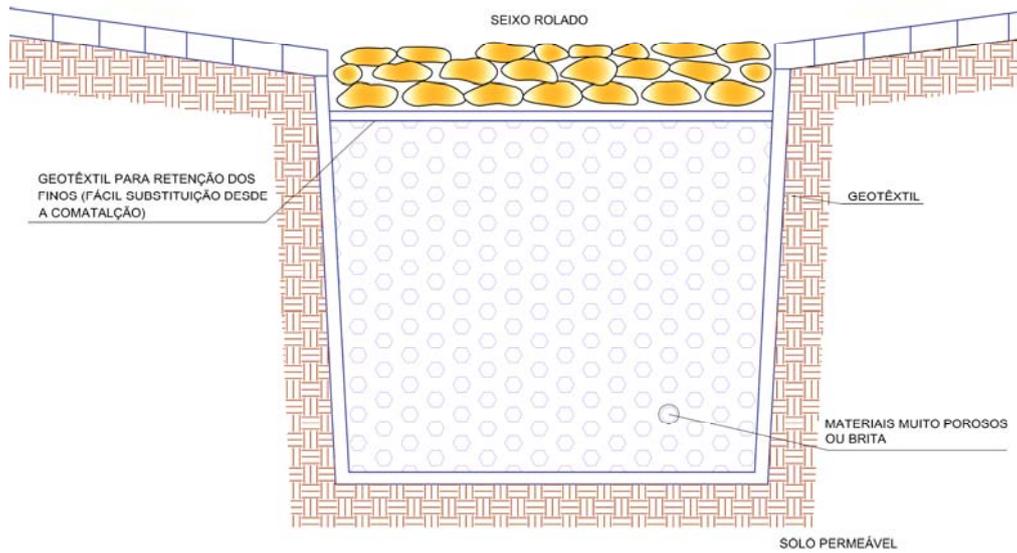
A solução, para a profundidade H do poço (em cm) é:

$$H = \frac{1}{4\eta} * \left[ \frac{k_1 + (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - k_2^2} \right]^2$$

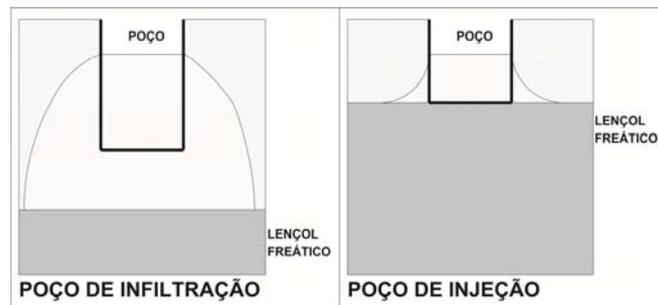
A profundidade real do poço pode ser maior pela presença de camada superficial impermeável. A profundidade H refere-se apenas ao horizonte permeável.

- **Exemplo / Representação:**

**Figura 38 - Poço de infiltração preenchido com brita (Azzout et al., 1994 - Adaptado)**



**Figura 39 – Poço de infiltração e poço de injeção (Azzout et al., 1994 - Adaptado)**



**Figura 40 – Poço de infiltração associado com bacia de infiltração (Azzout et al., 1994 - Adaptado)**

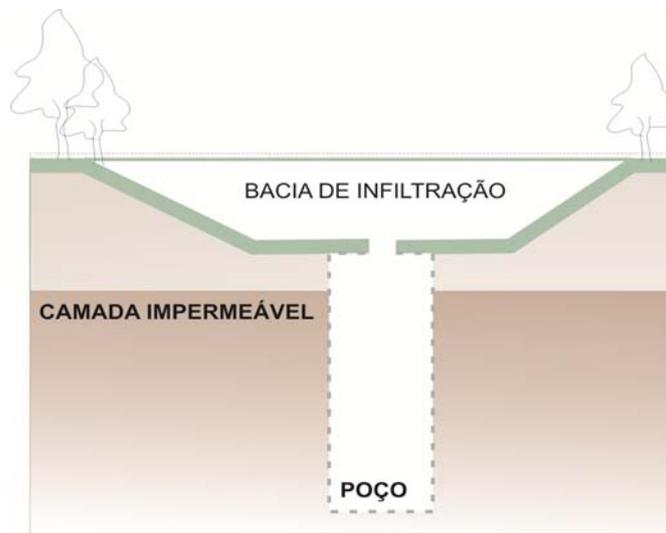
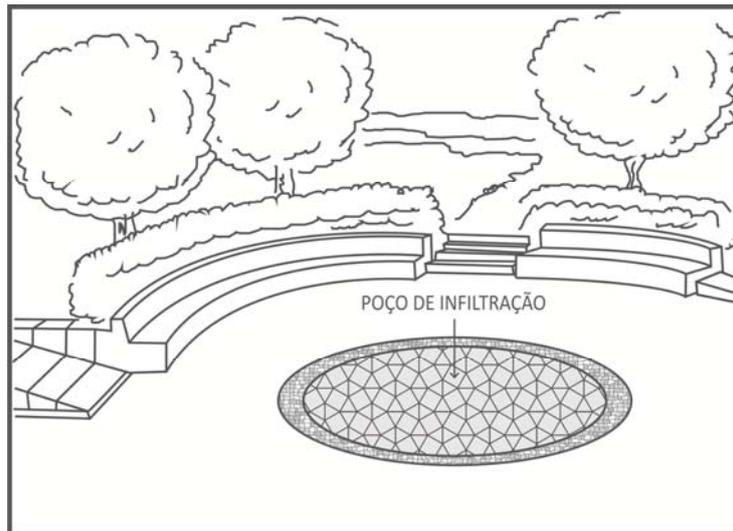


Figura 41 – Poço de infiltração em parques ou praças (Azzout et al., 1994 - Adaptado)



### 8.5 Microrreservatório e Microrreservatório Poroso

- **Função:**

Armazenamento temporário

- **Conceito:**

Reservatório de pequenas dimensões para do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas. Possui pequenas dimensões, tipo 'caixa d'água' residencial.

Pode ser usado vazio ou preenchido com material poroso, tendo seu fundo em solo ou vedado, como uma cisterna.

- **Pré-dimensionamento:**

O pré-dimensionamento de um microrreservatório depende da infiltração, se ele é estanque ou poroso.

- Cálculo para microrreservatório estanque:

Neste caso, o volume de reservação necessário será estimado a partir de:

$$V = 2,456 * T^{0,832} * A_{imp} * A$$

Sendo:

V = volume do microrreservatório em m<sup>3</sup>

T = período de retorno em anos

A<sub>imp</sub> = percentagem de área impermeável da área contribuinte (entre 0 e 100)

A = área do lote em ha

Na fórmula já foi considerada implicitamente a vazão específica de 27 l/(s.ha).

Os dispositivos de saída (orifícios ou condutos) devem ser dimensionados hidráulicamente para esgotar a vazão de entrada tal vazão de entrada.

- o Cálculo para microrreservatório poroso:

Com base no espaço disponível no lote, fixa-se seu comprimento e largura em planta. A localização deve ser estar a cerca de 3,0m de qualquer edificação importante. Deverá ser calculada a profundidade do dispositivo, que equivale ao dimensionamento da profundidade de brita.

As fórmulas de dimensionamento são análogas às da trincheira de infiltração, observando a diferença que, para o microrreservatório, deve ser considerada a infiltração pelas quatro paredes verticais, desprezando-se apenas o fundo como área de infiltração.

A expressão de  $\beta$  não muda mas a de  $\gamma$  modifica-se para:

$$\beta = \frac{C \cdot A}{B \cdot L}$$

Onde:

A = área contribuinte ao microrreservatório

C = coeficiente de escoamento da área contribuinte.

B = largura do microrreservatório (em mm)

L = comprimento do microrreservatório (em mm)

A expressão de  $\gamma$  é dada por:

$$Y = \frac{2 * (L + B)}{L * B}$$

A capacidade de infiltração deste é elemento básico de projeto. O cálculo de qS, a vazão que percola pelas paredes do microrreservatório, será obtido pelo produto da condutividade hidráulica saturada KSAT do solo, por um coeficiente redutor  $\alpha$  devido à colmatagem.

$$q_s = \alpha * K_{sat}$$

A condutividade hidráulica saturada KSAT deve ser determinada através de ensaios de infiltração.

Para microrreservatórios, valores recomendados de  $\alpha$  situam-se entre 0,1 e 0,5. O solo que recebe a trincheira deve ser natural (não compactado ou aterrado) e ter KSAT da ordem de 15 a 60 mmh-1.

O pré-dimensionamento propriamente dito é então realizado pela mesma equação da trincheira:

$$\eta * H = (k_1 - k_2 * \sqrt{H})^2$$

Sendo:

H = profundidade requerida pelo microrreservatório

$\eta$  = porosidade da brita de enchimento

$$k_1 = 7,11\beta^{1/2}T_{0,129}$$

$$k_2 = 0,64\gamma^{1/2}q_{S1/2}$$

A solução, para a profundidade H é, em cm:

$$H = \frac{1}{10} * \left[ \frac{k_1 * (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - k_2^2} \right]^2$$

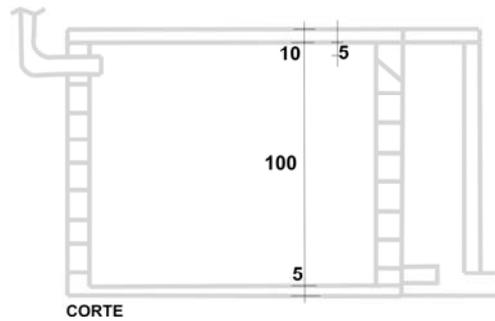
A profundidade total do dispositivo é a profundidade H somada às das camadas de fundo (filtro de areia, se houver) e de superfície (recobrimento). A estrutura, com membrana geotêxtil permeável isolando a brita do solo, é

semelhante à da trincheira de infiltração.

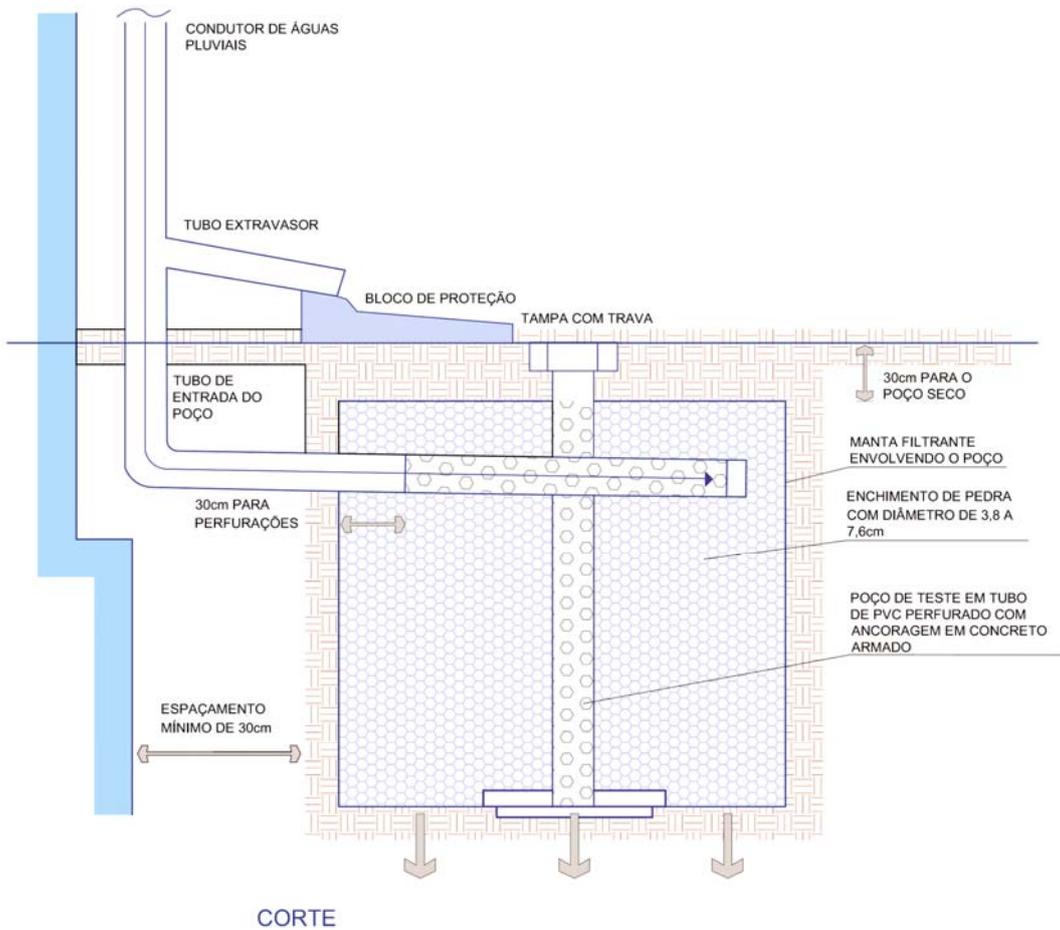
A melhoria da qualidade da água pode ser obtida se o volume do microrreservatório propiciar a infiltração no solo durante cerca de três dias.

- **Exemplo / Representação:**

**Figura 42 – Microrreservatório em alvenaria (Cruz et al, 1998 - Adaptado)**



**Figura 43 - Microrreservatório poroso enterrado (Schueler, 1987 - Adaptado)**



## 8.6 Telhado Reservatório

- **Função:**

Armazenamento temporário.

- **Conceito:**

Telhado de edificações com a função de reservatório de água pluvial para posterior envio à rede coletora de águas pluviais ou sua infiltração no subsolo. Pode ser preenchido com material poroso.

- **Restrições de Aplicação:**

A sobrecarga exercida pela água no telhado vai indicar a necessidade ou não de reforço estrutural. Azzout et al. (1994) afirmam que não se considera sobrecarga mecânica no dimensionamento estrutural do telhado se a pressão da água for inferior a 100 N/m<sup>2</sup>, valor normalmente previsto como sobrecarga para manutenção.

- **Pré-dimensionamento:**

O pré-dimensionamento de um telhado reservatório é análogo ao do microrreservatório, mas como capta somente a chuva caída sobre o próprio telhado, pode-se usar:

$$V = 0,02456 * T * 0,332^4$$

V = volume a armazenar no telhado, em m<sup>3</sup>

T = período de retorno em anos

A = área do telhado em m<sup>2</sup>

Os dispositivos de saída (orifícios, tubos de queda) devem ser dimensionados para a vazão global 9,7 l/(h.m<sup>2</sup>), o que equivale aos 27 l/(s.ha). No caso de um telhado reservatório vazio (sem preenchimento com brita), o volume acima é o volume real de telhado necessário à regulação. No caso de um telhado reservatório com preenchimento de brita, o volume calculado deve ser dividido

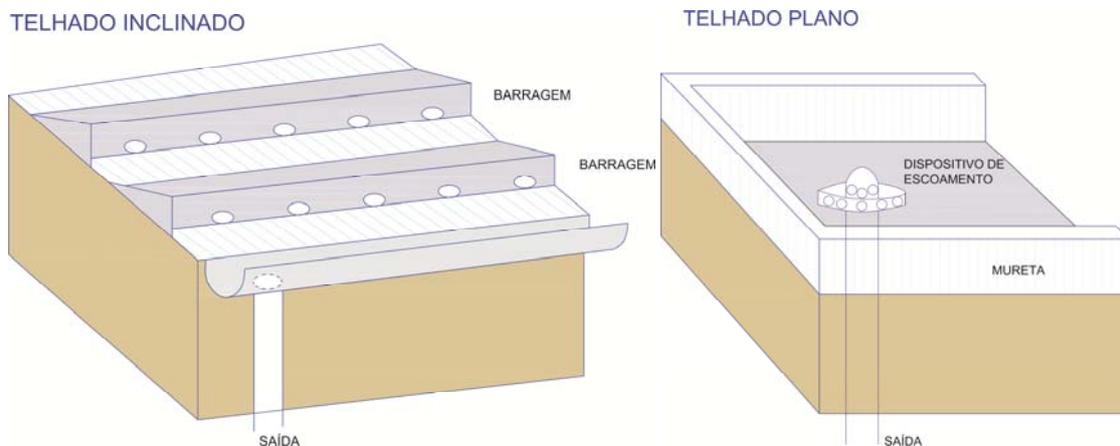
pela porosidade da brita para obtenção do volume real de telhado disponível para o reservatório.

A divisão do volume real de reservação pela área do telhado fornece a lâmina d.água necessária para a regulação. Entretanto, deve ser considerada a lâmina máxima admitida para segurança estrutural do telhado reservatório, para chuvas maiores que as de projeto. Para isto Azzout et al. (1994) sugerem que o orifício de extravazamento (ladrão) tenha uma capacidade de vazão de  $180l/(h.m^2)$ .

Para efeito prático este manual sugere, em nível de pré- dimensionamento, coincidir a base do “ladrão” à altura da lâmina de regulação mais 5 cm (esta folga pode ser calculada com mais precisão no detalhamento do projeto, por simulação hidráulica).

- **Exemplo / Representação:**

**Figura 44 - Telhados reservatório (Azzout,1994 - Adaptado)**



**Figura 45 - Telhados reservatório com cascalho (Azzout et al, 1994 - Adaptado)**



## 8.7 Manta de Infiltração

- **Função:**

Permite a retenção do material sólido, garantindo assim maior permeabilidade da água de escoamento.

- **Conceito:**

Manta geotêxtil posicionada sob o solo, envolvendo condutos perfurados que conduzem a água pluviais. Um geotêxtil permeável é utilizado para separar o material do preenchimento do material que cobre o dispositivo.

A mesma separação deve ser feita entre o material de preenchimento e o solo sub-superficial. Condutos perfurados ou porosos distribuem a água que vem da fonte pontual.

As mantas de infiltração são semelhantes às trincheiras, sendo que as mantas são cobertas pelo solo ou por alguma outra superfície infiltrante.

Como o sistema é completamente enterrado, a superfície do solo pode ser usada para outras finalidades.

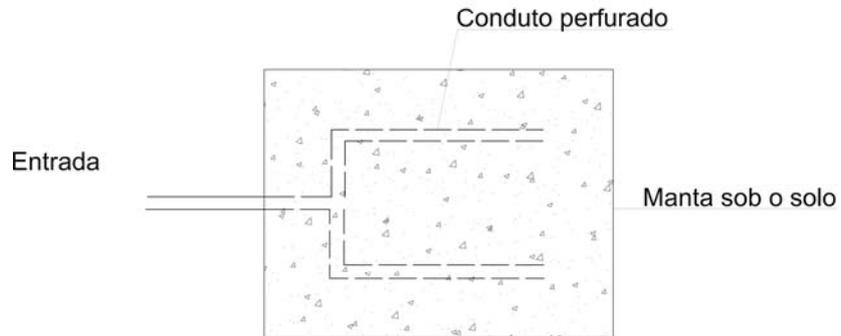
Recomenda-se colocar armadilhas para sedimentos de óleos. A frequência de limpeza deve ser controlada. Indicado para pequenas superfícies.

- **Condições Restritivas para Aplicação:**

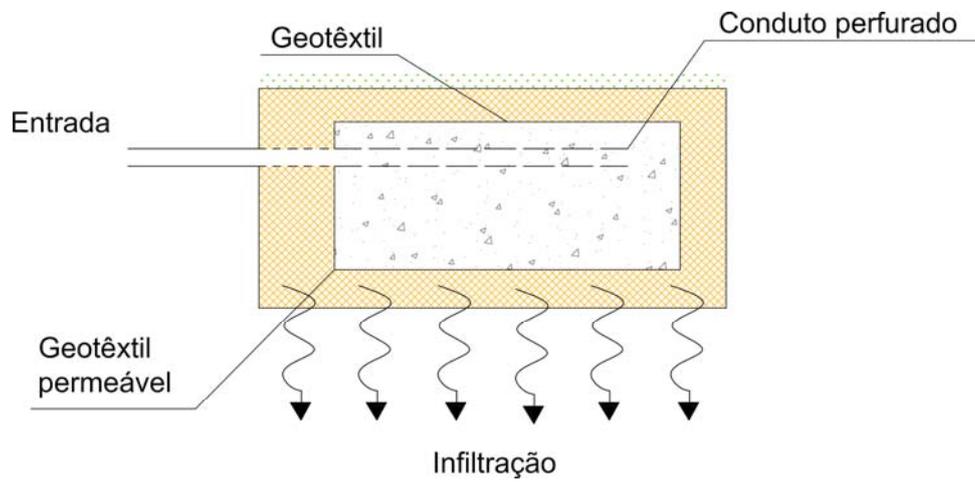
Uma das desvantagens deste tipo de estrutura é a manutenção onerosa e que exige planejamento, bem como o monitoramento de sua eficiência. Assim, quando há suspeitas do comprometimento da eficiência da estrutura, a mesma deve ser substituída.

▪ **Exemplo / Representação:**

**Figura 46 – Manta de infiltração - Planta**  
Vista Superior



**Figura 47 – Manta de infiltração – Perfil**



## **9. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MACRODRENAGEM**

### **9.1 Parque Isolado Associado a Reservatório de Amortecimento**

- **Função:**

Armazenamento temporário e possibilidade de estabelecimento de novas áreas verdes e recreativas para a região. Redução de inundações a jusante.

- **Conceito:**

São parques implantados na bacia hidrográfica em locais estratégicos para possibilitar o aumento da área permeável e o amortecimento das vazões de cheias. Com isso, tende-se a reduzir a necessidade de ampliação da capacidade do sistema de drenagem à jusante.

No momento da concepção do parque isolado, deve-se orientar o projeto para promover a infiltração das águas de chuva e fazer com que os lagos possam amortecer o escoamento, além de propiciar uma melhoria do caráter paisagístico da região.

- **Restrições de Aplicação:**

Alto custo de implantação e manutenção da área. Exige fiscalização para evitar a ocupação da área.

### **9.2 Parque Linear Ribeirinho**

- **Função:**

Diversas funções, que vão desde a proteção das áreas ribeirinhas contra ocupações irregulares – o que evita o confinamento de corpo de água – passando pela restauração das várzeas, proteção contra erosão das margens, recomposição de vegetação ciliar, até redução da poluição, possibilidade de estabelecimento de novas áreas verdes e recreativas para a região.

- **Conceito:**

O Código Florestal<sup>2</sup> recomenda a implantação de parques lineares em áreas de preservação permanente (APPs). A característica desse parque é a sua implantação, que pode ser em uma faixa ao longo de um rio, de um córrego ou de canal.

- **Restrições de Aplicação:**

Se a área estiver ocupada, implica em custos com desapropriações e/ou reassentamento de população de baixa renda. Maior custo de implantação e manutenção da área. Exige fiscalização para evitar a ocupação irregular.

### **9.3 Proteção das Cabeceiras das Bacias**

- **Função:**

Preservação das nascentes, recomposição da área de preservação permanente, redução da erosão das margens, diminuição do transporte de sedimentos.

- **Conceito:**

As intervenções previstas para a proteção das cabeceiras dos rios principais e de seus afluentes têm amplas opções disponíveis, que podem ser adotadas isoladamente ou em conjunto, em função da caracterização da área a ser protegida e das suas vulnerabilidades.

A intervenção primeira surge do atendimento às exigências da legislação ambiental, quanto à preservação e/ou recomposição da mata ciliar para enquadramento no novo código florestal quanto às dimensões requeridas para a área de preservação permanente. Esta intervenção por si só melhora as condições de infiltração, diminui o escoamento superficial e o transporte de sedimentos. O projeto de recomposição da APP deve vir acompanhado de um projeto de recomposição dos taludes das margens e eventualmente implantação de dispositivos transversais destinados a dissipação de energia

---

<sup>2</sup> Código Florestal - Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965.

nos trechos de elevada declividade. Deve-se ainda avaliar em função do relevo e das vizinhanças a possibilidade de se implantar reservatórios de contenção.

- **Restrições de aplicação:**

As restrições são as de ordem ambiental, social e econômica financeira. O peso maior e decisivo está no aspecto social principalmente se houver necessidade de relocação de moradores na área a ser modificada.

Os demais aspectos apesar de igualmente importantes podem ser mais facilmente assimilados e transpostos desde que existam projetos técnicos abalizados e estudos de viabilidade econômica financeira devidamente fundamentados e justificados.

#### **9.4 Restauração de Várzeas**

- **Função:**

Redução de inundações a jusante, redução de cargas poluidoras de fontes difusas e restauração do ecossistema ribeirinho.

- **Conceito:**

Sua implementação pode ser associada à implantação/restauração de parques lineares, geralmente em áreas ribeirinhas alteradas, mas ainda não densamente ocupadas. A restauração dessas áreas possibilita o retorno da ocorrência de inundação natural de rios e córregos.

- **Restrições de Aplicação:**

Se a área estiver ocupada, implica em custos com desapropriações. Custo de implantação e manutenção da área. Exige fiscalização para evitar a ocupação da área.

## 9.5 Banhados Construídos (Wetlands)

- **Função:**

Promove o tratamento de efluentes secundários ou de águas poluídas do sistema de drenagem, melhorando a qualidade da água dos corpos hídricos à jusante; auxilia no controle de cheias; aumenta a recarga do aquífero; aumenta a área verde da região, restaurando ecossistemas naturais; pode conter a pressão da expansão urbana dependendo de onde for implantado.

- **Conceito:**

Os banhados naturais são áreas de transição entre as regiões mais altas no trajeto das águas de uma bacia e os talwegues. Os banhados podem ser pradarias úmidas, mangues, pântanos, charcos e várzeas, apresentando espécies nativas (flora e fauna) típicas de solos inundados. Podem purificar a água ao reter e transformar sedimentos através de processos físicos e biológicos de transformação, propiciados pela energia solar e eólica. Entre eles estão: sedimentação, absorção, adsorção, mineralização, e transformações microbiológicas.

No que se refere à implantação dos banhados construídos, eles podem atingir capacidade de assimilação de poluentes igual ou superior aos banhados naturais. Funcionam também como bacias de retenção e de infiltração, reduzindo as vazões e os volumes de cheia. A capacidade de tratamento (assimilação de poluentes), tanto nos banhados naturais quanto nos construídos, é contínua, o que faz com que sejam caracterizados como ecossistemas praticamente auto-sustentáveis, exigindo reduzida manutenção.

- **Restrições de Aplicação:**

Exige fiscalização para evitar a ocupação da área.

## 9.6 Restauração de Margens

- **Função:**

Atuam na contenção de enxurradas, na infiltração do escoamento superficial, na absorção do excesso de nutrientes, na retenção de sedimentos, ajudam a reduzir o assoreamento da calha do rio e favorecem o aumento da capacidade de vazão durante a seca.

- **Conceito:**

A restauração das margens de rios e canais engloba ações de retaludamento, revegetação, revestimento e implantação de estruturas de contenção. O resultado esperado é a estabilização e a recomposição das margens que foram rompidas pelo efeito da erosão, *piping*<sup>3</sup>, sobrecarga do maciço ou pelo colapso de estruturas de contenção.

- **Restrições de Aplicação:**

Devem-se buscar soluções que não envolvam estruturas pesadas. Sempre que possível, utilizar técnicas de renaturalização, procurando-se recompor as condições naturais do corpo de água.

## 9.7 Recomposição de Vegetação Ciliar

- **Função:**

Recuperação da vegetação que fora removida por ações antrópicas, ao longo da faixa das áreas de preservação permanente (APP).

- **Conceito:**

A recomposição poderá ser feita de duas maneiras: ou plantando espécies vegetais nativas ou aguardando a recomposição natural da vegetação após a remoção das espécies exóticas e o isolamento da área.

---

<sup>3</sup> Erosão interna que ocasiona a remoção de partículas do interior do solo, formando uma espécie de "tubos" (em inglês, "*pipes*") vazios que podem provocar colapsos e escorregamentos laterais do terreno.

- **Restrições de Aplicação:**

Para sua implementação, as margens dos rios e canais deverão estar em bom estado, naturalmente.

### **9.8 Renaturalização de Rios e Córregos**

- **Função:**

Redução dos picos de cheia, diminuição dos processos erosivos, melhoria da qualidade da água e o restabelecimento do ecossistema.

- **Conceito:**

Intervenções visando a fornecer as condições necessárias para que o curso de água recupere suas condições naturais. Sua aplicação pode ser feita conjuntamente com a implantação de parques.

- **Restrições de Aplicação:**

Técnicas de intervenção ainda não muito difundidas no Brasil, o que dificulta a aplicação.

### **9.9 Contenção de Encostas Instáveis**

- **Função:**

Redução dos picos de cheia, diminuição dos processos erosivos, melhoria da qualidade da água e melhor escoamento da água.

- **Conceito:**

São obras de retaludamento, revestimento dos taludes, execução de muros de arrimo e readequação do sistema de drenagem de encostas que se tornaram instáveis devido à ação das águas pluviais.

- **Restrições de Aplicação:**

Podem envolver obras de alto custo financeiro

## 9.10 Bacias de Contenção de Sedimentos

- **Função:**

Diminui o processo de assoreamento dos rios, contribui para a qualidade da água do rio

- **Conceito:**

Reservatórios ou tanques construídos geralmente nos pontos de quebra de greide ou de inflexão de declividade para reduzir a velocidade de escoamento das águas pluviais e, conseqüentemente, possibilitar a sedimentação dos sólidos nelas suspensos.

- **Restrições de Aplicação:**

Os sedimentos retidos requerem disposição ambientalmente correta.

- **Exemplo / Representação:**

Figura 48 – Sediment basin (Mecklenberg, 1996 - Adaptado)

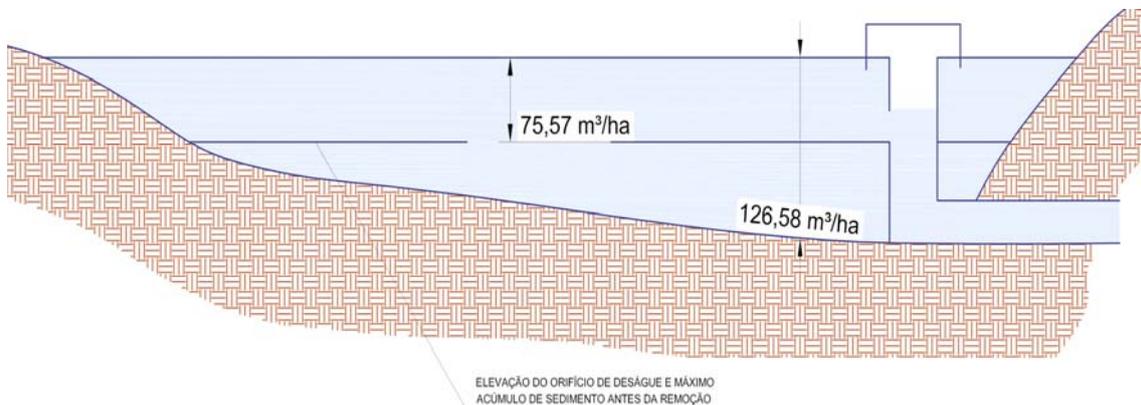
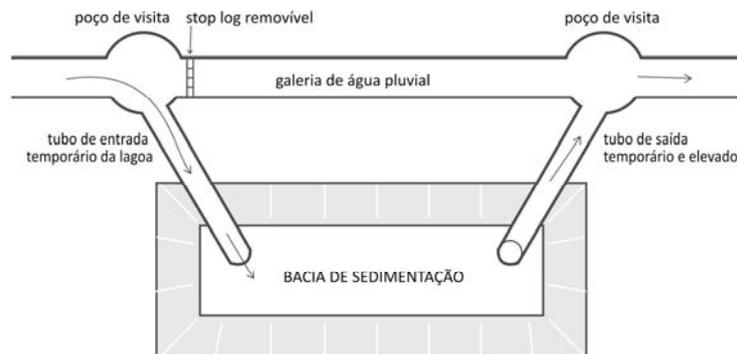


Figura 49 – Sediment pond (Mecklenberg, 1996 - Adaptado)



## 9.11 Dissipadores de Energia

- **Função:**

Combate o processo erosivo dos rios

- **Conceito:**

Implantação de estruturas que reduzem a energia de escoamento da água pluvial, com o objetivo de proteger contra processos erosivos os trechos a jusante de outros que foram canalizados.

Geralmente implantam-se os dissipadores de energia no desemboque de galerias, canaletas, bueiros, escadas hidráulicas ou canais; em transições entre trechos canalizados e não canalizados ou em áreas onde houver risco de erosão.

- **Restrições de Aplicação:**

Requer intervenções de limpeza e manutenção periódica.

## 9.12 Adequação de Canais para Retardar Escoamento

- **Função:**

Possibilita a redução dos picos de cheia, bem como os riscos de inundação a jusante.

- **Conceito:**

Execução de obras na calha de canais cujo objetivo é a redução da velocidade do escoamento das águas. Tais obras podem ser a execução de soleiras submersas<sup>4</sup>, ações para a redução da declividade do canal (com a execução de degraus, por exemplo), para o aumento da rugosidade do revestimento e/ou para a ampliação da seção do canal.

---

<sup>4</sup> Barramentos instalados abaixo da linha de água que promovem a elevação do nível de água.

- **Restrições de Aplicação:**

Envolvem obras com custos financeiros significativos.

### **9.13 Obras de Desassoreamento**

- **Função:**

Possibilita a redução dos picos de cheia, bem como os riscos de inundação a jusante.

- **Conceito:**

São intervenções em rios e canais para limpeza e remoção de sedimentos acumulados, com o objetivo de aumentar a capacidade de escoamento das águas.

- **Restrições de Aplicação:**

Deve-se atentar para que as intervenções não acabem gerando instabilidade das margens.

- **Pré-dimensionamento:**

A intervenção deverá ser precedida de estudos de controle dos impactos a jusante, resultantes do aumento da capacidade hidráulica do rio ou do canal.

### **9.14 Sistema de Galeria de Águas Pluviais**

- **Função:**

Contenção da água pluvial ao longo do percurso do rio diminuindo o escoamento da água a jusante.

- **Conceito:**

A execução de sistemas de galerias e a canalização de córregos podem ser implantados em conjunto com outras medidas de controle não-estruturais para reter, o retardar e/ou promover a infiltração das águas pluviais, diminuindo os impactos negativos decorrentes dos sistemas convencionais de galerias de

água pluvial – que apesar de solucionarem as questões da drenagem localmente, aceleram e concentram o escoamento da água a jusante, transferindo o problema de inundação para outras áreas e acelerando processos erosivos.

- **Restrições de Aplicação:**

Requerem maiores custos e o dimensionamento correto das estruturas para não intensificar a problemática das enchentes.

### **9.15 Sistema de Reuso de Águas Pluviais**

- **Função:**

Contribuem para a retenção das águas pluviais diminuindo os picos de cheia a jusante e uso racional da água.

- **Conceito:**

Permitem a reutilização de águas pluviais quando armazenadas em microrreservatórios ou em reservatórios de amortecimento. Essa alternativa é possível quando o reuso não demandar água potável, como por exemplo para irrigação, lavagem de pisos e fachadas, uso em descargas de bacias sanitárias ou em circuitos industriais de refrigeração.

- **Restrições de Aplicação:**

Recomenda-se um tratamento da água captada para a eliminação de poluentes. O nível de tratamento dependerá da qualidade demandada a posteriori.

### **9.16 Bacia de Detenção**

- **Função:**

Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo.

- **Conceito:**

É um tipo de reservatório de amortecimento de cheias que, dependendo da

função, pode ser caracterizado de duas maneiras:

- Se na estiagem ele for mantido seco, receberá o nome de 'reservatório (ou bacia) de detenção'.
- Se na estiagem for mantido dentro dele um volume permanente de água, receberá o nome de 'reservatório (ou bacia) de retenção'.

Ambos os tipos poderão ser ainda caracterizados de acordo com a forma, apresentando-se em linha ou lateral, de acordo com seu posicionamento em relação ao canal que contribui para o reservatório.

Reservatório em linha: implantado ao longo do canal. Possui estrutura de barramento com um descarregador de fundo e um extravasor. A capacidade do descarregador é limitada à capacidade do trecho de canal a jusante. A função do extravasor é servir de dispositivo de segurança para vazões superiores àquela de projeto.

Reservatório lateral: construído ao lado do canal principal para receber, por um vertedor lateral, a vazão excedente da calha do canal. O nível da soleira do vertedor tem relação com o nível máximo admitido no canal e, em função da vazão excedente a ser lançada no reservatório, serão determinadas as suas dimensões. A descarga do reservatório lateral se dá por gravidade, através de válvulas de retenção que se abrem quando o nível do canal baixa. Pode se dar também por bombeamento quando o nível do fundo do reservatório for inferior ao nível do fundo do canal.

▪ **Restrições de Aplicação:**

Requer grandes áreas. Exige operação e manutenção contínuas, como poda de grama, uso de herbicidas, limpeza periódica para remoção de sedimentos.

Os dispositivos de saída (vertedores e orifícios) devem ser dimensionados de modo a deter uma parcela das enxurradas por um tempo suficiente para a decantação de sólidos, esta é uma maneira de incorporar a remoção de poluição.

▪ **Pré-dimensionamento:**

O volume máximo de acumulação necessário em uma bacia de detenção pode ser dada pela equação IDF de Fendrich e Freitas (1989):

$$V = (22,48 * \sqrt{C} * T^{0,129} - 1,21 * \sqrt{q_s})^2$$

Sendo:

V = volume de acumulação, em m<sup>3</sup>/ha

C = coeficiente de escoamento

T = período de retorno em anos

q<sub>s</sub> = vazão de saída em l/(s.ha)

O volume é obtido por unidade de área de bacia hidrográfica. A área inundada e o volume absoluto podem ser estimados com as informações topográficas e de área da bacia hidrográfica. Há basicamente três alternativas de pré-dimensionamento:

- Bacia de detenção com leito impermeável (esgotamento por tubulação)
- Bacia de detenção com leito permeável e esgotamento por infiltração (bacia de infiltração)
- Bacia de detenção com leito permeável e esgotamento simultâneo por infiltração no solo e por tubulação (bacia de detenção/infiltração).

No primeiro caso, a bacia de detenção com leito impermeável, é conveniente dimensionar o tubo de saída com a vazão específica q<sub>s</sub> = 27 l/(s.ha). Neste caso, utiliza-se a forma simplificada que embute o limite de 27 l/s/ha:

$$V = 2,456 * T^{2,382} * A_{imp} * A$$

V = volume do reservatório em m<sup>3</sup>

T = período de retorno em anos

A<sub>imp</sub> = percentagem de área impermeável da área contribuinte (entre 0 e 100)

A = área contribuinte em ha

No segundo caso, a capacidade de infiltração do solo comanda o esgotamento da água. A vazão de saída  $q_s$ , com unidade de l/(s.ha), é dada pelo produto de um fator de unidades pela condutividade hidráulica saturada  $K_{SAT}$  (mm/h) do solo e por um coeficiente redutor  $\alpha$  devido à colmatagem.

$$q_s = 2,78 * \alpha * K_{sat}$$

Os ensaios de infiltração determinam a condutividade hidráulica saturada  $K_{SAT}$ , com valores recomendados próximos a 0,5. Para a bacia de detenção/infiltração o valor de  $q_s$  (l/(s.ha)) é a soma da vazão de pré-desenvolvimento com a vazão de infiltração:

$$q_s = 27 + 2,78 * \alpha * K_{sat}$$

É importante ressaltar que:

A bacia de infiltração tem seu volume pré-dimensionado para infiltrar no solo todo o excesso pluvial a ela destinado, portanto a área por ela controlada terá, para o período de retorno considerado, escoamento superficial nulo.

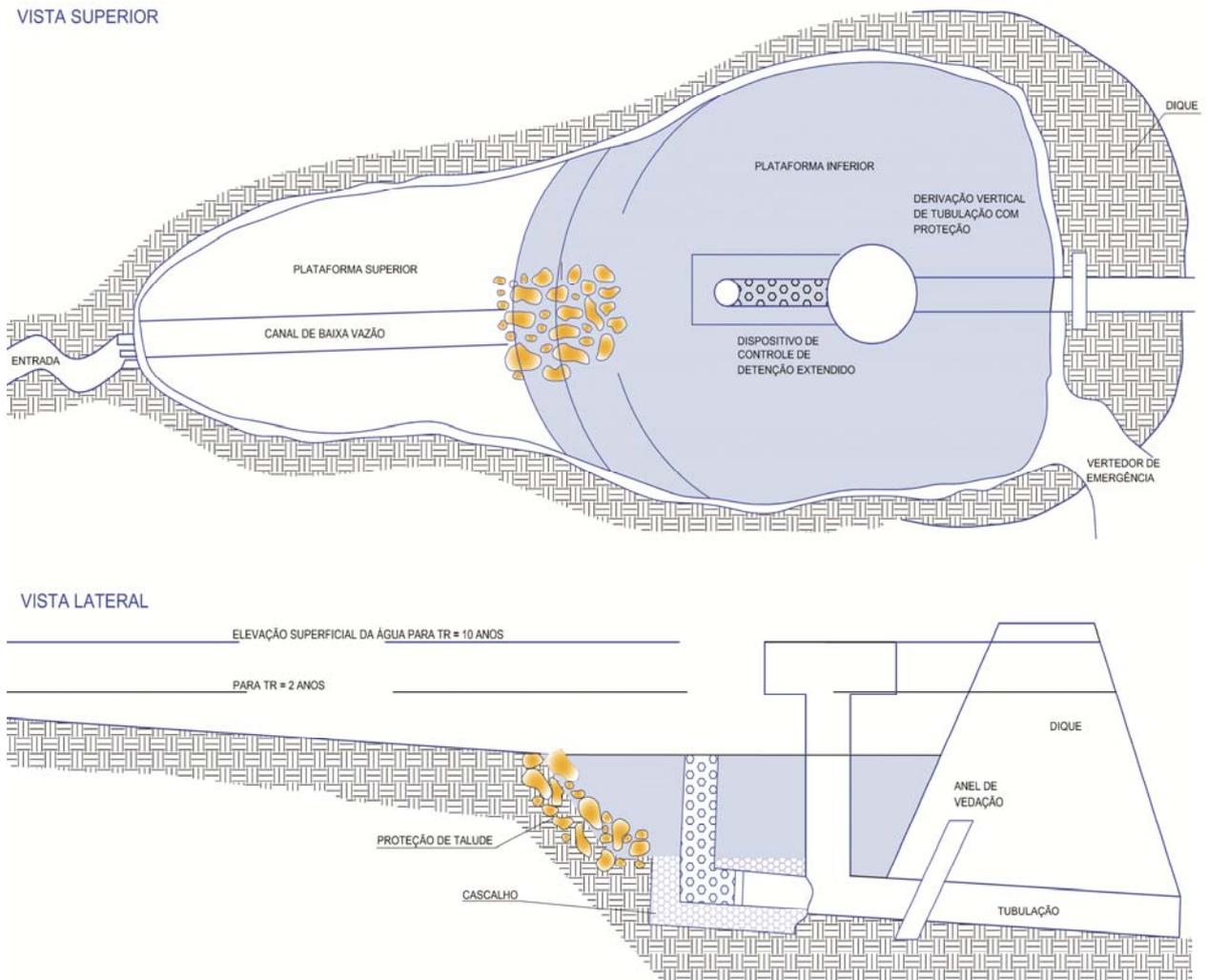
No caso da terceira alternativa, o dimensionamento será uma combinação dos critérios das duas soluções anteriores

Em qualquer das alternativas acima é preciso prever um descarregador de cheias com períodos de retorno maiores que o de projeto.

Em 12 a 24 horas, as enxurradas médias são descarregadas e por ser um dispositivo de saída é dimensionado para liberar o volume de projeto no dobro ou triplo deste tempo (URBONAS E STAHR, 1993).

- **Exemplo / Representação:**

**Figura 50 - Bacia de retenção (Schueler, 1987 - Adaptado)**



### 9.17 Bacias de Retenção

- **Função:**

Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo.

- **Conceito:**

É um tipo de reservatório de amortecimento de cheias que, dependendo da função, pode ser caracterizado de duas maneiras:

- Se na estiagem ele for mantido seco, receberá o nome de 'reservatório (ou bacia) de retenção'.

- Se na estiagem for mantido dentro dele um volume permanente de água, receberá o nome de 'reservatório (ou bacia) de retenção.

Ambos os tipos poderão ser ainda caracterizados de acordo com a forma, apresentando-se em linha ou lateral, de acordo com seu posicionamento em relação ao canal que contribui para o reservatório.

Reservatório em linha: implantado ao longo do canal. Possui estrutura de barramento com um descarregador de fundo e um extravasor. A capacidade do descarregador é limitada à capacidade do trecho de canal a jusante. A função do extravasor é servir de dispositivo de segurança para vazões superiores àquela de projeto.

Reservatório lateral: construído ao lado do canal principal para receber, por um vertedor lateral, a vazão excedente da calha do canal. O nível da soleira do vertedor tem relação com o nível máximo admitido no canal e, em função da vazão excedente a ser lançada no reservatório, serão determinadas as suas dimensões. A descarga do reservatório lateral se dá por gravidade, através de válvulas de retenção que se abrem quando o nível do canal baixa. Pode se dar também por bombeamento quando o nível do fundo do reservatório for inferior ao nível do fundo do canal.

- **Restrições de Aplicação:**

Para a função de melhoria da qualidade da água, o volume d'água no nível mínimo deve corresponder a 5 ou 10 mm de enxurrada por hectare de superfície impermeável. Isto facilita a decantação de finos e a remoção de poluentes. Em climas temperados tem sido relatada a dificuldade de manutenção do volume d'água permanente se a área contribuinte é menor que quatro hectares ou quando a relação área de drenagem/espelho d'água for menor que 6:1.

- **Pré-dimensionamento:**

A mesma equação utilizada na bacia de decantação, pode ser aplicada na função de redução de escoamento:

$$V = (22,40 \cdot \sqrt{C} \cdot T^{0,429} - 1,21 \cdot \sqrt{q_s})^2$$

Sendo:

V = volume de acumulação acima do nível d'água mínimo perene, em m<sup>3</sup>/ha

C = coeficiente de escoamento

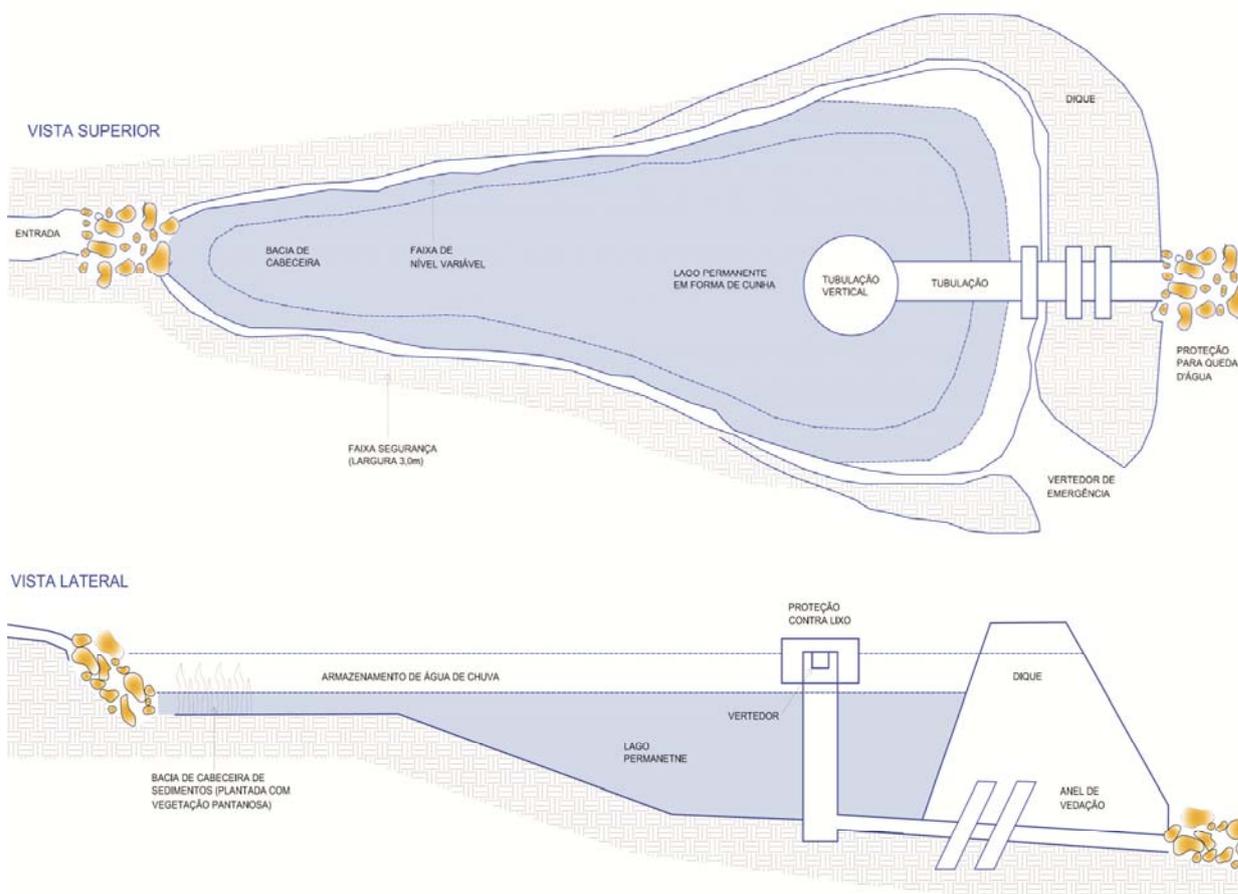
T = período de retorno em anos

q<sub>s</sub> = vazão de saída em l/s/ha; para a RMC, q<sub>s</sub> = 27,1 l/(s.ha)

A equação deve ser multiplicada pela área da bacia contribuinte, o volume por unidade de área de bacia hidrográfica, para a estimativa do volume absoluto (em m<sup>3</sup>), que posteriormente será adicionado ao volume correspondente ao nível d'água mínimo perene projetado para a bacia de retenção.

▪ **Exemplo / Representação:**

**Figura 51 - Bacia de retenção (Schueler, 1987 - Adaptado)**



## 9.18 Bacias Subterrâneas

### ▪ Função:

Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo.

### ▪ Conceito:

Reservatório coberto, abaixo do nível do solo, estanque. Pode ser preenchido com material poroso.

Sendo economicamente viável pode ter suas águas tratadas e reutilizadas.

### ▪ Pré-dimensionamento:

O controle quantitativo, bacia subterrânea, pode ser pré-dimensionada com a mesma equação utilizada nas bacias de detenção e retenção:

$$V = (22,48 * \sqrt{C} * T^{0,429} - 1,21 * \sqrt{q_s})^2$$

Sendo:

V = volume de acumulação , em m<sup>3</sup>/ha

C = coeficiente de escoamento da bacia contribuinte conforme tabela 12.10.2.1

T = período de retorno em anos

q<sub>s</sub> = vazão de saída em l/s/ha; para a RMC, q<sub>s</sub> = 27,1 l/(s.ha)

A equação, volume por unidade de área de bacia hidrográfica, deve ser multiplicada pela área da bacia contribuinte para estimativa do volume absoluto (em m<sup>3</sup>), ou outra forma de calcular é usar a forma simplificada abaixo, que já embute o limite de 27 l/s/ha:

$$V = 2,456 * T^{3,382} * A_{tmp} * A$$

Sendo:

$V$  = volume do reservatório em  $m^3$

$T$  = período de retorno em anos

$A_{imp}$  = percentagem de área impermeável da área contribuinte (entre 0 e 100)

$A$  = área contribuinte em hectares

- **Exemplo / Representação:**

Figura 52 - Bacia subterrânea (STU, 1993 - Adaptado)



### 9.19 Condutos de Armazenamento

- **Função:**

Armazenamento temporário.

- **Conceito:**

Condutos e dispositivos com função de armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial.

Tem como efeito o amortecimento do escoamento afluente à macrodrenagem.

- **Pré-dimensionamento:**

A equação para cálculo do volume específico de pré-desenvolvimento (volumes adicionais) podem ser estimados com a seguinte fórmula:

$$V = 2,456 * T^{0,882} * A_{imp} * A$$

Onde:

V = volume adicional de conduto para armazenamento em m<sup>3</sup>

T = período de retorno em anos

A<sub>imp</sub> = percentagem de área impermeável da área contribuinte (entre 0 e 100)

A = área contribuinte ao conduto, em há

## **9.20 Faixas e Valetas Gramadas**

- **Função:**

Estas faixas são dimensionadas para infiltrar um escoamento laminar. Por esta razão, elas contribuem para a despoluição e retenção de finos, além de reduzir quantitativamente o escoamento pluvial.

- **Conceito:**

Faixas de terrenos marginais a corpos d'água. São consideradas áreas de escape para enchentes.

- **Restrições de Aplicação:**

No caso da faixa gramada, tem como principal característica ser a mais plana possível para evitar escoamentos concentrados que prejudiquem o escoamento laminar. A grama densa evita erosão e o agravamento dos eventuais escoamentos concentrados. Grandes intensidades de chuvas podem elevar o potencial de erosão, devido sua a grande energia cinética. De modo geral, uma faixa gramada estará sujeita às mesmas restrições de aplicação da vala de infiltração.

- **Pré-dimensionamento:**

A eficiência de retenção de finos, dependem da dimensão da faixa gramada e da declividade (Mecklenburg, 1996). Para declividade 2% ela deveria ter uma largura de 10 m para promover uma remoção de 75% de finos. A capacidade de infiltração pode ser avaliada através de ensaios de infiltração em estudos experimentais.

- **Exemplo / Representação:**

Figura 53 - Faixas Gramadas (fonte: Urban Drainage and Flood District, 1992 - Adaptado)

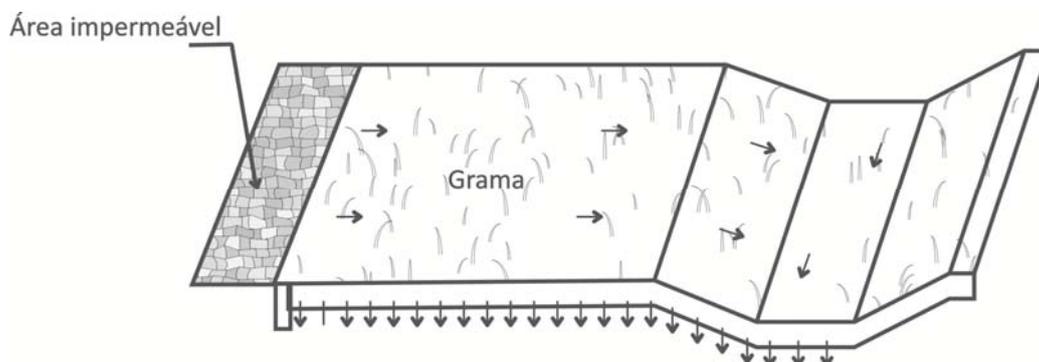
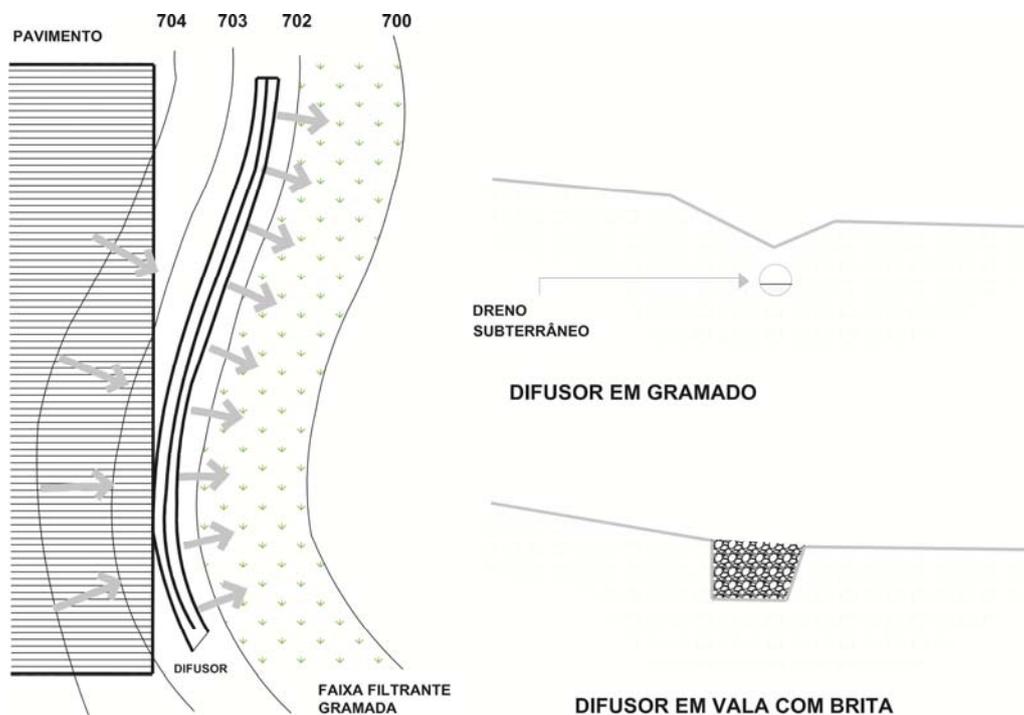
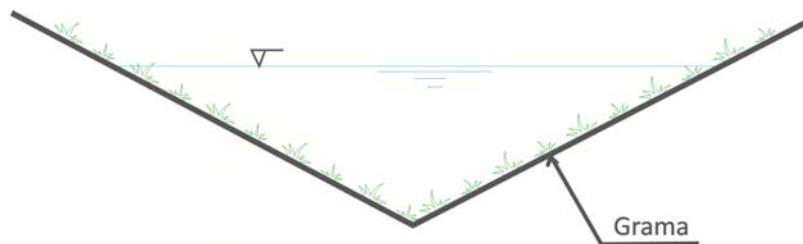


Figura 54 – Valeta Gramada (fonte: Urban Drainage and Flood District, 1992 - Adaptado)



## **10. PARÂMETROS PARA PROJETOS DE DRENAGEM**

Considerando a necessidade de orientar os profissionais quanto à aprovação de projetos de drenagem, este capítulo pretende descrever de forma sucinta os procedimentos necessários para a sua elaboração. A seguir, estão apresentadas as informações mais relevantes das Normas para Projetos de Drenagem da Prefeitura Municipal de Curitiba (Secretaria Municipal de Obras Públicas), bem como as diretrizes de projeto e os critérios para a sua apresentação. Destaca-se, todavia, a importância da verificação da norma em sua plenitude, para que o projeto esteja adequado à normativa estabelecida.

### **10.1 Aplicação da Norma e Aprovação**

Aplica-se a aprovação de drenagem para projetos de drenagem superficial de condomínios residenciais, industriais e edificações comerciais maiores que 1.000 m<sup>2</sup> e com rua interna.

Também dizem respeito a possíveis retificações/canalizações de fundo de vale e outros cursos d'água, drenagem superficial, drenagem de áreas de circulação interna, reservatório de contenção de cheias.

Para que se faça a verificação de projeto de drenagem, primeiramente deve-se ter o projeto apresentado e processo formalizado pela Secretaria Municipal de Urbanismo (SMU) quanto à unificação e subdivisão dos lotes envolvidos no projeto de drenagem.

Para a análise de projetos de drenagem em lotes que contenham fundo de vale deverá ser apresentada a licença para canalização deferida e demais documentos exigidos pela Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP). Para canalização de fundos de vale, é necessária consulta à Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

Os projetos de drenagem devem ser elaborados conforme normas determinadas pela SMOP-OPO e seguir os parâmetros conforme determina o Decretos 176/2007, o Decreto 133/2012, a Lei 11.095/2004 (cap. XVI – DRENAGEM) e a Lei 7.833/1991.

Caso a obra não seja executada, após doze meses deverá ser solicitada nova validação do projeto.

## **10.2 Elaboração dos Projetos**

Os parâmetros de projeto a serem seguidos quando de sua elaboração são os seguintes:

- Todas as mudanças de declividade, diâmetro e direção, deverão possuir poço de visita;
- Para os diâmetros não cotados, entende-se ser de 0,40m;
- O eixo da tubulação deverá estar a 3,00m do alinhamento predial;
- O recobrimento mínimo dos tubos é de 0,60m;
- A distância máxima entre os ralos deve ser de 35,00m;
- A distância máxima entre os poços de visita deve ser de 120,00m;
- Os projetos deverão ser apresentados nas escalas 1:500 (horizontal) e 1:100 (vertical). O perfil deverá conter declividade, cota do terreno, estaqueamento, cota da geratriz inferior interna do tubo, diâmetro do tubo, distâncias, número dos poços;
- Na planta deverá constar estaqueamento e nome das ruas;
- A planta situação deverá ser apresentada na escala 1:10.000 com a marcação das quadriculas conforme mapa oficial;
- O carimbo deverá ser conforme modelo da Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP-OPO). Quando do preenchimento, os campos referentes à bacia hidrográfica e arquivo deverão ficar em branco;
- Todas as pranchas deverão estar dentro das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- A planilha de dimensionamento das tubulações deverá seguir o modelo fornecido pela Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP-OPO);

- A área de contribuição deverá ser apresentada em restituição aerofotogramétrica, retirada no Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), em escala 1:2.000 ou 1:5.000.

### **10.3 Padronizações**

Há um modelo de caixa de ligação e de poço de visita a ser seguido no projeto de drenagem, cujo padrão foi disponibilizado pela Secretaria Municipal de Obras Públicas.

Também foram padronizadas as convenções a serem seguidas no projeto, bem como algumas metodologias de cálculo. O documento é disponibilizado pela SMOP para consulta.

## 11. REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. 2005. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS. 266 p.
- CONSÓRCIO ENGEORPS, HIDROSTUDIO E BRLi. *Plano diretor de drenagem urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira no município de Joinville. Medidas de controle não estrutural*. Novembro, 2009.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRAÚLICA. *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*, São Paulo, abril de 1999, 279 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAÚLICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. *Plano diretor de drenagem urbana. Manual de drenagem urbana*, Volume IV. Porto Alegre, setembro de 2005.
- ORSINI YAZAKI, L.F.L. 2005. *Análise do documento final da comissão especial para a elaboração de estudos de políticas públicas para o aumento da permeabilidade do solo urbano no Município de São Paulo*. SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, Brasília, DF.
- SUDERHSA, CH2M HILL DO BRASIL. 2002. *Manual de drenagem urbana – Região metropolitana de Curitiba/PR - versão 1.0*. SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Não publicado.
- TUCCI, C.E.M. e Marques, D.M.L.M. 2000. *Avaliação e controle da drenagem urbana - Volume 1*. ABRH- Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 558 p.
- TUCCI, C.E.M. e Marques, D.M.L.M. 2001. *Avaliação e controle da drenagem urbana - Volume 2*. ABRH- Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 547 p.
- TUCCI, C. E. M. *Gestão de águas pluviais urbanas*. Saneamento para todos. Brasília, outubro de 2005.
- MARCELINO, E. V. ***Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos***. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE Santa Maria, 2007.
- VALENCIO, N.; Siena, M; Marchezini, V; Gonçalves, J. C.(Orgs). ***Sociologia dos Desastres: construção, interfaces e perspectivas no Brasil***. São Carlos: Editora RiMa, 2009.

PINTO, Luiza H. ET PINHEIRO, Sérgio **A. Orientações Básicas para Drenagem Urbana**. Belo Horizonte, 2008. Editora: FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. Diretriz. São Paulo, Xxxx anos.

PREFEITURA DE VILA VELHA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana Sustentável**. Vol I, II e III. Vila Velha, ES. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE e COBRAPE. **Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte – Drenurbs**. Vol 1, 2 e 3. 0 Belo Horizonte.

URBAN DRAINAGE and FLOOD CONTROL DISRICT. **Urban Storm Drainage Criteria Manual. Vol 3 - Best Management Practices**. Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado. 1992.

CHOW, V. Te, 1959. *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill – Civil Engineering Series. 680p.

NEVES, Eurico Trindade (1979). *Curso de Hidráulica*. 6 ed. Globo. Porto Alegre – RS.

PORTO, Rodrigo de Melo (2001). *Hidráulica básica*. 2 ed. EESC USP. Projeto Reenge. São Carlos-SP.