



MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL



**MANUAL DE
DRENAGEM E
MANEJO DE
ÁGUAS PLUVIAIS
URBANAS DO
DISTRITO FEDERAL**

**AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO
BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL**

DIRETORIA

Diretor-presidente
Raimundo da Silva Ribeiro Neto

Diretores
Antonio Apolinário Rebelo Figueirêdo
Felix Angelo Palazzo
Rogério Schumann Rosso
Vinicius Fuzeira de Sá e Benevides

Ouvidor
Robinson Ferreira Cardoso

SUPERINTENDÊNCIA DE DRENAGEM URBANA

Superintendente de Drenagem Urbana
Hudson Rocha de Oliveira

Coordenador de Regulação
Jeferson da Costa

Coordenadora de Fiscalização
Débora Tolentino Luzzi Diniz

Diretor de Área
Antonio Apolinário Rebelo Figueirêdo

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal / editores Jeferson da Costa, Sérgio Antônio Gonçalves, Aduino Santos do Espírito Santo. -- 2. ed. -- Brasília, DF : Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - ADASA : UNESCO, 2023.

Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-992701-1-6

1. Águas pluviais 2. Drenagem 3. Distrito Federal (Brasil) - Aspectos ambientais 4. Engenharia sanitária 5. Saneamento I. Costa, Jeferson da. II. Gonçalves, Sérgio Antônio. III. Espírito Santo, Aduino Santos do.

23-180703

CDD-628.21

Índices para catálogo sistemático:

1. Águas pluviais : Sistema de escoamento : Engenharia sanitária 628.21

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal


Superintendência de Drenagem Urbana

SAIN Estação Rodoferroviária de Brasília S/N - Ala Norte Brasília - DF - CEP 70631-900

Tel: 61 3961-5066 - www.adasa.df.gov.br

Imagens da Capa:

- superior e canto direito - jardim de chuva na Vila Mariana em São Paulo/SP - www.jornalzonasul.com.br
- centro - Arena das Dunas em Natal/RN - www.flickr.com_photos.



MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL

Editores

Jeferson da Costa
Sérgio Antônio Gonçalves
Adauto Santos do Espírito Santo

Superintendência de
Drenagem Urbana

Brasília, 2023



EQUIPE TÉCNICA

Editores

Jeferson da Costa

Sérgio Antônio Gonçalves (consultor)

Adauto Santos do Espírito Santo (consultor)

Colaboradores

Hudson Rocha de Oliveira

Débora Tolentino Luzzi Diniz

Luciano Leonardo Tenório Leoi

Dominiky Ferreira dos Santos

Cleidionice Fortaleza de Oliveira Veríssimo

Rodrigo Cesar Lopes Gorgulho

Priscila Oliveira dos Santos

Cláudio Márcio Lopes Siqueira

Ronielson Felix da Silva

Dyego Randson Guerra de Medeiros

João Marcelo Lopes Siqueira

Maria Elisa Leite Costa

Luiz Fernando Orsini Yazaki

Mateus Bezerra Alves da Costa

Lucas Sarkis Teixeira Bergo

Marcos Helano F. Montenegro

Estagiários

Artur Araújo Queiroz

Kássia Glenda Souza Silva

Revisão Ortográfica e Gramatical

Gislene Maria Barral Lima Felipe da Silva

Revisão das Ilustrações, Figuras, Esquemas e Detalhes

Carla Christine Campelo Marins

Projeto Gráfico, Capa e Diagramação

Danieli Aparecida Campos

Isabella Mendes Maciel

Apresentação

O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal, versão 2023, incorpora conhecimentos que decorrem do amadurecimento técnico da equipe da Adasa e com o meio externo, mediante sugestões provenientes de projetistas, fiscais, professores e servidores que atuam diretamente na elaboração, aprovação, implantação e manutenção de sistemas de drenagem urbana.

Nesse contexto, foi necessário incorporar as mudanças advindas do novo marco regulatório nacional dos serviços públicos de saneamento básico, introduzida pela Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020, e de outros instrumentos legais, destacando o Contrato de Concessão nº 01, de 07 de junho de 2023, entre a ADASA e a Novacap para a prestação de serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal e da Resolução Adasa nº 26, de 17 de agosto de 2023. Essa Resolução atualizou os procedimentos para requerimento e obtenção de registro, outorga prévia e outorga de direito de uso de recursos hídricos para lançamentos de águas pluviais em corpos hídricos superficiais.

Podem-se destacar como elementos mais inovadores desta edição: a compilação de legislação correlata, a conformidade da definição dos componentes de sistemas de drenagem existentes com o cadastro georreferenciado do Distrito Federal, a difusão das recentes tecnologias ajustadas às normas e às práticas locais, e as recomendações construtivas para execução de obras de medidas de controle na fonte.

Dessa maneira, a Adasa assume o protagonismo de transformar a infraestrutura de drenagem urbana em prestação de serviço público de qualidade à população e proteção à saúde pública e ao meio ambiente. A Agência compartilha este Manual como ferramenta para aqueles que planejam, projetam, executam e fiscalizam ações relacionadas a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Distrito Federal.

Esta terceira versão do Manual foi coordenada pela Superintendência de Drenagem Urbana da Adasa, com o apoio técnico do consultor Sérgio Antônio Gonçalves, com contrato celebrado no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica entre a Adasa e a Unesco, e do Engenheiro Adauto Santos do Espírito Santo.

Agradecemos a todos os profissionais e servidores que contribuíram para o desenvolvimento desta publicação, especialmente a Diretoria Colegiada e a Superintendência de Planejamento e Programas Especiais da Adasa. Eles lideraram a coordenação e ofereceram apoio na contratação de consultorias técnicas para suporte, revisões e melhorias.

Raimundo Ribeiro
Diretor-Presidente da Adasa

Sumário

1	OBJETIVO	22
2	CONTEÚDO DESTE MANUAL	23
3	CONCEITOS GERAIS	24
3.1	Recursos Hídricos, Saneamento e Drenagem Urbana	24
3.2	Urbanização e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas	25
3.2.1	Efeitos da Urbanização sobre os Corpos Hídricos	27
3.2.2	Planejamento Urbano e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas	30
3.3	Particularidades dos Sistemas de Drenagem Urbana	32
3.4	Risco, Probabilidade e Período de Retorno	33
3.5	Interfaces entre Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas e Demais Serviços de Saneamento Básico	36
3.5.1	Interfaces entre Manejo de Resíduos Sólidos e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas	36
3.5.2	Interfaces entre Esgotamento Sanitário e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas	37
3.5.3	Interfaces entre Abastecimento de Água e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas	39
3.6	Valorização dos Rios Urbanos	39
3.6.1	Princípios	39
3.6.2	Técnicas de Renaturalização de Cursos de Água	39
3.6.3	Preservação da Vegetação Ciliar	44
3.7	Controle de Processos Erosivos no Solo	45
3.8	Tratamento das Águas Pluviais	46
3.9	Manejo de Resíduos Sólidos	46
3.10	Educação Ambiental	47
4	DIVISÃO HIDROGRÁFICA DO DISTRITO FEDERAL	50
4.1	Recursos Hídricos, Saneamento e Drenagem Urbana	50

5	GESTÃO DA DRENAGEM NO DISTRITO FEDERAL	55
5.1	Legislação Federal	63
5.2	Legislação e Normativos em Nível Distrital	70
6	REGULAMENTOS E NORMAS APLICÁVEIS	77
6.1	Elaboração de Estudos de Concepção	77
6.1.1	Caracterização da Área de Estudo	77
6.1.2	Caracterização do Sistema Existente de Drenagem na Área de Projeto	77
6.1.3	Levantamento de Estudos, Planos e Projetos Existentes	77
6.1.4	Estudo Populacional e de Vazões	78
6.1.5	Estudos dos Corpos Hídricos Receptores	78
6.1.6	Formulação de Alternativas	78
6.1.7	Pré-dimensionamento das Alternativas Propostas	79
6.1.8	Estimativas de Custos das Alternativas Propostas	79
6.1.9	Análises das Alternativas Propostas	79
6.1.10	Apresentação da Alternativa Escolhida	80
6.2	Controle de Erosão do Solo e Manejo de Sedimentos em Canteiros de Obras	80
6.3	Patrimônio Cultural da Humanidade	81
6.4	Licenciamento Ambiental	83
6.5	Enquadramento dos Corpos Hídricos	83
7	COMPONENTES DO SISTEMA DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS	85
7.1	Definições Gerais	86
7.2	Medidas de Controle na Fonte	89
7.2.1	Controle nos Sistemas de Microdrenagem	90
7.2.2	Controle nos Sistemas de Macrodrenagem	90
7.2.3	Uso Típico dos Dispositivos de Controle de Escoamento	91
7.2.4	Reservatórios Intralotes - Novacap	91
7.3	Microdrenagem	92
7.3.1	Dispositivos de Captações	92
7.3.2	Ramais de Ligação	96
7.3.3	Poços de Visita (PVs)	96
7.3.4	Rede de Drenagem	97
7.4	Modalidade Condominial para a Implantação de Redes Coletoras de Águas Pluviais Urbanas	98

7.5	Macro drenagem	99
7.5.1	Diâmetros a Serem Utilizados nos Sistemas de Macro drenagem	100
7.5.2	Dispositivos de Lançamento em Cursos d'Águas Superficiais com Dissipadores de Energia	100
7.6	Dispositivos de Controle de Poluição dissipadores de energia	101
8	BASE DE DADOS	104
8.1	Recursos Hídricos, Saneamento e Drenagem Urbana	104
8.2	Cadastro Georreferenciado do Sistema de Drenagem Urbana do Distrito Federal	106
8.3	Levantamento de Áreas Urbanas Impermeabilizadas e Não Impermeabilizadas	106
8.4	Sistema de Monitoramento de Chuvas Urbanas Intensas no Distrito Federal - Simcurb	107
9	CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE COMPLEXIDADE DO PROJETO	109
10	CRITÉRIOS URBANÍSTICOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS	118
10.1	Integração com a Paisagem	118
10.2	Condicionantes Urbanos	123
10.3	Condicionantes Ambientais	130
10.3.1	Impactos Permanentes	130
10.3.2	Impactos Temporários	133
10.3.3	Síntese dos Impactos Ambientais Negativos a Serem Mitigados	133
11	CRITÉRIOS ECONÔMICOS	135
12	CRITÉRIOS PARA PROJETOS DE MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE	138
12.1	Princípios de Dimensionamento Hidráulico	140
12.2	Capacidade de Infiltração do Solo	142
12.3	Classificação das Medidas de Controle na Fonte	148
12.4	Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Infiltração	150
12.4.1	Volume de Preenchimento	150
12.4.2	Dispositivo de Controle da Vazão Efluente	152
12.4.3	Tubo Dreno	154
12.5	Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Armazenamento	155
12.5.1	Volume de Armazenamento	155
12.5.2	Dispositivos de Descarga	156
12.6	Pavimento Permeável	157
12.6.1	Colmatção do Pavimento Permeável	161

12.6.2	Interligação do Pavimento Permeável com o Sistema de Drenagem a Jusante	161
12.6.3	Dimensionamento Hidráulico de Pavimento Permeável	163
12.6.4	Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Pavimento Permeável	164
12.7	Trincheiras de Infiltração	166
12.7.1	Colmatação da Trincheira de Infiltração	167
12.7.2	Interligação da Trincheira de Infiltração com o Sistema de Drenagem a Jusante	167
12.7.3	Dimensionamento Hidráulico de Trincheira de Infiltração	168
12.7.4	Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Trincheira de Infiltração	169
12.7.5	Recomendações para Implantação de Trincheiras de Infiltração	171
12.8	Vala de Infiltração	173
12.8.1	Dimensionamento Hidráulico de Vala de Infiltração	174
12.8.2	Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Vala de Infiltração	175
12.8.3	Recomendações para Implantação de Valas de Infiltração	176
12.9	Poço de Infiltração	178
12.9.1	Colmatação do Poço de Infiltração	178
12.9.2	Interligação do Poço de Infiltração com o Sistema de Drenagem a Jusante	179
12.9.3	Dimensionamento Hidráulico de Poço de Infiltração	179
12.9.4	Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Poço de Infiltração	180
12.9.5	Recomendações para Implantação de Poços de Infiltração	181
12.10	Microrreservatório	182
12.10.1	Interligação do Microrreservatório com o Sistema de Drenagem a Jusante	183
12.10.2	Dimensionamento Hidráulico de Microrreservatório	184
12.10.3	Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Microrreservatório	184
12.11	Telhado Reservatório	185
12.11.1	Interligação do Telhado Reservatório com o Sistema de Drenagem a Jusante	185
12.11.2	Dimensionamento Hidráulico de Telhado Reservatório	186
12.11.3	Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Telhado Reservatório	186
12.12	Reservatório de Detenção Aberto	187
12.12.1	Interligação do Reservatório de Detenção Aberto com o Sistema de Drenagem a Jusante	189
12.12.2	Dimensionamento Hidráulico de Reservatório de Detenção Aberto	189

12.13	Reservatório de Retenção Aberto	189
12.13.1	Interligação do Reservatório de Retenção Aberto com o Sistema de Drenagem a Jusante	190
12.13.2	Dimensionamento Hidráulico de Reservatório de Retenção Aberto	191
12.14	Reservatório Subterrâneo Pontual	191
12.14.1	Interligação do Reservatório Subterrâneo Pontual com o Sistema de Drenagem a Jusante	191
12.14.2	Dimensionamento Hidráulico de Reservatório Subterrâneo Pontual	192
12.15	Reservatório Subterrâneo Linear	192
12.15.1	Interligação do Reservatório Subterrâneo Linear com o Sistema de Drenagem a Jusante	194
12.15.2	Dimensionamento Hidráulico de Reservatório Subterrâneo Linear	194
12.16	Faixa Gramada	194
12.16.1	Interligação da Faixa Gramada com o Sistema de Drenagem a Jusante	195
12.16.2	Dimensionamento Hidráulico da Faixa Gramada	195
12.17	Síntese das Principais Medidas de Controle na Fonte	196
12.18	Campos de Aplicação	198
12.19	Metodologia Geral para Projeto de Medidas de Controle na Fonte	206
12.20	Roteiro Proposto para Dimensionamento de Medidas de Controle	208
13	CRITÉRIOS PARA PROJETOS DE SISTEMAS DE MICRO E MACRODRENAGEM	211
13.1	Projetos de Sistemas de Drenagem Urbana	212
13.1.1	Capacidade Hidráulica das Vias	212
13.1.2	Capacidade de Engolimento dos Dispositivos de Captação	214
13.1.3	Redes de Coleta de Águas Pluviais	217
13.1.4	Parâmetros de Projetos Recomendados no Termo de Referência da Novacap	220
13.1.5	Condição de Contorno no Ponto de Lançamento da Rede	224
13.2	Macro drenagem	226
13.2.1	Ocupação Territorial	227
13.2.2	Etapas do Planejamento	227
13.3	Dimensionamento de Reservatório de Amortecimento	231
13.3.1	Disposição Espacial do Reservatório	231
13.3.2	Volume do Reservatório	233

13.4	Condicionantes para Projetos de Canalização	235
14	DIRETRIZES PARA TERMOS DE REFERÊNCIA	236
14.1	Estudo de Concepção	236
14.2	Projetos Básicos e/ou Executivos	242
15	CRITÉRIOS PARA APRESENTAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS NO PRESTADOR DE SERVIÇOS	245
16	RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS PARA MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE	260
16.1	Dispositivos de Infiltração	260
16.1.1	Pavimentos Permeáveis	260
16.1.2	Valas de Infiltração	264
16.1.3	Poços de Infiltração	266
16.1.4	Trincheiras de Infiltração	267
16.2	Dispositivos de Armazenamento	270
16.2.1	Reservatórios de Detenção Abertos	270
16.2.2	Reservatórios de Detenção Fechados	273
16.2.3	Reservatórios de Retenção	276
17	DIRETRIZES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	280
17.1	Prioridades	280
17.2	Frequência	281
17.3	Modelo de Ficha de Inspeção	282
17.4	Manutenção Preventiva	287
18	REFERÊNCIAS	290
19	APÊNDICE	299
19.1	Enquadramento de Corpos Hídricos em Classes	299
19.2	Cálculo de Vazões pelo Método Racional	301
19.2.1	Intensidade da Chuva Crítica	301
19.2.2	Coeficiente de Escoamento Superficial	301
19.2.3	Tempo de Concentração	304
19.3	Cálculo da Vazão Específica de Pré-Desenvolvimento	305
19.4	Uso do Método Racional e Modelos Hidrológicos	306
19.5	Considerações sobre o Controle de Qualidade da Água	310
19.6	Modelos Computacionais	317
19.7	Ferramentas de Auxílio à Decisão: Análise Multicritérios e Modelos Computacionais	319

Figuras

Figura 1	Características das alterações de uma área rural para urbana	26
Figura 2	Variação da produção de sedimentos em decorrência do desenvolvimento urbano	28
Figura 3	Fontes de poluição hídrica típicas de área urbana	29
Figura 4	Impactos e mitigação em uma bacia hidrográfica urbanizada	31
Figura 5	Esquema operacional dos serviços de saneamento e os impactos sobre o sistema de drenagem	33
Figura 6	Intensidades máximas mensais de chuvas diárias observadas em um período de 55 anos, no posto pluviométrico do INMET, Código ANA 1547004, Brasília, DF	34
Figura 7	Impactos de lançamentos de resíduos sólidos em bocas de lobo e redes de drenagem urbana	37
Figura 8	Impactos de lançamentos de águas pluviais em redes de esgotos	38
Figura 9	Impactos de lançamentos de esgotos em redes de drenagem urbana	38
Figura 10	Estabilização de margens com técnica de engenharia naturalística	43
Figura 11	Soluções a serem evitadas	44
Figura 12	Dimensões das Áreas de Preservação Permanente em zonas rurais e urbanas, de acordo com o Código Florestal (Lei Federal 12.651/2012)	44
Figura 13	Regiões hidrográficas do Distrito Federal	51
Figura 14	Bacias hidrográficas do Distrito Federal	52
Figura 15	Unidades hidrográficas do Distrito Federal	52
Figura 16	Arranjo institucional de gestão dos serviços de águas pluviais no DF	56
Figura 17	Enquadramento dos corpos hídricos do Distrito Federal	84
Figura 18	Tipos de bocas de lobo	93
Figura 19	Boca de lobo tripla	93
Figura 20	Bocas de lobo de qualidade (Projeto de drenagem aprovado pela Novacap)	94
Figura 21	Captações Lineares de Águas Pluviais	94
Figura 22	Bocas de lobo que funcionam como visitas - PVBLs (Projeto de drenagem Cacoal-RO)	96
Figura 23	Junção de trechos de rede com mudança de diâmetro	96

Figura 24	Posicionamento típico de bocas de lobo (BL) e poços de visita (PV) na rede de drenagem	97
Figura 25	Ábaco de dimensionamento do dissipador por impacto	101
Figura 26	Fluxograma de um sistema genérico de controle de qualidade de águas pluviais	102
Figura 27	Localização dos pluviógrafos do sistema Simcurb	107
Figura 28	Fluxograma metodológico para projetos de Baixa Complexidade	115
Figura 29	Fluxograma metodológico para projetos de Alta e Média Complexidade	115
Figura 30	Fluxograma metodológico para projetos de Alta Complexidade	116
Figura 31	Fluxograma metodológico para estudos de alternativas	116
Figura 32	Vista aérea do Parco Della Trucca, Bergamo, Itália	119
Figura 33	Paisagismo de sistema de controle de cheias e de qualidade da água; Parco Della Trucca, Bergamo, Itália	119
Figura 34	Medidas de controle na fonte na Toscana, Itália, e em Denver, EUA	119
Figura 35	Medidas de controle em Denver, EUA	120
Figura 36	Revitalização do Rio Cheong, Seul, Coreia do Sul	120
Figura 37	Área de tombamento do Conjunto Urbanístico de Brasília (reprodução do Anexo 1 da Portaria Iphan nº 166/2016)	121
Figura 38	Detalhe panorâmico do Conjunto Urbanístico de Brasília tombado pelo Iphan	121
Figura 39	Projeto de paisagismo e de drenagem do Estádio Mané Garrincha em Brasília	122
Figura 40	Bacia de retenção no Parque da Cidade	122
Figura 41	Canteiro central da via DF003 / EPIA, com captação de águas pluviais e vala de infiltração gramada no canteiro central	122
Figura 42	Identificação de áreas propícias para implantação de poços de infiltração em bacia densamente urbanizada	124
Figura 43	Mapeamento supervisionado de áreas impermeáveis amostrais. À esquerda, imagem aérea bruta; no centro, área impermeável total; à direita, área impermeável diretamente conectada à rede de drenagem	126
Figura 44	Classificação das áreas impermeáveis do DF utilizando imagens de satélite	126

Figura 45	Mapeamento dos níveis de impermeabilização de uma bacia urbana. À esquerda, impermeabilização na época do projeto; à direita, impermeabilização de saturação, considerando a Lei de Zoneamento em vigor	127
Figura 46	Curva densidade demográfica x área impermeável de Campo Grande-MS, adotada para a elaboração do diagnóstico da macrodrenagem do DF no PDDU	127
Figura 47	Curvas densidade de domicílios (Dom./ha) x área impermeável	128
Figura 48	Curva logística com a projeção da densidade demográfica em uma bacia urbana hipotética	128
Figura 49	Evolução da área impermeável em uma bacia urbana hipotética	129
Figura 50	<i>Layout</i> de bacia de retenção propícia à manutenção da vida lacustre	132
Figura 51	Relação entre probabilidade, nível, vazão e prejuízo	136
Figura 52	Curvas de prejuízo em função do nível d'água	137
Figura 53	Representação dos hidrogramas de pré e pós-urbanização, com a indicação da vazão de restrição, que é igual à vazão máxima na situação de pré-urbanização	139
Figura 54	Funcionamento de uma medida de controle genérica	140
Figura 55	Funcionamento de um sistema de infiltração típico	142
Figura 56	Mapa de solos do Distrito Federal com indicação das classes de solos atualizadas ao Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos	146
Figura 57	Localização aproximada dos ensaios de infiltração indicados na Tabela 8	147
Figura 58	Dispositivo de controle da vazão efluente para MC por infiltração	152
Figura 59	Descarregador de fundo e vertedor em reservatório de amortecimento	156
Figura 60	Pavimentos permeáveis e suas variações	158
Figura 61	Corte típico de pavimento permeável para tráfego leve revestido de Blocos Intertravados de Concreto, sem infiltração no solo	162
Figura 62	Corte típico de pavimentos permeável para tráfego leve revestido de Concreto Asfáltico Poroso (CPA) sem infiltração no solo	162
Figura 63	Corte típico de um pavimento permeável com revestimento de blocos intertravados de concreto	164
Figura 64	Variação da altura de preenchimento (Hi) com o tempo de duração da chuva (td)	165
Figura 65	Posição do orifício considerado no exemplo	165
Figura 66	Trincheira de infiltração genérica	167
Figura 67	Trincheiras de infiltração e de retenção	167
Figura 68	Trincheira de infiltração - corte transversal típico	168

Figura 69	Trincheira de Infiltração - corte longitudinal típico	168
Figura 70	Trincheiras de infiltração e de retenção	170
Figura 71	Trincheira de Infiltração sem Preenchimento - Vista Superior	172
Figura 72	Trincheira de Infiltração sem Preenchimento - Corte Lateral	172
Figura 73	Trincheira de Infiltração com Preenchimento - Corte Lateral	172
Figura 74	Vala de infiltração	174
Figura 75	Vala de infiltração: anteparo para controle de nível de água	174
Figura 76	Vala de infiltração	175
Figura 77	Exemplo de cálculo para a determinação da altura de uma vala de infiltração	176
Figura 78	Vala de Infiltração com Preenchimento - Corte Lateral	177
Figura 79	Vala de Infiltração sem Preenchimento - Corte Lateral	177
Figura 80	Poço de infiltração preenchido com agregados	178
Figura 81	Exemplo de cálculo para a determinação da altura de um poço de infiltração	180
Figura 82	Poço de Infiltração com Preenchimento - Vista Superior	181
Figura 83	Poço de Infiltração sem Preenchimento - Corte Lateral	181
Figura 84	Exemplo de microrreservatório típico (medidas em mm)	183
Figura 85	Exemplo de solução para telhado-reservatório	185
Figura 86	Reservatório de detenção aberto típico	187
Figura 87	Bacia de infiltração típica	188
Figura 88	Reservatório de retenção aberto	190
Figura 89	Reservatório subterrâneo pontual	191
Figura 90	Representação de trecho de reservatório subterrâneo linear	192
Figura 91	Fases de funcionamento de reservatório linear dotado de orifício para controle de vazão, vertedor e poço de visita	193
Figura 92	Faixa gramada - detalhes típicos	195
Figura 93	Metodologia para projeto de medida de controle na fonte integrado ao projeto do empreendimento	207
Figura 94	Seção típica de uma via que funciona como um canal triangular	213
Figura 95	Capacidade de engolimento de bocas de lobo com depressão de 5 cm em pontos baixos	215
Figura 96	Exemplo de boca de lobo com grelha	216
Figura 97	Exemplo de traçado de rede de drenagem	220
Figura 98	Exemplo de traçado de áreas de contribuição para uma rede de drenagem	221

Figura 99	Dissipador de energia tipo impacto	225
Figura 100	Eficiência de dissipadores de impacto tipo <i>Bradley-Peterka</i> e de ressalto hidráulico em canal horizontal em função do número de Froude (F)	226
Figura 101	Etapas de planejamento do sistema de macrodrenagem	227
Figura 102	Reservatório off-line com restrição de vazão na seção A	232
Figura 103	Reservatório on-line com câmara de retenção de resíduos sólidos	232
Figura 104	Reservatório on-line, com controle de vazão efluente e com reservação lateral	232
Figura 105	Reservatório in-line, Aricanduva 2, em São Paulo	233
Figura 106	Reservatório off-line Inhumas, em São Paulo	233
Figura 107	Representação esquemática de um trecho de rede projetada	247
Figura 108	Representação esquemática de um trecho de rede existente	248
Figura 109	Representação esquemática de um poço de visita projetado - PV	248
Figura 110	Representação esquemática para a seção do conduto quando for uma galeria celular	249
Figura 111	Representação esquemática para <i>tunnel liner</i>	249
Figura 112	Representação esquemática de um trecho de rede em PEAD	249
Figura 113	Representação esquemática de um trecho de rede projetada para planta geral	250
Figura 114	Representação esquemática de um poço de visita - PV na planta geral	250
Figura 115	Representação esquemática de uma planta de área de contribuição	251
Figura 116	Redução do volume útil de armazenamento em função da declividade	261
Figura 117	Superfície do subleito e superfície do pavimento com declividades distintas	261
Figura 118	Divisão da base do pavimento em células para redução do volume morto	261
Figura 119	Direção do escoamento superficial em função do relevo	262
Figura 120	Detalhes do transpasse da manta geotêxtil que envolve a base porosa do pavimento permeável	263
Figura 121	Instalação do tubo de inspeção	263
Figura 122	Seção típica de pavimento poroso, com infiltração, acabado. No caso de pavimentos sem infiltração, o fundo e as laterais são revestidos de material impermeável	264
Figura 123	Seções típicas de valas de infiltração	264
Figura 124	Relações típicas entre largura e altura de valas de infiltração	265
Figura 125	Barramento recomendado para valas com declividade superior a 2%	265
Figura 126	Revestimento resistente à erosão no fundo da vala	265

Figura 127	Preenchimento do fundo da vala com pedra de mão para aumentar a capacidade de infiltração	266
Figura 128	Preenchimento típico de poço de infiltração	267
Figura 129	Câmara de decantação na entrada de poço de infiltração	267
Figura 130	Corte transversal típico de uma trincheira de infiltração	268
Figura 131	Detalhe típico de tubo extravasador em trincheira de infiltração	269
Figura 132	Tubo de inspeção em trincheira de infiltração	269
Figura 133	Vertedor tipo tulipa e descarregador de fundo	270
Figura 134	Vertedor de crista e descarregador de fundo	271
Figura 135	Vertedor de crista e descarregador de fundo	271
Figura 136	Exemplo de sistema de proteção de tomada de água em reservatórios de amortecimento	272
Figura 137	Esquema típico de reservatório enterrado	273
Figura 138	Detalhe típico da base de um pilar da estrutura de um reservatório fechado	274
Figura 139	Montagem de reservatório de detenção com tubos de polietileno de alta densidade - PEAD	274
Figura 140	Detalhes dimensionais de espaçamentos, cobrimentos e assentamento de tubos de PEAD para reservatório de detenção	275
Figura 141	Unidade pré-fabricada de tratamento de águas pluviais	275
Figura 142	Corte longitudinal de unidade pré-fabricada de tratamento de águas pluviais	275
Figura 143	Corte longitudinal de unidade pré-fabricada de tratamento de águas pluviais	276
Figura 144	Proteção de margem em pedras, vazios preenchidos com terra orgânica plantada com arbustos e grama	276
Figura 145	Planta e perfil longitudinal de um reservatório de retenção típico	277
Figura 146	Planta e corte longitudinal de um desarenador típico	278
Figura 147	Reservatório de água de primeira chuva com sistema hidráulico automático de remoção de sedimentos em Milão, Itália	279
Figura 148	Classes de enquadramento segundo a Resolução Conama nº 357/2005	300
Figura 149	Usos da Água e Classes de Enquadramento	300
Figura 150	Bacia hipotética para comparação de métodos de cálculo de vazões	308
Figura 151	Vazões calculadas pelo Método Racional (Qmr) e pelo método do <i>Soil Conservation Service</i> (Qscs) para bacias hipotéticas com áreas de 100 a 300 ha	309
Figura 152	Configurações de sistemas unitários e separadores de águas pluviais e esgotos sanitários	313

Figura 153	Sistema de partição das águas de primeira chuva em sistemas separadores	314
Figura 154	Sistema de partição das águas de primeira chuva em sistemas unitários	314
Figura 155	Reservatório de amortecimento como controle das águas de primeira chuva	315
Figura 156	Linhas de inundação sobre imagem do <i>Google Earth</i> , com a identificação de edificações vulneráveis	321
Figura 157	Faixas de classificação de níveis de periculosidade	321
Figura 158	Níveis de periculosidade no sistema viário considerando dois cenários em uma bacia urbana	322
Figura 159	Cotagramas de uma cheia em um ponto estratégico de uma bacia urbana	322
Figura 160	Linhas de inundação e profundidades (m) geradas por modelo computacional integrado, para análise da vulnerabilidade de um sistema de drenagem quanto à manutenção das bocas de lobo	323
Figura 161	Fluxograma de um sistema de drenagem com controle de qualidade da água	324

Tabelas

Tabela 1	Riscos Associados com diferentes períodos de retorno	35
Tabela 2	Áreas das Regiões, Bacias e Unidades Hidrográficas do DF	53
Tabela 3	Dispositivos de abatimento de vazão propostos neste Manual e suas características básicas	90
Tabela 4	Uso típico dos dispositivos de controle de escoamento	91
Tabela 5	Dimensões padronizadas dos dissipadores de impacto	101
Tabela 6	Nível de complexidade de projetos de drenagem e procedimentos recomendados	109
Tabela 7	Síntese dos impactos ambientais negativos a serem considerados no planejamento e no projeto do sistema de drenagem	134
Tabela 8	Condutividades Hidráulicas Saturadas (k) obtidas em ensaios de infiltração no DF	147
Tabela 9	Medidas de controle na fonte e respectivas classificações	149
Tabela 10	Coefficientes de contração em orifícios (Kc)	153
Tabela 11	Coefficiente de contração de bocais (Cd) em função da relação comprimento/diâmetro (L/d)	154
Tabela 12	Viabilidade de aplicação de pavimentos permeáveis, de acordo com os coeficientes de permeabilidade e o tipo de infiltração (ABNT, 2015)	160
Tabela 13	Medidas de controle e suas principais características	196
Tabela 14	Fatores condicionantes para a implantação e operação de medidas de controle na fonte	202
Tabela 15	Aplicabilidade de medidas de controle na fonte em relação às características locais	204
Tabela 16	Fatores de redução de escoamento (DAEE/Cetesb, 1980)	217
Tabela 17	Fator de redução do escoamento para bocas de lobo (DAEE/Cetesb, 1980)	218
Tabela 18	Uso do solo e coeficientes de escoamento superficial (C)	222
Tabela 19	Projetos Padrões do Prestador de Serviços	252
Tabela 20	Layers para entrega de cadastro de rede de águas pluviais - autocad seu/diproj/deinfra/du/novacap	254
Tabela 21	Modelo de planilha hidráulica	258

Tabela 22	Critérios para avaliação da vulnerabilidade do sistema de drenagem do DF	280
Tabela 23	Programa de manutenção do sistema de drenagem	281
Tabela 24	Modelo sugerido para ficha de inspeção de dispositivos de microdrenagem	282
Tabela 25	Modelo sugerido para ficha de inspeção de reservatórios	284
Tabela 26	Recomendações gerais para manutenção preventiva de dispositivos de drenagem	287
Tabela 27	Valores recomendados do coeficiente de escoamento (adaptado de ASCE, 1969; e Wilken, 1978)	302
Tabela 28	Coeficiente multiplicador do coeficiente de escoamento de acordo com o tempo de retorno (Wright-Maclaughin, 1969).	303
Tabela 29	Coeficientes de Escoamento Superficial recomendados no TR da Novacap (2012)	304
Tabela 30	Limites de uso de Equações Lineares para o Cálculo de Volumes de Reservatórios de Amortecimento	306
Tabela 31	Exemplo de critérios e subcritérios para comparação de soluções alternativas de sistemas de drenagem	319

Acrônimos

Adasa	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
RA	Região Administrativa
Aris	Áreas de Regularização de Interesse Social
Arines	Áreas de Regularização de Interesse Específico
Caesb	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
Codhab/DF	Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal
COE	Código de Obras e Edificações do Distrito Federal
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Consab/DF	Conselho de Saneamento Básico do Distrito Federal
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica (Governo do Estado de São Paulo)
DER/DF	Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA	Estados Unidos da América
Ibram	Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental
Iphan	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LUOS	Lei Complementar de Uso e Ocupação do Solo
Metrô-DF	Companhia do Metropolitano do Distrito Federal
Novacap	Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
OGDF	Ouvidoria Geral do Distrito Federal
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal
PDOT	Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PGIRH	Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos
PDL	Plano Diretor Local
RIDE-DF	Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno
SCS	Soil Conservation Service (Serviço de Conservação do Solo - EUA)
SEDUH	Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação
SUDUR	Subsecretaria de Urbanismo e Preservação
SODF	Secretaria de Estado de Obras e Infraestrutura do Distrito Federal
Terracap	Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal - Companhia Imobiliária de Brasília
Unesco	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USDA	United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura - EUA)

O objetivo deste Manual é apresentar critérios para estudos de concepção, projetos básicos e executivos, execução e fiscalização de obras, bem como diretrizes para a operação e manutenção adequadas de sistemas de drenagem no Distrito Federal, integrados com o manejo sustentável de águas pluviais urbanas.

Com esse propósito, o Manual contempla tanto a ampliação dos sistemas de drenagem, em consonância com a expansão urbana, como a adequação e melhoria dos sistemas existentes em áreas já urbanizadas, fundamentando-se por uma prestação do serviço público de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas em regime de eficiência e eficácia.

O presente documento apresenta técnicas de engenharia pautadas pela sustentabilidade econômica, social e ambiental. Por isso aborda, além dos conteúdos relativos à hidrologia e à hidráulica, outros temas relevantes para o desenvolvimento sustentável do serviço público de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, como:

- Planejamento, regulação e prestação institucionalizada do serviço público de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas;
- Ações estruturais e não estruturais para redução dos riscos de alagamentos e inundações;
- Interfaces com o planejamento urbano;
- Soluções apropriadas às especificidades urbanísticas, topográficas e ambientais da área de intervenção;
- Solução alternativa na modalidade condominial de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas;
- Controle da poluição hídrica;
- Impactos ambientais;
- Interface com os serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- Controle de processos erosivos, deposição e assoreamento;
- Educação ambiental;
- Recomendações construtivas para medidas de controle na fonte; e
- Diretrizes para operação e manutenção.

É importante destacar que este Manual tem efeito orientativo. Entretanto, seu caráter normativo será estabelecido mediante Resolução a ser publicada pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal - Adasa.

Não obstante, poderão ser adotados critérios diferentes dos aqui estabelecidos, desde que fundamentados tecnicamente e previamente discutidos e aprovados pelo prestador de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (Novacap) e pela agência reguladora responsável (Adasa).

Esta terceira versão do *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal* é resultado da atualização da segunda versão aprovada pela Adasa em 2018, sendo a primeira versão aquela integrada no Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal, publicado em 2009.

A estrutura do Manual segue uma sequência didática, começando por uma parte introdutória (Capítulos 1, 2 e 3) que trata dos objetivos e dos fundamentos sobre os quais se assentam as técnicas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas apresentadas.

Na sequência são abordados aspectos institucionais relacionados à gestão da drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, incluindo a legislação de interesse para o serviço no Distrito Federal (Capítulos 4, 5 e 6).

No Capítulo 7 são definidos os componentes do sistema de drenagem, de acordo com a terminologia utilizada correntemente no Distrito Federal. A leitura prévia desse Capítulo é importante para se compreenderem os Capítulos subsequentes, pois os termos utilizados na engenharia de drenagem variam, no Brasil, de região para região.

Os Capítulos seguintes (8 a 13) fornecem um roteiro para auxiliar na elaboração de planos, estudos de concepção, projetos básicos e executivos no Distrito Federal, considerando as mais recentes tecnologias ajustadas às normas e às práticas locais.

O Capítulo 14 apresenta diretrizes para a preparação de Termos de Referência para a contratação de Estudos de Concepção e Projetos (Básicos e Executivos), expressas por meio das atividades mínimas a serem cumpridas para a realização desses trabalhos. Esses estudos e projetos devem conter as informações e os detalhamentos necessários e suficientes para serem aprovados pelo prestador de serviços, para obterem as outorgas de lançamento junto à agência reguladora e para dar cumprimento às condicionantes ambientais estabelecidas nas licenças emitidas pelo Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental - Ibram.

O Capítulo 15 indica os critérios para apresentação de estudos e projetos de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas ao prestador de serviços e à Adasa.

Recomendações construtivas destinadas à execução de obras de medidas de controle na fonte são objetos do Capítulo 16, enquanto o Capítulo 17 traz uma proposta metodológica para a operação e a manutenção do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais em regime de eficiência e efetividade.

No Capítulo 18 é apresentado um esquema de transição para a aplicação dos novos procedimentos de planejamento e de projetos expostos neste Manual, uma vez que alguns dos critérios propostos são inovadores e diferem da prática aplicada por projetistas e pelo prestador de serviços no DF.

Por fim, no Capítulo 19 são relacionadas as referências citadas no texto, e o Capítulo 20 contém um apêndice com fundamentos técnicos e normas de interesse.

3.1 Recursos Hídricos, Saneamento e Drenagem Urbana

A gestão das águas urbanas articula atividades essenciais para o convívio harmônico da cidade com suas águas, condição básica para o desenvolvimento saudável da vida humana. Ações antrópicas modificam o ciclo hidrológico natural, especialmente nas áreas urbanas onde as concentrações demográficas são maiores. A impermeabilização do solo provoca o aumento do escoamento superficial e a gestão inadequada dos resíduos sólidos e dos esgotos, que, entre outros fatores, causam a poluição hídrica.

Os serviços de saneamento básico, cujas diretrizes são dadas pelas Leis Federais nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020, e seus dispositivos legais complementares, têm como função: oferecer às populações água para consumo humano e condições sanitárias compatíveis com a promoção da saúde pública, a conservação dos recursos naturais e a proteção do meio ambiente; mitigar os impactos ambientais negativos dos assentamentos humanos sobre os recursos hídricos; reestabelecer o ciclo hidrológico natural e controlar a poluição; e disponibilizar água de boa qualidade e em quantidade suficiente para a preservação da vida e dos ecossistemas.

Nos termos da Lei Distrital nº 4.285/2008, cabe à Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa) a missão institucional de regulação dos usos das águas e dos serviços públicos do Distrito Federal (DF), promovendo a gestão sustentável dos recursos hídricos e a qualidade dos serviços e saneamento básico em benefício de sua sociedade.

O Distrito Federal caracteriza-se por estar situado na cabeceira de afluentes de três grandes regiões hidrográficas (Figura 13): Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) classifica o DF como uma região de “baixa garantia hídrica” e suas bacias como “trechos críticos” (Camargo, 2016). A necessidade de se preservarem as águas de seu território é, portanto, maior que a de cidades que se encontram a jusante, pois no DF a disponibilidade hídrica local é mais restrita. Em outras palavras: o aproveitamento sustentável da água disponível no DF, por depender da importação das águas de mananciais situados em municípios vizinhos, requer um manejo adequado dos recursos hídricos que incluem, entre outras, as seguintes ações:

- O restabelecimento parcial do ciclo hidrológico com medidas que promovam a retenção das águas de chuva, a recarga do aquífero subterrâneo, a restauração da vegetação ciliar e a proteção de nascentes; e
- O tratamento dos esgotos e das águas de primeira chuva, responsáveis pela poluição dos corpos hídricos que abastecem ou poderão abastecer o DF.

3.2 Urbanização, Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas

O processo de urbanização gera uma série de alterações no sistema hídrico de uma cidade. Se não controladas adequadamente, essas alterações podem criar um ambiente de incertezas, diante de riscos tais como os alagamentos e as inundações causadas por chuvas intensas.

O desenvolvimento urbano altera e reduz a cobertura vegetal original, de modo que partes significativas das superfícies das bacias hidrográficas são impermeabilizadas; e para a condução das águas de chuva (na concepção tradicional de drenagem urbana), são implantadas tubulações, galerias e canais de águas pluviais que resolvem os problemas de alagamentos locais. Entretanto, tais adversidades são transferidas para jusante, alterando o equilíbrio do ciclo hidrológico natural, especialmente nos seguintes aspectos:

- O escoamento superficial aumenta, pois passa a receber parcela significativa de contribuição adicional de volume de água que infiltrava no solo; volume esse que era parcialmente retido pela vegetação, evaporava e acumulava-se nas depressões naturais;
- As tubulações e galerias de águas pluviais aceleram a velocidade de escoamento, reduzindo o tempo de deslocamento (ou tempo de concentração) das ondas de cheias;
- As vazões máximas aumentam e seus picos são antecipados, ocasionando a jusante volumes maiores em tempos mais curtos;
- A infiltração de água no solo é reduzida, o nível do aquífero subsuperficial (“lençol freático”) decresce por falta de alimentação. A adução hídrica para os cursos d’água por meio do escoamento subterrâneo se reduz, diminuindo assim as vazões de tempo seco. Enquanto as vazões máximas aumentam, as vazões mínimas diminuem;
- A cobertura natural é reduzida e, conseqüentemente, a evapotranspiração diminui o aporte de água para a atmosfera. Em decorrência disso, a umidade do ar se reduz e a temperatura se eleva.

Em paralelo, a pressão urbana pode forçar a ocupação de várzeas e áreas próximas aos corpos d’água, reduzindo a área disponível para o escoamento de vazões de cheia.

Tem-se então a soma de dois efeitos simultâneos que colaboram para o agravamento de inundações: aumento da vazão e redução da área de escoamento. A Figura 1 ilustra essa situação, destacando as alterações em três aspectos:

- a. Balanço hídrico: compara as situações pré e pós-urbanização e representa os fatores que contribuem para o aumento do escoamento superficial;
- b. Escoamento: apresenta hidrogramas típicos correspondentes às situações pré e pós-urbanização;
- c. Resposta da geometria do escoamento: representa os níveis de água em uma seção típica de um rio onde as vazões menores escoam pelo seu leito principal e as vazões de cheia pela várzea de inundação. Na si-

tuação pós-urbanização, além da elevação do nível da água provocada pelo aumento das vazões em função da impermeabilização da bacia, há a ocupação das várzeas em que a frequência e os riscos de inundação são maiores.

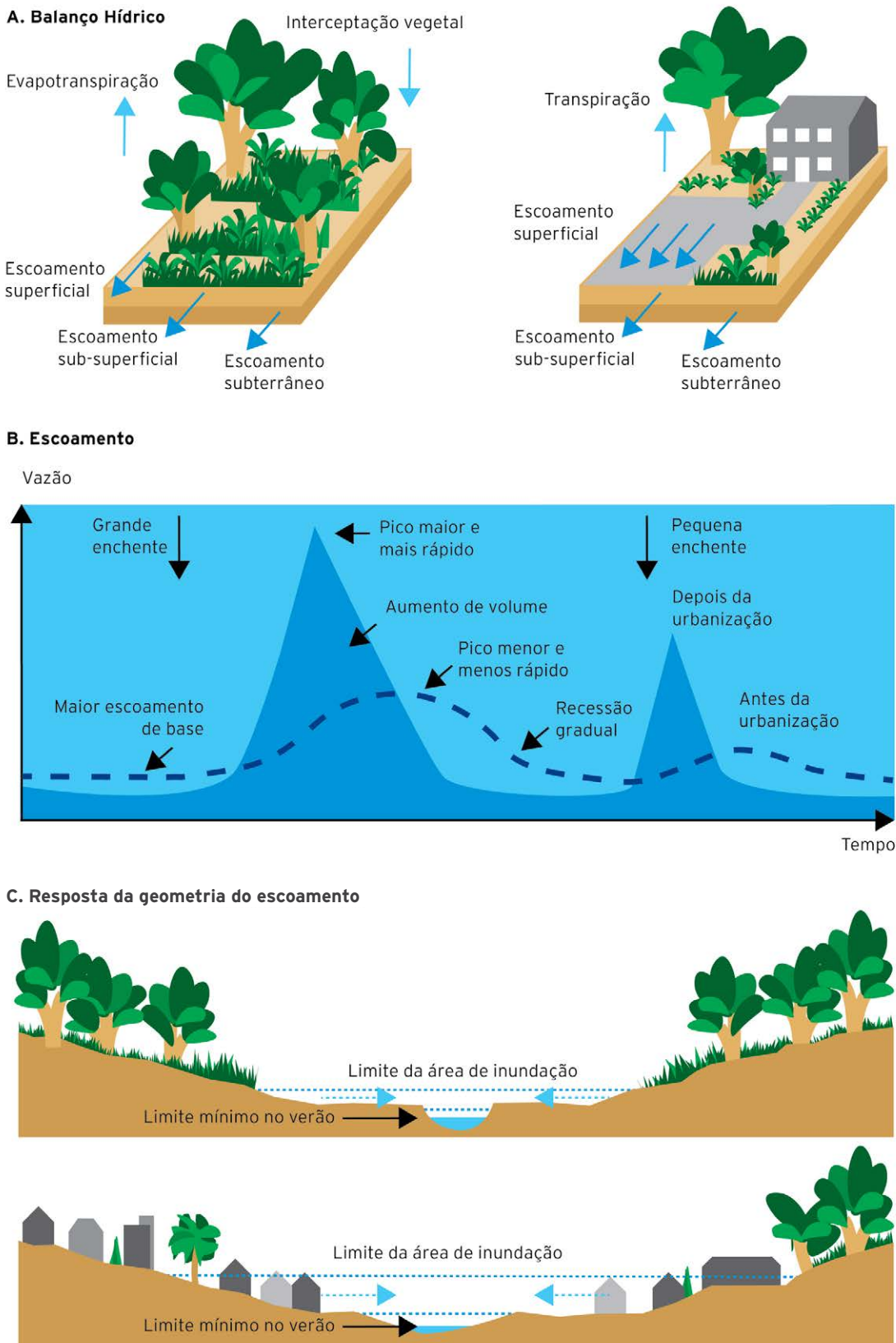


Figura 1 Características das alterações de uma área rural para urbana.

3.2.1 Efeitos da Urbanização sobre os Corpos Hídricos

Os principais impactos ambientais produzidos pelas alterações antrópicas em bacias hidrográficas sobre os corpos hídricos naturais são os relacionados abaixo:

- a. **Elevação da Temperatura:** as superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar, aumentando a temperatura ambiente e produzindo ilhas de calor na parte central dos centros urbanos, onde predominam o concreto e o asfalto. O asfalto, devido a sua cor, absorve mais energia que as superfícies naturais; e o concreto, à medida que a sua superfície envelhece, tende a escurecer e aumentar a absorção de radiação solar.

O aumento da absorção de radiação solar por parte da superfície aumenta a emissão de radiação térmica de volta para o ambiente, gerando o calor. O aumento de temperatura também cria condições de movimento de ar ascendente que pode gerar a elevação da intensidade das precipitações. Como na área urbana as precipitações críticas mais intensas são as de baixa duração, essa condição contribui para agravar as enchentes urbanas (Silveira, 1997).

- b. **Aumento do Volume de Escoamento Superficial e da Vazão:** com a redução da infiltração e da evapotranspiração, o volume do escoamento superficial aumenta. A redução dos tempos de concentração, associada ao aumento do volume, produz a elevação da vazão.
- c. **Aceleração de Processos Erosivos:** a elevação da velocidade das águas dos corpos hídricos receptores das águas pluviais urbanas e a supressão de vegetação ciliar geram a aceleração de processos erosivos nas margens desses cursos d'água. O mesmo fenômeno acontece nas áreas de solo exposto, onde a vegetação tenha sido suprimida.
- d. **Aumento do Assoreamento:** os sedimentos oriundos dos processos erosivos, somados aos sedimentos provenientes de construções em andamento, em que o controle da ação das chuvas sobre material solto é insuficiente, provocam o assoreamento de corpos d'água nos trechos em que as velocidades de escoamento são reduzidas. Na Figura 2 pode-se observar a tendência de produção de sedimentos de uma bacia nos seus diferentes estágios de desenvolvimento. Dawdy (1967), a partir de valores de referência de uma bacia de contribuição em Maryland nos EUA, relatou que a produção de sedimentos pode se elevar dramaticamente durante a fase de construções. Entretanto, após essa etapa, a geração de sedimentos decresce significativamente, pois os edifícios, áreas ajardinadas e sistema viário são conhecidos por produzirem reduzida quantidade de sedimentos. Este assunto é amplamente abordado no *Manual de Boas Práticas: controle de erosão do solo e manejo de sedimentos e outros contaminantes em canteiros de obras*, editado pela Adasa.

Esta situação é agravada pela presença de resíduos sólidos dispersos na superfície da bacia hidrográfica, provenientes do lixo não coletado.

Todo esse material transportado pelas águas pluviais deposita-se nos trechos de tubulações e galerias ou de corpos hídricos, nos quais as velocidades de escoamento são

reduzidas, e, principalmente, nos reservatórios. As principais consequências são:

- Redução da capacidade hidráulica da rede de drenagem por obstrução de captações, tubulações e galerias;
- Redução da capacidade hidráulica dos córregos e rios por redução da seção de escoamento;
- Aumento da poluição hídrica;
- Redução dos volumes de reservação de lagos e reservatórios.

No Distrito Federal, são especialmente importantes os impactos sobre os lagos Descoberto e Paranoá, onde o controle da qualidade da água e a manutenção dos volumes de reservação são condições imprescindíveis para o uso desses corpos hídricos como mananciais para abastecimento público de água.

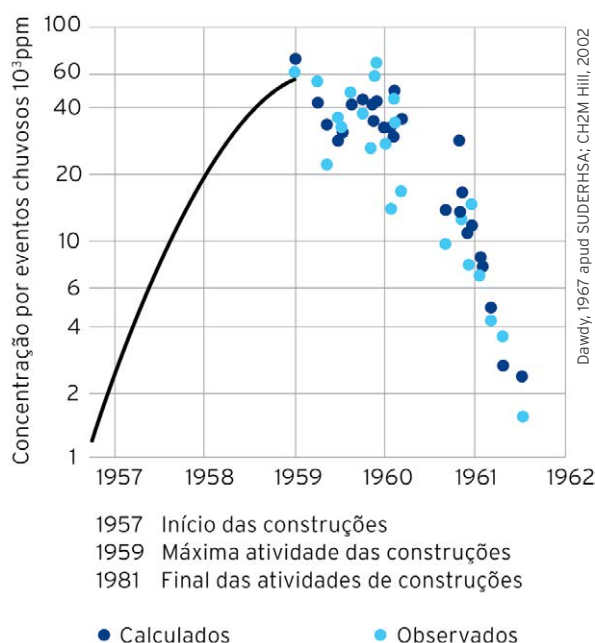


Figura 2 Variação da produção de sedimentos em decorrência do desenvolvimento urbano.

- e. Qualidade da Água Pluvial:** tradicionalmente, os sistemas de drenagem são planejados e gerenciados com a principal finalidade de reduzir os riscos de alagamentos e de inundações, mas também são responsáveis por conduzir parte considerável das cargas poluidoras urbanas (poluição difusa) para os cursos d'água.

A Figura 3 mostra as fontes urbanas de poluição hídrica classificadas quanto à sua origem (pontual ou não pontual) e quanto ao tipo de vazão responsável pelo seu transporte aos cursos d'água (vazão de tempo seco e vazão de tempo úmido).

Mesmo nas bacias em que a rede coletora de esgotos é totalmente independente da rede de águas pluviais, o sistema de drenagem conduz aos corpos d'água a carga difusa. Cam-

panhas realizadas no Rio Pinheiros em São Paulo, por exemplo, mostraram que a parcela da carga difusa chega a representar 50% da carga poluidora total em dias de chuva (Yazaki, 2012). A maior parte dessa carga é carreada no início da precipitação (primeiros 5 a 10 mm de chuva).

As cargas originadas nas chamadas fontes não pontuais são coletadas e conduzidas pela rede de águas pluviais, que passa a ter importância não somente no controle de inundações e alagamentos, como também na redução da poluição hídrica.

Gomes (2015) relatou que dos oito conjuntos de reservatórios de detenção analisados na região do Distrito Federal, sete apresentaram parâmetros de qualidade em desacordo com o preconizado pela Resolução Conama nº 357/2005. Ainda, todos os conjuntos de reservatórios não apresentaram diferença significativa entre os valores encontrados a montante (estrutura de chegada) e a jusante (lançamento no corpo hídrico receptor), o que pode indicar que essas unidades não estavam funcionando a contento.

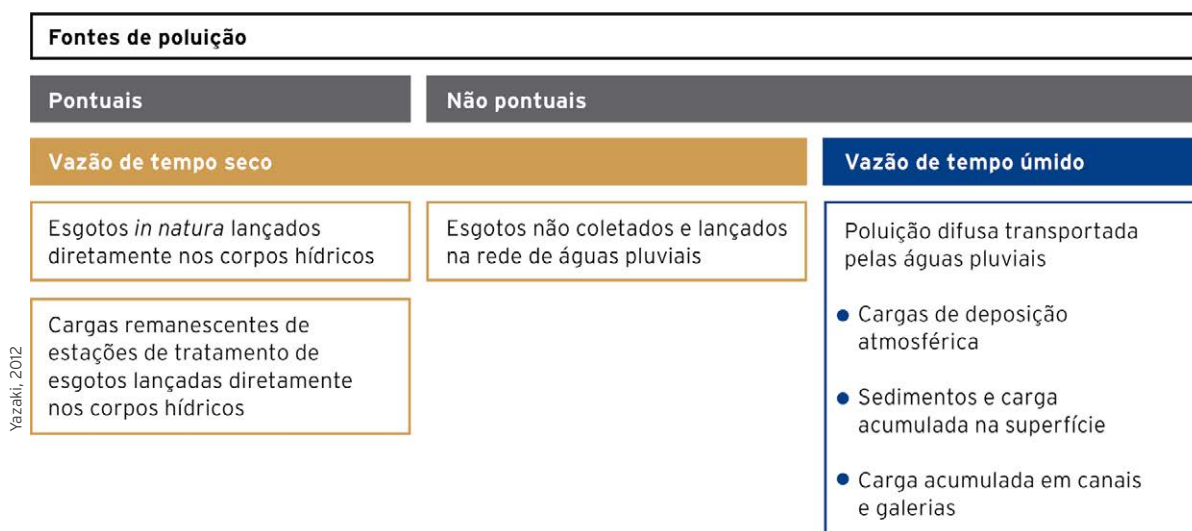


Figura 3 Fontes de poluição hídrica típicas de área urbana.

f. Contaminação de aquíferos: as principais condições de contaminação dos aquíferos urbanos ocorrem devido a:

- Aterros controlados e lixões, que podem contaminar as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração. Portanto, deve-se evitar que sejam dispostos resíduos de maneira inadequada, principalmente em áreas de recarga de aquífero, buscando sempre a construção de aterros sanitários em áreas com baixa permeabilidade do solo;
- Utilização sem controle e em larga escala de fossas sépticas seguidas por sumidouros ou valas de infiltração como destino final de esgotos sanitários. Esse efluente tende a contaminar a parte superior do aquífero. Esta contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos através de percolação e de perfuração inadequada dos poços tubulares profundos;

- As redes de coleta e transporte de esgoto sanitário e de águas pluviais e suas demais unidades constituintes podem contaminar o solo por meio de vazamentos pontuais ou dispersos;
- Dispositivos de controle de escoamento na fonte por infiltração, quando construídos sem observar recomendações técnicas de segurança.

3.2.2 Planejamento Urbano e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas

O planejamento urbano integrado ao planejamento da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas é essencial para dar sustentabilidade às intervenções de prevenção e controle de riscos hidrológicos.

Como não poderia deixar de ser, a elaboração do Plano Distrital de Saneamento Básico (Distrito Federal, 2017) levou em consideração o disposto no anterior Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). No entanto, para que exista eficácia no planejamento do manejo das águas pluviais urbanas, há a necessidade de integração permanente entre os referidos planos (e suas atualizações) e demais documentos. Entre outros planos importantes, têm-se: o PDOT (Plano Diretor de Ordenamento Territorial), a LUOS (Lei de Uso e Ocupação do Solo), o ZEE (Zoneamento Econômico-Ecológico), o PGIRH (Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos), a legislação que regula o tombamento do conjunto urbanístico de Brasília (Portaria nº 314 de 1992, do Iphan), o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e os Planos Diretores Locais das Regiões Administrativas.

A diretriz principal da integração do planejamento urbano e do manejo das águas pluviais é que a ocupação do solo, tanto nas áreas privadas quanto nos logradouros públicos, não deve elevar o escoamento superficial por ocasião dos eventos de chuva, quando comparado com situação original do terreno (sem impermeabilização do solo). Dito de outra forma, o desenvolvimento urbano não deve contribuir para ampliar a cheia natural do corpo hídrico receptor. Excepcionalmente, quando isso ocorrer, o acréscimo de vazão deve ser amortecido internamente ou a jusante do empreendimento e custeado por aqueles que lhe deram causa. Dessa forma, em primeira aproximação, os custos de implantação das medidas estruturais e da operação e manutenção da drenagem e do manejo de águas pluviais urbanas devem ser alocados aos proprietários dos imóveis, proporcionalmente à sua área impermeável, que é a geradora do volume adicional a ser escoado superficialmente, com relação às condições naturais. Por isso, as intervenções devem ser planejadas, considerando o impacto na bacia hidrográfica como um todo e não em trechos isolados, observando que os impactos negativos de quaisquer medidas não devem ser transferidos de uma bacia para outra.

As inundações e os alagamentos são transtornos que impactam negativamente a malha urbana e seus controles são processos permanentes, cujas efetividades dependem de um serviço público capaz de planejar, construir, operar e manter o sistema de drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas, e simultaneamente dialogar com outros atores da administração pública no estabelecimento e na fiscalização dos planos, regulamentos e normas correlatas. Ou seja, é indispensável contar com um prestador de serviço público especializado, capacitado técnica e financeiramente a desempenhar tais tarefas e ainda informar e consultar a população, assegurando transparência das ações, com processos decisórios institucionalizados.

No atual estágio de ocupação urbana do Distrito Federal, as principais diretrizes para o planejamento da drenagem e manejo das águas pluviais são:

- Evitar impactos negativos de impermeabilização de solos por novos empreendimentos na cidade sobre a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas, com base na adoção das medidas de controle descritas neste Manual, como ilustra a Figura 4;
- Implementar progressivamente ações que minimizem os principais impactos negativos que ocorrem nas áreas já urbanizadas;
- Implantar zoneamento de inundações e alagamentos recorrentes, estabelecendo orientações para restrições de uso do solo e contribuir para ações corretivas pela Defesa Civil;
- Estabelecer metas de melhoria e universalização por meio da elaboração de medidas de controle de cheias e de redução da poluição veiculada pela rede de águas pluviais, em cada unidade hidrográfica definida no Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal - PGIRH/DF (Distrito Federal, 2012b).

Bacia urbanizada		Impactos e mitigação
Vazão incremental	Carga de poluentes e de sedimentos	Alteração da quantidade e da qualidade da água em relação à situação antecedente à urbanização
Medidas de controle - MCs		Abatimento de vazão, remoção de carga poluente e sedimentos
Vazão de pré-desenvolvimento	Carga compatível com a classe de enquadramento	Resultados da ação das MCs
Corpo hídrico receptor		Atendimento à Classe de Enquadramento e manutenção da vazão antecedente à urbanização

Figura 4 Impactos e mitigação em uma bacia hidrográfica urbanizada.

3.3 Particularidades dos Sistemas de Drenagem Urbana

Os sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas apresentam particularidades que devem ser consideradas com atenção no seu planejamento, gerenciamento, implantação, operação e manutenção. Algumas dessas particularidades são destacadas a seguir:

- Drenagem urbana é uma questão de alocação de espaço. O escoamento das águas pluviais acontece, existindo ou não um sistema de drenagem, e ocupa os espaços disponíveis, sejam estes adequados ou não;
- A eficiência do sistema de drenagem, quanto à sua capacidade de reduzir alagamentos e inundações, só é percebida quando chove, ficando mais perceptível quando da ocorrência de chuvas intensas, ao contrário dos demais sistemas de infraestrutura urbana, cujas qualidades, falhas e deficiências são evidenciadas diariamente;
- Para a redução da poluição dos corpos hídricos urbanos e aumento da oferta de água para abastecimento, é essencial que os sistemas de drenagem sejam planejados, projetados, implantados, operados e mantidos de forma integrada com os demais serviços de saneamento;
- A redução eficiente e sustentável dos riscos de alagamento, inundação e poluição requer intervenções integradas em toda a bacia hidrográfica:
 - Nos lotes públicos e privados;
 - Nas áreas públicas de uso comum: sistema viário, praças;
 - No sistema de microdrenagem;
 - No sistema de macrodrenagem;
 - Nos córregos, rios, canais e lagos.
- Intervenções pontuais sem considerar a dinâmica da bacia hidrográfica podem solucionar problemas também pontuais, mas podem produzir impactos negativos ponderáveis a jusante;
- A ocupação de várzeas naturais de inundação, associada à impermeabilização das bacias hidrográficas, gera situações de risco de difícil reversão;
- O sistema de drenagem sofre impacto direto dos demais serviços de saneamento, quando estes não operam com a eficiência esperada, como ilustrado no esquema da Figura 5. É importante destacar que o inverso também ocorre.

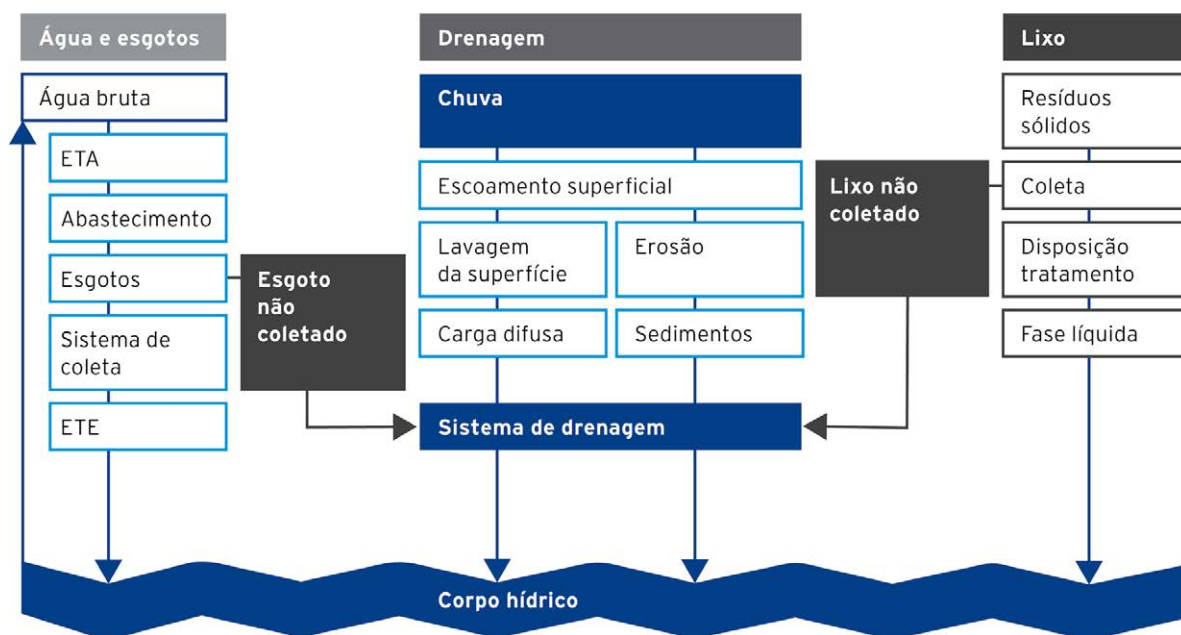


Figura 5 Esquema operacional dos serviços de saneamento e os impactos sobre o sistema de drenagem.

O planejamento, projeto, construção, operação e manutenção de sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais, portanto, devem ter como objetivo a redução de inundações e alagamentos e, ao mesmo tempo, o controle da poluição hídrica. Isso especialmente quando, como é o caso do DF, o uso racional dos recursos hídricos é determinante para o aumento da disponibilidade de água em uma região de baixa garantia hídrica.

Outra particularidade observada nos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, e que dificulta sobremaneira a sua implantação, ampliação, operação e manutenção, é a inexistência, até o presente momento, de recursos financeiros regulares e na quantidade necessária a sustentar a prestação permanente e regular deste serviço público de saneamento básico. No DF, esta deficiência precisa ser solucionada, para que as demais premissas contidas neste Manual possam ser implementadas e mantidas de maneira continuada e adequada.

3.4 Risco, Probabilidade e Período de Retorno

A engenharia de drenagem de águas pluviais urbanas lida com um fenômeno que não pode ser controlado nem previsto com alto grau de certeza, ou seja, o clima. Por isso, para se estimar a intensidade de uma chuva que servirá para o cálculo de volumes e vazões de águas pluviais, observa-se o regime de chuvas passado, admitindo-se que o mesmo padrão se repetirá no futuro.

É possível, por meio de processos estatísticos, avaliar a probabilidade da intensidade de uma determinada chuva crítica ser igualada ou superada. No exemplo da Figura 6, em 55 anos, a chuva diária de 118 mm/dia foi superada ou igualada 2 vezes (aproximadamente 1 vez a cada 27 anos); a chuva de 98 mm/dia foi superada ou igualada por 7 vezes (cerca de uma vez a cada 9 anos).

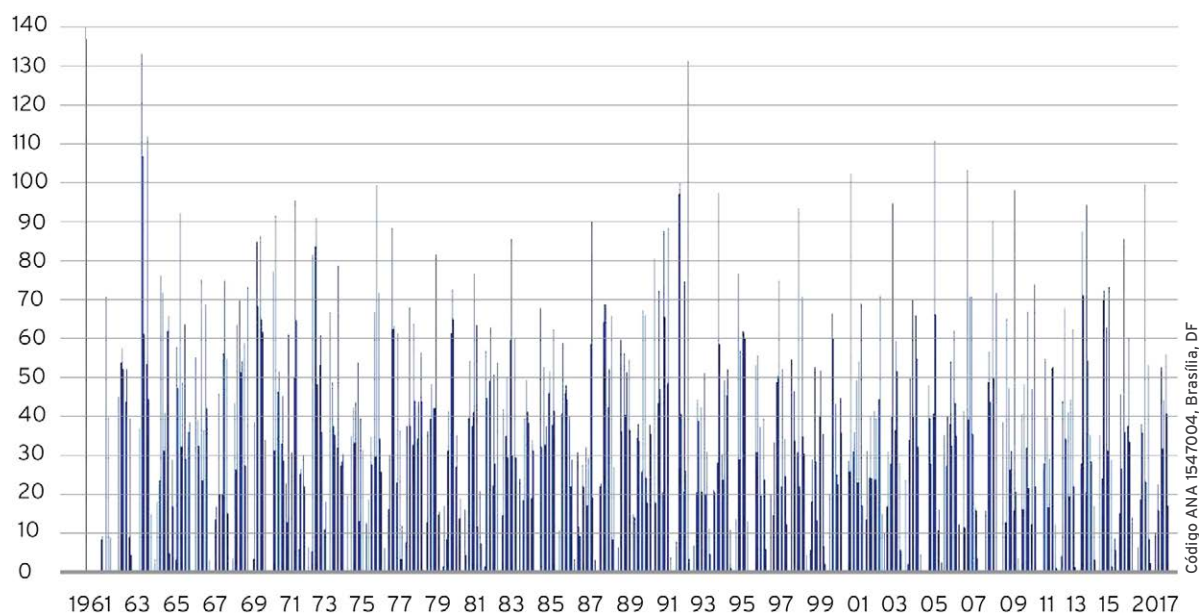


Figura 6 Intensidades máximas mensais de chuvas diárias observadas em um período de 55 anos, no posto pluviométrico do INMET.

Diz-se, então, que o Período de Retorno¹ (TR) da chuva de intensidade 118 mm/dia é de 27 anos e que o TR da chuva de intensidade 98 mm é igual a 9 anos, valores muito próximos aos obtidos pela equação de chuvas determinada no PDDU para o Distrito Federal (Distrito Federal, 2009).

Probabilidade não é certeza

A chuva de 10 anos de tempo de retorno (TR = 10 anos) é, teoricamente, excedida em média 1 vez a cada 10 anos. Isto não significa que 2 chuvas com intensidade de TR = 10 anos não possam ocorrer em 2 anos seguidos. Também não significa que não possam se passar 20 anos seguidos sem que ocorra uma chuva equivalente a essa.

Assim sendo, as obras de drenagem de águas pluviais são dimensionadas admitindo-se possibilidade de falha. Por exemplo: um canal pode ser projetado para extravasar com probabilidade de 1% em um ano qualquer. Isso significa que a sua capacidade poderá ser superada, em média, uma vez a cada 100 anos, e que foi dimensionado para um Período de Retorno (TR) de 100 anos.

Um sistema de drenagem de águas pluviais dimensionado para a maior vazão possível geralmente não é economicamente viável. Como regra, a probabilidade de falha admitida em um sistema de drenagem de águas pluviais deve ser tanto menor quanto maior o prejuízo que essa falha pode causar.

¹ Tempo de Recorrência = Período de Retorno = Tempo de Retorno.

A probabilidade anual de excedência de uma determinada vazão, portanto, é a probabilidade de que esta vazão venha a ser igualada ou superada num ano qualquer; e o Tempo de Retorno (TR) é o inverso da probabilidade (P).

$$TR = \frac{1}{P}$$

O risco, ou seja, a probabilidade de um evento ser igualado ou superado em um período de n anos (R_n) pode ser determinado pela equação:

$$R_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^n$$

A **Tabela 1** apresenta os riscos (R_n), representados por suas probabilidades (em %), considerando períodos de 30 e 50 anos (R_{30} e R_{50}) para diferentes períodos de retorno (TR).

Tabela 1 Riscos Associados com diferentes períodos de retorno

TR (anos)	R_{30}	R_{50}
2	≈ 100%	≈ 100%
10	96%	99%
25	71%	87%
50	45%	64%
100	26%	39%

Da Tabela 1 conclui-se, por exemplo, que o risco de uma chuva de TR 25 anos ter sua intensidade igualada ou superada é de 71% em 30 anos ou 87% em 50 anos.

É importante ressaltar que a segurança de uma obra de drenagem depende do TR da chuva para a qual foi dimensionada e também de sua vulnerabilidade.

A vulnerabilidade de uma obra está relacionada à qualidade do projeto, à qualidade de execução e à qualidade da sua manutenção e operação. Está também relacionada às alterações que possam ocorrer na bacia hidrográfica que modifiquem os parâmetros de transformação chuva-vazão adotados nos cálculos hidrológicos.

Desta forma, a menos que seja referenciado de forma específica neste Manual, o TR ou risco sempre se refere ao da precipitação.

A rigor, a escolha do período de retorno deve partir de um estudo de danos (ou prejuízos) evitados. Quanto mais graves os danos a serem evitados pelo sistema de drenagem, maior deve ser o período de retorno de projeto. No caso, por exemplo, de riscos a equipamentos sensíveis (como subestações de energia, elevatórias de abastecimento de água, centros de processamento de dados, hospitais, serviços de emergência, escolas etc.), o período de retorno deve ser o mais alto possível, dentro dos limites de custo compatíveis com a magnitude dos prejuízos (maior que 100 a 200 anos, por exemplo).

Para situações correntes, recomenda-se que nos projetos de obras de drenagem no Distrito Federal sejam adotadas intensidades de chuvas com períodos de retorno iguais ou maiores que 10 ou 25 anos, em função do nível de complexidade do projeto (ver Capítulo 9):

- Projetos de baixa e média complexidade áreas de contribuição de até 300 ha : $TR \geq 10$ anos;
- Projetos de alta complexidade áreas de contribuição maiores que 300 ha $TR \geq 25$ anos.

3.5 Interfaces entre Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas e Demais Serviços de Saneamento Básico

O Saneamento Básico, conforme definido na Lei Federal nº 11.445/2007, é composto por quatro serviços públicos:

- a. abastecimento de água potável;
- b. esgotamento sanitário;
- c. limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- d. drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Esses serviços apresentam importantes interfaces no desempenho de cada um deles, o que indica a conveniência de planejamento integrado de suas ações, bem como agregação nas atividades de projeto e fiscalização.

3.5.1 Interfaces entre Manejo de Resíduos Sólidos e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas

A presença de resíduos sólidos no sistema de drenagem e manejo de águas pluviais ocorre em decorrência de desempenho inadequado do serviço de limpeza urbana ou de manejo de resíduos sólidos, seja da coleta, do transporte ou da destinação final, ou ainda por comportamentos inadequados dos usuários. A ocorrência de resíduos sólidos em unidades operacionais da drenagem urbana pode proporcionar:

- Entupimentos nas bocas de lobo, ramais de interligação, poços de visitas, redes e galerias. Esses entupimentos podem proporcionar operação ineficaz dos sistemas, com aumento do volume de água pluvial escoado superficialmente, podendo gerar alagamentos e processos erosivos, proporcionando assoreamento nos corpos receptores;
- Entupimentos de dispositivos de entrada e saída, quando conduzidos até os reservatórios de qualidade e de quantidade - além de assoreamento desses reservatórios, causando operação inadequada e redução da eficiência do sistema;
- Redução da capacidade de transporte e a poluição dos corpos hídricos receptores.

A Figura 7 apresenta algumas dessas situações.



Figura 7 Impactos de lançamentos de resíduos sólidos em bocas de lobo e redes de drenagem urbana.

Por outro lado, as inadequações do sistema de drenagem e manejo das águas pluviais podem causar alagamentos de áreas destinadas a estações de transbordo de resíduos sólidos, reciclagem e disposição final, como lixões e aterros controlados ou sanitários; com risco de danos operacionais e ambientais significativos.

3.5.2 Interfaces entre Esgotamento Sanitário e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas

O lançamento indevido de águas pluviais em redes coletoras de esgotos pode proporcionar:

- Extravasamentos de redes de esgotos em vias públicas, pois as mesmas não são dimensionadas para absorverem os acréscimos de vazão de chuvas, com riscos à saúde humana e poluição dos corpos hídricos. E ainda há a possibilidade de retorno de esgoto para o interior das edificações, devido à sobrecarga hidráulica e com evidentes prejuízos materiais e à saúde;
- Graves problemas operacionais em Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs, alterando as características dos esgotos afluentes, bem como promovendo situações de operações não previstas em projeto, com sobrecarga hidráulica, tendo como consequência esgotos tratados com eficiência inferior àquela esperada, podendo ainda gerar impactos ambientais negativos. Em situações-limite pode levar ao lançamento de esgotos não tratados diretamente nos corpos hídricos receptores;

- A sobrecarga hidráulica também pode proporcionar problemas operacionais em estações elevatórias de esgotos, com extravasamentos e lançamentos de esgotos brutos diretamente em corpos hídricos receptores.

A Figura 8 ilustra algumas dessas situações.



Figura 8 Impactos de lançamentos de águas pluviais em redes de esgotos.

O lançamento inadequado de esgotos em redes de águas pluviais pode proporcionar:

- Deterioração das tubulações e galerias de águas pluviais, uma vez que as mesmas não foram produzidas para operarem com a presença de esgotos;
- Arremesso de esgotos brutos em vias públicas ou corpos hídricos, causando contaminação do meio ambiente.

A Figura 9 ilustra algumas dessas situações.



Figura 9 Impactos de lançamentos de águas pluviais em redes de esgotos.

O Distrito Federal adotou o sistema separador absoluto, e os sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas e de esgotamento sanitário são projetados e executados para funcionarem de maneira independente. Assim, as ocorrências de lançamentos de esgotos em

galerias de águas pluviais ou de águas pluviais em redes de esgotos devem ser objeto de pesquisa sistemática para serem identificadas e corrigidas.

É responsabilidade dos prestadores dos serviços de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgotos e de drenagem urbana estruturar ações e procedimentos para identificar e retificar a ocorrência desses lançamentos indevidos nos dois sistemas.

3.5.3 Interfaces entre Abastecimento de Água e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas

O efeito da urbanização com impermeabilização do solo pode provocar uma grande preocupação, correspondendo ao lançamento de águas pluviais em manancial para abastecimento de água potável. Esse quadro é agravado quando este possível despejo de águas pluviais é a montante de ponto de captação para abastecimento.

A drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas quando operados de maneira inadequada podem contaminar o solo e o lençol freático. Nesse sentido, o aquífero subterrâneo pode ter a qualidade de suas águas deterioradas e prejudicar um possível manancial de água para abastecimento.

3.6 Valorização dos Rios Urbanos

3.6.1 Princípios

As estratégias que visam valorizar os rios urbanos possuem cunho multidisciplinar, envolvendo atores de todas as esferas da gestão de drenagem urbana e da população.

Nos estágios iniciais da valorização dos rios urbanos, deve-se ter especial dedicação à criação de ferramentas legais que regulem e fiscalizem as ações de aprimoramento. Paralelamente à criação dessas ferramentas, é indispensável uma ação permanente de educação ambiental, focada principalmente nas novas gerações de cidadãos, que formarão uma sociedade mais consciente e corresponsável com a preservação dos rios urbanos.

Os métodos de valorização de cursos d'água urbanos bem-sucedidos utilizam combinações de técnicas como: renaturalização de cursos d'água, preservação de matas ciliares, controle de processos erosivos, depuração das águas pluviais, manejo de resíduos sólidos e educação ambiental.

3.6.2 Técnicas de Renaturalização de Cursos d'Água

Durante muito tempo, uma das principais estratégias de drenagem urbana esteve orientada no sentido de retificar o leito dos rios e córregos, para que suas vazões fossem dirigidas para jusante pelo caminho mais curto e com maior velocidade de escoamento possível. A consequência imediata dos projetos baseados neste conceito é o aumento das inundações a jusante decorrentes da canalização dos cursos naturais. À medida que a precipitação ocorre, e a água não é infiltrada no solo, o volume escoado pelos condutos do sistema de drenagem. A retificação de um córrego aumenta a velocidade das águas e o pico do hi-

drograma de jusante. Atualmente, em países desenvolvidos, essa solução tem sido evitada tanto por questões de custos como de impactos ambientais negativos.

Diante da complexidade das questões de drenagem urbana, surgem as ideias de “des-canalização” ou de renaturalização de rios e córregos como um sistema alternativo de macrodrenagem. Entende-se por renaturalização de rios o processo de trazer ao rio sua condição mais natural ou original possível.

A renaturalização dos rios e córregos permite não só o espraiamento das águas pluviais remetidas ao sistema, mas também o amortecimento do pico do hidrograma de vazão, evitando ou reduzindo as inundações, de forma natural.

A renaturalização dos cursos d’água deve ser compreendida não somente como uma solução de drenagem urbana, mas também como uma grande oportunidade para o ressurgimento das águas nas cidades. Isso no que se refere à formação de um sistema de umidificação, de refrigeração e de áreas verdes urbanas aliadas ao lazer e ao turismo, a fim de proporcionar viabilidade econômica para a implantação e manutenção dessas áreas.

A renaturalização de rios é realizada com os objetivos de:

- a. Recuperar os rios e córregos de modo a regenerar o mais próximo possível da biota natural;
- b. Preservar áreas naturais de inundação e impedir quaisquer usos que inviabilizem tal função.

Tais objetivos norteiam os planos específicos de renaturalização de cursos d’água e devem ser integrados ao planejamento regional de recursos hídricos. Os planos específicos devem ser elaborados atendendo as peculiaridades de cada caso, de forma intersetorial, e articulados com os demais planos territoriais e programas regionais.

Para avaliar a situação dos rios e seu entorno, bem como definir os objetivos específicos de recuperação, é preciso comparar a realidade atual com a situação ideal. Baseado no diagnóstico e na avaliação das necessidades de implantar o processo de renaturalização, e considerando os usos e as restrições existentes, são definidos os objetivos específicos, seguidos pelo planejamento das medidas necessárias para a sua implementação.

É fundamental o mapeamento da morfologia fluvial e a caracterização do regime hidrológico e das condições da qualidade da água, pois são fatores condicionantes para a manutenção dos ecossistemas aquáticos.

Os cursos d’água podem ser considerados como sistemas naturais quando não poluídos e possuírem capacidade natural de modificar seu leito e curso sem interferências antrópicas. Essa capacidade depende principalmente:

- Do fluxo contínuo das águas e do material transportado, bem como da mobilidade e das condições naturais do fundo do leito (dinâmica de fundo);
- Da mobilidade e condições naturais das margens (dinâmica das margens);
- Das condições naturais para inundação, relacionadas ao uso adequado das baixadas inundáveis (dinâmica das zonas inundáveis).

Em áreas urbanas, frequentemente, os rios apresentam intensos trechos retificados com leito e margens fortemente protegidos, havendo grande comprometimento das relações biológicas. As possibilidades de uma revalorização ecológica são limitadas, pois o controle de enchentes e a necessidade de manter os níveis da água subterrânea são restrições inquestionáveis.

Através da cooperação de planejadores urbanos, engenheiros, biólogos e paisagistas, chega-se a soluções integradas, incorporando a valorização ecológica. Os principais aspectos a serem considerados são:

- Acesso à água;
- Ampliação do leito do rio;
- Recuperação da continuidade do curso d'água;
- Aplicação de técnicas da engenharia ambiental;
- Restabelecimento de faixas marginais de proteção e da mata ciliar;
- Reconstituição de estruturas morfológicas típicas no leito e nas margens, como depósitos de seixos rolados;
- Promoção de biotas especiais;
- Propiciação de elementos favoráveis ao lazer.

Quanto mais áreas puderem ser restituídas ao sistema do rio, maiores serão as possibilidades de renaturalização. Essas áreas poderão ser transformadas em parques públicos, oferecendo melhores condições de vida à população local.

Fazem parte das restrições para a renaturalização os custos econômico-financeiros e sociais. Contudo, melhorias significativas podem ser obtidas por meio de técnicas de engenharia ambiental, tanto no leito do rio quanto nas suas margens. A renaturalização de rios não significa o retorno a uma paisagem original não influenciada pelo homem, mas corresponde ao desenvolvimento sustentável dos rios e da paisagem em conformidade com as necessidades e os conhecimentos contemporâneos.

Algumas práticas de engenharia ambiental, de impacto local, são apresentadas a seguir:

Pedras “quebra-corrente” (defletores): consistem no agrupamento de grandes pedras no leito do curso d'água. Essas pedras dissipam a energia, melhorando o surgimento de canais com mais velocidade e proporcionando a formação de *habitats*. Os *habitats* incluem regiões com pequena turbulência, superfícies protegidas e correntezas que se desenvolvem no leito do rio, a jusante das pedras durante as vazões mais altas. Essa prática é utilizada em pequenos cursos d'água ou canais que possuem contorno uniforme e pouca cobertura. Pode ser utilizada onde velocidades erosivas precisam ser reduzidas, *habitats* precisam ser restabelecidos, ou a estética do canal precisa ser melhorada.

Defletores: são escoras de pedras, toras ou gabiões que se projetam das margens para dentro do curso d'água. Eles estabilizam bancos de areia, diminuindo a velocidade da água próximo às margens e afastando a correnteza das margens, dissipando, assim, ener-

gia. Os defletores também acrescentam diversidade ao canal, concentrando a correnteza e criando poças profundas. Alternadamente, defletores em canais retilíneos podem favorecer um padrão de meandros com uma correnteza estreita e profunda. Dois defletores, espaçados frente a frente, podem resultar em um longo e profundo canal preferencial a jusante. Sua principal aplicabilidade dá-se em pequenos cursos d'água com margens suscetíveis a erosão.

Deposição de pedras de grandes dimensões: esta técnica é utilizada para promover a formação de substrato estável em canais que foram modificados ou estão altamente impactados. O substrato em pedras também provê *habitat* para insetos aquáticos e áreas de desova. Essa prática somente é válida em pequenos cursos d'água nas situações em que o substrato em pedras é característico da região. Pode ocorrer nos casos em que o suprimento de sedimentos foi interrompido, devido à construção de uma barragem ou pela canalização de um trecho do rio a montante.

Canais com diferentes estágios: são cursos d'água construídos que consistem em um canal estreito e profundo dentro de um canal mais largo. Os estágios correspondem a: a) um talvegue, para vazões de período de retorno de 1 a 5 anos; b) um leito de inundação. Seria uma alternativa às valas canalizadas e às galerias fechadas. Os canais devem ser projetados para satisfazer as necessidades de condutibilidade e, ao mesmo tempo, minimizar impactos ambientais negativos e obter proveito da estabilidade natural da geometria do canal.

No canal do leito menor:

- O comprimento do canal do leito menor deve ser igual ao comprimento do leito original do canal fluvial;
- A capacidade do canal do leito menor deve ser aproximadamente de 1 a 5 anos de período de retorno;
- Devem ser criados dispositivos para garantir a permanência de vazões, qualidade da água, melhoria de *habitat*, e interesse visual, incluindo meandros, pedras "quebra-corrente", piscinas naturais e bancos de areia;
- O leito deve ser suave, preferencialmente com revestimento distinto do concreto, sempre que possível mantendo interação do fundo com a superfície;
- Vertedores de pedra, meandros, pedras "quebra corrente" ou vegetação controlam a velocidade do escoamento, sendo utilizados para reduzir a erosão;
- Deve ser minimizado o enrocamento do canal; se utilizado o enrocamento acima do nível normal, o mesmo deve ser coberto com terra e vegetado.

No canal do leito maior:

- A capacidade do canal é função do projeto de drenagem, entretanto, recomenda-se que a largura mínima do fundo deva ser pelo menos três vezes maior que a largura do topo do canal de leito menor;
- Deve ser promovida a vegetação natural no leito do canal maior, de forma a beneficiar a qualidade da água, estabilidade das margens e vida animal;
- Se possível, variar a largura dos canais e a declividade dos taludes. Quando uma área for renivelada, deve ser adotada baixa declividade nos taludes, de forma a permitir o plantio de arbustos e árvores;

- Deve ser dada preferência, sempre que possível, a manter vegetação existente, para propiciar a estabilidade dos taludes.

Obstáculos de pedra: são constituídos de valas preenchidas com pedras. Normalmente ocorrem processos erosivos e alargamento dos canais, devido à urbanização e à mudança do regime de vazões. O processo geralmente começa com a remoção do fundo do canal, que o torna profundo e entrincheirado. Essa condição é instável e erode sua margem. Todo o processo pode levar muitos anos e causa uma quantidade significativa de poluição de sedimentos, degradação de *habitat*, dano a propriedades etc.

Obstáculos de pedra devem ser considerados se a área de drenagem de canais naturais é modificada em função da urbanização, inclusive se há detenção.

Estabilização de bancos de areia: esta prática controla a erosão das margens por meio de materiais provenientes de vegetação. Ela provê proteção provisória das margens e introduz espécies de árvores capazes de estabelecer uma densa rede de raízes nos bancos de areia. O projeto da estabilização dos bancos de areia é adaptável e deve ser executado para ajustar diferentes necessidades de condutibilidade do canal. Espécies de plantas devem ser selecionadas para se deitarem durante vazões altas, criando pequena resistência; ou espécies mais rígidas podem ser plantadas, que serão mais capazes de dissipar energia e reduzir a velocidade da água.

Vertedores de pedra: são pequenas represas executadas com pedras de grandes dimensões, de forma que existam fendas entre as pedras. Eles são utilizados para direcionar a corrente, controlar a erosão, estreitar e aprofundar a correnteza e criar *habitats*.

Estabilização de margens sujeitas a erosão ou rompimento: em ações de revitalização de cursos d'água, devem ser adotadas técnicas de engenharia naturalística, como mostra o esquema da Figura 10. Evitam-se, assim, soluções inseguras e de baixa durabilidade, como mostrado na Figura 11. Esse tipo de solução, quando bem projetada, pode substituir algumas das estratégias descritas acima.

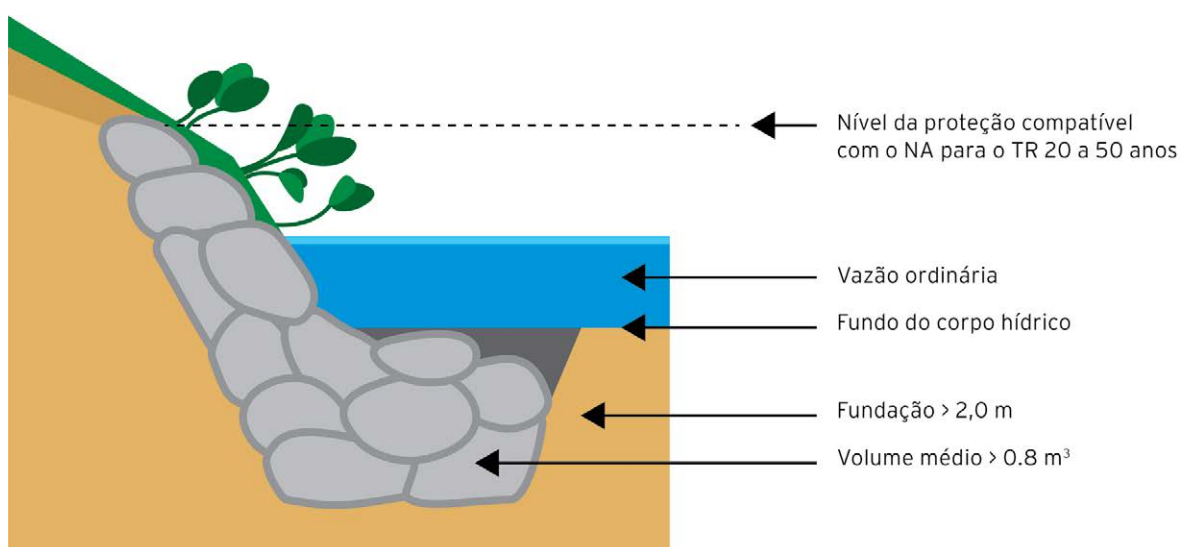


Figura 10 Estabilização de margens com técnica de engenharia naturalística.

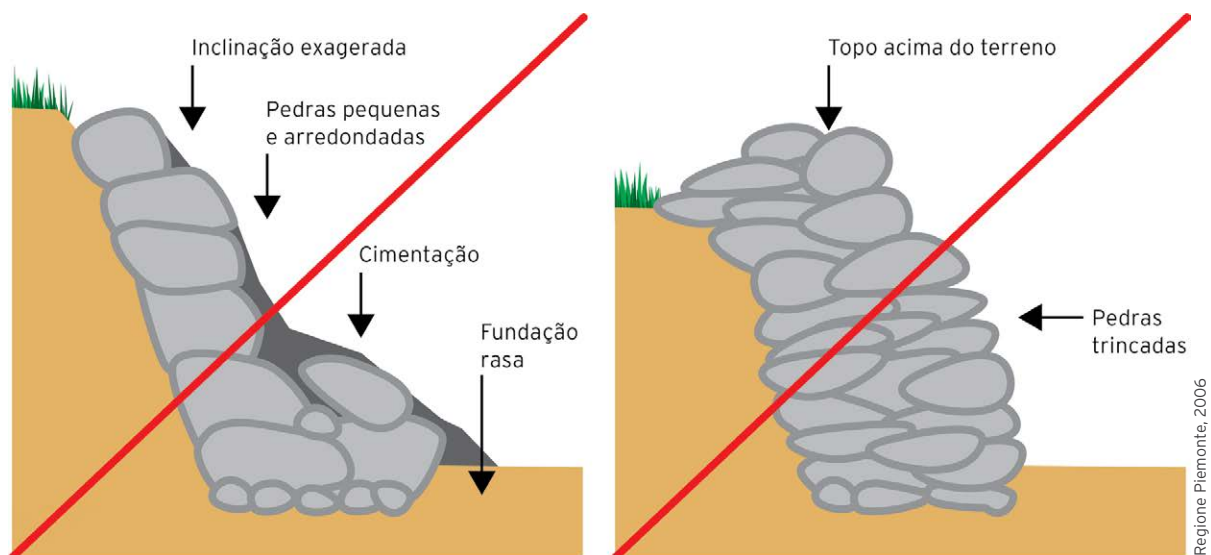


Figura 11 Soluções a serem evitadas.

3.6.3 Preservação da Vegetação Ciliar

A vegetação ciliar (ou mata ciliar) é uma formação vegetal responsável por diversas funções ambientais. Dada sua importância em relação aos aspectos quali-quantitativos dos cursos d'água, o Código Florestal, estabelecido pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012², obriga a preservação das faixas marginais aos cursos d'água, em zonas rurais e urbanas (definidas como Áreas de Preservação Permanente - APP), conforme a Figura 12.

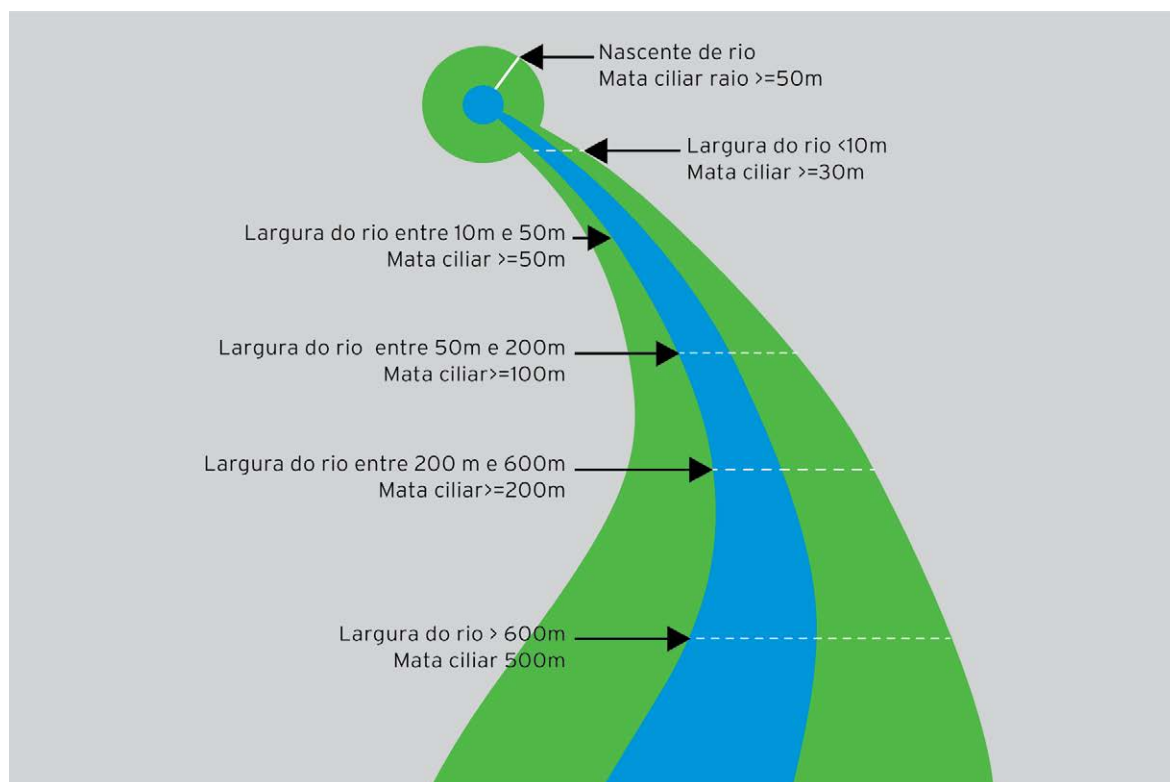


Figura 12 Dimensões das Áreas de Preservação Permanente em zonas rurais e urbanas, de acordo com o Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012).

² Ver também Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, que altera alguns artigos da Lei acima citada.

É possível elencar diversas funções ambientais da vegetação ciliar. Entretanto, no que se refere a zonas urbanas, destacam-se as seguintes funções: regularização de vazão, melhoria da qualidade da água e mitigação do assoreamento e de processos erosivos, os quais são expostos a seguir.

- a. Regularização de Vazão:** A vegetação ciliar tem relevante função no regime hidrológico de uma bacia hidrográfica, pois favorece a infiltração das águas de chuva, recarregando os reservatórios subterrâneos, uma vez que cria obstáculos para o escoamento superficial da água.

A vazão dos cursos d'água nos períodos de estiagem é mantida principalmente pela água proveniente dos reservatórios subterrâneos, reserva essa que é muito prejudicada quando a vegetação ciliar é suprimida.

A importância de se ter uma vazão regularizada é que ela mantém as condições necessárias para a conservação dos ecossistemas que dela dependem, além de preservar a qualidade da água.

- b. Melhoria da Qualidade da Água:** Na manutenção da qualidade da água, a vegetação ciliar funciona como um atenuador da poluição difusa, retendo parte dos poluentes que chegam ao curso d'água por meio do escoamento superficial e subterrâneo, pelo processo de retenção física e biológica de sedimentos e nutrientes.

Em se tratando de zonas urbanas, tanto na água de lavagem das vias quanto nos sedimentos carregados, há poluentes, como metais pesados, óleos e graxas e matéria orgânica, que são parcialmente retidos nas matas ciliares, evitando o aporte da totalidade dos mesmos ao curso d'água.

- c. Mitigação do Assoreamento e de Processos Erosivos:** O escoamento gerado por chuvas intensas carrega quantidades significativas de solo em forma de sedimentos. É função da mata ciliar reter parte desse sedimento, além de fixar as margens. Além de não haver retenção da contribuição de sedimentos de outras partes da bacia, a ausência dessa vegetação permite que as margens sejam erodidas, potencializando assim o assoreamento do curso d'água.

Em acréscimo ao prejuízo qualitativo causado pelo aporte de sedimentos, o assoreamento gera uma diminuição na capacidade hidráulica dos canais, contribuindo para a ocorrência de inundações.

3.7 Controle de Processos Erosivos no Solo

A erosão pluvial é fenômeno que ocorre quando há remoção de solo pelo escoamento superficial da água de chuva facilitada pela ausência de proteção da camada superficial do solo pela vegetação ou pela própria retirada da camada de solo superficial em geral mais resistente ao desgaste e à desagregação de suas partículas. Evitar a concentração de vazões, reduzir a velocidade de escoamento superficial, minimizar as áreas de solo desprotegido e o tempo de exposição, principalmente na temporada de chuvas, são as principais medidas de prevenção da erosão pluvial.

O descuido no controle da erosão pluvial pode levar à formação de processos erosivos graves, como as voçorocas, com perdas significativas de solo e custos financeiros de correção.

A erosão fluvial ocorre nas margens e no fundo dos cursos d'água, como resultado da elevação das vazões e das velocidades de escoamento. Sua prevenção exige intervenções de controle a montante e medidas de proteção das margens dos cursos d'água.

O *Manual de Boas Práticas: Controle de erosão do solo e manejo de sedimentos e outros contaminantes em canteiro de obras*, elaborado pela Adasa, detalha o tema e orienta ações para evitar ou eliminar o fenômeno.

3.8 Tratamento das Águas Pluviais

A opção pelo sistema separador absoluto realizada no Distrito Federal desde as suas origens não impõe a necessidade de tratar as águas pluviais como esgoto sanitário. Nesse sentido, a depuração das águas pluviais preconizada neste Manual é dirigida para a redução de sedimentos e resíduos sólidos transportados pelo escoamento dessas águas.

Por outro lado, a prevenção permanente da poluição das águas pluviais por esgoto sanitário, identificando e removendo as conexões cruzadas entre os dois sistemas (esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais) é essencial.

3.9 Manejo de Resíduos Sólidos

Além de causar a intensificação do escoamento superficial decorrente da impermeabilização do solo, a urbanização produz também o aumento da geração de resíduos sólidos das mais diversas naturezas.

O gerenciamento inadequado desses resíduos, combinado com um sistema de drenagem urbana deficiente, agrava problemas como alagamentos, inundações, poluição de corpos hídricos e degradação da paisagem.

Os resíduos sólidos que atingem os corpos hídricos não impactam a qualidade da água da mesma maneira. Dependendo de suas características físicas, eles podem causar efeito estético negativo (quando flutuam sobre a água) e sérios prejuízos à vida aquática, tanto por meio da ingestão quanto por meio da adesão.

O conhecimento da origem dos resíduos sólidos presentes no sistema de drenagem pluvial é essencial para orientar as ações preventivas e corretivas. As fontes mais frequentes são:

- O descarte por pedestres, principalmente em locais de circulação e presença intensa de pessoas, quando associados à ausência de lixeiras;
- A circulação de veículos libera, nos pavimentos, óleos e graxas e microfibras, provenientes do motor, sistema de freios e desgaste dos pneus;
- Sistema deficiente de coleta domiciliar;

- Despejos irregulares de resíduos sólidos, especialmente de entulhos e de itens de grande porte, como móveis, pneus e eletrodomésticos, tanto no solo quanto diretamente nos corpos hídricos;
- Falta ou deficiência de varrição em logradouros públicos;
- Ausência de cuidado e de controle durante movimentação de terra em obras civis, com produção de sedimentos.

As medidas de controle são ações para evitar que os resíduos sólidos atinjam os corpos hídricos ou, em última instância, para removê-los. Podem ser classificadas em: institucionais (ou não estruturais) e estruturais.

As medidas institucionais ou não estruturais são aquelas que buscam evitar a disposição do material potencialmente poluidor no solo e, conseqüentemente, na rede de drenagem e nos corpos hídricos, por meio de mudanças de atitude da comunidade governamental e dos próprios prepostos do Poder Público (instrumentos legais, informação e mobilização social, bem como atuação dos serviços de limpeza e manejo de resíduos sólidos).

As medidas estruturais utilizam-se de dispositivos de controle ou separação física que podem ser instalados nas entradas ou nas descargas (lançamentos) do sistema de drenagem, bem como nos reservatórios de qualidade. As soluções de separação a meio caminho não são comuns. As alternativas de separação por meio de dispositivos de limpeza de resíduos sólidos nos próprios cursos d'água não evitam, mas podem remediar o problema da poluição, uma vez que recolhem o resíduo que já atingiu os corpos hídricos.

3.10 Educação Ambiental

Muitas cidades nasceram às margens de algum rio ou lago utilizado para abastecimento de água, suprimento de alimentos, transporte e lazer. Mesmo sendo vitais, as águas urbanas não foram poupadas da poluição e, com o adensamento do sítio urbano, muitos fundos de vale receberam avenidas e as margens dos cursos d'água foram ocupadas informalmente por habitações da população menos abastada.

No decorrer do tempo, os cursos d'água passaram a figurar como ambientes insalubres, causando na população uma imagem negativa dos rios urbanos, chegando a desacreditar de investimentos em medidas de recuperação. Por outro lado, o abastecimento de água das cidades começou a enfrentar crises pelo esgotamento de mananciais com qualidade da água adequada.

Esta situação revela a necessidade premente de fortalecer processos de educação ambiental, voltados para o uso e convívio harmonioso com os recursos hídricos urbanos. O esforço de educação ambiental dirigido em primeira instância às novas gerações, inclusive por sua capacidade multiplicadora, deve também buscar sensibilizar e informar o público em geral e atores específicos, como agricultores e industriais. O processo de educação ambiental articula-se e completa-se com a mobilização para consolidar a cidadania ecológica, envolvendo amplos setores sociais na elaboração e promoção das ações de educação ambiental. A formação continuada de educadores ambientais é parte fundamental para

implementação bem-sucedida de programas de educação ambiental. Metodologia desenvolvida pelo Governo Federal propõe as seguintes diretrizes de um Programa de Educação Ambiental e Mobilização Social em Saneamento³:

- a. Participação comunitária e Controle social** - busca estimular os diversos atores sociais envolvidos para interagir, de forma articulada e propositiva, na formulação de políticas públicas, na construção dos planos municipais de saneamento, nos planos diretores municipais e setoriais, assim como na análise dos estudos e projetos realizados, no acompanhamento das obras em execução e na gestão dos serviços de saneamento. A ideia é que a comunidade seja, mais do que a beneficiária passiva dos serviços públicos, atuante, defensora e proponente dos serviços que deseja em sua localidade, por meio de canais de comunicação e de diálogo entre a sociedade civil e o poder público.
- b. Possibilidade de articulação** - busca a integração de programas, projetos e ações em educação ambiental, meio ambiente, recursos hídricos, desenvolvimento urbano e saúde que promovam o fortalecimento das políticas públicas em saneamento no País. Busca-se, sob uma visão sistêmica e integrada, desencadear um processo que leve à otimização de recursos financeiros e humanos e que tenha como resultado a sinergia entre as ações por meio da interação entre os órgãos públicos federais, as iniciativas locais e os diferentes atores sociais envolvidos.
- c. Ênfase na escala da localidade** - Compreende que a participação comunitária é facilitada em escala local, onde os laços territoriais, econômicos e culturais fortemente ligados às noções de identidade e pertencimento estão presentes e marcantes. A proximidade da realidade a qual se quer transformar, assim como dos fatores que afetam diretamente a qualidade de vida da comunidade, é um grande estímulo para a atuação cidadã. Acompanhar de perto a evolução e os resultados positivos das ações deflagradas fortalece a participação popular e tende a estimular a adesão de novas pessoas, grupos e instituições no decorrer do processo.
- d. Orientação pelas dimensões da sustentabilidade** - Propõe que as intervenções em saneamento estejam atentas às suas diferentes dimensões, sejam elas de natureza política, econômica, ambiental, ética, social, tecnológica ou cultural. A continuidade e a permanência das ações são fatores determinantes para a sustentabilidade do processo e devem ser buscadas de forma intencional ainda no planejamento das ações propostas.
- e. Respeito às culturas locais** - Considera que a diversidade cultural presente no país proporciona uma riqueza de olhares e percepções sobre a realidade que deve ser respeitada na condução do processo. As tradições locais, assim como o seu patrimônio histórico, devem ser consideradas no planejamento das ações, uma vez que revelam a ligação da população ao lugar em que vive.

³ Cf. https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/CadernoMetodologico.pdf

- f. Uso de tecnologias sociais sustentáveis** - Busca alternativas tecnológicas que levem em consideração o conhecimento popular e a aplicação de técnicas simples, de baixo custo e impacto, e que podem ser mais apropriadas, eficientes e eficazes frente à realidade de uma dada localidade. O diálogo entre as tecnologias e técnicas de conhecimento comunitário e aquelas produzidas pelos centros de pesquisa deve ser estimulado sempre que possível. A tomada de decisão quanto às tecnologias que serão utilizadas, bem como o sistema de gestão dos serviços, não deve levar em consideração apenas os aspectos convencionais, mas observar, na formulação dos seus custos e benefícios, a participação popular, a inclusão social, aspectos culturais e tradicionais, entre outros.

O papel da impermeabilização do solo urbano na ocorrência de alagamentos e enchentes, os riscos de ocupação das várzeas naturais, a poluição dos corpos hídricos pelas águas pluviais e o assoreamento por sedimentos gerados nas obras civis são temas de destaque na educação ambiental focada no manejo das águas pluviais. Contudo, de modo geral, os tópicos a serem abordados em um programa de educação ambiental e mobilização para o saneamento incluem:

- Ciclo hidrológico;
- Bacia hidrográfica, rios, lagos etc.;
- Ecossistemas aquáticos;
- Impactos da urbanização no meio ambiente;
- Mudanças climáticas;
- Fontes e tipos de poluição;
- Doenças de veiculação hídrica;
- Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas;
- Sistemas de esgotamento sanitário;
- Gestão dos resíduos sólidos e poluição das águas, escassez hídrica, conflito de usos e uso racional da água;
- Preservação das matas e florestas.

4

Divisão Hidrográfica do Distrito Federal

4.1 Recursos Hídricos, Saneamento e Drenagem Urbana

Para efeito de gestão de recursos hídricos (Adasa, 2023), o território do Distrito Federal está dividido em Regiões Hidrográficas, subdivididas em bacias e segregadas em unidades, sendo:

- 3 Regiões Hidrográficas: Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná, conforme a Figura 13;
- 8 Bacias Hidrográficas: as Bacias dos Rios Maranhão e Paranaíba na Região Hidrográfica Tocantins/Araguaia; a Bacia do Rio Preto na Região Hidrográfica São Francisco; e as Bacias do Rio Descoberto, Rio Paranoá, Rio São Bartolomeu, Rio Corumbá e Rio São Marcos na Região Hidrográfica do Paraná, conforme a Figura 14;
- 41 Unidades Hidrográficas, conforme a Figura 15.

As áreas de cada Região, Bacia e Unidade são apresentadas na Tabela 2.

As bacias hidrográficas dos rios Maranhão e Preto não apresentam ocupações urbanas consolidadas, não contando com qualquer sede urbana de região administrativa do DF.

A bacia do Rio Descoberto compreende importantes Regiões Administrativas, tais como: Brazlândia, Taguatinga, Ceilândia, Sol Nascente e Pôr do Sol, Samambaia, parte de Recanto das Emas e Gama e ainda parcelas dos municípios goianos Santo Antônio do Descoberto e Águas Lindas de Goiás. Nesta bacia hidrográfica ocorrem expansões urbanas significativas, com lançamentos de águas servidas e conflitos de uso de água referentes às atividades agrícolas extensivas e intensivas.

A bacia do Rio Paranoá compõe a parte central do DF e abrange o maior número de Regiões Administrativas: Plano Piloto, Varjão, Lago Norte, Setor de Indústria e Abastecimento-SIA, Setor Complementar de Indústria e Abastecimento-SCIA, Cruzeiro, Guará, Park Way, Águas Claras, Arniqueiras, Núcleo Bandeirante, Lago Sul, Riacho Fundo, e parte das Regiões Administrativas do Paranoá, Itapoã e Jardim Botânico. Dentre as bacias hidrográficas, é aquela que apresenta a maior concentração urbana, estando sujeita à intensa demanda de novos espaços para o desenvolvimento de atividades e por infraestrutura urbana. Por outro lado, nesta bacia hidrográfica há grandes áreas de preservação ambiental, como o Parque Nacional de Brasília, a APA do Lago Paranoá, a Estação Ecológica do Jardim Botânico, a APA das Bacias do Gama e Cabeça de Veado, a Floresta Nacional, o Jardim Botânico, a Reserva Ecológica e várias áreas de proteção de mananciais e parques ecológicos de usos múltiplos.

A bacia do Rio São Bartolomeu abrange as Regiões Administrativas Sobradinho, Sobradinho II, e parte das regiões de Itapoã, Paranoá, Jardim Botânico e São Sebastião, além de parte de municípios do Estado de Goiás, como Cidade Ocidental, Luziânia, Valparaíso

Tabela 2 Áreas das Regiões, Bacias e Unidades Hidrográficas do DF

Região Hidrográfica	Área (km ²)	Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Unidade Hidrográfica	Área (km ²)
PARANÁ	3.696	RIO CORUMBÁ	276	Ribeirão Santa Maria	22
				Rio Alagado	46
				Rio Ponte Alta	208
		RIO PARANOÁ	1.058	Lago Paranoá	338
				Riacho Fundo	202
				Ribeirão Bananal	123
				Ribeirão do Gama	149
				Ribeirão do Torto	246
		RIO DESCOBERTO	800	Alto Rio Descoberto	146
				Ribeirão das Pedras	101
				Ribeirão Rodeador	117
				Baixo Rio Descoberto	96
				Médio Rio Descoberto (até Rio Melchior)	62
				Ribeirão Engenho das Lages	73
				Rio Melchior	206
		RIO SÃO BARTOLOMEU	1.514	Ribeirão Sobradinho	146
				Rio Pipiripau	210
				Ribeirão Cachoeirinha	103
				Ribeirão Maria Pereira	44
				Ribeirão Saia Velha	51
Ribeirão Santana	142				
Ribeirão Santo Antônio da Papuda	74				
Ribeirão Taboca	54				
Alto Rio São Bartolomeu	215				
Baixo Rio São Bartolomeu	284				
Médio Rio São Bartolomeu	192				
RIO SÃO MARCOS	48	Alto Rio Samambaia	48		

Região Hidrográfica	Área (km ²)	Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Unidade Hidrográfica	Área (km ²)
SÃO FRANCISCO	1330	RIO PRETO	1330	Alto Rio Jardim	387
				Alto Rio Preto	208
				Baixo Rio Jardim	145
				Córrego São Bernardo	81
				Ribeirão Extrema	254
				Ribeirão Jacaré	176
				Ribeirão Santa Rita	79
TOCANTINS-ARAGUAIA	762	RIO MARANHÃO	762	Alto Rio Maranhão	121
				Córrego Bandeirinha	6
				Rio da Palma	207
				Ribeirão da Contagem	144
				Ribeirão Palmeiras	91
				Ribeirão Sonhém	56
				Rio do Sal	135
TOTAL	5.788		5.788		5.788

Gestão da Drenagem no Distrito Federal

5

O arranjo institucional referente à gestão dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais no Distrito Federal conta com um conjunto de órgãos e instituições da Administração Pública, cujas denominações e funções são mostradas na Figura 16. Esse conjunto é detalhadamente descrito no Plano Distrital de Saneamento Básico - PDSB, elaborado pela Serenco (GDF, 2016). A Figura 16 apresenta a estrutura atualizada com as novas nomenclaturas dos órgãos.

A seguir apresenta-se uma síntese das funções de cada órgão citado, conforme o referido Plano.

SODF – Secretaria de Estado de Obras e Infraestrutura do Distrito Federal

A Secretaria de Obras e Infraestrutura do Distrito Federal possui as seguintes atribuições definidas em Lei:

- Projetos, execução e fiscalização das obras públicas;
- Infraestrutura;
- Recuperação de equipamentos públicos;
- Serviços públicos.

A SODF atua “oferecendo seus serviços às Administrações Regionais, e também por meio das entidades vinculadas, que são braços executores e prestam os serviços diretamente ao cidadão”. Os seguintes órgãos estão diretamente vinculados à SODF:

- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap);
- CEB Iluminação Pública e Serviços S.A;
- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb).

Além de ser o órgão planejador, político e organizador do sistema, a SODF é também grande executora de obras de expansão da rede de drenagem urbana. Sob esta ótica, concorre com a Novacap porque também executa projetos e licita obras para expansão da rede de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no DF. A rigor, tais atividades deveriam fazer parte apenas das ações da Novacap, já que ela é a empresa pública que recebeu a concessão legal para prestar esse serviço no DF, conforme Lei nº 4.285/2008, art. 51.

Figura 16 Arranjo institucional de gestão dos serviços de águas pluviais no DF (Distrito Federal, 2016)

Competências e atribuições	Governo do Distrito Federal - instituições
Planejamento	Secretaria de Obras
Regulação e Fiscalização	Adasa
Prestação de Serviços	Novacap
Órgãos Intervenientes	Terracap Codhab Administrações Regionais
Licenciamento	Ibram
Outorga de Recursos Hídricos	Adasa

Novacap – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil

A Novacap - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil constitui-se em órgão da administração indireta do DF vinculada à SODF. É de competência da Novacap a prestação dos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, conforme o artigo 51 da Lei Distrital nº 4.285/2008 (Distrito Federal, 2008). A prestação de serviços de drenagem exercida pela Novacap é regulada pela Adasa, por meio do Contrato de Concessão nº 01/2023 celebrado entre as entidades, em 07 de junho de 2023.

Para a implantação de projetos de sistemas de drenagem no DF, a Novacap cumpre os seguintes critérios para a elaboração de projetos e execução de obras:

- Plano Diretor de Drenagem Urbana - Critérios de Projeto - Governo do Distrito Federal (Distrito Federal, 2009);
- Resolução nº 26/2023 - Adasa - Procedimentos para Obtenção de Outorga de Lançamento de Águas Pluviais em Corpos Hídricos de Domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados (Adasa, 2023); e
- Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistemas de Drenagem Pluvial no Distrito Federal (Novacap, 2019).

A atuação finalística da Novacap se dá na área de edificações e de urbanização, na qual, além das atividades de drenagem das águas pluviais, estão as relacionadas ao sistema viário e à gestão de áreas verdes e paisagismo urbano.

Empresa pública, sob a forma de sociedade por ações, conta com mais de 100 técnicos (Informações de janeiro de 2021) que executam a gestão de trabalhos de construção e manutenção de prédios, execução, manutenção e operação de galerias de águas pluviais,

execução e manutenção de pavimentação asfáltica, calçadas, meios-fios, plantio e poda de grama e árvores, bem como jardins ornamentais. Na sua estrutura organizacional não se prevê uma diretoria para drenagem urbana.

Os serviços de drenagem de águas pluviais prestados pela Novacap estão distribuídos na Diretoria de Urbanização (DU) por meio das Divisões e respectivas Seções de Projetos (DI-PROJ), de Obras (DIOB), de Manutenção e Obras Diretas (DIMA), com o apoio da Divisão de Apoio Técnico (DIATEC). Para a gestão das atividades específicas de drenagem e águas pluviais, a Novacap conta com a assessoria das Diretorias Administrativas (DA) e Financeira (DF), as quais atendem também outras atividades e serviços prestados pela Novacap.

Destaca-se que não cabe à SODF nem à Novacap a execução ou fiscalização de obras em rodovias distritais ou federais que cruzam o DF, sendo que essas atividades estão sob responsabilidade do Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal - DER/DF e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, respectivamente.

As informações da prestação de serviços pela Novacap são disponibilizadas e fornecidas ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS.

A Novacap conta com um setor de geoprocessamento, atualizando o cadastro georreferenciado de obras executadas no sistema e, conseqüentemente, de drenagem pluvial urbana.

DER-DF - Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal

O Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal - DER/DF, criado em junho de 1960, tem como competência a responsabilidade pelos projetos e execução das rodovias distritais e dos seus sistemas de drenagem de águas pluviais. O Plano Rodoviário do DF foi elaborado em 1960, tendo sido aprovado em 1964 e revisado em 1974. A atual malha rodoviária incorpora cerca de 1.822 km de rodovias, as quais são mantidas pelos cinco Distritos Rodoviários existentes.

O DER-DF apresenta manual próprio para elaboração de projetos e execução de obras, o qual possui especificidades próprias, diferentes das premissas adotadas nos manuais da Novacap.

Apesar da extensão das rodovias, a maior parte da drenagem existente é superficial, visto que a área de responsabilidade do DER-DF se limita às faixas de domínio das rodovias.

No interior das malhas urbanas, as soluções de drenagem das rodovias demandam, em sua maior parcela, os sistemas de drenagem urbana implantados e operados pela Novacap, situação que leva a caracterizar o DER-DF como usuário do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Destaca-se que o DER-DF, conforme as competências que lhe são atribuídas, as executa dentro das limitações orçamentárias, buscando atender o planejamento estabelecido anualmente para o Órgão.

É necessário fortalecer e estabelecer instrumentos para a efetivação de ações cooperativas entre o DER-DF e a Novacap no que se refere à manutenção do sistema rodoviário implantado.

Metrô-DF - Companhia do Metropolitano do Distrito Federal

A Companhia do Metropolitano do Distrito Federal - Metrô-DF, criada em dezembro de 1993, tem por objetivos:

- Planejar, projetar, construir, operar e manter o sistema de transporte público coletivo sobre trilhos no Distrito Federal, assim como explorar comercialmente marcas, patentes, tecnologia e serviços técnicos especializados, vinculados ou decorrentes de sua atividade produtiva;
- Organizar, fiscalizar, administrar e explorar as áreas lindeiras às vias metroviárias, absorvendo os recursos provenientes de atividades comerciais e imobiliárias nelas desenvolvidas.

A implantação da Rede Metropolitana operada pelo Metrô-DF inclui obras de drenagem de águas pluviais das estações, pátios de manobra e vias permanentes.

Portanto, a Metrô-DF possui no entorno de sua rede metroviária uma extensa rede de drenagem de águas pluviais, com a finalidade principal de garantir a segurança e o funcionamento contínuo do sistema de transporte metroviário.

Para garantir um alto nível de segurança, as redes de drenagem do Metrô são projetadas com Período de Recorrência de chuvas críticas mínimo de 15, 20 ou 30 anos, chegando a até 100 anos para obras de maior porte.

Os projetos utilizam os critérios definidos pela Novacap e DNIT, pois não há padrões em nível nacional definidos para obras de sistemas de transporte metroviários.

Da mesma forma que o DER-DF, no interior das malhas urbanas, as soluções de drenagem do sistema metroviário demandam, em sua maior parcela, os sistemas de drenagem urbana implantados e operados pela Novacap, situação que leva a caracterizar a Metrô-DF como usuário do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

RA's - Regiões Administrativas

O Governo do Distrito Federal conta com 35 (trinta e cinco) Regiões Administrativas (RAs), autarquias distritais geridas por administradores regionais e secretários indicados pelo Governador do Distrito Federal. As RAs têm como competência representar o Governo do Distrito Federal, no âmbito de suas respectivas Regiões Administrativas, coordenar e executar atividades e serviços de interesse público em sua jurisdição, incluindo os serviços de drenagem e manejo de águas pluviais.

Na gestão da drenagem e manejo das águas pluviais, as RAs operam intermediando junto à Novacap ou à SODF demandas de intervenções de ampliação, melhoria ou manutenção dos sistemas de drenagem urbana. As RAs executam atividades de reparo e manutenção da drenagem urbana com mão de obra própria ou terceirizada e também acompanham obras em seus territórios, mas sem poder de fiscalização.

Terracap - Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal - Companhia Imobiliária de Brasília

A Terracap foi criada em 1972 a partir de um desmembramento da Novacap. Assim, é uma empresa pública do Governo do Distrito Federal que tem por objetivo a execução, mediante remuneração, das atividades imobiliárias de interesse do Distrito Federal, compreendendo a utilização, aquisição, administração, disposição, incorporação, oneração ou alienação de bens.

A partir de 1997, a Terracap passou a exercer a função de Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal na operacionalização e implementação de programas e projetos de fomento e apoio ao desenvolvimento econômico e social do Distrito Federal, nos termos do Decreto nº 18.061/1997.

Entre as funções legais da Terracap estão: construção, manutenção e adequação física e operacional em áreas públicas e bens imóveis destinados à prestação de serviços públicos, incluída a execução de serviços relacionados a implantação e manutenção de drenagem pluvial, pavimentação asfáltica, calçadas, meios-fios, plantio de gramas e árvores e podas de plantas, bem como jardins ornamentais.

Codhab/DF - Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal

A Codhab/DF - Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal - criada em 2007, é uma empresa pública integrante da Administração Indireta do Governo do Distrito Federal vinculada à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH). Sua atuação é articulada com políticas e programas que visem ao desenvolvimento das funções econômicas e sociais da população, preferencialmente de baixa renda, com o intuito de assegurar o bem-estar das comunidades, a melhoria da qualidade de vida e a preservação do meio ambiente.

A Codhab é responsável pela execução dos programas habitacionais do DF, com vistas a equacionar o déficit habitacional existente.

Com a execução dos conjuntos habitacionais, grandes áreas do DF acabam sofrendo processo de impermeabilização do solo, e, indiretamente, a Codhab é responsável por executar sistemas de drenagem urbana para minimizar os impactos dessas obras.

A contratação de obras de drenagem nos conjuntos habitacionais pode ser realizada diretamente pela Codhab/DF, ou através de repasses de verba para a Novacap, a fim de que esta contrate empresas, para implantação da rede.

Para a elaboração dos projetos e execução das obras, as empresas contratadas pela Codhab/DF seguem os parâmetros definidos pela Novacap, responsável por analisar os projetos e fiscalizar a execução. Após a finalização da obra, Codhab e Novacap firmam Termo de Recebimento para repasse da rede executada à Novacap.

Antes da elaboração dos projetos, a Codhab é orientada a consultar o cadastro da rede de drenagem da Novacap, para poder dimensionar as estruturas necessárias, e avaliar a possibilidade de lançamento na rede já existente.

Ibram - Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental

A Lei Orgânica do Distrito Federal, promulgada em 8 de junho de 1993, estabelece no Art. 282 que “cabe ao órgão ambiental do Distrito Federal a gestão do sistema de gerenciamento de recursos hídricos” (Distrito Federal, 1993b).

Para atender a essa previsão legal, a Lei nº 3.984, de 28 de maio de 2007, criou o Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental, que se encontra vinculado à SEMA e é designado pela sigla Ibram.

O Art. 2º de sua lei de criação estabelece as seguintes finalidades ao Brasília Ambiental:

I - executar e fazer executar as políticas ambiental e de recursos hídricos do Distrito Federal;

II - controlar e fiscalizar, com poder de polícia, o manejo dos recursos ambientais e hídricos do Distrito Federal, bem como toda e qualquer atividade ou empreendimento que cause ou possa causar poluição ou degradação do meio ambiente e dos recursos hídricos.

O Art. 3º da respectiva lei indica como algumas importantes competências do Brasília Ambiental:

I - propor normas e padrões de qualidade ambiental e dos recursos hídricos;

II - definir normas e padrões relativos ao uso e manejo de recursos ambientais;

IX - fiscalizar e aplicar penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou à correção da degradação ambiental.

O Brasília Ambiental tem, portanto, como importante função relativa à drenagem e ao manejo de águas pluviais, na definição de normas e padrões da qualidade de água, definição de técnicas e projeções ambientalmente mais adequadas, além da fiscalização e, em caso de irregularidades, aplicação de penalidades para o prestador de serviço de drenagem pluvial, no caso a Novacap, e usuários, como o DER-DF e o Metrô-DF.

Adasa - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

A Adasa foi reestruturada pela Lei nº 4.285, de 26 de dezembro de 2008 (Distrito Federal, 2008). Vinculada à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), sua missão institucional é promover a gestão sustentável dos recursos hídricos e a qualidade dos serviços públicos de energia e saneamento básico, em benefício da sociedade.

O Contrato de Concessão nº 01 entre a Adasa e a Novacap, assinado em 07 de julho de 2023, estabelece a delegação, mediante concessão, da prestação do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Distrito Federal para a Novacap, com prazo de 30 (trinta) anos.

Segundo a Lei de reestruturação citada, compete à Adasa editar normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas que devem abranger pelo menos os seguintes aspectos:

- Padrões e indicadores de qualidade da prestação dos serviços;
- Requisitos operacionais e de manutenção dos sistemas;
- Metas progressivas de expansão e de qualidade dos serviços e os respectivos prazos;
- Regime, estrutura e níveis tarifários, bem como os procedimentos e prazos de sua fixação, reajuste e revisão, em conformidade com a legislação e o contrato;
- Medição, faturamento e cobrança de serviços;
- Monitoramento dos custos e do desempenho econômico-financeiro dos prestadores dos serviços;
- Avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados;
- Plano de contas e mecanismos de informação, auditoria e certificação;
- Padrões de atendimento ao público e mecanismos de participação e informação;
- Planos de contingências e medidas de contingências, ouvidos os órgãos competentes.

Ainda segundo a Lei nº 4.285/2008, a cobrança pela prestação do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas deverá levar em conta, em cada lote urbano, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva. Também deverá considerar, entre outros critérios: I - o nível de renda da população da área atendida; II - as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas; III - a área de drenagem efetivada no caso de construção concluída, avaliada segundo padrões técnicos estabelecidos pela Adasa.

A concessão de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos do DF, visando ao controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, obedece aos termos da Resolução Adasa nº 26/2023 e é função da Coordenação de Outorga (COUT), que tem como atribuições:

- Coordenar as atividades dos recursos humanos e o uso dos recursos técnicos e materiais alocados na coordenação;
- Receber e expedir documentos de outorga;
- Distribuir, organizar e instruir os processos de outorga;
- Manter e organizar o arquivo corrente dos processos de outorga; e
- Prestar atendimento a usuários.

À Superintendência de Drenagem Urbana (SDU) compete executar as atividades relacionadas à regulação e fiscalização dos serviços de drenagem urbana. É composta pelas seguintes coordenações:

- Coordenação de Regulação e Outorga (CORD):
 - Propor ao superintendente a expedição de atos normativos e regulatórios, elaborando minutas de resoluções e instruções relacionadas à área de competência da Superintendência, observando a legislação vigente;
 - Propor ao superintendente a celebração e a rescisão de convênios, contratos e acordos, justificando sua necessidade e auxiliando tecnicamente na elaboração de seus termos;
 - Propor ao superintendente a celebração e rescisão de contratos de concessão, elaborando minutas, participando de tratativas com a prestadora de serviço público, bem como instruindo tecnicamente o processo; e
 - Subsidiar o superintendente no processo decisório de assuntos referentes às áreas de sua competência, prestando informações e elaborando Notas Técnicas e relatórios.
- Coordenação de Fiscalização (COFD):
 - Propor e executar plano de fiscalização dos serviços regulados, quanto a seus aspectos técnicos, nos limites estabelecidos em normas legais e regulamentares;
 - Fiscalizar as instalações físicas dos prestadores dos serviços objetivando verificar o estado de conservação e operacionalização delas para atendimento dos padrões de qualidade definidos e metas de expansão;
 - Elaborar memorandos, ofícios, relatórios e notificações para análise e emissão pelo superintendente; e
 - Subsidiar o Superintendente no processo decisório de assuntos referentes às áreas de sua competência, prestando informações e elaborando Notas Técnicas e relatórios.

A Superintendência de Drenagem Urbana tem realizado diversas ações para estruturar o setor, como o cadastro técnico virtual do sistema de drenagem urbana, viária e metroviária; quantificação de áreas urbanas impermeabilizadas; cursos de capacitação e modelo de organização de custos (operacionais, capital, regulação e outros). As iniciativas para fomentar a institucionalização do manejo de drenagem e águas pluviais urbanas convergiram para propostas de minuta de projeto de lei a fim de reorganizar o serviço e minuta de resolução para remunerar os serviços.

RIDE-DF - Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

De acordo com a Constituição Federal (CF) de 1988, em seu artigo 21, inciso IX, é função da União “elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social”. O artigo 43, *caput*, do mesmo documento, alega que “para efeitos administrativos, a União poderá articular sua ação em um mesmo complexo geoeconômico e social, visando a seu desenvolvimento e à redução das desigualdades regionais”. Esses artigos da CF foram a base para a criação da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - RIDE, que surgiu com base na Lei Complementar nº 94/1998, promulgada, em 19 de fevereiro de 1998, e regulamentada pelo Decreto nº 7.469, de 04 de maio de 2011.

Originalmente, a RIDE era composta pelo próprio Distrito Federal e pelos municípios goianos de Abadiânia, Água Fria de Goiás, Águas Lindas, Alexânia, Cabeceiras, Cidade Ocidental, Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás, Cristalina, Formosa, Luziânia, Mimoso de Goiás, Novo Gama, Padre Bernardo, Pirenópolis, Planaltina, Santo Antônio do Descoberto, Valparaíso e Vila Boa, além dos municípios mineiros de Unaí e Buritis.

A Lei Complementar nº 163, de 14 de junho de 2018, incluiu os municípios goianos de Alto Paraíso, Alvorada do Norte, Barro Alto, Cavalcante, Flores de Goiás, Goianésia, Niquelândia, São João d'Aliança, Simolândia e Vila Propício e as cidades mineiras de Arinos e Cabeceira Grande.

Nessa região há municípios com os mais variados graus de desenvolvimento econômico e social e com várias disparidades. Dessa forma, a RIDE supõe uma integração entre esses municípios para que tais desigualdades sejam reduzidas ao longo dos anos.

5.1 Legislação Federal

Lei nº 11.445, de 2007 - Lei das Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico

A Lei nº 11.445, de 07 de janeiro de 2007, foi promulgada após um hiato de aproximadamente 21 anos - desde a extinção, em 1986, do Banco Nacional de Habitação (BNH), ao qual o Plano Nacional de Saneamento Básico (Planasa) era vinculado.

Essa lei estabeleceu as diretrizes nacionais para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico e seus componentes, sendo eles:

- a. Abastecimento de água;
- b. Esgotamento sanitário;
- c. Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos;
- d. Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Estabeleceu, ainda, instrumentos fundamentais para a prestação dos serviços, sendo alguns deles:

- a. A necessidade da contratualização dos serviços, ou seja, quando o titular

não exercer diretamente a prestação dos serviços, os mesmos deverão ser regidos por um contrato de concessão (Lei nº 8.987, de 1995), ou por contrato de programa (Lei nº 11.107 de 2005);

- b.** A obrigatoriedade da regulação dos serviços;
- c.** A obrigatoriedade do planejamento (elaboração dos planos de saneamento básico);
- d.** A obrigatoriedade do controle social.

No ano de 2010, foi editado o Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010, que regulamentou a Lei nº 11.445.

Nessa legislação foram estabelecidos preceitos e conceitos importantes para a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas, tema que se incorporou definitivamente como parte integrante do saneamento básico.

Essa lei encontrava-se em vigor, quando da elaboração do *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas* (Adasa, 2018), tendo sido atualizada posteriormente pela Lei nº 14.026, de 2020, quando alguns dispositivos foram revogados.

Lei nº 14.026, de 2020 - Lei das Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico

A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, alterou profundamente, em alguns aspectos, a Lei nº 11.445 de 2007. Como este manual apresenta especificamente o componente drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, este será o único componente de saneamento básico abordado.

No final do ano de 2020, foi publicado o Decreto nº 10.588, de 24 de dezembro de 2020, que regulamentou parte da Lei nº 14.026 de 2020.

Essa nova Lei e esse novo Decreto, pelas adequações que propõem no marco regulatório do saneamento básico, estão sendo incorporados nesta atualização, ampliação e revisão do *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal*.

Nesse sentido, a seguir, é apresentado um recorte dos itens mais importantes da referida lei para o componente de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Art. 2º Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

I - universalização do acesso e efetiva prestação do serviço;

IV - disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, tratamento, limpeza e fiscalização preventiva das redes, adequados à saúde pública, à proteção do meio ambiente e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;

Art. 3º Para fins do disposto nesta Lei, considera-se:

I - saneamento básico: conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

(...)

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes;

Art. 3º-C. Consideram-se serviços públicos especializados de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos as atividades operacionais de coleta, transbordo, transporte, triagem para fins de reutilização ou reciclagem, tratamento, inclusive por compostagem, e destinação final dos:

I - drenagem urbana;

II - transporte de águas pluviais urbanas;

III - detenção ou retenção de águas pluviais urbanas para amortecimento de vazões de cheias; e

IV - tratamento e disposição final de águas pluviais urbanas.

É importante destacar que o Art. 3-C estabelece como competência do órgão responsável pela limpeza urbana os serviços de desobstrução e limpeza de boca de lobo, bueiros e correlatos. Entretanto, no Distrito Federal, quem opera tais serviços inerentes ao sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas é a prestadora Novacap e não o Serviço de Limpeza Urbana (SLU). Nesse sentido, cabe apresentar o Art. 12 da Lei nº 11.445 e que não foi alterado.

Art. 12. Nos serviços públicos de saneamento básico em que mais de um prestador execute atividade interdependente com outra, a relação entre elas deverá ser regulada por contrato e haverá entidade única encarregada das funções de regulação e de fiscalização.

Dessa maneira, é possível compartilhar atividades ou serviços executados com mais de um prestador, desde que a entidade reguladora, no caso a Adasa, providencie contrato adequado. Retornando para pontos importantes da Lei nº 14.026:

Art. 7º Para os efeitos desta Lei, o serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos é composto pelas seguintes atividades:

(...)

III - de varrição de logradouros públicos, de limpeza de dispositivos de drenagem de águas pluviais, de limpeza de córregos e outros serviços, tais como poda, capina, raspagem e roçada, e de outros eventuais serviços de limpeza urbana, bem como de coleta, de acondicionamento e de destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos provenientes dessas atividades.

Art. 8º Exercem a titularidade dos serviços públicos de saneamento básico:

I - os Municípios e o Distrito Federal, no caso de interesse local;

II - o Estado, em conjunto com os Municípios que compartilham efetivamente instalações operacionais integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, instituídas por lei complementar estadual, no caso de interesse comum.

§ 1º O exercício da titularidade dos serviços de saneamento poderá ser realizado também por gestão associada, mediante consórcio público ou convênio de cooperação, nos termos do art. 241 da Constituição Federal, observadas as seguintes disposições:

I - fica admitida a formalização de consórcios intermunicipais de saneamento básico, exclusivamente composto de Municípios, que poderão prestar o serviço aos seus consorciados diretamente, pela instituição de autarquia intermunicipal;

II - os consórcios intermunicipais de saneamento básico terão como objetivo, exclusivamente, o financiamento das iniciativas de implantação de medidas estruturais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais, vedada a formalização de contrato de programa com sociedade de economia mista ou empresa pública, ou a subdelegação do serviço prestado pela autarquia intermunicipal sem prévio procedimento licitatório.

§ 2º Para os fins desta Lei, as unidades regionais de saneamento básico devem apresentar sustentabilidade econômico-financeira e contemplar, preferencialmente, pelo menos 1 (uma) região metropolitana, facultada a sua integração por titulares dos serviços de saneamento.

Art. 29. Os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada por meio de remuneração pela cobrança dos serviços, e, quando necessário, por outras formas adicionais, como subsídios ou subvenções, vedada a cobrança em duplicidade de custos administrativos ou gerenciais a serem pagos pelo usuário, nos seguintes serviços:

(...)

III - de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, na forma de tributos, inclusive taxas, ou tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou das suas atividades.

Art. 37. Os reajustes de tarifas de serviços públicos de saneamento básico serão realizados observando-se o intervalo mínimo de 12 (doze) meses, de acordo com as normas legais, regulamentares e contratuais.

Art. 38. As revisões tarifárias compreenderão a reavaliação das condições da prestação dos serviços e das tarifas praticadas e poderão ser:

I - periódicas, objetivando a distribuição dos ganhos de produtividade com os usuários e a reavaliação das condições de mercado;

II - extraordinárias, quando se verificar a ocorrência de fatos não previstos no contrato, fora do controle do prestador dos serviços, que alterem o seu equilíbrio econômico-financeiro.

§ 1º As revisões tarifárias terão suas pautas definidas pelas respectivas entidades reguladoras, ouvidos os titulares, os usuários e os prestadores dos serviços.

§ 2º Poderão ser estabelecidos mecanismos tarifários de indução à eficiência, inclusive fatores de produtividade, assim como de antecipação de metas de expansão e qualidade dos serviços.

§ 3º Os fatores de produtividade poderão ser definidos com base em indicadores de outras empresas do setor.

§ 4º A entidade de regulação poderá autorizar o prestador de serviços a repassar aos usuários custos e encargos tributários não previstos originalmente e por ele não administrados, nos termos da Lei no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995.

Art. 39. As tarifas serão fixadas de forma clara e objetiva, devendo os reajustes e as revisões serem tornados públicos com antecedência mínima de 30 (trinta) dias com relação à sua aplicação.

Parágrafo único. A fatura a ser entregue ao usuário final deverá obedecer a modelo estabelecido pela entidade reguladora, que definirá os itens e custos que deverão estar explicitados.

Art. 40. Os serviços poderão ser interrompidos pelo prestador nas seguintes hipóteses:

I - situações de emergência que atinjam a segurança de pessoas e bens;

(...)

Art. 52. A União elaborará, sob a coordenação do Ministério do Desenvolvimento Regional:

I - o Plano Nacional de Saneamento Básico, que conterà:

§ 1º O Plano Nacional de Saneamento Básico deverá:

(...)

Um dos pontos positivos apresentados que ajuda na instituição da cobrança pelos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas é o Art. 29, que possibilita a cobrança, também, por tarifa.

Art. 29. Os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada por meio de remuneração pela cobrança dos serviços, e, quando necessário, por outras formas adicionais, como subsídios

ou subvenções, vedada a cobrança em duplicidade de custos administrativos ou gerenciais a serem pagos pelo usuário, nos seguintes serviços:

(...)

III - de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, na forma de tributos, inclusive taxas, ou tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou das suas atividades.

Decreto nº 10.588, que regulamenta parte da Lei nº 14.026, de 2020

No que trata da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, o Decreto traz a prestação regionalizada dos serviços, com vista a dar sustentabilidade econômica e operacional para a prestação dos serviços e também o apoio técnico da União. Alguns recortes importantes são apresentados a seguir.

Art. 2º A prestação regionalizada de serviços de saneamento visa à geração de ganhos de escala e à garantia da universalização e da viabilidade técnica e econômico-financeira dos serviços, com uniformização do planejamento, da regulação e da fiscalização.

§ 9º Os serviços de limpeza pública, de manejo de resíduos sólidos urbanos ou de drenagem e manejo de águas pluviais poderão ser prestados na mesma unidade de prestação regionalizada de água e esgotamento sanitário ou em unidades de dimensões distintas para cada serviço.

§ 11. Para serviços de limpeza pública, de manejo de resíduos sólidos urbanos ou de drenagem urbana e manejo de águas pluviais, a exigência de prestação regionalizada poderá ser atendida por meio de consórcios públicos, na forma prevista na Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, ou por meio de gestão associada decorrente de acordo de cooperação, desde que observados os objetivos previstos no caput.

Art. 3º A União prestará apoio técnico e financeiro para a adaptação dos serviços públicos de saneamento básico às disposições da Lei nº 14.026, de 2020, nos termos do disposto do art. 13 da referida Lei, para a realização de uma ou mais das seguintes atividades, no que couber, condicionado à existência de disponibilidade orçamentária e financeira:

§ 7º O disposto neste artigo aplica-se aos serviços de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza e manejo de resíduos sólidos e de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

É importante registrar que o novo Decreto nº 10.588 de 2020, que regulamentou uma parte da Lei nº 14.026 de 2020, não revogou nenhum dos artigos, parágrafos ou incisos do Decreto nº 7.217 de 2010, que regulamentou a Lei nº 11.445 de 2007.

O novo Decreto nº 10.558, em seu Art. 2º “Da prestação regionalizada de serviços de saneamento” e no Art. 3º, tratou “Do apoio técnico e financeiro da união”.

Resoluções Conama nº 357/2005 e nº 430/2011

Verifica-se que as Resoluções Conama aqui destacadas tratam da classificação dos corpos d'águas superficiais, do seu enquadramento, das condições e padrões de lançamentos de efluentes. Isso impacta diretamente nos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas que devem garantir que os efluentes que sejam lançados nos corpos d'água respeitem as classificações dos mesmos e que garantam os padrões para que sejam recepcionados.

- i) Conama nº 357 de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- ii) Conama nº 430 de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama.

Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979

A Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, estabelece critérios e exigências para o parcelamento de solo urbano.

Destaca-se que a lei prevê a necessidade de se identificarem as áreas inundáveis e alagáveis e exige sua remediação.

O seu Art. 3º define que:

Art. 3º Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal. (Redação dada pela Lei nº 9.785, de 1999).

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas.

Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012

A Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC, e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC.

Destaca-se que a lei prevê a necessidade do mapeamento de perigo e de risco, que são, no caso da componente de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, os eventos críticos de inundações e alagamentos.

5.2 Legislação e normativos em nível distrital

Plano Diretor de Drenagem Urbana - PDDU

Como é abordado em vários documentos, embora o Plano Distrital de Drenagem Urbana (PDDU) não tenha sido instituído por lei, continua sendo um instrumento técnico de alto nível, que é usado pelas instituições do Governo do Distrito Federal (GDF) para subsidiar este Manual e o planejamento e as ações no setor. É importante destacar que o PDDU se constitui no principal documento conceitual, existente até a presente data no DF, no que se refere a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, sendo utilizado constantemente pela Adasa para embasar diversas de suas resoluções referentes ao tema.

O PDDU foi elaborado no período de 2008 e 2009 e é formado dos seguintes documentos: a) *Manual de Modelos Hidrológico e Hidráulico*, que trata do funcionamento dos modelos hidrológicos e hidráulicos para os sistemas de drenagem; b) *Manual de Drenagem Urbana*, que aborda soluções alternativas de drenagem pluvial e normas para apresentação de Projetos, orientando como devem ser incorporadas as normas introduzidas no Plano à elaboração dos projetos e indicando os principais procedimentos.

O PDDU aborda:

- i)** A implantação, operação e manutenção de novas soluções tecnológicas de drenagem urbana e valorização dos rios no meio urbano;
- ii)** O relatório de caracterização, que apresenta o resultado das atividades desenvolvidas no âmbito dos estudos preliminares do PDDU, representando a situação da rede de macrodrenagem, entre outros atributos;
- iii)** O relatório de análise, que trata da articulação entre planejamento urbano e o sistema de drenagem. Caracteriza as condições sanitárias e ambientais dos meios receptores e especifica o problema de interconexão entre as redes de drenagem pluvial e de esgotos doméstico e industrial.

No PDDU está caracterizado o Diagnóstico do Sistema de Drenagem, que abrange estudos de: **i)** chuvas intensas no DF; **ii)** definição da base de dados hidrológicos; **iii)** modelagem da rede de macrodrenagem; **iv)** avaliação do funcionamento da rede de macrodrenagem; **v)** simulações do funcionamento da rede, segundo cenários preestabelecidos. Apresenta, também, reportagens e tabelas de agravos acerca de problemas relacionados a chuvas, manejo de águas pluviais.

No tocante ao Plano de Modernização, o PDDU aponta para as seguintes questões:

- a.** apresentação da situação atual da gestão;
- b.** diagnóstico institucional da gestão do sistema de drenagem urbana;
- c.** modelos de organização institucional;
- d.** Plano de Ação para Modernização da Gestão do Sistema de Drenagem;
- e.** definição de estratégias para implantação do plano diretor.

O Plano de Informações destaca a necessidade do desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas - SIG, fundamental para a implementação da gestão, monitoramento e implementação do PDDU.

O PDDU constitui uma referência na forma de ver a drenagem urbana no Distrito Federal, pois instituiu aspectos técnicos relacionados à quantidade e à qualidade da vazão possível de ser lançada no corpo receptor, iniciando-se a cultura da construção de reservatórios de amortecimento e de qualidade.

Baseado no PDDU, a drenagem urbana no DF deixou de se caracterizar como solução de um problema local com transferência desse problema para as áreas de jusante e passou a ser vista como solução integrada, envolvendo a área de projeto e os impactos no corpo receptor, a jusante do ponto de lançamento.

Plano Distrital de Saneamento Básico - PDSB

Instrumento aprovado pela Câmara Legislativa do Distrito Federal (CLDF) - Lei nº 6.454, de 26 de dezembro de 2019 e regulamentada pelo Decreto nº 40.487, de 04 de março de 2020, o Plano Distrital de Saneamento Básico (PDSB) é o instrumento político-institucional instituído pelo Governo do Distrito Federal que concebe as diretrizes para universalização dos serviços de saneamento em todo o território do Distrito Federal.

O PDSB é composto fundamentalmente pelas seguintes partes:

- I. diagnóstico situacional;
- II. prognóstico, condicionantes, diretrizes, objetivos e metas;
- III. programas, projetos e ações;
- IV. ações para emergências e contingências;
- V. mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência, eficácia e efetividade das ações programadas.

Institucionalmente, cabe à Secretaria de Estado de Obras e infraestrutura do Distrito Federal, dar publicidade e acompanhar sua implementação. Compete, também, ao Conselho de Saneamento Básico do Distrito Federal (Consab-DF) acompanhar a sua implementação.

O PDSB deve ser revisto a cada quatro anos, conforme disposto no § 3º do art. 44 da Lei Distrital nº 4.285, de 26 de dezembro de 2008. Assim sendo, deverá ser atualizado e ampliado no final do ano de 2023.

O PDSB tem como objetivo principal dotar o Distrito Federal de instrumentos e mecanismos que permitam a implantação de ações articuladas, duradouras e eficientes, que possam garantir a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico com qualidade, equidade e continuidade.

O referido Decreto consolidou o que o PDSB prevê, ou seja, determina que o Plano Plurianual, a Lei de Diretrizes Orçamentárias e o Orçamento Anual devem garantir o atendimento

às necessidades sociais na distribuição dos recursos para aplicação em projetos de saneamento pelos agentes financeiros oficiais de fomento.

Como instrumento de controle social, o Conselho de Saneamento Básico do Distrito Federal - Consab deve acompanhar a implementação do PDSB, avaliando os relatórios sobre a prestação dos serviços e a sua integração com os planos territorial, ambiental e de recursos hídricos, propondo providências para o cumprimento de suas metas.

A Adasa, como agência reguladora dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal, também deve acompanhar o cumprimento das metas estabelecidas pelo PDSB junto aos órgãos e entidades gestoras.

Lei Complementar nº 929/2017

O Governo do Distrito Federal sancionou a Lei Complementar nº 929, de 28 de julho de 2017, a qual estabeleceu diretrizes para o uso de dispositivos destinados à infiltração artificial de águas pluviais para a recarga de aquíferos e para sua retenção e seu aproveitamento com vistas a assegurar, no máximo, a vazão de pré-desenvolvimento de 24,4 L / (s.ha) na saída do lote urbano ou da projeção.

Em seu Art. 4º, a lei estabelece que as taxas de permeabilidade dos empreendimentos podem ser parcialmente atendidas, desde que exista a instalação de sistema de infiltração artificial de águas pluviais e nos casos em que o coeficiente de aproveitamento do lote seja maior do que 1,0 (um).

As disposições da Lei Complementar relativas à taxa de permeabilidade são também aplicáveis quando a legislação correlata tratar de área verde, taxa de área verde ou taxa mínima de área verde, em vez de taxa de permeabilidade.

Em seu Artigo 5º, tem-se estabelecido que as licenças de obras iniciais de edificação ou os alvarás de construção para lotes ou projeções no Distrito Federal, com área igual ou superior a 600 m², públicos ou privados, ficam condicionados à previsão de instalação de dispositivos de recarga artificial e de retenção de águas pluviais, sendo que os dispositivos deverão garantir, no máximo, a vazão de pré-desenvolvimento na saída do lote ou da projeção.

Comparando os Artigos 4º e 5º, fica claro o conflito, pois o Art. 4º estabelece a necessidade de sistemas de infiltração artificial somente para empreendimentos com redução da taxa original de permeabilidade, e o Art. 5º aplica a regra para todos os lotes ou projeções com área igual ou superior a 600 m².

Para o licenciamento da obra ou a emissão do alvará de construção, é necessária a apresentação do projeto específico, do registro de responsabilidade técnica e, quando se tratar de sistema de recarga artificial, do laudo de sondagem e do ensaio de permeabilidade do solo, sendo a instalação dos dispositivos condição necessária à concessão de carta de habite-se.

Decreto nº 44.037/2022

O Governador do Distrito Federal publicou o Decreto nº 44.037, de 20 de dezembro de 2022, o qual regulamenta a Lei Complementar 929/2017.

Esse Decreto definiu a distinção entre sistemas de infiltração ou recarga e os sistemas de detenção, retenção ou retardo.

O Decreto também definiu que as licenças de obras iniciais de edificação ficam condicionadas à instalação de sistemas de infiltração/recarga e detenção/retenção, quando os lotes ou projeções, públicos ou privados, com área igual ou superior a 600 m², atenderem apenas parcialmente às taxas de permeabilidade definidas pela legislação pertinente.

A exigência anterior exclui unidades unifamiliares situadas em Áreas de Regularização de Interesse Social - ARIS ou Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS.

O referido Decreto exige a previsão da instalação dos sistemas de infiltração/recarga e detenção/retenção em projeto complementar específico de águas pluviais, com registro de responsabilidade técnica e laudo de sondagem e ensaio de permeabilidade do solo para subsidiar projeto de dispositivos de infiltração/recarga.

A emissão de carta de habite-se para as edificações enquadradas nas condições desse Decreto fica condicionada a vistoria e manifestação favorável da prestadora do serviço de drenagem urbana, no caso, a Novacap.

Resolução nº 02/2014 do CRH/DF

O Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal - CRH/DF aprovou a Resolução nº 02/2014, de 17 de dezembro de 2014, com o enquadramento dos corpos d'água superficiais do Distrito Federal em classes, segundo os usos preponderantes, como instrumento de planejamento e gestão dos recursos hídricos do Distrito Federal e deu encaminhamentos.

Em seu artigo 3º, a Resolução estabeleceu as ações de gestão referentes ao uso dos recursos hídricos, tais como a outorga e a cobrança pelo uso da água, ou referentes à gestão ambiental, como o licenciamento, os termos de compromisso e de ajustamento de conduta, e o controle da poluição, que deverão se basear no enquadramento objeto da referida Resolução.

Resolução Adasa no nº 26, de 17 de agosto de 2023

De acordo com o Artigo 2º do Decreto Federal 7.217, de 21 de junho de 2010, que regulamenta a Lei nº 11.445/2007, regulação é "todo e qualquer ato que discipline ou organize determinado serviço público, incluindo suas características, padrões de qualidade, impacto socioambiental, direitos e obrigações dos usuários e dos responsáveis por sua oferta ou prestação e fixação e revisão do valor de tarifas e outros preços públicos".

O mesmo Decreto define que os objetivos da regulação são, entre outros, os seguintes:

- Estabelecer padrões e normas para a adequada prestação dos serviços e para a satisfação dos usuários;

- Garantir o cumprimento das condições e metas estabelecidas.

Tendo em vista os princípios, objetivos e estratégias propostos neste Manual, a regulação dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do DF deve estabelecer normas para o controle e a mitigação dos impactos da urbanização sobre a quantidade e a qualidade das águas pluviais.

A regulação da quantidade baseia-se no princípio da “invariância hidráulica”, segundo o qual, toda intervenção urbana deve ser acompanhada de ações que preservem, na medida do possível, as condições precedentes do escoamento pluvial.

A regulação da qualidade tem como objetivo garantir o padrão das águas dos corpos hídricos, nos quais são dispostas as águas pluviais, compatível com o seu uso, obedecendo às metas definidas no seu Enquadramento.

No Distrito Federal, o controle de quantidade e de qualidade das águas pluviais é realizado por meio do instrumento da outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, que é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, conforme o Artigo 5º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

A Resolução nº 26, de 17 de agosto de 2023, da Adasa é a atualização e ampliação da Resolução nº 09, de 8 de abril de 2011, e configura-se como o instrumento legal que cumpre a função de estabelecer os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de registro de uso, de outorga prévia e de outorga de direito de uso de recursos hídricos para o lançamento de águas pluviais em corpos hídricos superficiais de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados.

Segundo a Resolução, a outorga prévia e a outorga de direito de uso de recursos hídricos para o lançamento de águas pluviais são atos administrativos obrigatórios para empreendimentos que promovam a impermeabilização do terreno em lotes ou projeções com área igual ou superior a 600 m² (seiscentos metros quadrados) e que realizam lançamentos em corpos hídricos superficiais.

Para aqueles lançamentos de águas pluviais originados de empreendimentos que promovam a impermeabilização do terreno, em lotes ou em projeções, com área inferior a 600 m² (seiscentos metros quadrados) são considerados insignificantes e devem ser objeto de registro.

Não cabe aqui a transcrição da referida resolução, mas sim apontamentos mais relevantes de seu conteúdo e impactos ao meio ambiente e para a sociedade.

A outorga prévia e a outorga de direito de uso de recursos hídricos para o lançamento de águas pluviais serão emitidas levando-se em consideração: a vazão máxima de projeto, com chuva associada ao período de retorno de 10 (dez) anos; a área máxima a ser impermeabilizada na área de contribuição; as condições do empreendimento para reter parcial ou totalmente o volume adicional de escoamento superficial proveniente da impermeabilização do solo e o potencial de poluição difusa causada pelo escoamento superficial devido ao empreendimento.

A vazão a ser outorgada para a área de contribuição limitar-se-á à vazão de restrição, ou seja, a vazão de pré-desenvolvimento específica de até 24,4 L/(s.ha) (vinte e quatro inteiros e quatro décimos de litro por segundo por hectare).

Objetivando incentivar a implantação de medidas de controle sustentáveis na fonte, os projetos de lançamentos de águas pluviais em corpos hídricos obedecerão às seguintes premissas:

- amortecer os picos de vazão do sistema de drenagem e diminuir o volume do escoamento superficial direto, assegurando que a vazão máxima de lançamento das águas pluviais coletadas na área de contribuição seja igual ou menor que a vazão de pré-desenvolvimento;
- preservar a qualidade da água do corpo hídrico receptor;
- aumentar a infiltração de água no solo, por meio de dispositivos como valas e trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, dentre outros, de forma a reduzir o escoamento superficial e propiciar a recarga do aquífero;
- reduzir a poluição difusa e o carreamento de sedimentos e de resíduos sólidos aos corpos hídricos receptores;
- evitar a erosão do solo superficial e das margens e leitos dos corpos hídricos receptores;
- minimizar as dimensões dos condutos e galerias do sistema de drenagem a jusante;
- compatibilizar a direção e a velocidade do lançamento de águas pluviais em ambiente lótico com as condições do corpo hídrico receptor no ponto de lançamento, de modo a preservar as condições naturais do corpo hídrico receptor, a jusante do ponto de descarga;
- implantar dissipador de energia, quando necessário, para promover a redução da velocidade do escoamento no lançamento e evitar processos erosivos.

Comprovada a inviabilidade de implantação ou operação de soluções de manejo de águas pluviais fundamentadas nas premissas anteriores, em situações excepcionais, poderão ser adotados reservatórios de quantidade a jusante do empreendimento.

O usuário ou outorgado é responsável especificamente pelo projeto e construção de dispositivos de infiltração, reservatórios e demais unidades; despesas por sua implantação e manutenção e pelo adequado desempenho das estruturas.

O lançamento de águas pluviais respeitará a qualidade das águas pelo enquadramento do respectivo corpo hídrico receptor. E, quando for comprovada a inviabilidade de implantação ou operação das soluções de manejo de águas pluviais dentro da área de contribuição, poderá ser adotado reservatório ou dispositivo de qualidade a jusante do empreendimento.

Para o dimensionamento de reservatórios de qualidade e quantidade, a resolução possui equações para indicar os respectivos volumes de detenção, com limitação para área de contribuição de até 200 ha (duzentos hectares). Para empreendimentos com área superior é requerido estudo hidrológico para determinar os volumes dos reservatórios e vazões de saída.

Em casos de impossibilidade de atendimento das condições elencadas anteriormente, poderão ser apresentados estudos alternativos que atestem a capacidade do corpo hídrico de receber vazão específica de lançamento diversa, ficando esses estudos sujeitos à aprovação da Adasa.

A resolução ainda possui critérios para redução do percentual de área impermeável para o cálculo das medidas de controle e reservatórios, ações para controle e manutenção do sistema e procedimentos para requerimento para obtenção de registro de uso, outorga, renovação e regularização.

Norma Novacap para Apresentação de Projeto de Reservatório Intralote

Os critérios para apresentação de projeto de dimensionamento de reservatório de quantidade, no interior de lotes, elemento necessário para a emissão da Declaração de Habite-se pela Novacap, foram normatizados pela Seção Extraordinária 4.284, de 30 de janeiro de 2017, da Diretoria Colegiada da Novacap, a qual foi publicada no Diário Oficial do DF nº 26, de 06 de fevereiro de 2017.

A referida norma mantém a vazão máxima específica de 24,4 L/(s.ha) para lotes com área igual ou superior a 600 m² para lançamentos de águas pluviais no sistema público de drenagem urbana.

Entretanto, a norma da Novacap acrescenta que para a redução do percentual da área impermeável, constante na Resolução Adasa nº 09/2011, substituída pela Resolução Adasa nº 26/2023, tendo em vista a previsão de uso de medidas que favoreçam a infiltração de água no solo, faz-se necessário o levantamento de parâmetros locais do solo (como potencialidade de colapsividade e taxa média de infiltração) e verificação do nível do lençol freático.

Importante destacar também que a norma em tela define condições para esgotamento do reservatório por bombeamento, com a interligação ao sistema existente de drenagem urbana, e normatiza a documentação a ser apresentada à Novacap, quando da emissão da declaração de “Habite-se”.

Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial da Novacap

A Novacap possui Termo de Referência para elaboração de projetos de sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, o qual possui exigências para estudos preliminares, levantamentos topográficos, parâmetros de projeto, método de cálculo, orçamento e apresentação de relatório e desenhos.

Os detalhamentos do referido Termo de Referência são apresentados em capítulo específico neste Manual, devido à necessidade de especificação técnica.

Regulamentos e Normas Aplicáveis

6

6.1 Elaboração de Estudos de Concepção

Os estudos de concepção devem ser elaborados para todos os novos projetos, podendo ser dispensados pela prestadora de serviços Novacap em situações específicas em que se garantam o pequeno porte do empreendimento e os reduzidos impactos ambientais negativos.

Para a elaboração de estudos de concepção de sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas, devem ser desenvolvidos os seguintes itens: Caracterização da área de estudo; Caracterização dos sistemas existentes de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas; Levantamento dos estudos, planos e projetos existentes para a área de interesse; Estudo populacional e projeções das vazões; Estudo dos corpos receptores; Formulação e pré-dimensionamento das alternativas do sistema; Análise técnica, econômica, social e ambiental das alternativas propostas; Apresentação e justificativa da solução escolhida; Preparo de documentação para solicitação, junto aos órgãos competentes, do licenciamento ambiental e da liberação fundiária dos terrenos necessários à implantação da alternativa selecionada; Conclusão do estudo de concepção.

6.1.1 Caracterização da Área de Estudo

A caracterização da área de estudo deverá apresentar as características físicas da área (mapa de localização; principais vias e estradas de acesso; topografia, relevo e geologia; Bacia Hidrográfica), e de uso e ocupação do solo (Plano Diretor de Ordenamento territorial - PDOT e Plano Diretor Local - PDL), quando houver; identificação de áreas protegidas ambientalmente ou com restrições à ocupação; uso e ocupação atual do solo, aspectos sociais e econômicos, caracterização da infraestrutura e condições sanitárias, dentre outros.

6.1.2 Caracterização do Sistema Existente de Drenagem na Área de Projeto

O objetivo é apresentar a visualização completa do sistema existente com planta geral, croqui e descrição de todas as unidades, de modo a promover um diagnóstico das unidades que compõem o sistema, por meio de verificações de capacidade, abordando aspectos de conservação, desempenho e dificuldades operacionais, e visando ao reaproveitamento das unidades existentes. A recomendação para abandono de unidades do sistema existente deve ser criteriosamente estudada e justificada como consequência desse diagnóstico.

6.1.3 Levantamento de Estudos, Planos e Projetos Existentes

Identificação e análise crítica de todos os estudos, projetos e planos existentes que interfiram no estudo, tendo em vista embasar os parâmetros, critérios e alternativas a serem propostos.

6.1.4 Estudo Populacional e de Vazões

Os estudos populacionais devem ser simplificados, indicando estimativas de populações atuais e de saturação, estimativa de crescimento ao longo do tempo, a fim de proporcionar uma visão clara quanto aos impactos na ocupação do solo ao longo do tempo, bem como a verificação dos dispositivos e unidades de drenagem que se farão necessárias. A quantificação da população beneficiada também possibilita avaliar os investimentos por habitante. As estimativas populacionais devem ser definidas a partir do urbanismo da área de interesse, das destinações dos lotes e das taxas médias de ocupação.

Os critérios e parâmetros de projetos a serem utilizados devem ser devidamente justificados, sendo recomendável, sempre que possível, seguir aqueles indicados na legislação vigente, bem como nos termos de referência elaborados pelo prestador de serviços. Entende-se que outros parâmetros possam ser empregados, sempre se baseando em referências bibliográficas consagradas ou resultados de estudos e pesquisas consistentes. As vazões a serem utilizadas deverão ser aquelas obtidas a partir de estudos consistentes levando em consideração as resoluções, normativos e leis, bem como os termos de referência preparados pelo prestador de serviços.

6.1.5 Estudos dos Corpos Hídricos Receptores

Os estudos dos corpos hídricos receptores devem contemplar, entre outros aspectos, as condicionantes ambientais contidas nas licenças, quando emitidas, bem como estudos hidrológicos das suas bacias hidrográficas, seus usos a jusante, caracterização sucinta e ambiental da bacia, compatibilizações com diretrizes estabelecidas no Plano Diretor de Drenagem Urbana, em sua última versão, dentre outros.

A seleção dos corpos hídricos receptores passíveis de utilização deve ser precedida de análise preliminar dos principais aspectos técnicos e ambientais envolvidos, de forma a subsidiar a formulação e apresentação de alternativas factíveis para o sistema em questão.

6.1.6 Formulação de Alternativas

As alternativas a serem formuladas, a partir dos diagnósticos e estudos anteriormente apresentados, devem contemplar aspectos locacionais, tecnológicos, sociais, ambientais e operacionais, com a descrição de todas as unidades componentes do sistema.

Devem também ser apresentadas alternativas de aproveitamento total ou parcial de sistemas eventualmente existentes.

Nas alternativas a serem apresentadas, deve-se considerar: estudos alternativos de materiais a serem utilizados, alternativas de quantidades de pontos para disposição nos corpos hídricos receptores, estudos de análise de riscos, dentre outros. Nessa fase pode-se avaliar alternativas de dispositivos de captação, comparando eficiências, vantagens e desvantagens, custos de implantação, operação e manutenção, dentre outras características possíveis.

Para cada alternativa, devem ser posteriormente avaliados os impactos ambientais negativos e positivos das diversas fases de implantação e operação e manutenção do sistema, os quais devem ser devidamente considerados na seleção da alternativa, como também, os aspectos legais junto às entidades competentes.

6.1.7 Pré-dimensionamento das Alternativas Propostas

No pré-dimensionamento das alternativas propostas, devem ser apresentados os respectivos memoriais de cálculo, os elementos gráficos para seu perfeito entendimento e a identificação das áreas para implantação de unidades operacionais, como reservatórios de amortecimento de vazão, priorizando a utilização de áreas públicas e evitando eventuais restrições institucionais, legais e ambientais.

Cada alternativa deverá ser caracterizada em todas as unidades que a compõem, permitindo uma compreensão clara de todas elas.

Considerando que as alternativas são conceituais, não se tem necessidade de pré-dimensionamento, trecho a trecho, podendo ser utilizadas áreas maiores, desde que estimada a integralidade das extensões de redes existentes e seus correspondentes diâmetros.

6.1.8 Estimativas de Custos das Alternativas Propostas

Devem ser apresentadas, para cada alternativa, as seguintes informações: data-base dos custos utilizados; planilhas contendo estimativas de custos; memorial de cálculo das estimativas de custos; composição de custos de serviços e propostas de materiais e equipamentos; estimativas dos custos de implementação das medidas mitigadoras e compensatórias e dos planos e programas ambientais necessários; custos operacionais e de manutenção; custos de desapropriações; custos de desativação das unidades existentes e recuperação ambiental da área em questão.

6.1.9 Análises das Alternativas Propostas

As análises devem ser efetuadas por meio de estudos técnicos, sociais, econômicos e ambientais, levando-se em consideração as etapas de implantação, operação e manutenção. A comparação entre as alternativas deve apresentar o elenco das vantagens e desvantagens sobre os aspectos técnicos, sociais, econômicos e ambientais.

As análises técnicas devem considerar a compatibilidade entre a tecnologia empregada, a equipe operacional mínima necessária, a flexibilidade operacional, a vulnerabilidade do sistema ao longo da vida útil esperada, e o prazo previsto de execução entre outros aspectos relevantes para cada caso.

As análises sociais devem apontar os benefícios gerados às populações da área de estudo e os riscos e impactos, caso o sistema não seja implantado, operado e mantido adequadamente. Isso se verifica principalmente se houver utilização de adequações de parâmetros de projetos, tendo em vista a implantação de dispositivos intralotes de amortecimento de vazão, aproveitamento de águas pluviais ou recarga artificial do aquífero.

As análises econômicas devem considerar um estudo econômico simplificado, o valor presente dos correspondentes investimentos previstos e das despesas de operação e manutenção durante a vida útil dos componentes de cada alternativa, adotando a taxa de desconto e o período definido no termo de referência do estudo em questão, ou propostos pela consultoria e aceitos pelo prestador de serviços.

Nas análises ambientais, devem ser identificados e avaliados os principais impactos inerentes a cada alternativa estudada e que podem ocorrer em função das diversas ações previstas para a implantação, operação e manutenção do sistema proposto. A análise ambiental subsidia a escolha da melhor alternativa, devendo os impactos associados à alternativa escolhida serem mais bem detalhados por ocasião da elaboração dos estudos ambientais necessários ao seu licenciamento.

Quando se pretende ter um responsável pela prestação de serviços que não seja aquele regularmente instituído, deve-se incluir nos estudos de concepção, uma avaliação institucional, apresentando a estrutura que se pretende utilizar para a operação e manutenção do sistema, incluindo equipes responsáveis. Essa avaliação institucional deverá ser quantificada e ter seus custos estimados, para compor a avaliação financeira.

A concepção mais adequada é definida a partir de um estudo comparativo de viabilidade técnica, social, econômica, ambiental e institucional entre as alternativas estudadas, mediante apresentação do elenco das vantagens e desvantagens inerentes a cada aspecto em consideração.

6.1.10 Apresentação da Alternativa Escolhida

Deve ser apresentado um texto conciso, juntamente com plantas esquemáticas (formato A4/A3) que permitam, mediante uma rápida leitura, o conhecimento das conclusões e a essência do conteúdo do referido Estudo de Concepção.

Devem ser apresentados, de forma descritiva e resumidos, todos os itens referentes à concepção escolhida e também produzidos slides no formato PPTX, de modo a permitir seu perfeito entendimento e visualização, fornecendo também os elementos necessários e suficientes à elaboração do respectivo projeto básico e relatórios ambientais. Dos elementos a serem apresentados, ressaltam-se: caracterização da área de estudo; quadros-resumo de população e vazões; locação e descrição do sistema proposto; abordagem dos impactos ambientais; etapalização do empreendimento; custos envolvidos.

6.2 Controle de Erosão do Solo e Manejo de Sedimentos em Canteiros de Obras

O manejo inadequado do solo e de agregados nos canteiros de obras civis é uma das causas de obstrução das tubulações e galerias do sistema de drenagem urbana, pelo assoreamento e poluição dos corpos d'água superficiais. Os problemas ocorrem em obras públicas e privadas, sem exceção de tipologia. O solo carregado pela parcela da água de chuva que escoar sobre o terreno pode tanto se originar da erosão de solo natural que teve a proteção da camada superficial removida quanto ser proveniente de material estocado no canteiro de obras, fornecido como insumo ou originado de desaterro local.

A Lei Distrital nº 4.704, de 20 de dezembro de 2011, que dispõe sobre a gestão integrada de resíduos da construção civil e de resíduos volumosos, estabelece princípios e diretrizes a serem observados para a mitigação dos impactos da construção civil sobre a qualidade das águas pluviais. Entretanto, é a recente Lei nº 6.138/2018, que institui o Código de Obras e Edificações do Distrito Federal - COE, em vigor desde junho de 2018, que trata a temática deste item de modo mais específico e abrangente. Esta lei inclui como diretriz: "incentivar o uso de novas tecnologias e técnicas construtivas que propiciem a economia de recursos

naturais, o gerenciamento de resíduos, o manejo adequado das águas pluviais e a preservação do solo” (art. 5º, inciso II) e “atender à legislação que trata da gestão integrada dos resíduos da construção civil quanto ao despejo de resíduos de obras, inclusive de demolições; garantir a estabilidade do solo no canteiro de obras; providenciar condições de armazenamento adequadas para os materiais estocados na obra” (art. 17, incisos VI, IX e X).

Nos termos da Lei, a gestão dos resíduos da construção civil (solos e terras provenientes de escavações, desaterros e terraplenagens) deverá obedecer a Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, para o qual se propõem diversas medidas.

O Manual de Boas Práticas: Controle de erosão do solo e manejo de sedimentos e outros contaminantes em canteiro de obras, elaborado pela Adasa e disponível em seu endereço eletrônico, aborda o tema e apresenta: legislação aplicável, a prática nacional e internacional, o processo de certificação de obras, definições de termos, classificação de causas ou aspectos ambientais sobre o tema e conexão com impactos ambientais negativos, seleção de boas práticas simples e objetivas e a composição de insumos e serviços para subsidiar orçamentos e apoiar equipes de fiscalização.

6.3 Patrimônio Cultural da Humanidade

O título de Patrimônio Cultural da Humanidade foi concedido pela UNESCO, em 1987, para o Conjunto Urbanístico de Brasília, o qual é formado pelas Asas Sul e Norte, Sudoeste, Noroeste, Cruzeiro, Octogonal, Setor Militar Urbano e Candangolândia .

O tombamento urbanístico de Brasília objetiva proteger a lógica de organização da cidade, devendo ser respeitados:

- Os usos permitidos em cada setor ou região;
- A lógica das alturas, tamanhos e distâncias entre as edificações, considerando as características das escalas;
- A escala bucólica da orla do lago Paranoá;
- A preservação das áreas verdes desocupadas, mantendo a característica de Cidade-Parque.

Dessa forma, os projetos e as obras de manejo de águas urbanas que interferem com as áreas tombadas devem respeitar os conceitos urbanísticos, os quais definiram o projeto original de Brasília.

Nesse contexto, as principais Portarias publicadas pelo Iphan (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) concorrentes a planejamento, concepção, projeto e execução de obras de manejo de águas urbanas são:

- a.** Portaria nº 314, de 8 de outubro de 1992
 - Define a realidade física territorial correspondente ao bem tombado;
 - Delimita a área protegida;

- Define as condições de preservação das características essenciais das quatro escalas em que se traduz a concepção urbana da cidade: a monumental, a residencial, a gregária e a bucólica.

b. Portaria nº 420, de 22 de dezembro de 2010

Estabelece as disposições gerais que regulam a aprovação de propostas e projetos de intervenção nos bens integrantes do patrimônio cultural tombado pelo Iphan, incluídos os espaços públicos urbanos, e nas respectivas áreas de entorno.

Define os princípios a que projetos, obras e intervenções em bens culturais devem obedecer, destacando-se:

- Prevenção, garantindo o caráter prévio e sistemático da apreciação, acompanhamento e ponderação das obras ou intervenções e atos suscetíveis de afetar a integridade de bens culturais de forma a impedir a sua fragmentação, desfiguração, degradação, perda física ou de autenticidade;
- Planejamento, assegurando prévia, adequada e rigorosa programação, por técnicos qualificados, dos trabalhos a desenvolver em bens culturais, respectivas técnicas, metodologias e recursos a empregar na sua execução;
- Proporcionalidade, fazendo corresponder ao nível de exigências e requisitos a complexidade das obras ou intervenções em bens culturais e à forma de proteção de que são objeto;
- Fiscalização, promovendo o controle das obras ou intervenções em bens culturais, de acordo com os estudos e projetos aprovados;
- Informação, através da divulgação sistemática e padronizada de dados sobre as obras ou intervenções realizadas em bens culturais para fins histórico-documentais, de investigação e estatísticos.

c. Portaria nº 166, de 11 de maio de 2016

Complementação à Portaria nº 314/1992, que institui definições e critérios para intervenção no Conjunto Urbanístico de Brasília, detalhando:

- As escalas urbanas do Plano Piloto de Brasília;
- As características essenciais a preservar;
- A gestão, a preservação e a fiscalização;
- As macroáreas de proteção.

6.4 Licenciamento Ambiental

O licenciamento ambiental de empreendimentos, cujos impactos são considerados restritos aos limites do DF, é realizado pelo IBram - Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental - e é regulado pela Lei Distrital nº 41, de 13 de setembro de 1989.

Essa Lei dispõe sobre a Política Ambiental do Distrito Federal e estabelece que a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento da Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

Quando a análise do empreendimento mostrar que seus impactos podem se estender para além da área de atuação do Ibram, o licenciamento é realizado pelo Ibama e é regulado pela seguinte legislação:

- Lei Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011;
- Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981;
- Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990;
- Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

6.5 Enquadramento dos Corpos Hídricos

O enquadramento dos corpos hídricos do Distrito Federal foi efetivado pelo Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Inicialmente houve a Resolução nº 01/2014, que definiu proposta de enquadramento para cursos d'água de domínio da União no DF inseridos na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, e a Resolução nº 02/2014 do CRH/DF, que aprovou o enquadramento dos corpos hídricos superficiais no Distrito Federal e adotou o ano de 2030 como prazo máximo para a efetivação deste enquadramento.

As Resoluções definem que as Unidades Hidrográficas - UHs previstas no Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos - PGI RH, serão adotadas para acompanhamento e monitoramento dos corpos hídricos enquadrados.

As ações de gestão referentes ao uso dos recursos hídricos, tais como a outorga e a cobrança pelo uso da água, ou referentes à gestão ambiental, como o licenciamento, termos de compromisso e de ajustamento de conduta, e o controle da poluição, deverão basear-se no enquadramento efetivado.

O enquadramento dos corpos hídricos em classes, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, é um dos instrumentos da Lei que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997) e é detalhado pelas Resoluções Conama nº 357/2005 e nº 430/2011 (Brasil, 2005; Brasil, 2011a).

De acordo com o estabelecido na legislação citada, todo lançamento de água, efetuado por qualquer empreendimento, deve ser controlado de forma que sejam respeitados tanto

os padrões de lançamento previstos nas resoluções Conama como a manutenção (ou recuperação) da qualidade das águas, de acordo com a Classe de Enquadramento, respeitando a meta de 2030 como prazo máximo para a efetivação do enquadramento.

Para tanto, devem ser respeitados os limites de concentração de indicadores de qualidade de água recomendados nessas Resoluções.

As Classes de Enquadramento, estabelecidas para os corpos d'água do DF na Resolução nº 02/2014 do CRH/DF, estão indicadas na Figura 17.

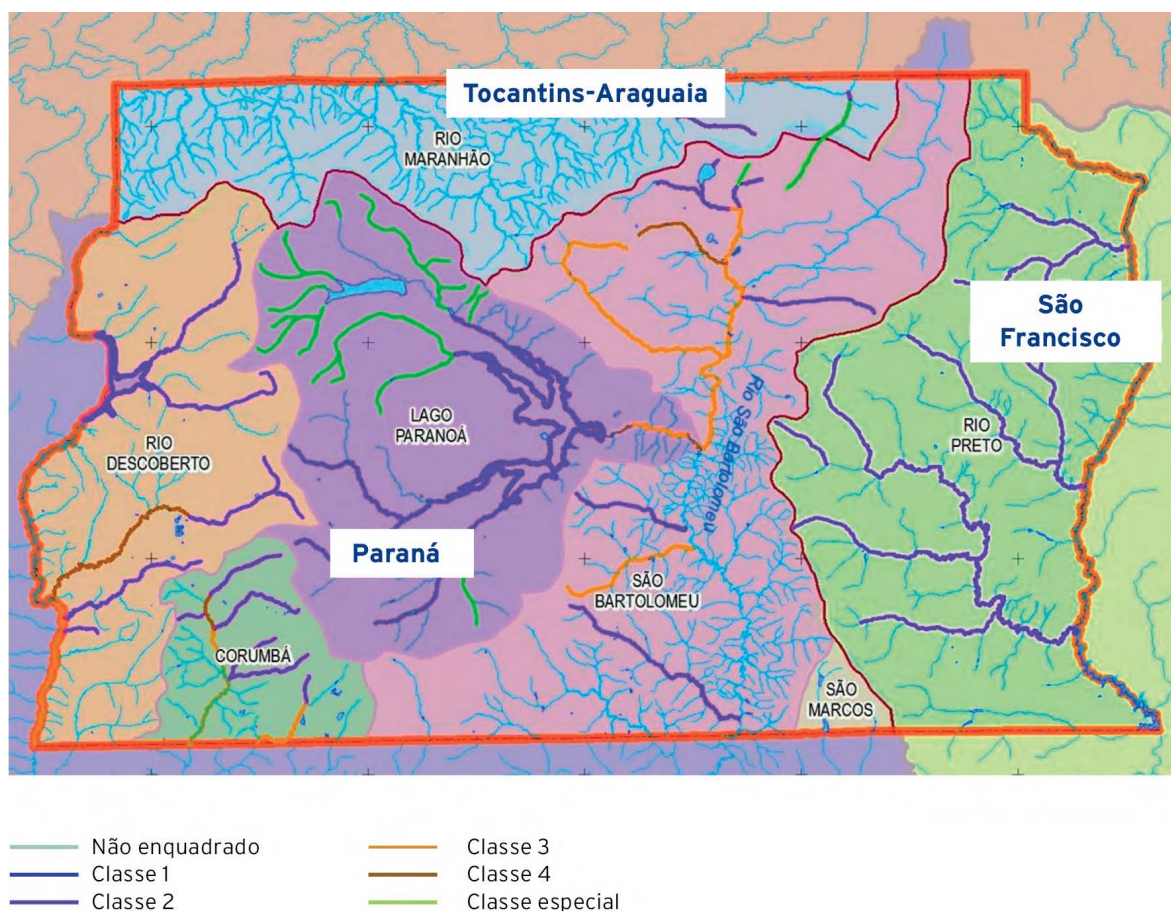


Figura 17 Enquadramento dos corpos hídricos do Distrito Federal.

Componentes do Sistema de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais

A literatura especializada costuma dividir o sistema de drenagem de águas pluviais urbanas em três subsistemas:

- 1. Controle na fonte:** composto pelos dispositivos de amortecimento, aproveitamento e infiltração instalados junto à origem do escoamento pluvial, geralmente em lotes privados ou em espaços públicos. Também podem estar situados próximos às cabeceiras das bacias hidrográficas;
- 2. Microdrenagem:** composto tipicamente pelos dispositivos que drenam o sistema viário, como: sarjetas, canaletas, dispositivos de captações (bocas de lobo, bocas de leão, grelhas lineares, dentre outros), ramais de ligação e tubulações com diâmetro máximo de 0,8 m;
- 3. Macrodrenagem:** formado por canais (abertos ou fechados), reservatórios, galerias e tubulações com diâmetro mínimo de 1,0 m, que recebem a vazão de um conjunto de redes da microdrenagem, ou por meio de contribuições diretas ao longo de sua extensão.

Não existe no meio técnico um consenso sobre onde termina o sistema de microdrenagem e onde começa o sistema de macrodrenagem de uma rede coletora em uma bacia hidrográfica. Algumas fontes bibliográficas chegam também a incluir nessa classificação os sistemas de “mesodrenagem”, intermediários entre a micro e a macrodrenagem.

É importante ressaltar, entretanto, que na engenharia moderna de drenagem urbana, os sistemas de drenagem são estudados por bacia hidrográfica, como um único sistema, composto pelos espaços e utilidades por onde transitam as águas pluviais. Portanto, a classificação acima possui apenas um caráter didático para efeito de definição de estruturas físicas de sistemas de coleta e transporte de águas pluviais, já que, do ponto de vista físico da hidrologia e da hidráulica do escoamento pluvial, essa subdivisão não existe.

A terminologia utilizada para denominar os componentes do sistema de drenagem varia de autor para autor e de região para região. Como não existe uma regra ou uma norma definida, procurou-se, neste Manual, adotar a nomenclatura corrente no Distrito Federal, conforme apresentada nos itens a seguir.

Para as áreas onde existem sistemas que se pretende ampliá-los, deverão ser realizados estudos no sentido de viabilizar os seus aproveitamentos, tendo em vista a economicidade, mesmo que haja dispositivos distintos dos usualmente adotados pela prestadora Novacap. Entretanto, deverão ser avaliadas as respectivas capacidades hidráulicas, seus estados de conservação, suas características técnicas e operacionais, comparando-as com as especificações e recomendações contidas neste Manual e nos Termos de Referências de Elaboração de Estudos e Projetos da Novacap, em sua última versão.

Para o aproveitamento de sistemas existentes, poderão ser aceitos critérios de projetos específicos, desde que recebidos e aprovados previamente pela prestadora Novacap e seguindo o descrito nos capítulos subsequentes.

Outra questão importante a ser considerada nos componentes dos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no DF está relacionada com as características urbanísticas da área de projeto. Para se garantir um sistema adequado, que envolva um forte processo de educação ambiental da população a ser beneficiada, bem como a construção de soluções apropriadas para as áreas de estudos e projetos, recomenda-se a adoção da filosofia da modalidade condominial, largamente empregada pela Caesb (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) na implantação e ampliação de sistemas de esgotamento sanitário no DF, desde 1991. Essa filosofia é empregada em todas as Regiões Administrativas do DF, com importantes resultados de reduções nos custos de implantação, operação e manutenção.

A implantação da filosofia da modalidade condominial não implicará obrigatoriamente a construção de ramais ou redes condominiais intralotes; entretanto, propiciará a possibilidade de construção de redes coletoras de drenagem dentro de lotes, para as situações específicas em que não se tem outra alternativa de drenar as águas pluviais de uma determinada área ou região.

7.1 Definições Gerais

Sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas é, segundo a Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (Brasil, 2007), o “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas”.

Neste Manual adota-se a definição da Lei e considera-se que o Sistema de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais é composto pelos subsistemas definidos a seguir:

- **Bocas de lobo acopladas a Poços de Visitas (PVBLs):** dispositivos responsáveis pelo recebimento (engolimento) das águas pluviais, geralmente implantados junto aos meios-fios ou guias e situam-se ao longo das vias ou sarjetas. Estes componentes também permitem o acesso às tubulações dessas redes para ações de operação e manutenção;
- **Bueiro:** trecho de tubulação ou galeria para possibilitar a travessia de via ou rodovia sobre um curso d'água;
- **Caixa coletora:** dispositivo subterrâneo, instalado nas redes coletoras de águas pluviais, frequentemente em áreas verdes ou vias e não possui padrão técnico típico;
- **Caixa de passagem ou inspeção:** possui função similar ao poço de visita no ramal de ligação;
- **Caixa de transição:** caixa com câmara única em concreto armado destinada a reunião ou distribuição de vazão, interligando coletores, galerias, canais ou bueiros;

- **Canal:** refere-se aos canais abertos revestidos e possuem dimensões superiores à canaleta;
- **Canaleta:** conduto aberto utilizado no direcionamento inicial das águas pluviais em taludes de corte e aterro (evitando processos erosivos), pátios pavimentados e passagens com fluxo de água superficial;
- **Captação de águas pluviais:** caracteriza-se por todos os dispositivos responsáveis pelo recebimento (engolimento) das águas pluviais que escoam superficialmente, podendo ser pontuais (bocas de lobo, bocas de leão) ou lineares (canaletas retangulares ou circulares com grelhas, implantadas ao longo de uma determinada extensão);
- **Curso d'água natural:** refere-se a curso d'água não revestido, geralmente em estado natural, que incluem os córregos (mesmo os intermitentes), rios, ribeirões e lagos e que se caracterizam como corpos receptores das águas pluviais urbanas. É importante esclarecer que os cursos d'água naturais não são considerados como elementos de macrodrenagem;
- **Dissipador:** dispositivo que promove a redução da velocidade de escoamento na entrada de reservatório e saída de coletor, galeria ou canal, objetivando reduzir os riscos de processos erosivos a jusante;
- **Drenagem viária de transposição de talvegues:** constituída por uma ou mais linhas de bueiros, pontes ou pontilhões, que têm como função possibilitar a travessia de uma rodovia sobre um curso d'água;
- **Drenagem viária superficial:** conforme o Manual do DNIT, “tem como objetivo interceptar e captar, conduzindo ao deságue seguro, as águas provenientes de suas áreas adjacentes e aquelas que se precipitam sobre o corpo da estrada, resguardando sua segurança e estabilidade”. Os dispositivos utilizados para a drenagem superficial de rodovias são: valetas de proteção de corte, valetas de proteção de aterro, sarjetas de corte, sarjetas de aterro, sarjeta de canteiro central, descidas d'água, saídas d'água, caixas coletoras, bueiros de greide, dissipadores de energia, escalonamento de taludes e corta-rios. Os critérios de projeto de todos esses dispositivos encontram-se no Manual citado;
- **Emissário:** dispositivo de transporte de águas pluviais (por tubulações ou canais), sem contribuições adicionais de vazões de áreas drenadas ao longo do seu caminho. Esse emissário, quando implantado em tubulações, poderá ser dimensionado por condutos livres ou forçados. A utilização de emissário dimensionado em conduto forçado deve utilizar materiais adequados para as condições operacionais previstas;
- **Estação elevatória:** dispositivo de recalque de águas pluviais para viabilizar a condução dessas águas até o sistema de drenagem ou até o corpo receptor. Não se admite o lançamento de águas pluviais proveniente de estação elevatória diretamente em corpos receptores, devendo, obrigatoriamente, haver um dispositivo de dissipação de energia antes do lançamento;
- **Galeria:** refere-se aos canais fechados de seção circular, retangular ou quadrada, com diâmetros superiores a 1,50 m. É importante destacar que as galerias de drenagem devem utilizar materiais compatíveis com as especificidades dos projetos;

- **Lançamento:** extremidade de coletor, galeria ou canal pela qual as águas pluviais são descarregadas em corpo hídrico receptor;
- **Ligação da captação à rede (ou ramal de ligação):** refere-se à tubulação que interliga as captações de águas pluviais (bocas de lobo, dispositivos lineares, dentre outros) até poço de visita, coletor, galeria ou canal. O diâmetro mínimo dessa tubulação é de 0,40 m, porém podem ser encontrados condutos antigos com diâmetro mínimo de 0,30 m;
- **Linha de recalque:** associada à estação elevatória, onde há a tubulação de recalque, dimensionada por conduto forçado, objetivando conduzir as águas pluviais até o sistema de drenagem ou ao corpo receptor. Os materiais utilizados em linha de recalque deverão ser aqueles com capacidades de suportar as condições hidráulicas definidas em projeto;
- **Macro drenagem:** conforme definição apresentada na introdução deste Capítulo, o sistema de macro drenagem é formado por canais (abertos ou fechados), galerias e tubulações com diâmetro mínimo de 1,0 m, que recebem a vazão de um conjunto de redes da micro drenagem ou por meio de contribuições diretas ao longo de sua extensão;
- **Medida de controle na fonte:** mesmas medidas elencadas no Capítulo 7 deste Manual e que, no sistema de drenagem, contribuem para a redução das vazões veiculadas para os trechos da rede situados a jusante;
- **Micro drenagem:** conforme definição apresentada na introdução deste Capítulo, o sistema de micro drenagem é composto tipicamente pelos dispositivos que drenam o sistema viário, como: sarjetas, canaletas, captações (bocas de lobo, bocas de leão, grelhas lineares, dentre outros), ramais, condutos de ligação e tubulações com diâmetro máximo de 0,8 m;
- **Obras de drenagem rodoviária:** são projetadas conforme especificações do *Manual de Drenagem de Rodovias*, publicado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), do Ministério dos Transportes Brasil, 2006;
- **Poço de visita:** refere-se ao dispositivo subterrâneo, instalado nas redes e/ou galerias coletoras de águas pluviais, o qual permite o acesso às tubulações, mudanças de direções nas redes, modificações de profundidades, dentre outros. Esses dispositivos facilitam a manutenção e a operação dos sistemas de drenagens;
- **Rede de drenagem:** refere-se à parte do sistema de drenagem constituída pelas tubulações de seção circular com diâmetros⁴ iguais ou superiores a 0,30 m e menores ou iguais a 1,50 m. É importante destacar que as redes de drenagem devem utilizar materiais compatíveis com as especificidades dos projetos;

⁴ Os diâmetros das tubulações existentes no Distrito Federal variam de 0,30 m até 1,50 m. Entretanto, o Termo de Referência para elaboração de projetos mais recente da Novacap exige o diâmetro mínimo de 0,60 m. Esse diâmetro mínimo poderá ser alterado em função da especificidade do projeto, desde que tecnicamente justificado, do material a ser utilizado e do local onde a rede será implantada.

- **Reservatório (ou bacia) de detenção ou de retenção:** caracteriza-se como reservatório de amortecimento inserido no sistema de drenagem para controle de vazão e melhoria da qualidade da água. Os reservatórios geralmente são construídos no sistema de macrodrenagem. Se forem inseridos em meio à rede de tubulações de até 0,80 m de diâmetro, o que é mais raro, pertencem ao sistema de microdrenagem. Os reservatórios de detenção devem possuir descarga de fundo para se esvaziarem após chuvas intensas. Por outro lado, os reservatórios de retenção mantêm um volume de água permanente, não sendo adotados no Distrito Federal, devido a riscos sanitários.

7.2 Medidas de Controle na Fonte

O controle na fonte é realizado por dispositivos que, instalados no sistema de drenagem, têm como função abater vazões máximas e volumes de escoamento superficial, por meio da infiltração, reutilização das águas pluviais e/ou armazenamento temporário.

As medidas de controle na fonte são tipicamente implantadas em lotes privados para compensar a impermeabilização produzida por novas construções. São também implantadas em lotes com usos públicos como edificações (escolas, hospitais, repartições etc.), praças, pátios e vias públicas, observadas as limitações indicadas neste Manual.

Na literatura técnica especializada é encontrada uma grande variedade de dispositivos que cumprem essa função. Para este Manual, foram selecionados os onze dispositivos da Tabela 3, a seguir, os quais são descritos em detalhes.

Cabe ao projetista definir quais os dispositivos que serão utilizados em cada situação específica, a partir das orientações aqui apresentadas. Poderão ser adotados outros dispositivos não relacionados neste Manual, desde que justificados pelas particularidades do problema enfrentado e previamente aprovados pelo prestador de serviços.

É importante destacar que a implantação desses dispositivos intralotes deve ser precedida de estudos criteriosos, de tal maneira a evitar danos nas edificações, sendo recomendável seguir as definições contidas na Lei Complementar Distrital nº 929/2017 ou em outra que a venha substituir, bem como as condicionantes apresentadas no Item 3.4 - Risco, Probabilidade e Período de Retorno, deste Manual, quando se tratar de dispositivos de infiltração.

Assim, os dispositivos apresentados adiante devem ser avaliados quanto às suas restrições de uso levando-se em consideração as edificações nos lotes, as questões ambientais envolvidas, as características dos solos, dentre outros.

Tabela 3 Dispositivos de abatimento de vazão propostos neste Manual e suas características básicas

Dispositivo	Processo de abatimento de vazão		Características geométricas	
	Por Infiltração*	Por armazenamento	Linear	Localizada ou pontual
Pavimento permeável				
Trincheira de infiltração				
Vala de infiltração				
Poço de infiltração				
Microrreservatório				
Telhado reservatório				
Reservatório de detenção aberto				
Reservatório de retenção aberto				
Reservatório subterrâneo pontual				
Reservatório subterrâneo linear				
Faixa gramada				

* No DF, a utilização de medidas de controle que promovam a infiltração deve ser feita com cuidado, devido ao risco de ocorrência de solos colapsíveis, sujeitos ao fenômeno do *piping*. O projeto de MCs por infiltração deve ser precedido de ensaios de colapsividade, conforme especificados na NBR 14.114 - Solos argilosos dispersivos - identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (*Pinhole test*). Caso se constate suscetibilidade à colapsividade, a solução por infiltração deve ser abandonada.

- Abatimento de vazão por infiltração: quando parte ou todo o volume de águas pluviais é infiltrado no solo;
- Por armazenamento: quando o pico de vazão é amortecido pelo armazenamento temporário das águas pluviais pelo efeito de “regularização” da vazão;
- Dispositivo linear: quando seu comprimento é muito maior que a sua largura;
- Dispositivo localizado ou pontual: quando ocupa um espaço restrito e delimitado, como uma praça ou uma parcela de um lote.

7.2.1 Controle nos Sistemas de Microdrenagem

Referem-se aos mesmos dispositivos relacionados na Tabela 3, exceto o telhado reservatório, quando implantado em trechos do sistema de microdrenagem, isto é, quando implantado no sistema viário (como é o caso, por exemplo, de valas de infiltração) ou entre trechos de rede de até 0,80 m de diâmetro (como reservatórios subterrâneos).

7.2.2 Controle nos Sistemas de Macrodrenagem

São os dispositivos de abatimento de vazão inseridos no sistema de macrodrenagem, próprios para operar com volumes e vazões maiores. Na macrodrenagem são geralmente utilizados os reservatórios de detenção ou retenção, abertos ou fechados, pontuais ou lineares.

7.2.3 Uso Típico dos Dispositivos de Controle de Escoamento

Na Tabela 4 são apresentados os usos típicos dos dispositivos de abatimento de vazão, sendo válidas as mesmas necessidades de avaliações de restrições de usos descritas no item anterior.

Tabela 4 Uso típico dos dispositivos de controle de escoamento

Dispositivo	Uso típico		
	Controle na fonte	Microdrenagem	Macro drenagem
Pavimento permeável			
Trincheira de infiltração			
Vala de infiltração			
Poço de Infiltração			
Microrreservatório			
Telhado reservatório			
Reservatório de detenção aberto			
Reservatório de retenção aberto			
Reservatório subterrâneo pontual			
Reservatório subterrâneo linear			
Faixa gramada			

7.2.4 Reservatórios Intralotes - Novacap

Conforme descrito anteriormente, os dispositivos de controle na fonte definidos pela prestadora Novacap poderão impactar no dimensionamento de sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas, e ter seus critérios e parâmetros de projetos alterados, considerando a existência desses dispositivos.

Para a alteração nos critérios e parâmetros de projeto, é necessário levar em consideração as seguintes situações:

- Serão aceitos ajustes nos parâmetros e critérios de projetos, desde que os responsáveis pela operação e manutenção dos sistemas estejam de acordo e assumam todas as responsabilidades por essas adequações, por meio de carta de compromisso;

- Para a área em que houver adequações de parâmetros e critérios de projetos, deverá o prestador de serviços apresentar estrutura apropriada para garantir o funcionamento adequado dos dispositivos de amortecimento de vazão, infiltração no solo e/ou reaproveitamento das águas pluviais, por meio de fiscalização nos mesmos, seguindo recomendações contidas na Lei Complementar nº 929/2017 e no Decreto nº 44.037/2022.

7.3 Microdrenagem

O sistema de microdrenagem é composto pelos dispositivos que coletam e conduzem as águas pluviais provenientes dos lotes, projeções e do sistema viário. A seguir, são descritas as unidades mais usualmente utilizadas no sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal.

7.3.1 Dispositivos de Captações

São dispositivos que coletam as águas pluviais na superfície, geralmente junto às guias situadas ao longo das vias. Esses dispositivos podem ser classificados como bocas de lobo (BL), bocas de leão (BLE), lineares (quando a sua extensão é muito superior à sua largura), boca de lodo de qualidade, dentre outros.

Os dispositivos de captação são implantados ao longo das guias, nos pontos baixos, a montante de cruzamentos e, entre as interseções viárias, em intervalos definidos em função das vazões de contribuição, considerando a largura máxima de alagamento admissível na via e a altura da guia como limite do nível de água.

Alguns tipos de bocas de lobo são mostrados na Figura 18. Em áreas onde é importante reduzir a vulnerabilidade do sistema de drenagem ou quando a concentração de vazão é alta, admite-se também o uso de bocas de lobo múltiplas, como as mostradas na Figura 19. Para que não haja concentração excessiva de vazões em poucos pontos do sistema viário, deve-se evitar o uso de mais de cinco BLs em sequência.

Conforme se apresentará adiante, há outros dispositivos de captação de águas pluviais. Para aqueles que não constarem dos padrões do prestador de serviços, deverão ser previamente analisados e aprovados pelo referido prestador. É importante que o banco de padrões para dispositivos de captação seja ampliado ao longo do tempo, tendo em vista a aprovação de outros dispositivos que venham a modernizar e a reduzir os custos de implantação, operação e manutenção.

Há diversos outros tipos de bocas de lobo, passíveis de serem utilizados nos sistemas de drenagem, conforme mencionado anteriormente, podendo-se citar, como exemplo, as bocas de lobo de qualidade (Figura 20), as quais apresentam como função a retenção de resíduos sólidos, reduzindo os problemas de entupimentos nas redes e galerias de águas pluviais. Algumas ainda apresentam como função a retenção de solo, conforme a ilustrada na Figura 20.

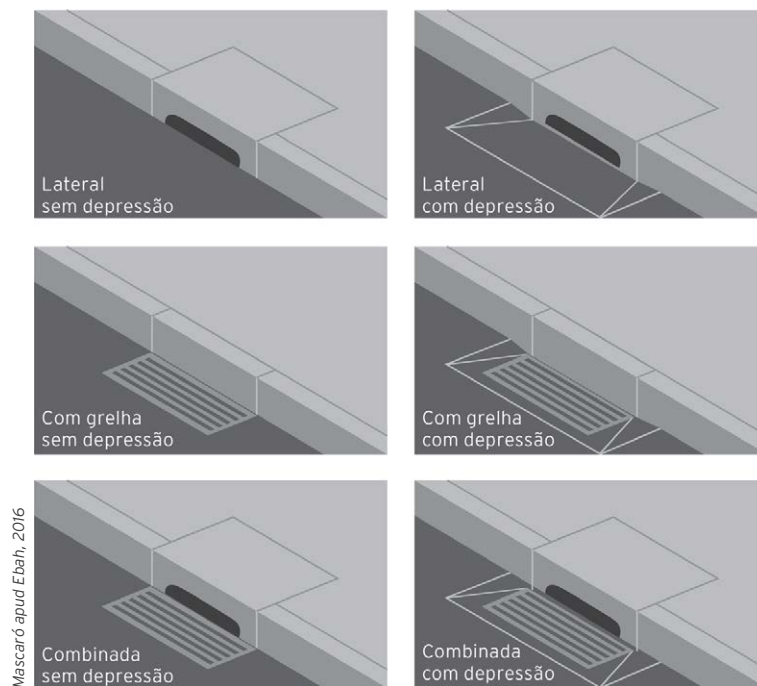


Figura 18 Tipos de bocas de lobo.

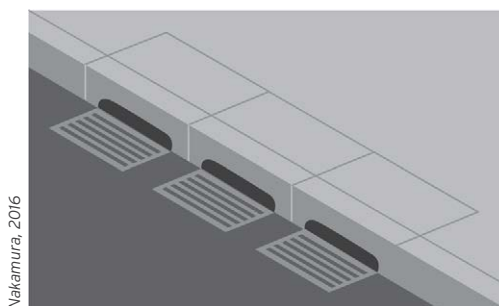
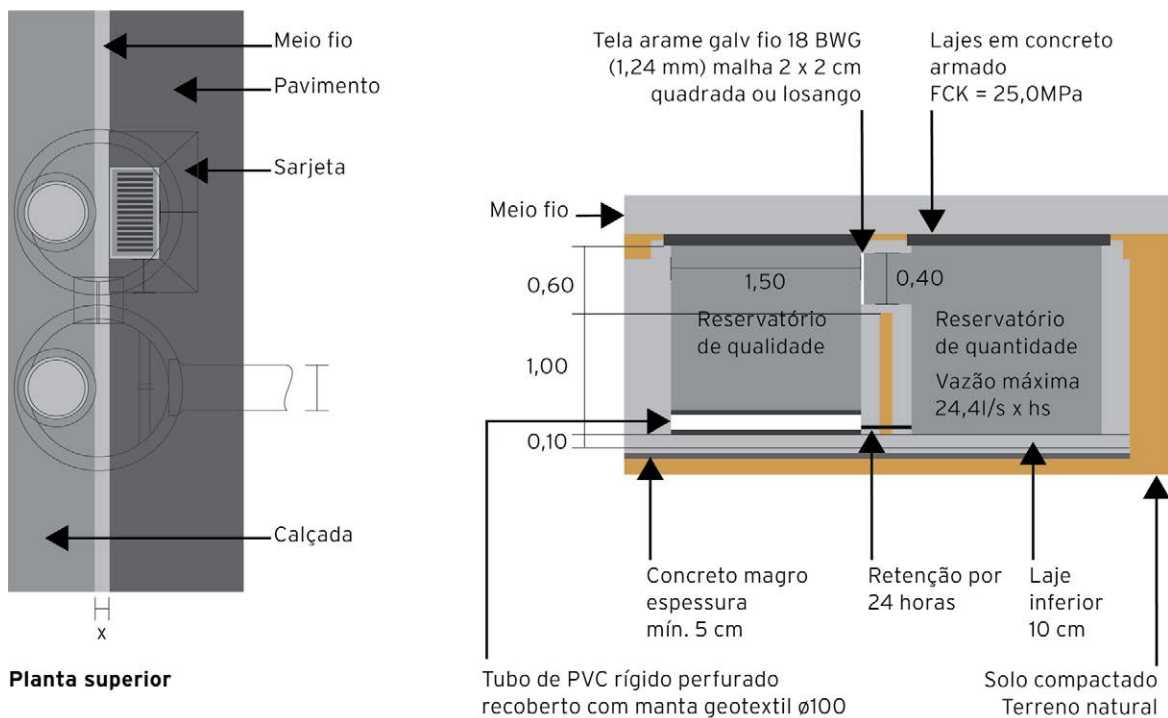


Figura 19 Bocas de lobo tripla.

Outra possibilidade é a implantação de bocas de lobo que funcionam como poço de visita, as denominadas PVBLs, as quais devem ser admitidas somente em situações com redes coletoras com diâmetros de até 600 mm, com profundidades inferiores a 2,50 m (facilitando a operação e a manutenção das mesmas) e quando a rede coletora apresentar caminhamento coincidente com as bocas de lobo (principalmente em redes coletoras implantadas em calçadas ou em vias públicas). A Figura 21 ilustra a situação de uma boca de lobo tripla que funciona como poço de visita. Destaca-se o modelo utilizado com somente uma caixa, sendo que há um único meio-fio vazado, entretanto têm-se três grelhas. Esse dispositivo de captação, mesmo que utilizado somente como boca de lobo, proporciona uma elevada capacidade de engolimento, principalmente tendo em vista a extensão e o tipo de grelha adotados.



Planta superior

Figura 20 Bocas de lobo de qualidade (Projeto de drenagem aprovado pela Novacap).

Há ainda os dispositivos de captação linear, caracterizados pela construção de canalistas com grelhas, ao longo de laterais de vias (Figura 22). Eles facilitam a captação de águas pluviais e reduzindo os custos de implantação, operação e manutenção de sistemas de drenagem, principalmente em áreas já urbanizadas e em trechos iniciais de coleta de águas pluviais.

Esses dispositivos de captação linear podem ser utilizados em substituição às bocas de lobo antigas que não apresentam funcionamento adequado ou em sistemas novos. Suas maiores vantagens, entretanto, residem na diminuição do alagamento de vias e na redução das extensões de novas redes de drenagem, em seus trechos iniciais, e que apresentem diâmetro mínimo de 600 mm.



Revista TAE Ed. 30 abril/maio 2016

Figura 21 Captações Lineares de Águas Pluviais.

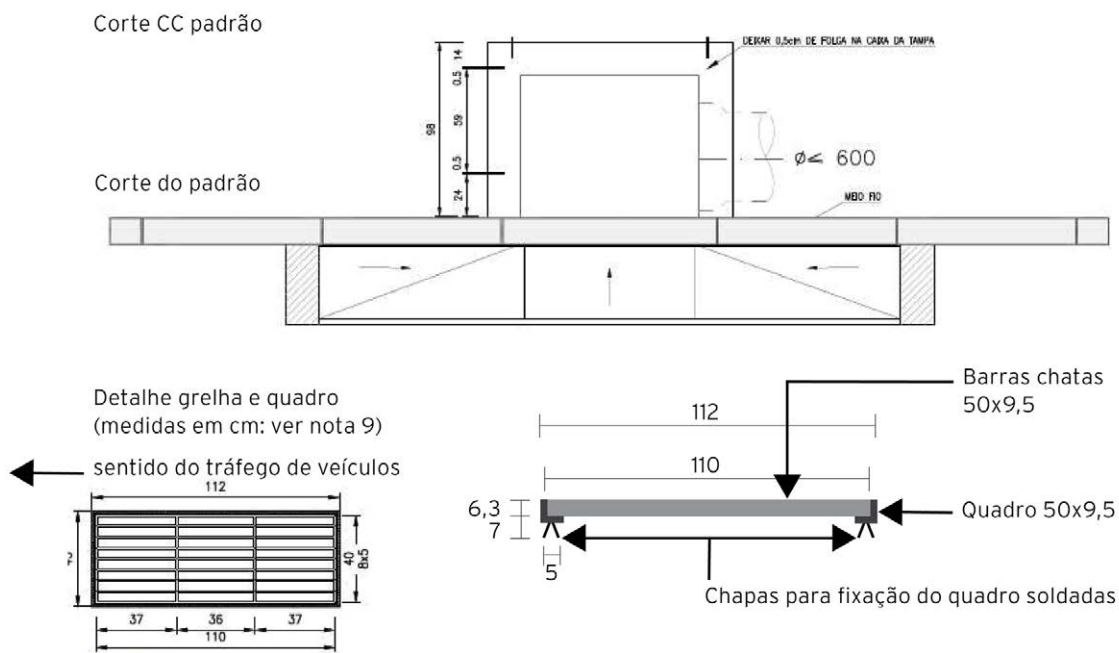


Figura 22 Bocas de lobo que funcionam como visitas - PVBLs (Projeto de drenagem Cacoal-RO).

Os PVs são instalados, além de nos pontos em que há junções de tubulações e/ou ramais de ligações, nos locais da rede onde existem degraus e mudanças de diâmetro. Nesse último caso, as geratrizes superiores internas das tubulações deverão estar, no mínimo, alinhadas, como mostra a Figura 23; entretanto, devem ser dimensionadas para evitar que a lâmina de água na tubulação de jusante apresente cota superior à lâmina de água da tubulação de montante.

Os PVs têm também a função de possibilitar o acesso de equipamentos para limpeza e manutenção da rede. O espaçamento máximo entre PVs é limitado pelo alcance desses equipamentos e não deverá exceder 80 m em áreas urbanizadas e 100 m em áreas não urbanizadas.

A Figura 24 ilustra o posicionamento típico de bocas de lobo e de poços de visita na rede de drenagem convencionais. Contudo, como se verá no item subsequente, esses posicionamentos poderão ser alterados em função das especificidades de urbanismo, do caimento da seção transversal da via, dentre outras situações.

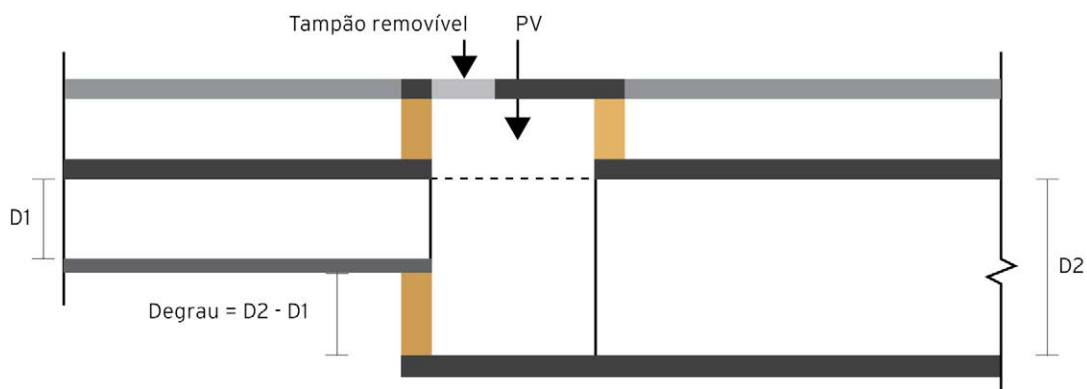


Figura 23 Junção de trechos de rede com mudança de diâmetro.

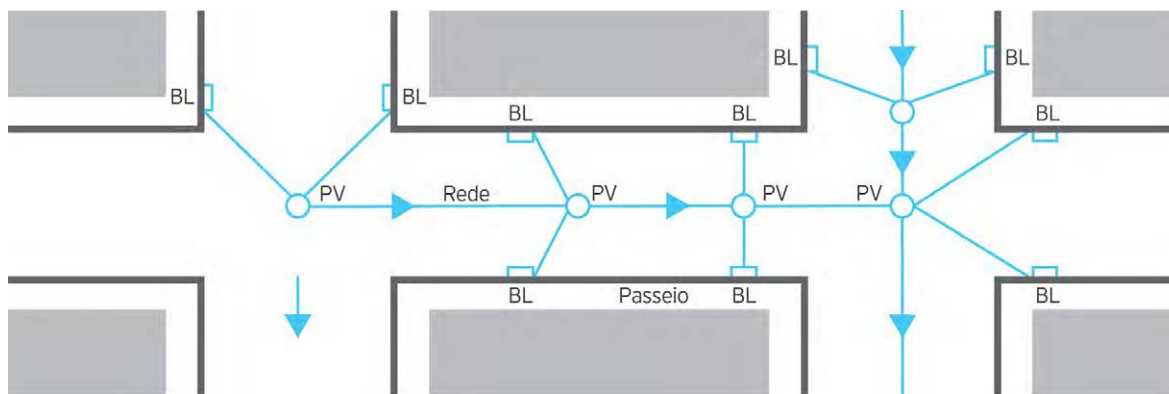


Figura 24 Posicionamento típico de bocas de lobo (BL) e poços de visita (PV) na rede de drenagem.

7.3.4 Rede de Drenagem

O Termo de Referência para Projetos de Drenagem Pluvial da Novacap (2019) recomenda “adotar um cobrimento mínimo de uma vez e meia o diâmetro da rede, a não ser quando ela for projetada em área verde, hipótese em que deverão ser adotados outros valores em função da cota da via a ser drenada”. Propõe-se, no entanto, que para a determinação dessa profundidade, devem-se considerar os seguintes critérios:

- Cota dos condutos de ligação no PV, determinada a partir das cotas das captações e o desnível entre a BL e o PV, considerando a declividade mínima de 1% para esses condutos;
- Tensões que atuam sobre a tubulação em função;
- Características do tráfego;
- Tipo de solo do reaterro e do seu método construtivo;
- Tipo de base sobre a qual será assentada a tubulação;
- Material da tubulação a ser adotada, adotando sempre as especificações técnicas dos seus fabricantes;
- Resistência da tubulação em função do seu tipo de material constituinte.

O traçado da rede de drenagem é realizado com base na topografia, no projeto urbanístico-viário, no cadastro do sistema de drenagem existente e das possíveis interferências (rede de distribuição de água, rede coletora de esgotos, rede de energia elétrica, rede de telecomunicações, entre outras). Esta fase do projeto é realizada por meio de um processo iterativo com o projeto urbanístico, para que se obtenha um melhor aproveitamento dos espaços destinados ao sistema de drenagem.

Algumas premissas básicas para o traçado da rede são as seguintes:

- Os divisores de bacias e as áreas contribuintes a cada trecho deverão ser assinalados nos desenhos;

- A direção do escoamento no sistema viário deve ser identificada por meio de setas;
- As tubulações da rede de drenagem deverão ser implantadas preferencialmente nos eixos das vias, recebendo as ligações das captações, tendo em vista o caimento transversal das vias. Caso seja caimento único, os dispositivos de captação devem ser instalados no lado de menor cota da via. Ainda, se for com caimento duplo, os dispositivos de captação devem ser instalados em ambos os lados da via. Esta configuração poderá ser alterada no caso de vias muito largas ou que possuam canteiro central, sempre respeitando os caimentos transversais das vias;
- Há diversas situações em que as tubulações de águas pluviais poderão ser implantadas fora do eixo das vias, tendo em vista as especificidades do urbanismo e da topografia, acrescidos com o objetivo de se reduzirem os custos de implantação, operação e manutenção. Por exemplo, em vias onde existam calçadas largas (igual ou superior a 3,0 m), pode-se avaliar a possibilidade de implantação de redes coletoras nas calçadas, com o emprego de PVBLs;
- É importante esclarecer que não se admitem redes em calçadas com profundidades superiores a 2,50 m, a fim de se evitarem problemas com operação e manutenção. Usualmente, são implantadas redes nas calçadas com diâmetro nominal de até 800 mm;
- Para abatimento de picos de vazão e redução dos impactos a jusante, podem ser previstas medidas de controle (reservatórios de amortecimento e dispositivos de infiltração) ao longo do sistema de microdrenagem;
- Sempre que possível, os canteiros centrais, praças e áreas gramadas poderão ser conformados para receber as águas pluviais do sistema viário e contribuir para o abatimento das vazões e a melhoria da qualidade da água. Nesses espaços deverão ser previstas medidas de controle, como: trincheiras de infiltração, valas de infiltração, poços de infiltração e faixas gramadas;
- Vias, pátios e estacionamentos em áreas públicas poderão receber pavimentos permeáveis que, como componentes da microdrenagem, coletam e, ao mesmo tempo, amortecem os picos de vazão das águas pluviais, possibilitando a redução das dimensões da rede a jusante.

7.4 Modalidade Condominial para a Implantação de Redes Coletoras de Águas Pluviais Urbanas

A modalidade condominial, pelos seus menores custos de implantação, operação e manutenção e pelas maiores facilidades de execução e indiscutível qualidade, é, atualmente, um potente instrumento à disposição das cidades, nos seus variados segmentos.

A importância da modalidade condominial e o interesse que tem despertado decorrem, entre outros fatores, de seu potencial para a construção de soluções econômicas e sustentáveis. A capacidade de atender aos mais exigentes padrões de eficiência e de qualidade e

sua adaptação às situações mais diversas e da rapidez e simplicidade com que os projetos bem conduzidos podem ser implantados são outros aspectos importantes para essa modalidade de execução das redes. A modalidade condominial tem sido utilizada com sucesso tanto em áreas de urbanização regular quanto em regiões de ocupação desordenada e em favelas, onde as soluções tradicionais não são tecnicamente viáveis.

A modalidade condominial deve ser implementada na elaboração dos estudos e projetos, mas principalmente na implementação das obras, considerando todas as etapas de elaboração e execução. É importante destacar que, em todas elas, tem-se necessidade de um forte componente de mobilização social à medida que se informa, esclarece e requisita adoção de moradores e/ou usuários na área de atendimento do sistema.

As principais regras para o desenvolvimento das ações, ou seja, os princípios a serem perseguidos na mobilização social são: atendimento pleno, negociação (e nunca imposição) e democracia nas decisões. E as etapas a serem vencidas vão desde a elaboração dos planos de escoamentos, estudos de concepção, projetos básicos, projetos executivos, execução dos projetos, mobilização comunitária, participação social, até a etapa de início de operação dos sistemas.

Na etapa de elaboração de projetos, sempre que houver necessidade de implantação de redes coletoras intralotes, deverá ser providenciado o termo de adesão do proprietário, anuindo com a solução a ser adotada.

Na etapa de execução de obras, deve-se promover, obrigatoriamente, a etapa de mobilização social, previamente ao início das obras. Essa mobilização precisa contar com profissionais habilitados para fomentar uma educação ambiental, orientando a população quanto à importância da drenagem urbana, bem como à maneira adequada de utilizar o sistema, empregando metodologias participativas, em que o sujeito principal da ação, a comunidade, é envolvido em todas as etapas do processo de execução.

A formalização da adesão dos moradores dá-se por meio da assinatura de cada proprietário, que tem necessidade de implantar redes coletoras dentro de suas unidades imobiliárias no documento "Termo de Adesão". Nesse documento, os proprietários anuem e demonstram ciência sobre a solução a ser adotada. Mesmo com esse termo assinado, deve ser prevista a ocorrência de alterações de opção que podem acontecer até a conclusão das obras; daí a necessidade de voltar a coletar as assinaturas dos moradores que solicitaram a alteração.

O processo de mobilização social ocorre por meio de reuniões, que acontecem sempre com o apoio de maquetes, *banner*, modelos reduzidos e outros recursos visuais que facilitem a compreensão, por parte da comunidade, dos elementos técnicos a serem discutidos. As principais atividades devem incluir eventos de educação sanitária e ambiental junto à comunidade infantil ou adulta, cursos rápidos para a comunidade, e pesquisas socioeconômicas e sanitárias.

Após a conclusão das obras em uma determinada rede coletora, deverá ser aplicado questionário sintético a todos os proprietários, no sentido de avaliar a satisfação com as obras, projeto e mobilização realizadas.

7.5 Macrodrenagem

Os sistemas de macrodrenagem em nada diferem em comparação com a microdrenagem, no que se refere a processos de dimensionamentos de redes coletoras, havendo apenas

adequações em critérios e parâmetros de projetos, no intuito de se garantirem menores riscos de processos de alagamentos e inundações.

Nesta classificação encontram-se os reservatórios e os dispositivos para lançamentos de águas pluviais em cursos d'água.

7.5.1 Diâmetros a serem utilizados nos sistemas de macrodrenagem

Os diâmetros e/ou seções a serem utilizados nos sistemas de macrodrenagem deverão ser aqueles especificados em projetos.

Essas especificações deverão sempre se reportar aos diâmetros nominais das tubulações, seguindo os padrões definidos nas normas da ABNT, bem como nos termos de referência e detalhes técnicos da prestadora Novacap.

Sempre que possível, a fim de se otimizar o prazo de execução de obras, deverão ser utilizadas galerias pré-fabricadas em concreto, em detrimento de galerias moldadas *in loco*, devido ao elevado custo destas últimas.

Antes da definição quanto à utilização de galerias de concreto pré-fabricadas ou moldadas *in loco*, deve-se avaliar, por meio de estudos de alternativas, a utilização de materiais alternativos, ou mesmo outras possibilidades de desenhos de redes de drenagem. Por exemplo, deve-se avaliar os custos de implantação de uma galeria em concreto armado em comparação com a implantação de duas linhas de tubulações circulares paralelas, na mesma vala, ou até mesmo em vias separadas, utilizando-se a solução de mínimo custo de implantação, operação e manutenção, bem como aquela que gere os menores impactos aos moradores e ao meio ambiente.

7.5.2 Dispositivos de lançamento em cursos d'água superficiais com dissipadores de energia

Para o lançamento final de sistemas de drenagem em corpos hídricos, deverão ser previstos dissipadores de energia simples ou do tipo "impacto", conforme projeto.

Os dissipadores de energia do tipo "simples" devem ser implantados somente em situações específicas, em que a área de drenagem seja bastante reduzida, inferior a 2,0 ha, em que não se tenham quaisquer riscos de surgimento de processos erosivos e desde que aprovado previamente pela prestadora Novacap. Assim, os dissipadores de energia do tipo "simples" somente serão admitidos se aprovados nos estudos de concepção pelo prestador de serviços e desde que comprovado que não haverá quaisquer riscos ao meio ambiente.

Para determinação do modelo do dissipador de impacto, utiliza-se o Ábaco da Figura 25. Com o valor da vazão (m^3/s), obtém-se a dimensão, em metros, da largura do dissipador (A). Com o valor da largura (A), têm-se as demais dimensões do dissipador na Tabela 5.

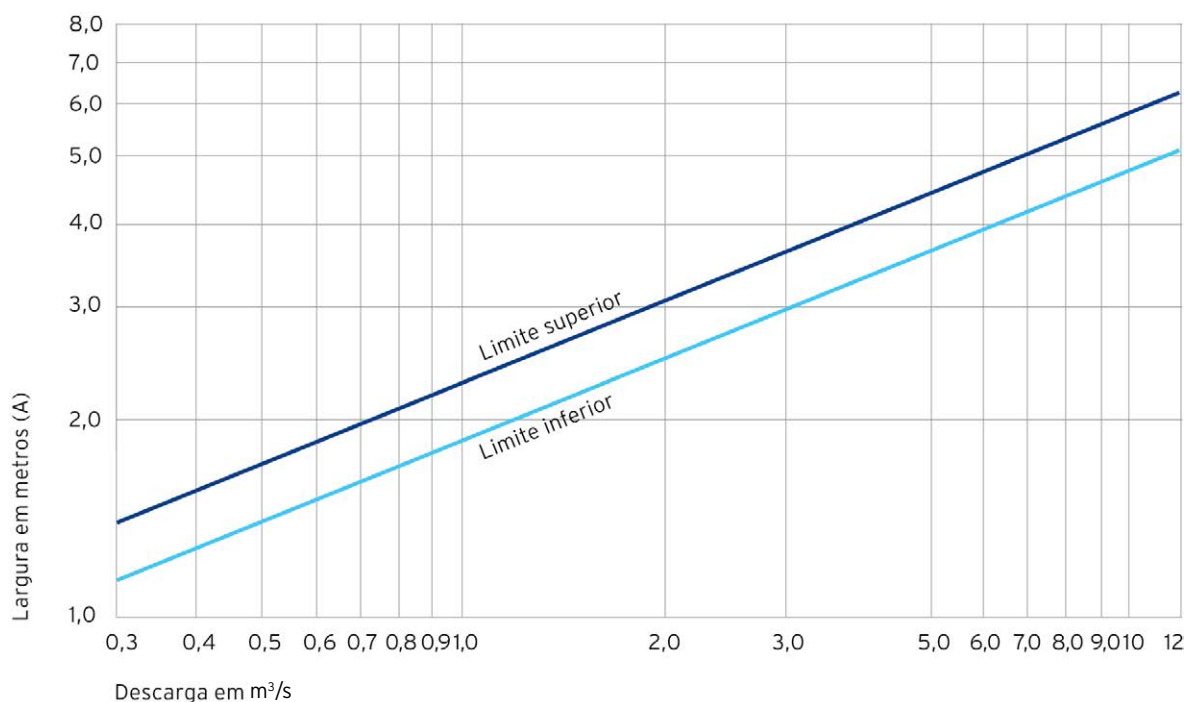


Figura 25 Ábaco de dimensionamento do dissipador por impacto.

Tabela 5 Dimensões padronizadas dos dissipadores de impacto

	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)	F (m)	G (m)	H (m)	J (m)	K (m)	L (m)	M (m)	N (m)	P (m)	ϕ (m)
DISPARADOR A.1	3,00	4,00	0,50	0,08	0,20	0,45	1,26	2,25	1,13	0,38	0,25	1,54	2,26	2,20	0,80
DISPARADOR A.2	4,00	5,33	0,67	0,10	0,25	0,55	1,68	3,00	1,50	0,50	0,33	2,07	3,01	0,30	1,00
DISPARADOR A.3	5,00	6,67	0,83	0,15	0,30	0,65	2,10	3,75	1,88	0,63	0,42	2,80	3,77	0,30	1,20
DISPARADOR A.4	5,00	7,33	0,92	0,15	0,30	0,70	2,31	4,13	2,06	0,69	0,46	2,89	4,14	0,35	1,50

NOTAS

1. Medidas em metros
2. Concreto estrutural fck > 15 MPo
Macro fck > 9 MPo
3. Executar a drenagem do terreno em torno da lateral da estrutura e descarregar os drenos na bacia de jusante através dos tubos atravessando a PAR.5

Serão admitidos outros tipos de dissipadores de energia, além dos de impacto, desde que comprovada a sua eficiência e aprovados previamente pelo prestador de serviços regularmente instituído, quando da elaboração dos estudos de concepção dos sistemas.

7.6 Dispositivos de Controle de Poluição dissipadores de energia

Os dispositivos de controle de poluição são aqueles que reduzem a poluição presente nas águas pluviais, contribuindo assim para melhorar a qualidade das águas dos corpos hídricos que drenam as áreas urbanas.

Os dispositivos de abatimento de vazão relacionados na Tabela 3 e na Tabela 4 podem contribuir para a redução da poluição das águas pluviais até certos limites.

Nos dispositivos que promovem a infiltração, a água que percola pelo meio poroso do dispositivo e pelo solo é filtrada. Parte das substâncias potencialmente poluidoras é retida ao longo do percurso e, portanto, a água chega aos corpos hídricos com uma qualidade melhor que a qualidade da água pluvial bruta.

Os dispositivos de armazenamento podem ser dimensionados também para reter parte da poluição, prevendo-se, por exemplo, sistemas de gradeamento e de decantação.

Além desses dispositivos, para que se garanta a qualidade da água pretendida, principalmente quando o sistema de drenagem contribui para corpos hídricos utilizados como mananciais, como o caso do Lago Paranoá, podem ser necessárias estruturas de partição de vazão que conduzam as parcelas mais poluídas das águas pluviais para reservatórios de qualidade e de amortecimento, conforme apresentado na Figura 26 e detalhado no Apêndice. Nesse documento, os proprietários anuem e demonstram ciência sobre a solução a ser adotada.

O esquema da Figura 26 mostra os procedimentos técnicos que poderão ser seguidos para o controle da qualidade dos lançamentos das águas pluviais em um corpo hídrico receptor.

Na Figura 26, tem-se:

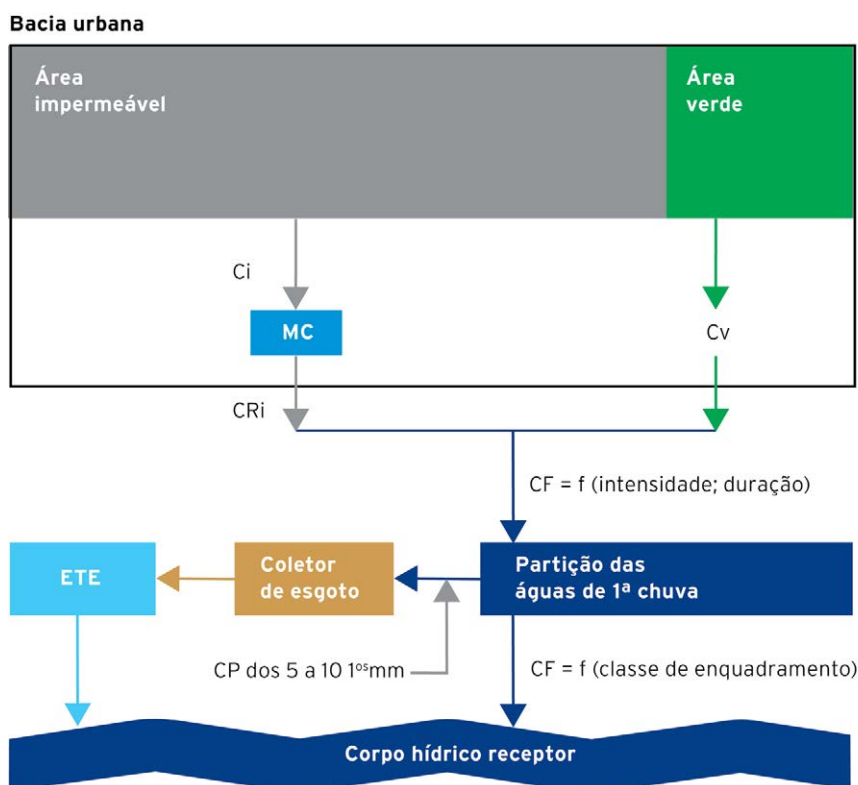


Figura 26 Fluxograma de um sistema genérico de controle de qualidade de águas pluviais.

CF = concentração de indicador de poluição determinado pela Classe de Enquadramento do corpo hídrico receptor. Representa a meta a ser alcançada com o sistema de controle de poluição e deve ser o resultado das medidas de controle implantadas;

Ci = Concentração do indicador, lançado pela parcela impermeável da bacia;

Cv = Concentração do indicador, lançado pela parcela permeável da bacia. Normalmente é a concentração $C_v < C_i$;

MC = Medida de controle na fonte implantada para abater o impacto da impermeabilização;

CRi = Concentração a jusante da MC ($CR_i < C_i$);

CP = Concentração ponderada de CR_i e C_v .

Partição das Águas de Primeira Chuva: dispositivo projetado para separar a parcela da chuva mais poluída, correspondente aos primeiros 5 a 10 mm de precipitação, podendo essa quantidade variar de local para local;

Possível Coletor de Esgotos: coleta os esgotos sanitários da bacia e as águas de primeira chuva provenientes do dispositivo de partição de vazão;

ETE = Estação de Tratamento de Esgotos, que recebe tanto os esgotos coletados como as águas de primeira chuva.

O esquema acima proposto, portanto, parte da meta de qualidade determinada pela Classe de Enquadramento do corpo hídrico (Ver Item 6.5 - Enquadramento dos Corpos Hídricos, deste Manual) para a definição e o dimensionamento das medidas de controle a serem implantadas para que essa meta seja alcançada.

Em sistemas lóticos (caracterizados por possuírem água corrente como córregos e rios), o valor da concentração CF é associado a uma vazão de referência do corpo receptor, a qual, por sua vez, é definida pela entidade responsável pelo licenciamento ambiental (no caso do DF, o Ibram ou o Ibama). A CF não deve ser maior que a concentração máxima permitida pelas Resoluções Conama nº 357/2005 e nº 430/2011 (Brasil, 2005; Brasil, 2012). Como a carga poluidora veiculada pelo sistema de drenagem ocorre durante as chuvas, a análise de seu impacto deve ser realizada por meio de simulações hidrodinâmicas de longo período, abrangendo, no mínimo, um ano hidrológico típico com as quais se devem identificar índices de conformidade e tempos de permanência das concentrações em relação às concentrações-meta do enquadramento (ver fluxograma da Figura 29, Capítulo 9 - Critérios para Avaliação do Nível de Complexidade do Projetos).

Destaca-se, entretanto, que nenhuma estação de tratamento de esgotos no DF foi dimensionada para o recebimento de águas pluviais, tanto no que se refere à carga hidráulica quanto à carga orgânica. Assim, para a adoção da situação indicada na Figura 26, tem-se a necessidade de promover discussões com o prestador de serviços de água e esgotos, avaliando os impactos no sistema coletor, bem como na unidade de tratamento.

8.1 Recursos Hídricos, Saneamento e Drenagem Urbana

A eficiência de um sistema de drenagem e manejo de águas pluviais começa com um planejamento que considere os aspectos físicos, socioeconômicos e ambientais da área a ser beneficiada. Para que isso seja possível, é necessário que se disponha de uma base de dados completa que permita o acesso a informações acuradas sobre o território onde os serviços serão prestados. É desejável que essas informações sejam concentradas em um banco de dados georreferenciados com, no mínimo, o seguinte conteúdo:

- Carta planialtimétrica cadastral, com curvas de nível a cada metro e pontos cotados, ou modelo digital de elevação (MDE) com resolução equivalente da área de estudos e projetos;
- Hidrografia completa, distinguindo-se os rios canalizados, em canais abertos e fechados, e rios em estado “natural” ;
- Limites das Regiões Hidrográficas, Bacias Hidrográficas e Unidades Hidrográficas, de acordo com o Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (Distrito Federal, 2012b);
- Localização e delimitação dos pontos críticos de inundação e alagamento, os quais são monitorados pela Defesa Civil, indicados na mesma base cartográfica que se pretende utilizar como base para elaboração de estudos e projetos;
- Mapeamento das áreas frágeis, sujeitas à erosão, obtido junto aos órgãos competentes e, na sua inexistência, preparado pelo responsável pela elaboração de estudos e projetos;
- Rede de monitoramento hidrológico (pluviográfico e fluviográfico) e de qualidade da água;
- Isoietas que representam a distribuição espacial das chuvas críticas;
- Limites das regiões administrativas em conjunto com as unidades hidrográficas;
- Vias sob jurisdição do DNIT, DER e da Novacap;
- Mapa pedológico atualizado;
- Mapeamento das diversas tipologias hidrológicas de solo;
- Lei de zoneamento;

- Áreas tombadas (Portaria Iphan nº 314 de 08/10/1992 e disposições complementares);
- Áreas de preservação permanente, conforme Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e disposições complementares);
- Enquadramentos dos cursos d'água em classes;
- Setores censitários dos últimos censos demográficos com as respectivas populações;
- Mapa de uso do solo recente;
- Fotografias aéreas e/ou imagens de satélite atuais;
- Imagens aéreas anteriores, de preferência obtidas nas datas dos censos demográficos;
- Cadastro atualizado do sistema existente de drenagem com a indicação das características geométricas das obras implantadas (seções transversais, cotas, declividades, volumes para reservatórios etc.);
- Cadastro do sistema de esgotos sanitários, com a indicação dos pontos de lançamento na rede de drenagem e nos corpos hídricos;
- Cadastro dos sistemas de abastecimento de água potável, com a indicação dos pontos de captação e os mananciais utilizados;
- Cadastro dos sistemas de distribuição de energia elétrica e de iluminação pública;
- Cadastro dos sistemas de acessibilidade existentes, bem como das sinalizações verticais e horizontais;
- Cadastro de interferências, considerando todas as infraestruturas que podem impactar os estudos e projetos dos sistemas de drenagem de águas pluviais;
- Estudos, planos e projetos existentes;
- Normas técnicas aplicáveis;
- Sistema institucional de gestão com a identificação dos órgãos que atuam sobre o sistema de drenagem e suas funções.

Destaca-se a importância de se utilizarem bases topográficas aprovadas pelo prestador Novacap e que tenham sido preparadas com base no SIRGAS 2000, utilizando os marcos de referência oficiais.

8.2 Cadastro Georreferenciado do Sistema de Drenagem Urbana do Distrito Federal

A Adasa celebrou Acordo de Cooperação Técnica com a Novacap e Convênio com a Universidade de Brasília - UnB e realizou a vetorização de 2.942 desenhos digitalizados e georreferenciados do cadastro técnico dos sistemas de drenagem pluvial da Novacap, contemplando tanto os desenhos antigos em papel vegetal quanto as cartas elaboradas em software gráfico e aqueles disponíveis em formato PDF. O convênio realizado entre Adasa e UnB também incorporou os desenhos disponíveis de drenagem urbana do Departamento de Estradas de Rodagem do DF (DER-DF) da Companhia do Metropolitano do DF (Metrô-DF) e realizou vistorias nos clubes de lazer ao longo da orla do Lago Paranoá.

Todos esses dados foram reunidos em Banco de Dados de cadastro virtual, integrados com dados espaciais das cidades e correlação com áreas alagáveis e com riscos de processos erosivos. Esse Banco de Dados foi finalizado e será futuramente disponibilizado como suporte para localização e identificação das unidades e dos dispositivos constituintes do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal.

É importante esclarecer que a identificação exata de determinada unidade ou dispositivo do sistema de drenagem urbana ou mesmo a verificação específica de uma interferência com outro sistema ou edificação devem preceder levantamento topográfico cadastral.

8.3 Levantamento de Áreas Urbanas Impermeabilizadas e Não Impermeabilizadas

Objetivando viabilizar o conhecimento da área real urbana, foi realizado estudo para estimar a extensão total da área urbana impermeabilizada, as áreas impermeabilizadas que estão em lotes e projeções, e os espaços que estão em áreas públicas de uso comum do povo.

Os resultados foram obtidos por meio de classificação automática de imagens de alta resolução espacial realizadas em 2016. Assim, tem-se um total de 483.715.793 m² de áreas urbanas mapeadas, classificadas como áreas públicas de uso comum do povo impermeabilizadas, áreas privadas (lotes e projeções) impermeabilizadas e áreas sombreadas (sobreposição de classes). Dessa forma, verificou-se que a participação das áreas impermeabilizadas privadas (lotes e projeções) pode ser considerada como de 49% do total das áreas urbanas impermeabilizadas (quando desconsideradas as áreas sombreadas).

Também foi possível quantificar a área impermeabilizada em parcela significativa dos lotes e projeções integrantes da base de lotes cadastrados na base da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação – SEDUH e cruzar esta informação com a base do cadastro de imóveis da Secretaria de Economia do DF. Entretanto, em virtude da melhoria e atualização da base deste cadastro da Secretaria de Economia, ainda é necessária uma revisão no estudo ora realizado.

8.4 Sistema de Monitoramento de Chuvas Urbanas Intensas no Distrito Federal - Simcurb

A Adasa implementou o Sistema de Monitoramento de Chuvas Urbanas Intensas no DF (Simcurb) em parceria com o Ibram, a Caesb e a UnB. O objetivo é obter dados de chuvas em toda a área urbana do DF, de maneira a subsidiar atividades de planejamento urbano, elaboração de estudos e projetos, regulação e fiscalização de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, contribuindo, assim, para uma prestação de serviços mais eficiente.

Esse sistema permitirá, ainda, identificar as causas de alagamentos em alguns pontos da malha urbana e definir ações para suas eliminações.

Para esse monitoramento, a Adasa adquiriu 42 pluviógrafos (com datalogger, sendo 40 instalados e 2 de reservas), 4 módulos registradores de dados e 4 cabos de transferência de dados, que foram instalados em locais públicos, como escolas (16), unidades do Corpo de Bombeiros (8), da Polícia Militar (3), da Polícia Civil (4), Igrejas (2), CREA (1), Defesa Civil (1) e outros (5).

Além desses equipamentos, o sistema conta com 24 pluviógrafos ativos dos órgãos parceiros. A distribuição espacial desses pluviógrafos está indicada na Figura 27, apresentada a seguir.

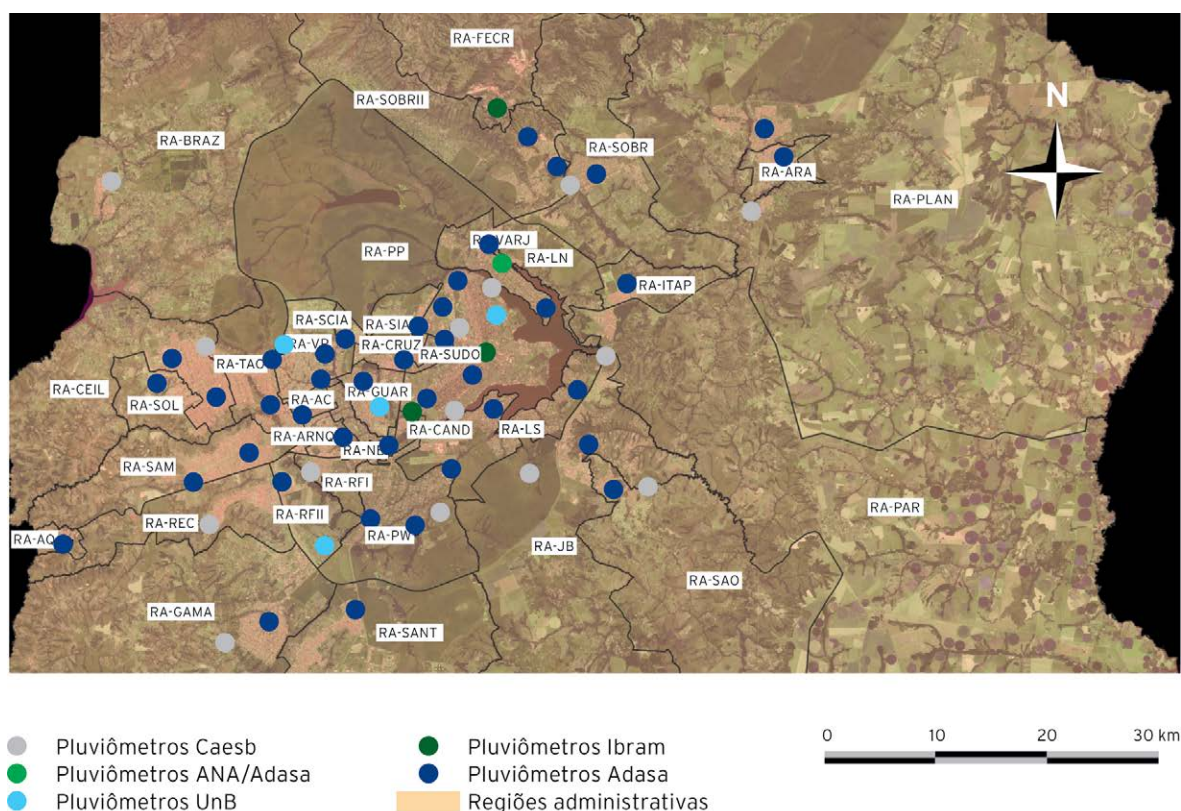


Figura 27 Localização dos pluviômetros UnB do sistema Simcurb.

É importante destacar que essa composição corresponde à inicial do sistema, sendo que a mesma deverá ser ampliada ao longo do tempo, tendo em vista os resultados iniciais obtidos.

Esse sistema já oferece, com precisão, a descrição da intensidade das chuvas nas diversas regiões urbanas do DF, sendo de fundamental importância para a identificação da origem dos alagamentos e inundações.

Essa cooperação entre os quatro órgãos disponibiliza dados que podem ser aproveitados por projetistas, pesquisadores, reguladores e pelo próprio prestador para promover um serviço de qualidade.

O Simcurb traz elementos importantes para o conhecimento da dinâmica de chuvas no DF, compreendendo o comportamento da chuva em curtos intervalos de tempo e nas distintas cidades. Assim, será possível fundamentar ações específicas para a prestação de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, como curvas de chuvas por cidade, e priorizar recursos financeiros para locais mais vulneráveis.

Critérios para Avaliação do Nível de Complexidade do Projeto

9

A engenharia de drenagem e manejo de águas pluviais em áreas urbanas lida com variados tipos de problemas, cada qual com sua complexidade própria, pois envolvem questões relacionadas às especificidades locais, como clima, relevo, padrões geológicos e pedológicos, uso do solo, urbanização, densidade de urbanização, prejuízos em potencial, capacidade do sistema existente de drenagem, condições de contorno definidas pelo corpo hídrico receptor, entre outros.

A solução para a redução de riscos de alagamento em uma área plana, por exemplo, requer uma abordagem distinta do tratamento dado a uma área com declividades acentuadas. O cálculo de vazões em uma bacia hidrográfica pequena pode ser feito de maneira simplificada, como visto neste Manual; uma bacia com grande área de contribuição requer a aplicação de modelos mais sofisticados. Em certos locais, os riscos hidrológicos estão mais associados à velocidade da água que à altura do alagamento e inundação, e assim por diante.

Muitas tentativas já foram feitas para a normatização de projetos de drenagem, porém sem sucesso, pois é difícil estabelecer, previamente, procedimentos uniformes para problemas tão variados. Entretanto, a não existência de normas para projetos de drenagem de aceitação nacional está mais relacionada com as deficiências na gestão, no planejamento e na regulação do que em função dessas especificidades, que também são significativas para os outros componentes do Saneamento Básico.

Entende-se que cada projeto deve ser elaborado dentro de critérios ajustados ao problema específico a ser resolvido. Entretanto, alguns procedimentos básicos devem ser respeitados. A prática mostra que é possível preestabelecer alguns desses critérios básicos em função das características da área a ser beneficiada.

Com o objetivo de oferecer uma orientação prévia ao projetista, neste Manual propõe-se distinguir projetos de Baixa, Média e Alta Complexidade, de acordo com a magnitude da área da bacia de contribuição do sistema de drenagem, como mostra a Tabela 6.

As Figuras 28 a 31 apresentam fluxogramas metodológicos para projetos de diferentes níveis de complexidade.

Tabela 6 Nível de complexidade de projetos de drenagem e procedimentos recomendados

Nível de Complexidade	Baixa	Média	Alta
Área da Bacia de Drenagem: A (ha)	$A \leq 100$	$100 < A \leq 300$	$A > 300$
1. Vazões calculadas pelo Método Racional			
2. Vazões calculadas por hidrogramas			

Nível de Complexidade		Baixa	Média	Alta
3. Período de retorno recomendado para o cálculo da chuva de projeto		≥ 10 anos	≥ 10 anos	≥ 25 anos
4. Projeto Hidráulico considerando escoamento permanente e uniforme		■	■	■
5. Projeto Hidráulico considerando escoamento hidrodinâmico		■	■	■
6. Volumes de amortecimento calculados por equações lineares		■	■	■
7. Estudos de impactos a jusante	Qe < Qr	■	■	■
	Qe > Qr	■	■	■
8. Cálculo do tempo de permanência		■	■	■
9. Estudos de vulnerabilidade		■	■	■
10. Estudos de periculosidade		■	■	■
11. Estudos de qualidade da água		■	■	■
12. Número mínimo de alternativas		2	3	3
13. Critério de seleção de alternativas		B/C	B/C	B/C ou AMC
14. Termo de Referência segundo diretrizes do Capítulo 14 deste Manual		■	■	■

■ Desnecessário na maioria dos casos

■ Não recomendado

■ Depende de avaliação específica pela fiscalização

■ Recomendável na maioria dos casos

Qe = Vazão lançada a jusante pelo sistema projetado

Qr = Vazão de pré-desenvolvimento = 24,4 L/s.ha (Adasa, 2023)

B/C = Estudos de Benefício/Custo

AMC = Análises Multicritérios

Observações da Tabela 6:

1. Vazões calculadas pelo Método Racional

Conforme proposto neste Manual, o Método Racional poderá ser utilizado para o cálculo das vazões de projeto para bacias de drenagem com área total de até 100 ha.

Dependendo de avaliação específica, o Método Racional poderá ser utilizado para o cálculo de vazões de projeto em bacia com área total maior que 100 ha e menor que 300 ha, desde que o coeficiente de escoamento superficial e o tempo de concentração sejam calibrados com parâmetros obtidos através do monitoramento hidrológico na mesma região ou região de características físicas similares (Ver considerações sobre o uso do Método Racional no Item 19.4 do Apêndice. O uso do Método Racional, nesses casos, depende também de apresentação de justificativas tecnicamente fundamentadas e da aprovação pelo prestador de serviços e pela agência reguladora.

2. Vazões calculadas por hidrogramas

Para bacias de drenagem maiores que 100 ha, é recomendável que as vazões sejam calculadas por meio de hidrogramas, e que sejam empregados métodos como o *Soil Conservation Service* (SCS), que tem sido amplamente usado em todo o mundo e por isso tem a vantagem de contar com uma grande variedade de trabalhos técnicos e científicos de referência.

Dependendo de avaliação específica, o cálculo de vazões de projeto para bacias com área total entre 100 e 300 ha poderá ser feito pelo Método Racional, observadas as condições da alínea 1, acima.

3. Período de retorno recomendado para o cálculo da chuva de projeto

Conforme proposto no Item 3.3 - Particularidades dos Sistemas de Drenagem Urbana, deste Manual, a rigor, a escolha do período de retorno deve partir de um estudo de danos (ou prejuízos) evitados. Quanto mais graves os danos a serem evitados pelo sistema de drenagem, maior deve ser o período de retorno de projeto. No caso, por exemplo, de riscos a equipamentos sensíveis (como subestações de energia, elevatórias de abastecimento de água, centros de processamento de dados, hospitais, serviços de emergência, escolas etc.), o período de retorno deve ser o mais alto possível, dentro dos limites de custo compatíveis com a magnitude dos prejuízos (maior que 100 a 200 anos, por exemplo).

Para projetos correntes, quando a superação da capacidade do sistema de drenagem não produza prejuízos de grande magnitude, recomenda-se adotar os valores mínimos de período de retorno indicados na Tabela 6.

É importante destacar que para as áreas de contribuição maiores que 300 ha, poderão ser utilizados períodos de retorno diferentes: a) as redes que apresentam áreas de contribuição inferior a 300 ha poderão utilizar períodos de retorno de 10 anos; b) as redes que apresentam áreas de contribuição com equipamentos de riscos, mesmo que com áreas inferiores a 100 ha, poderão ter períodos de retorno iguais ou superiores a 25 anos.

Destaca-se que o período de retorno a ser utilizado deve estar compatível não somente com o porte da área a ser drenada, mas principalmente em função dos riscos de alagamento que levam em consideração o porte da área e os equipamentos a serem protegidos com o sistema de drenagem.

Assim, os termos de referência para a elaboração de estudos e projetos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas em uma determinada área podem conter exigências relativas a estudos de tempo de retorno para que possam ser elaborados os projetos, independentemente da área a ser drenada. Destaca-se que essa possibilidade aumenta sempre que essa área for superior a 100 ha.

4. Projeto Hidráulico considerando escoamento permanente e uniforme

É recomendável no caso de projetos correntes de galerias e redes de microdrenagem onde o escoamento é livre (sob pressão atmosférica) e o despejo é acima da cota máxima do nível de água a jusante do ponto de lançamento, não havendo, portanto, possibilidade de remanso.

Caso a cota do nível de água, calculada no regime uniforme, esteja abaixo da cota do nível de água a jusante, é imprescindível a verificação da capacidade do trecho projetado através do cálculo da curva de remanso.

5. Projeto Hidráulico considerando escoamento hidrodinâmico

Sistemas de drenagem mais complexos, projetados para áreas maiores que 100 ha, e que funcionem como uma rede hidráulica⁵, requerem estudos que avaliem a variação das vazões, dos níveis de água, das velocidades etc., no tempo e no espaço (ao longo do sistema de drenagem). Quanto mais complexo o sistema, mais importante é representá-lo com fidelidade. Por isso, recomenda-se, nesse caso, o uso de modelos computacionais hidrodinâmicos, capazes de gerar hidrogramas e de simular o escoamento variável, como os especificados no Item 10.3 do Apêndice, que trata de Modelos Computacionais.

No caso de projetos menos complexos com áreas de contribuição entre 100 e 300 ha, como, por exemplo, o trecho de um canal ou galeria, é admissível que os cálculos hidráulicos sejam realizados no regime permanente (vazão fixa no tempo), adotando-se como vazões de projeto, as vazões máximas determinadas pelos hidrogramas.

6. Volumes de amortecimento calculados por equações lineares

Atende ao critério proposto e justificado no item 5.2 - Legislação e Normativos em Nível Distrital, deste Manual, em especial a Resolução Adasa nº 26, de 17 de agosto de 2023. Importante destacar que esta resolução limita o uso de equações lineares até a área de contribuição de 200 ha. Áreas de contribuição superiores a 200 ha exigem volume do reservatório calculado com uso de modelo hidrológico e determinação de amortecimento de cheias e vazões máximas nos dispositivos de saída.

7. Estudos de impactos a jusante

Esses estudos devem ser feitos quando a vazão máxima de exportação de pré-desenvolvimento pela Adasa (2023), de 24,4 L/s.ha, tiver que ser ultrapassada por impossibilidades técnicas de atendê-la no projeto.

Se for demonstrado que, com a implantação do sistema projetado, haverá riscos de agravamento das inundações a jusante, o projeto deverá incorporar recomendações para a mitigação desses riscos, incluindo os estudos ambientais a serem definidos pelo órgão ambiental competente. É importante definir que nos estudos e projetos dos sistemas de drenagem, deverão ser atendidas todas as condicionantes ambientais das licenças ambientais emitidas para o empreendimento.

No caso de bacias maiores que 300 ha, recomenda-se a análise de impactos considerando o sistema de drenagem da Unidade Hidrográfica onde está situada.

8. Cálculo do tempo de permanência

É recomendável quando o tempo de duração de um alagamento ou inundação possa causar prejuízos e transtornos pelo impedimento temporário de se acessarem locais

⁵ Sistemas que funcionam como "rede hidráulica" são sistemas em que há junções de dois ou mais trechos ("nós") e onde o escoamento de um trecho pode interagir com o escoamento de trechos a montante ou com o escoamento superficial.

sensíveis, como pré-escolas ou escolas de educação infantil, hospitais, áreas densamente habitadas etc.

Como referência, pode-se admitir que um alagamento de baixa periculosidade tenha um tempo de permanência de, no máximo, uma a duas horas.

9. Estudos de vulnerabilidade

Devem ser feitos para sistemas de drenagem que atendem áreas acima de 100 ha, identificando-se os pontos críticos, em que falhas podem gerar prejuízos relevantes.

Dependendo dos níveis de risco e dos respectivos prejuízos potenciais, pode ser importante se prever um reforço do sistema, superdimensionando seus trechos mais cruciais. Nesses casos, o período de retorno deverá ser avaliado, utilizando-se aquele que se mostre compatível com os riscos a serem minimizados, devendo ser previamente discutido com o prestador de serviços nos estudos de concepção, antes da entrega dos projetos básicos/executivos.

Os estudos de vulnerabilidade também têm como função auxiliar os programas de manutenção, identificando os pontos que requerem, por exemplo, maior frequência de operação e manutenção.

10. Estudos de periculosidade

Devem ser efetuados para áreas maiores que 300 ha. Para áreas menores, sempre que as características da área de estudo/projeto recomendarem, podendo-se citar: velocidade de escoamento nas vias que possa colocar em risco a população; equipamentos de alto risco a ser protegido, buscando-se eliminar riscos de danos; dentre outros.

11. Estudos de qualidade da água

Devem ser sempre realizados nas bacias com áreas maiores que 300 ha. Nas bacias entre 100 e 300 ha, sempre que houver despejo direto em corpos d'água enquadrados na Classe 3 ou mais restritas (Brasil, 2005).

12. Número mínimo de alternativas

- Para bacias com área = 100 ha: pelo menos 2 alternativas considerando tubulações de diferentes materiais (PEAD, concreto etc.), medidas de controle na fonte em lotes ou em áreas públicas e estudos de quantidade de pontos de lançamentos;
- Para bacias com área = 300 ha: pelo menos 3 alternativas considerando tubulações de diferentes materiais (PEAD, concreto etc.), medidas de controle na fonte em lotes e em áreas públicas, estudos de quantidade de pontos de lançamentos, traçados otimizados de redes nas vias, dentre outras;
- Para bacias com área > 300 ha: pelo menos 3 alternativas considerando, além das possibilidades acima, medidas que beneficiem o sistema de drenagem da Unidade Hidrográfica onde está inserida, reduzindo-se os impactos ambientais nos corpos receptores.

13. Critério de seleção de alternativas

- Para bacias com área = 300 ha, a alternativa escolhida será aquela que apresentar a melhor relação custo/benefício incluindo os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais e as etapas de implantação, operação e manutenção, pelo período de vida útil do sistema (considerados pelo menos 40 anos);
- Para áreas maiores, recomenda-se que a escolha da alternativa seja realizada por meio de análise multicritérios (AMC), como descrito neste Manual, podendo também ser utilizada a relação custo/benefício, desde que aprovada previamente pelo prestador de serviços. Destaca-se que esses estudos também deverão levar em consideração os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais e as etapas de implantação, operação e manutenção, pelo período de vida útil do sistema (considerados pelo menos 40 anos).

14. Termo de Referência segundo diretrizes do Capítulo 14 deste Manual

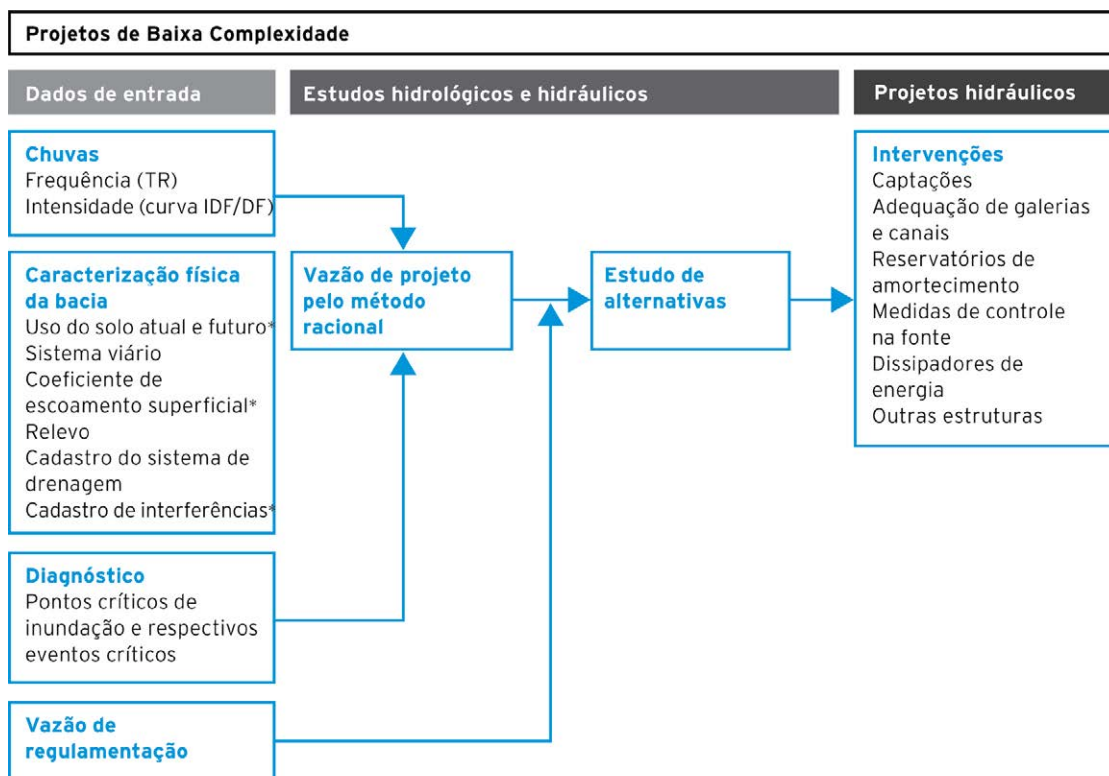
- A elaboração de estudos e projetos, independentemente da complexidade, deverá ser feita por meio de Termos de Referência produzidos segundo as diretrizes apresentadas neste Manual, no Capítulo 14;
- É importante destacar que poderão ser elaborados termos de referência específicos para cada área onde se pretende desenvolver estudos e projetos, tendo em vista suas especificidades, que incluem: porte; complexidade; características topográficas, urbanísticas, ambientais, sociais, dentre outras.

Para projetos de Baixa Complexidade, sugere-se aplicar a metodologia representada no fluxograma da Figura 28.

Para projetos de Alta e Média Complexidade que requerem estudos mais apurados como os descritos acima, a metodologia sugerida é apresentada no fluxograma da Figura 29.

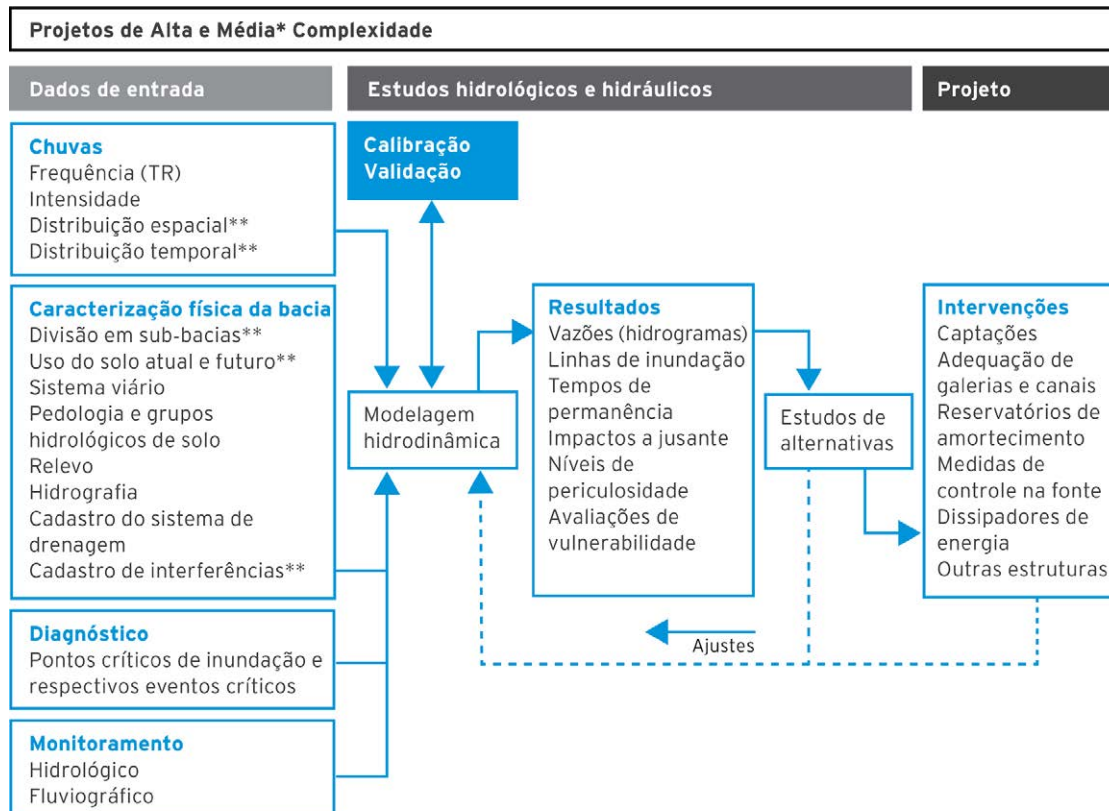
Para projetos de Alta Complexidade em que forem necessários estudos de qualidade da água para que seja atendida a classe de enquadramento do corpo hídrico receptor, sugere-se a metodologia do fluxograma da Figura 30.

Os fluxogramas citados acima são complementados pelo da Figura 31, em que é representado o fluxo de trabalho para os estudos de alternativas em função do atendimento à vazão máxima de pré-desenvolvimento pela Resolução Adasa nº 26/2023 e do nível de complexidade do projeto.



Dados a serem elaborados pelo projetista*

Figura 28 Fluxograma metodológico para projetos de Baixa Complexidade.



*observar as condições específicas descritas neste Manual

**Dados a serem elaborados pelo projetista

Figura 29 Fluxograma metodológico para projetos de Alta e Média Complexidade.

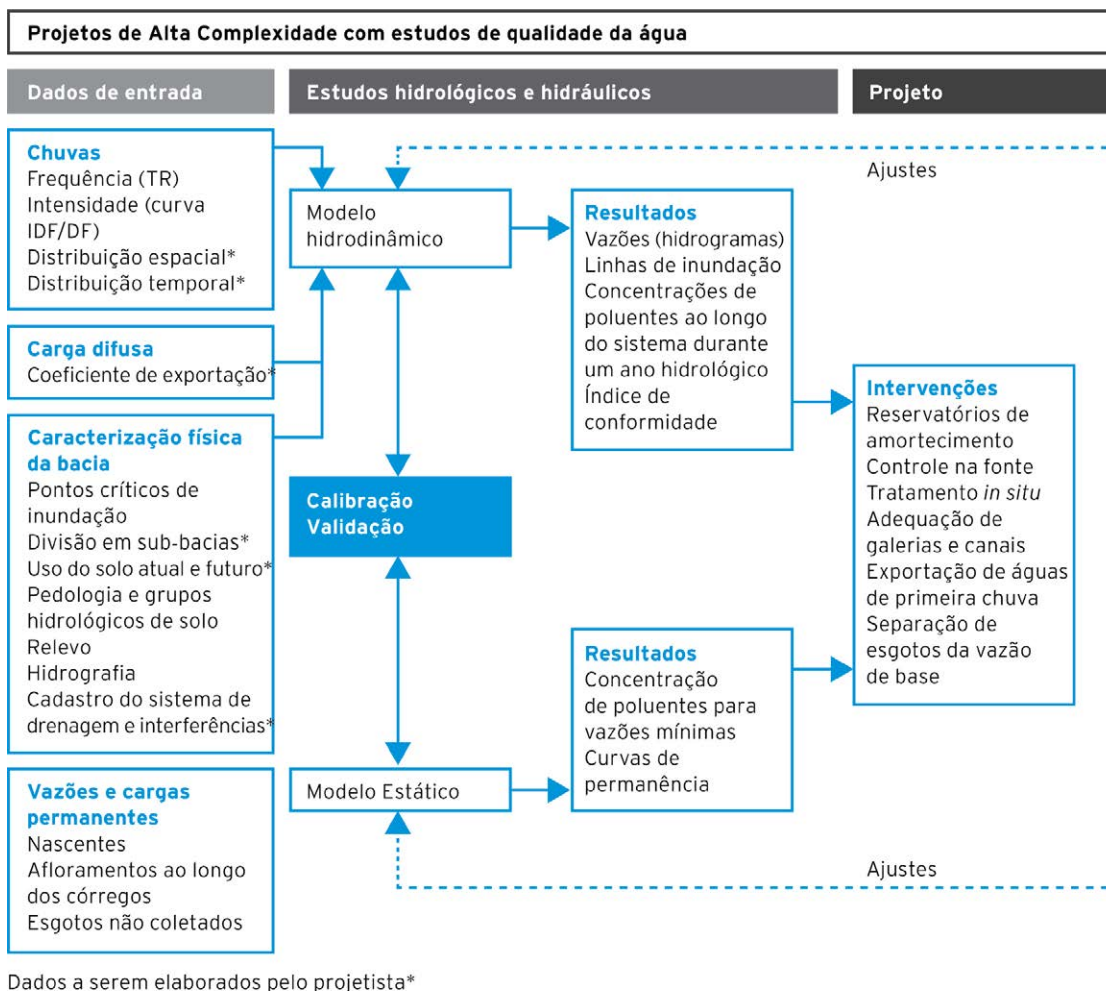


Figura 30 Fluxograma metodológico para projetos de Alta Complexidade.

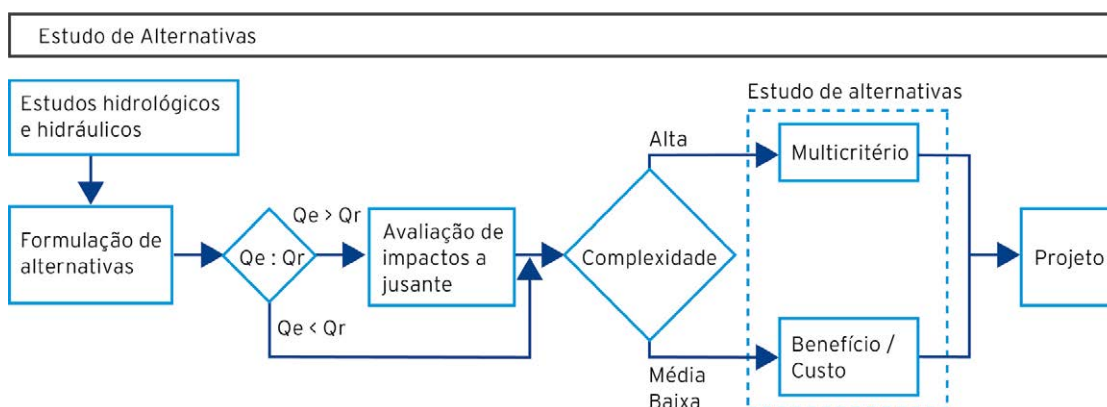


Figura 31 Fluxograma metodológico para estudos de alternativas.

Os fluxogramas metodológicos da Figura 29 e da Figura 30 apresentam como realizar estudos de concepção e projetos de sistemas de drenagem com o uso de modelos computacionais de simulação hidrológica, hidráulica e de qualidade da água.

O fluxo de trabalho desses processos compreende os seguintes passos:

1. Montagem de um banco de dados georreferenciado, sobre base topográfica planialtimétrica, a partir dos dados e informações de entrada, coletados em campo e em fontes secundárias. No caso do DF, deverão ser levadas em consideração todas as fontes possíveis descritas no Capítulo 8 - Base de Dados;
2. Modelagem do sistema de drenagem na situação atual e futura, com calibração e validação dos modelos, obtendo-se, como resultados:
 - Linhas de alagamento / inundação e hidrogramas para eventos críticos conhecidos (utilizados para a calibração e validação);
 - Linhas de alagamento / inundação e hidrogramas para chuvas de diferentes períodos de retorno e diferentes cenários futuros de uso do solo e intervenções;
 - Concentrações de poluentes durante um ano hidrológico típico, com o que é possível analisar as variações dessas concentrações considerando-se, além das cargas pontuais, os efeitos da poluição difusa;
 - Concentrações de poluentes para vazões mínimas e respectivas curvas de permanência que correlacionam concentrações com vazões;
3. A partir desses resultados, são estudadas as intervenções no sistema de drenagem que reduzam as linhas de alagamento / inundação e as concentrações de poluentes, buscando-se as metas preestabelecidas (como reservatórios de amortecimento, medidas de controle na fonte, adequações de galerias e canais, tratamento das águas pluviais etc.);
4. Realizados os devidos ajustes, inserindo-se no modelo as intervenções acima estudadas;
5. Por meio de um processo iterativo, ajustes-modelagem, buscam-se as soluções mais adequadas que atendam aos critérios de benefício-custo, incluindo os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais e as etapas de implantação, operação e manutenção, além de outros que devem ser avaliados através de um processo de análise multicritérios, caso seja solicitado pelo prestador de serviços.

Deve-se ressaltar que a meta, sempre desejável, de se eliminarem, em curto prazo, os alagamentos e as inundações para um determinado período de retorno e nas condições futuras de uso do solo, poderá ser revista em função, por exemplo, dos custos das intervenções. Nesse caso, deve-se propor um escalonamento das intervenções, com sua implantação por etapas, estabelecendo-se, assim, metas progressivas a serem alcançadas paulatinamente. Enquanto não forem implantadas todas as intervenções previstas, deverão ser propostas medidas de convivência com as cheias. As linhas de inundações geradas na modelagem para diferentes cenários servem como base para a formatação dessas medidas.

O mesmo pode ser feito em relação à poluição hídrica para a qual os dispositivos legais vigentes preveem metas progressivas relacionadas a vazões de referência⁶.

⁶ Ver Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama nº 357/2005 e nº 430/2011.

O Distrito Federal é caracterizado, desde sua estruturação no início da década de 60 do século XX, pelo planejamento urbano, entretanto, devido a sua rápida expansão e crescimento acelerado, observou-se, ao longo do tempo, o surgimento de parcelamentos irregulares. Esses parcelamentos não seguiram critérios urbanísticos apropriados e que, atualmente, se caracterizam como parcelamentos subnormais, sendo que as características urbanísticas apresentam especificidades que inviabilizam a implantação de sistemas de drenagem convencionais.

Assim, como já descrito anteriormente, as características urbanísticas, normalmente acompanhadas de condicionantes sociais, proporcionam necessidades de estudos adequados e apropriados para se garantir a universalização da prestação de serviços de drenagem urbana no Distrito Federal.

Para situações convencionais e, principalmente, casos em áreas subnormais ou distintas do usual, pode ser utilizada a modalidade condominial, a qual proporcionará a adoção de soluções técnicas apropriadas, tendo em vista as especificidades urbanísticas e as condições topográficas.

10.1 Integração com a Paisagem

Medidas de controle de drenagem urbana são parte integrante da infraestrutura urbana e interferem na paisagem. A aceitação de obras de drenagem pela população depende não somente da capacidade de reduzir riscos de alagamento ou inundação, mas também da solução urbanística adotada e da forma como se compõe com a área do entorno.

A engenharia de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas moderna busca, cada vez mais, soluções que integrem a funcionalidade hidráulica e sanitária da obra (redução dos riscos de alagamento e inundação e controle da qualidade da água), com a valorização do espaço urbano do entorno das intervenções propostas. Por essa razão, obras de drenagem implantadas a céu aberto devem ser projetadas por equipes multidisciplinares compostas por engenheiros, arquitetos, paisagistas e profissionais capacitados para promover a participação da população no desenvolvimento do projeto, devendo ser utilizadas as equipes de mobilização social, previstas na modalidade condominial.

As fotografias das Figuras 32 a 36 mostram alguns exemplos exitosos, em que o tratamento paisagístico de medidas de controle de drenagem urbana contribuiu para valorizar a região onde foram implantadas.

É importante ressaltar que a participação intensa da população no processo de concepção foi um dos fatores essenciais para o sucesso desses empreendimentos.



Figura 32 Vista aérea do Parco Della Trucca, Bergamo, Itália.



Figura 33 Paisagismo de sistema de controle de cheias e de qualidade da água; Parco Della Trucca, Bergamo, Itália.



Figura 34 Medidas de controle na fonte na Toscana, Itália, e em Denver, EUA.



Figura 35 Medidas de controle em Denver, EUA.



Figura 36 Revitalização do Rio Cheong, Seul, Coreia do Sul.

O planejamento e o projeto de sistemas de drenagem urbana, portanto, além de atenderem suas funções hidráulicas intrínsecas, devem ter como metas:

- a. Valorizar a paisagem e promover a harmonia paisagística;
- b. Contribuir para o aumento de áreas verdes e permeáveis;
- c. Valorizar o ciclo hidrológico da água, como elemento da paisagem urbana;
- d. Proteger a qualidade da água;
- e. Promover usos múltiplos da área ocupada pela obra, em função das demandas da população;
- f. Facilitar acessos para manutenção;
- g. Reduzir os impactos ambientais negativos na área de projeto, bem como nos seus trechos de jusante, dentre outros.

É importante ressaltar que no Distrito Federal é mandatório que as obras de drenagem urbana atendam a legislação que trata do Tombamento do Conjunto Urbanístico de Brasília (declarado Patrimônio Mundial pela Unesco, em 1987), construído a partir do Plano Piloto de Lucio Costa. É delimitado a Leste pela orla Oeste do Lago Paranoá, a Oeste pela Estrada Parque Indústria e Abastecimento (EPIA), a Sul pelo córrego Vicente Pires e ao Norte pelo córrego Bananal (Iphan, 2016), conforme as Figuras 37 e 38.

O projeto de drenagem do Estádio Nacional Mané Garrincha⁷, em Brasília, é um exemplo de aplicação dos conceitos acima (Pita, 2014), conforme ilustra a Figura 39.



Imagem produzida por Benedito Abbud e Fluxus Design Ecológico

Figura 39 Projeto de paisagismo e de drenagem do Estádio Mané Garrincha em Brasília.

Com área de cobertura de 65 mil m² e o entorno do empreendimento com mais de 600 mil m², foram projetados sistemas para retenção, infiltração e melhoria da qualidade da água de escoamento superficial para o Estádio Mané Garrincha. A solução adotada integra elementos tais como valas de infiltração, reservatórios de retenção e outros dispositivos de drenagem ao desenho paisagístico. Foi prevista também a pavimentação com pisos permeáveis, o que preservaria parte da permeabilidade natural do solo. O projeto até o momento não foi implantado, mas teve grande repercussão no meio técnico por suas soluções avançadas que integram paisagismo e engenharia de drenagem.

Algumas iniciativas que vêm sendo aplicadas no DF devem ser destacadas, como as bacias de retenção implantadas no Parque Burle Marx e no Parque da Cidade (Figura 40) e o sistema de drenagem das vias dotadas de canteiro central sob jurisdição do DER/DF (Figura 41).



Foto: IPHAN/GDF

Figura 40 Bacia de retenção no Parque da Cidade.



Foto: Google Street View, 2022

Figura 41 Canteiro central da via DF003/EPIA, com captação de águas pluviais e vala de infiltração gramada no canteiro central.

No primeiro caso, as bacias aproveitam áreas livres dos parques para compor o paisagismo e, ao mesmo tempo, contribuir para o controle das vazões geradas nas áreas impermeabilizadas vizinhas e a melhoria da qualidade da água.

No segundo caso, as captações são feitas através de aberturas nas guias, dirigindo a água coletada para uma vala vegetada construída ao longo do canteiro central, promovendo a infiltração de parte das águas pluviais proveniente das pistas pavimentadas e auxiliando também no amortecimento das vazões e na melhoria da qualidade da água.

Ambos os sistemas funcionam como medidas de controle na fonte, uma vez que mitigam parte do impacto produzido pela impermeabilização do solo. Esses elementos podem ser dimensionados considerando os dispositivos de controle na fonte apresentados no Capítulo 12 - Critérios para Projetos de Medidas de Controle na Fonte, deste Manual, sendo possível utilizar os modelos que melhor se enquadrem às especificidades encontradas nas áreas de projeto, tais como valas de infiltração, trincheiras de infiltração, reservatórios de retenção aberto, dentre outros.

10.2 Condicionantes Urbanos

O planejamento e o projeto de medidas de controle na fonte e de jusante devem considerar os condicionantes urbanos que definirão suas características, como localização, tipo de dispositivo, forma, dimensões, vazões afluentes, entre outras.

Para a definição das unidades a serem utilizadas nos sistemas de drenagem urbana, tem-se a necessidade de disponibilidade de áreas. Destaca-se que essas disponibilidades nem sempre são possíveis, tendo em vista ocupações prévias desordenadas que não seguiram padrões de urbanização planejadas, ocorrendo, principalmente, em áreas subnormais. Também podem ocorrer em áreas de ocupação regulares, quando os projetos de urbanismo e ocupação das áreas são anteriores às resoluções da Adasa, as quais indicam a necessidade de implantação de dispositivos de controle de vazão nos lançamentos de águas pluviais.

Os mais importantes condicionantes urbanos a serem considerados são os relacionados a seguir:

a. Espaços apropriados

Uma das características das águas pluviais é que essas ocupam os espaços que lhes são disponíveis, sejam eles adequados ou não. Nas áreas urbanas, a identificação de espaços para a construção de dispositivos de controle de alagamentos e inundações é uma tarefa que requer um trabalho atento de pesquisa. A escolha dos espaços propícios à implantação de medidas de controle é realizada após o pré-dimensionamento do volume e da área a ser ocupada por essas medidas, considerando cenários futuros de urbanização e de impermeabilização:

- Áreas não edificadas, como praças e parques, próximas aos pontos de concentração de escoamento;
- Áreas onde é possível uma solução compatível com eventuais restrições legais;
- Áreas onde é possível efetuar a composição com a urbanização para o caso de reservatórios abertos, trincheiras, valas, poços e faixas gramadas;

- Onde isso não é possível, adotam-se reservatórios enterrados, com a reconstituição das características originais da superfície após sua construção, ou reservatórios construídos por processos subterrâneos, não destrutivos.

Segundo a nomenclatura adotada neste Manual (Capítulo 7 - Componentes do Sistema de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas), esses reservatórios podem ser lineares ou pontuais:

- Reservatórios lineares: próprios para áreas urbanizadas com pouco espaço livre, pois podem ser construídos sob o sistema viário, acompanhando o traçado de ruas e avenidas. Nos trechos em que o remanejamento de tráfego, durante as obras, possa causar impactos de difícil mitigação, ou nas vias em que a densidade de interferências for muito alta, os reservatórios lineares podem ser construídos por processos subterrâneos e não destrutivos;
- Reservatórios pontuais: são utilizados sob praças, pátios, estacionamentos ou outro tipo de área delimitada.

A Figura 42 mostra o exemplo de um estudo para implantação de poços de infiltração em uma bacia de urbanização densa, altamente impermeabilizada, situada no centro da cidade de São Paulo.

Nessa bacia foram identificados espaços públicos, situados a jusante de áreas impermeabilizadas, que podem ter seu escoamento abatido com a instalação desse tipo de dispositivo, reduzindo assim os riscos de alagamento.



Figura 42 Identificação de áreas propícias para implantação de poços de infiltração em bacia densamente urbanizada.

b. Impermeabilização futura

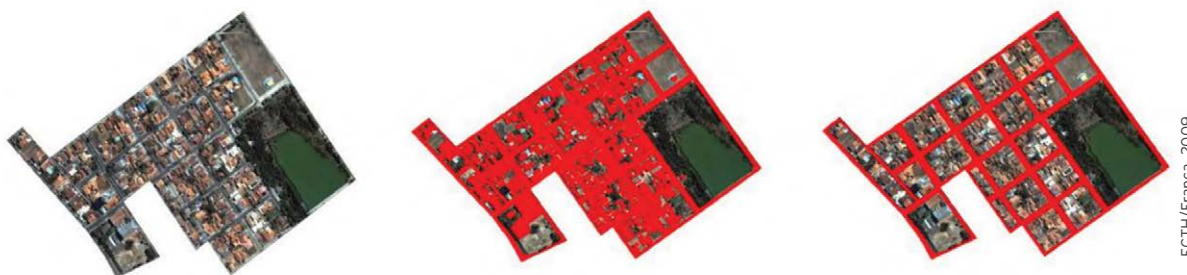
Uma obra de drenagem urbana deve ser dimensionada para atender as vazões pluviais durante toda sua vida útil. É imprescindível, portanto, que seja projetada considerando-se os cenários futuros de impermeabilização. A prática recomendada é que as vazões sejam calculadas considerando a impermeabilização de saturação, isto é, considerando a impermeabilização máxima permitida pela legislação que regula o uso do solo, determinada pelo Código Florestal (Brasil, 2012), pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT (Distrito Federal, 2012a), pela Lei Complementar de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) e demais dispositivos legais pertinentes, como os que tratam do tombamento do Conjunto Urbanístico de Brasília (Iphan, 2016). A vantagem dessa prática é que com ela é possível precificar o impacto das leis de uso do solo sobre a infraestrutura de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Se for constatado que a mitigação desse impacto é economicamente inviável, devem-se considerar, como soluções:

- A redução da impermeabilização máxima por meio da readequação da legislação (Pereira *et al.*, 2013);
- A implantação das obras em etapas vinculadas ao desenvolvimento urbano;
- Dispositivos de controle de vazão na fonte, conforme preconizado nas legislações vigentes, notadamente norma da prestadora Novacap e Resolução Adasa nº 26/2023.

A metodologia geral para a estimativa dos índices futuros de impermeabilização em uma bacia urbana segue os seguintes passos:

- 1.** Estimativa da área impermeável atual, por meio de técnicas de geoprocessamento:
 - Por amostragens de áreas representativas, como ilustrado na Figura 43 (FCTH/Franca, 2009), quando a escala de trabalho exige resolução mais detalhada;
 - Por classificação da área total, como foi feito no PDDU para o diagnóstico do sistema de macrodrenagem do Distrito Federal (Concremat Engenharia/GDF, 2009) e ilustrado na Figura 44, para os estudos em que não é exigida alta resolução.
- 2.** Estimativa da área impermeável de saturação considerada igual à máxima permitida pela legislação de usos do solo em vigor, como ilustrado na Figura 45.
- 3.** Determinação da relação: área impermeável x densidade demográfica ou área impermeável x densidade de domicílios para a data-base do projeto, correlacionando os dados de população (ou domicílios) dos setores censitários com os índices de impermeabilização obtidos no passo anterior, como mostram a Figura 46 e a Figura 47.
- 4.** Determinação da densidade demográfica (ou de domicílios) de saturação considerando-se o índice de urbanização máximo possível, de acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial e legislação pertinente.

5. Projeção da evolução populacional ou de número de domicílios, feita com técnicas de estudos demográficos, como a da curva logística, conforme exemplifica o gráfico da Figura 48.
6. Projeção da evolução da área impermeável no tempo, como mostrado no gráfico da Figura 49.

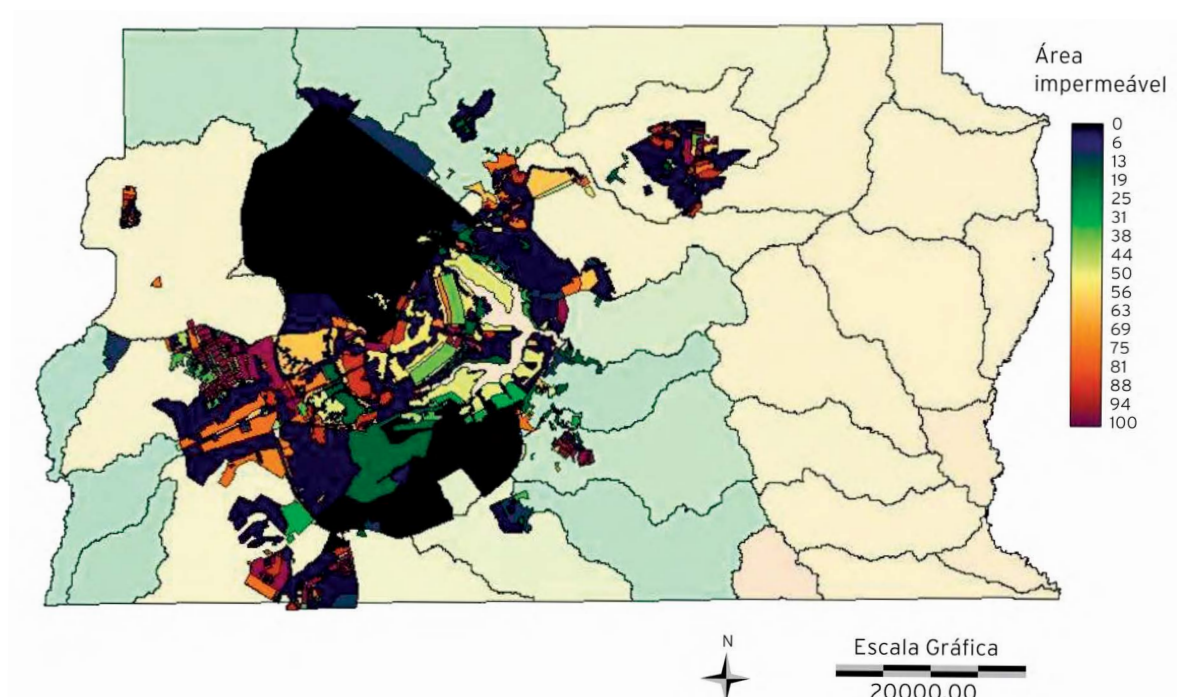


FCTH/Franca, 2009

Figura 43 Mapeamento supervisionado de áreas impermeáveis amostrais. À esquerda, imagem aérea bruta; no centro, área impermeável total; à direita, área impermeável diretamente conectada à rede de drenagem.

c. Aspirações da população em relação aos espaços públicos

O sucesso de uma intervenção urbanística está associado à possibilidade de apropriação da população pela solução adotada. Por isso, todo projeto que implique em impactos relevantes sobre o meio urbano deve prever mecanismos de participação popular. Nos Estados Unidos, por exemplo, de maneira geral, aproximadamente 7% a 10% do valor de um plano ou projeto de infraestrutura urbana é destinado à organização de entrevistas, reuniões, oficinas e divulgação (conforme informação levantada pelo autor junto a uma empresa de consultoria norte-americana).



Concremat Engenharia/GDF, 2009

Figura 44. Classificação das áreas impermeáveis do DF utilizando imagens de satélite.

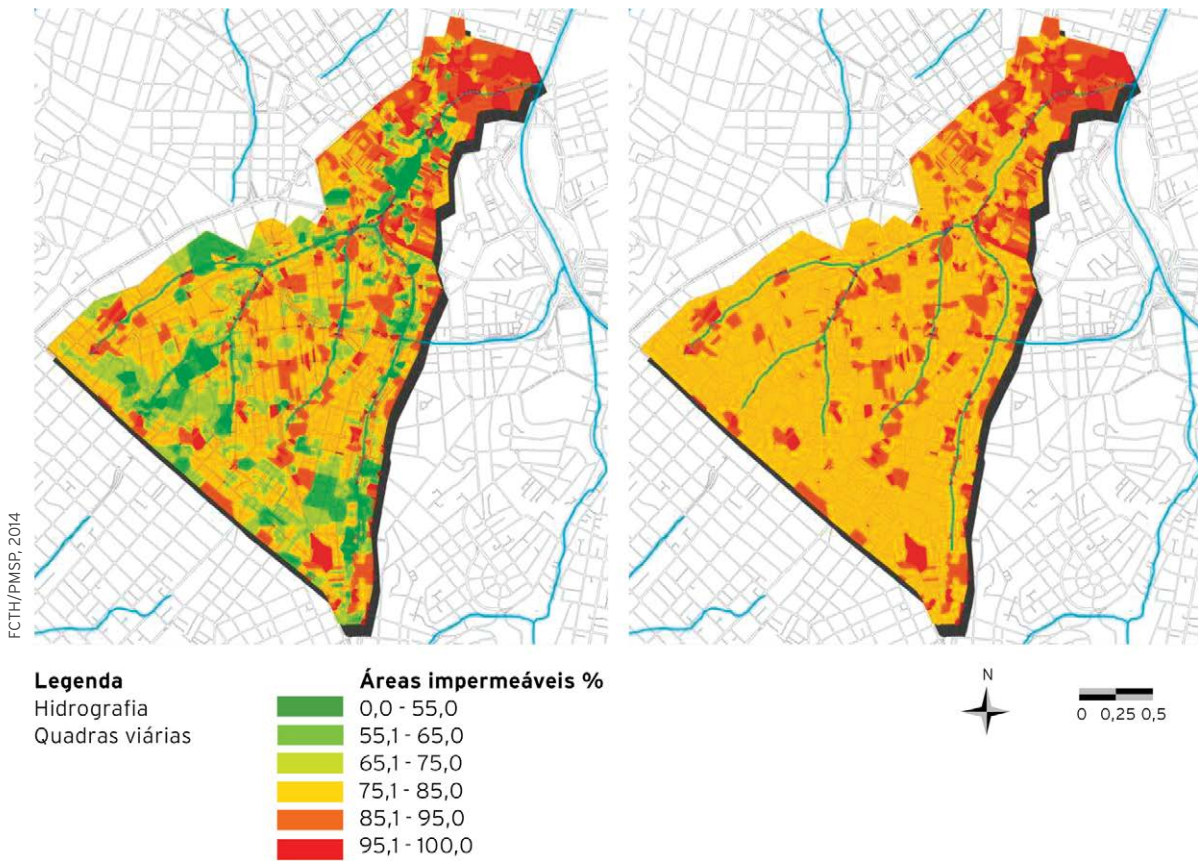


Figura 45 Mapeamento dos níveis de impermeabilização de uma bacia urbana. À esquerda, impermeabilização na época do projeto; à direita, impermeabilização de saturação, considerando a Lei de Zoneamento em vigor.

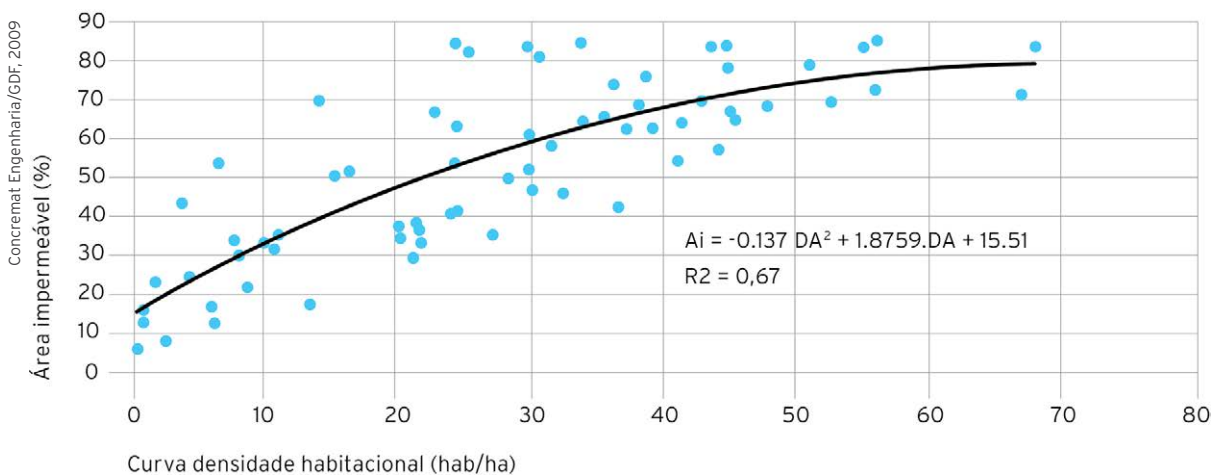


Figura 46 Curva densidade demográfica x área impermeável de Campo Grande-MS, adotada para a elaboração do diagnóstico da macrodrenagem do DF no PDDU.

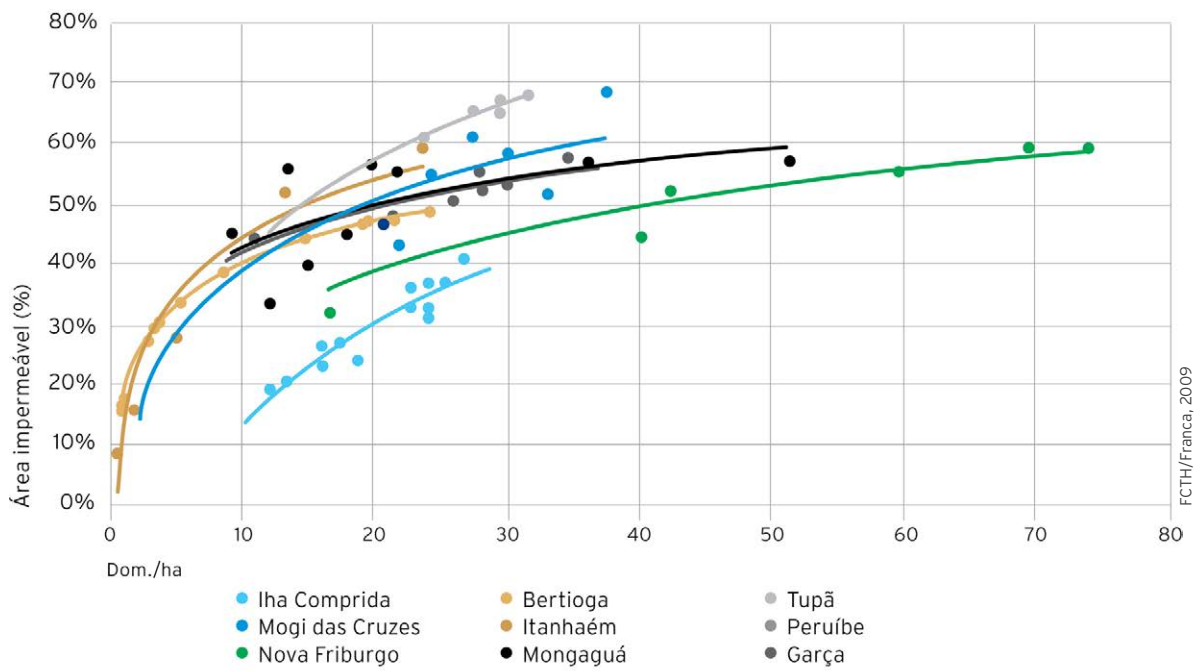


Figura 47 Curvas densidade de domicílios (Dom./ha) x área impermeável.

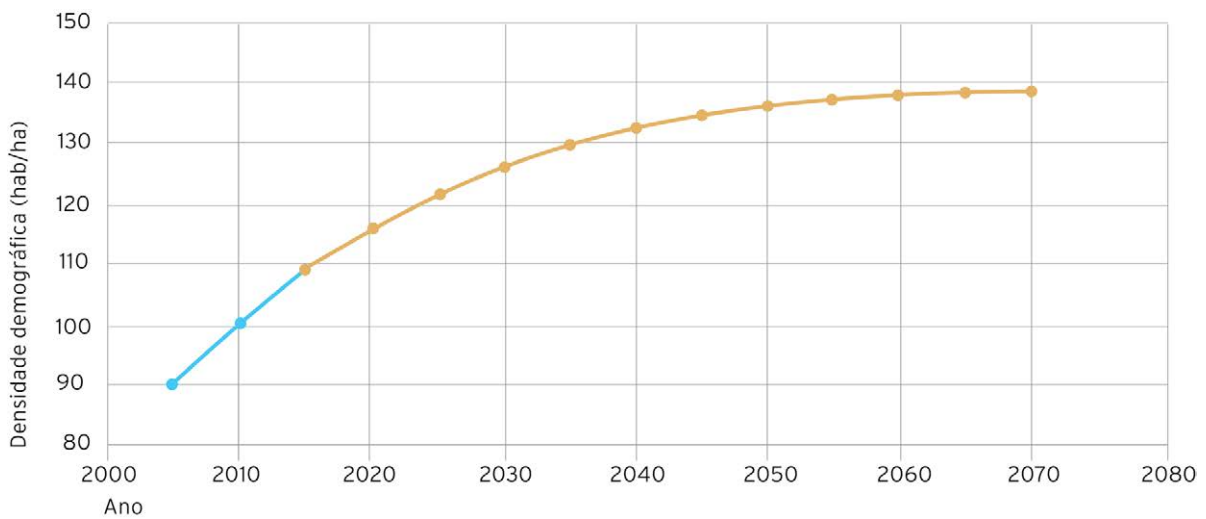


Figura 48 Curva logística com a projeção da densidade demográfica em uma bacia urbana hipotética.

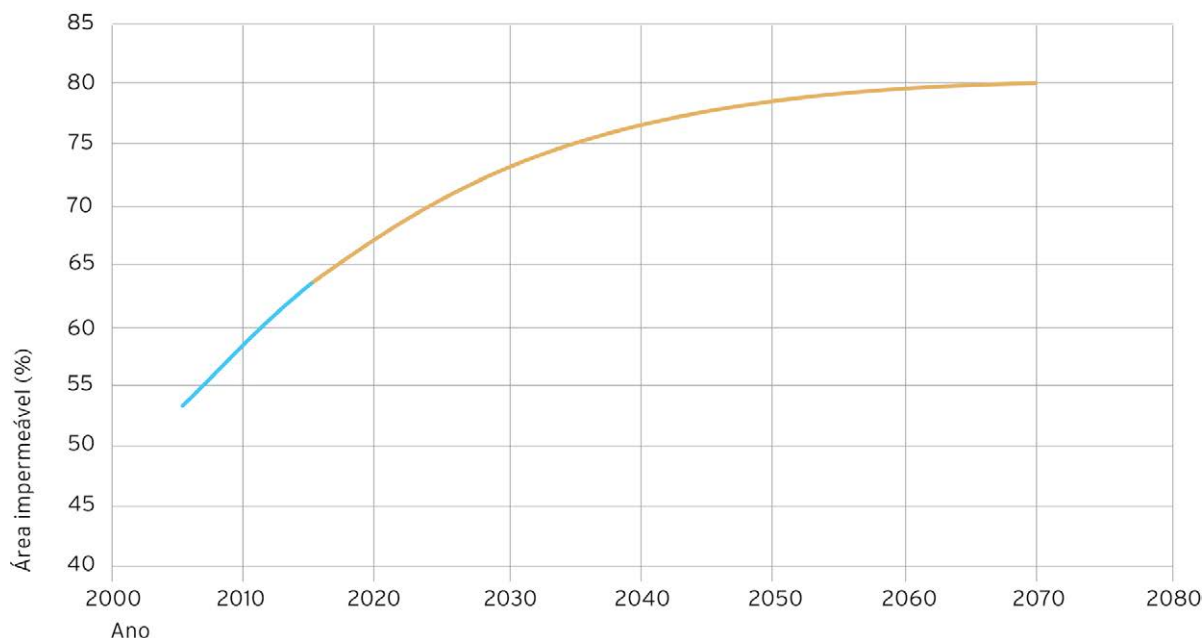


Figura 49 Evolução da área impermeável em uma bacia urbana hipotética.

Por meio desse processo são discutidos os objetivos do empreendimento, as diversas alternativas técnicas, os respectivos riscos envolvidos, impactos positivos e negativos, custos, atividades de manutenção e operação além de outras informações (Baptista, Nascimento; Barraud, 2005). Em conjunto com os urbanistas da equipe de projeto, são definidos os usos dos espaços públicos afetados pelas obras que atendam as aspirações da população. Os dados levantados por meio desse procedimento são, então, incorporados ao projeto. A possibilidade de utilização da modalidade condominial, na elaboração de estudos, projetos e execução de obras de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, com forte componente de mobilização social, permite incluir todos os aspectos necessários para que se tenha uma participação apropriada por parte da população.

Exemplo internacionalmente reconhecido é do projeto de Revitalização do Rio Cheong, em Seul (Figura 36). A fim de desenvolver esse projeto, segundo seu coordenador, In-Heun Lee, foram realizadas mais de mil reuniões com a população (TV Globo, 2009).

10.3 Condicionantes Ambientais

Os condicionantes ambientais são caracterizados pelos impactos que as obras, a operação e a manutenção da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas podem gerar sobre o meio ambiente. A seguir, são apresentados impactos permanentes, temporários, positivos e negativos.

10.3.1 Impactos Permanentes

A. Impactos a jusante das áreas de intervenção, caracterizados pela alteração das vazões e dos volumes de águas pluviais efluentes do sistema implantado:

- **Positivos quando:**
 - Há implantação de medidas de controle que reduzem volumes e vazões, bem como o aporte de partículas sólidas, diminuindo os riscos de alagamentos e inundações, aceleração de processos erosivos e deposições e assoreamentos nos corpos receptores;
 - Os critérios de projeto recomendados neste Manual visam produzir esses tipos de impactos positivos.
- **Negativos quando:**
 - O sistema de drenagem urbana é implantado de maneira a acelerar o escoamento superficial, aumentando os riscos de alagamentos e inundações, surgimento de processos erosivos e deposições e assoreamentos a jusante;
 - O sistema pode prejudicar populações de jusante, onde está localizado o corpo hídrico receptor, que receberá todo o aporte de água, tendo a sua vazão de cheia ampliada e a sua vazão de estiagem reduzida. A qualidade da água do corpo receptor também pode ser alterada substancialmente nos períodos de chuva.

B. Impactos na vizinhança:

- **Positivos, quando:**
 - A urbanização da área ocupada pelas obras, operação e manutenção de drenagem urbana produz melhorias urbanísticas e paisagísticas, criando novos espaços para a população do entorno;
 - As águas acumuladas em reservatórios abertos são de boa qualidade;
 - A manutenção e operação são realizadas corretamente, evitando-se o acúmulo de resíduos sólidos e sedimentos nos dispositivos de drenagem;
 - Diminui o risco de alagamentos e inundações na área, pois proporciona o escoamento adequado das águas pluviais, reduzindo possíveis

doenças de veiculação hídrica e melhorando a saúde e o bem-estar das pessoas;

- Aumenta o valor patrimonial da área, gerando impacto social extremamente positivo.

- **Negativos quando:**

- As condições anteriores não são atendidas e as obras, operação e manutenção criam cicatrizes urbanas, com acúmulo de detritos e água poluída, a exemplo do que ocorre em algumas cidades brasileiras com os chamados “piscinões”;
- Dispositivos de infiltração causam o aumento do escoamento sub-superficial, podendo contribuir para a desestabilização de taludes e fundações próximas, conforme abordado no Item 12.2 - Capacidade de Infiltração do Solo, deste Manual, no qual são especificados os procedimentos para que esse tipo de impacto seja evitado.

C. Impactos sobre a fauna e flora

- **Positivos, quando:**

- As obras, operação e manutenção de drenagem urbana contribuem para a restauração e a preservação do ecossistema natural.

Nos casos específicos de reservatórios de retenção, com lâmina de água permanente, a presença de vegetação controlada favorece a redução da poluição transportada pelas águas pluviais e, ao mesmo tempo, cria um ambiente propício para abrigar a fauna lacustre (peixes, insetos, répteis e pequenos mamíferos). O nitrato e o fosfato presentes na água são consumidos pela vegetação e pelas bactérias que, em conjunto com o processo de sedimentação, ajudam a preservar a qualidade da água.

As dimensões e formas do reservatório de retenção têm influência significativa na melhora das condições ambientais para manter a qualidade do meio aquático e também possibilita o desenvolvimento da vida lacustre. O comprimento de margens é o mais significativo, seguido de baixas declividades dos taludes, radiação solar, irregularidade do fundo, existência de pequenas ilhas e de pontos com profundidades maiores que 3 m (Figura 50). Essa configuração permite uma maior diversidade de espécies no reservatório, favorecendo a multiplicação das cadeias alimentares e o autocontrole das populações (Baptista *et al.*, 2009).

Importante esclarecer que o reservatório de retenção é distinto do reservatório de detenção, onde a água é armazenada somente por um tempo determinado, com objetivo de melhoria de qualidade e amortização do pico de cheias.

- **Negativos, quando:**

- A obra suprime áreas verdes.

D. Impactos sobre a qualidade da água superficial e subterrânea

(sedimentos, carga difusa, lançamentos irregulares de esgotos)

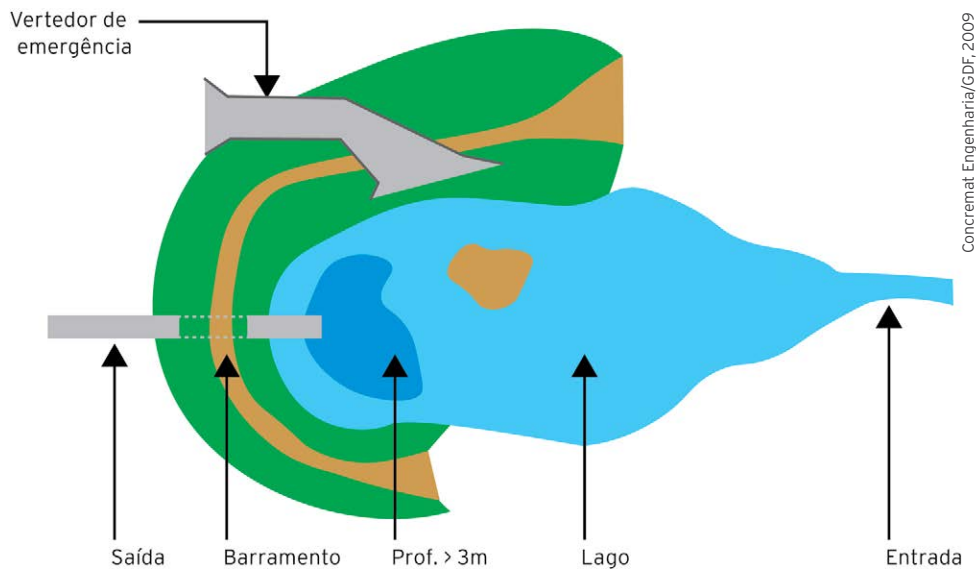


Figura 50 Layout de bacia de retenção propícia à manutenção da vida lacustre.

- **Positivos** - quando a obra contribui para a redução da poluição hídrica por meio de ações atenuadoras:
 - Escoamento por meio de meios filtrantes, como no caso de trincheiras e poços de infiltração;
 - Reservatórios com tempo de detenção estendido que promovem a sedimentação de sólidos;
 - Sistema de separação das águas de primeira chuva e sua condução para tratamento.
- **Negativos** quando:
 - A manutenção para limpeza é dificultada por problemas de acesso;
 - Há possibilidade de infiltração no solo de água contaminada;
 - A carga difusa é descartada para jusante.
 - A contaminação da água subterrânea é especialmente arriscada em áreas de recarga de poços ou de mananciais superficiais de onde é extraída água para consumo humano. No caso de pavimentos permeáveis, é possível haver contaminação por metais nas camadas superficiais, mas a contaminação por hidrocarbonetos pode atingir camadas mais profundas, podendo contaminar o aquífero subterrâneo.

10.3.2 Impactos Temporários

Geralmente consistem em impactos negativos gerados na fase de obras e que cessam com a entrada em operação dos sistemas de drenagem. Os impactos temporários mais comuns são:

- Impactos sobre a mobilidade urbana por desvios de tráfego;
- Poluição do ar devido à movimentação de veículos pesados e redução da fluidez do tráfego;
- Ruído gerado nas obras;
- Poluição da água pela geração de sedimentos em movimentação de terra (que pode ser mitigada pela instalação de sistemas provisórios de contenção de sedimentos);
- Prejuízos ao comércio, por dificuldade de acesso público;
- Eventuais impactos sobre os serviços públicos por remanejamento de redes de distribuição de água, coleta de esgotos, telecomunicação, energia elétrica, gás etc.

10.3.3 Síntese dos Impactos Ambientais Negativos a Serem Mitigados

A Tabela 7 apresenta uma síntese dos impactos ambientais negativos que devem ser considerados no planejamento e no projeto de qualquer intervenção feita no sistema de drenagem. Na medida do possível, deve-se prever a mitigação desses impactos antes do início das obras, incorporando-as ao projeto.

Para o controle dos impactos permanentes deverão ser consideradas as orientações deste Manual e as etapas de operação e manutenção do sistema. O controle dos impactos temporários deve ser estudado com critério na fase do projeto executivo, quando são definidos os métodos construtivos a serem empregados nas obras.

Tabela 7 Síntese dos impactos ambientais negativos a serem considerados no planejamento e no projeto do sistema de drenagem

Categoria	Impacto
Impactos ambientais negativos permanentes	Deterioração da paisagem e meio ambiente no entorno da obra
	Risco de aumento de alagamentos e inundações a jusante, com aceleração de processos erosivos e deposição e assoreamento nos corpos receptores. A redução da vazão de estiagem também deve ser avaliada
	Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à presença de sedimentos, carga difusa, lançamentos irregulares de esgotos
	Risco de subsidências e desestabilização de taludes
	Supressão de áreas verdes
	Desvalorização imobiliária
	Interferências com o ecossistema: fauna e flora
Impactos ambientais temporários (durante as obras)	Restrição da mobilidade urbana
	Contração das atividades produtivas
	Geração de sedimentos e poluição hídrica
	Remanejamento de interferências
	Transtornos gerais à população vizinha
	Aumento da poluição do ar
	Aumento do ruído

Os critérios econômicos são instrumentos tradicionais de suporte à decisão de fundamentação econômica. Geralmente são baseados em dois enfoques distintos: análise custo-efetividade e análise custo-benefício (Baptista *et al.*, 2009).

É importante destacar que as análises de viabilidade de um empreendimento de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas precisam levar em consideração todos os custos envolvidos, incluindo os aspectos técnicos, sociais, econômicos e ambientais e as etapas de planejamento, implantação, operação e manutenção. Assim, os critérios econômicos devem ser abrangentes, a fim de que todos os custos incidentes sejam efetivamente considerados, garantindo a escolha da melhor alternativa.

A análise custo-efetividade consiste em fixar um nível de risco (tempo de retorno), e então, avaliar diversas soluções para o sistema de drenagem urbana. A comparação é feita entre diferentes alternativas, assumindo-se que a mais adequada é a que apresentar o menor custo global (implantação acrescida de operação e manutenção) para o mesmo nível de risco, e incluem as mitigações necessárias para que não haja problemas ambientais e sociais.

A análise custo/benefício requer o conhecimento do custo global da obra, como no parágrafo anterior, e a valoração monetária dos benefícios, como explicado sucintamente a seguir.

A análise dos benefícios resultantes da implantação de um sistema de drenagem urbana constitui-se numa das atividades mais complexas dentro desse tipo de empreendimento, porque grande parte dos benefícios é intangível, de difícil quantificação. Benefícios como os decorrentes da redução nos índices de doenças e mortalidade, melhoria das condições sanitárias e ambientais, melhoria estética da paisagem, embora sejam considerados intangíveis, devem, mesmo assim, ser considerados. De maneira similar, observam-se outros benefícios importantes, como redução de riscos de alagamentos e inundações, bem como de aceleração de processos erosivos e deposição e assoreamento nos corpos receptores, de melhorias na valoração dos imóveis, dentre outros.

Uma das metodologias empregadas na avaliação monetária dos benefícios, alcançados por meio do controle dos alagamentos e das inundações, é fundamentada na chamada disposição a pagar, em que é realizada uma simulação do comportamento do mercado frente aos alagamentos e inundações. Essa simulação consiste na verificação de quanto os indivíduos atingidos direta ou indiretamente estariam dispostos a pagar para prevenir os danos que os alagamentos e/ou inundações provocam. O montante apurado é considerado equivalente ao benefício esperado.

Outra metodologia usual consiste na determinação dos danos evitados, por meio da quantificação direta dos prejuízos causados pelos alagamentos e/ou inundações, para eventos de diferentes magnitudes. A redução dos alagamentos e/ou inundações, com a implantação das obras, produz a redução dos danos, e essa redução é considerada igual aos benefícios gerados pelo empreendimento. Os danos podem ser calculados por meio de pesquisas realizadas nas áreas alagadas e/ou inundadas, com a avaliação dos danos cau-

sados às edificações, equipamentos, produção, pessoas e bens em geral. Devem também ser computados os prejuízos decorrentes da interrupção do sistema viário e outros prejuízos (danos indiretos) que atingem as áreas não diretamente afetadas pelos alagamentos e/ou inundações.

Portanto, ao utilizar a análise custo-benefício, o enfoque dá-se nos potenciais prejuízos causados pelo alagamento ou inundação, definindo para qual risco (tempo de retorno) o custo de implantação, operação e manutenção se iguala ao benefício que a implementação do sistema de drenagem urbana proporcionará. Sendo o benefício, neste caso, relacionado aos riscos de ocorrência, como mostrado nos gráficos da Figura 51.

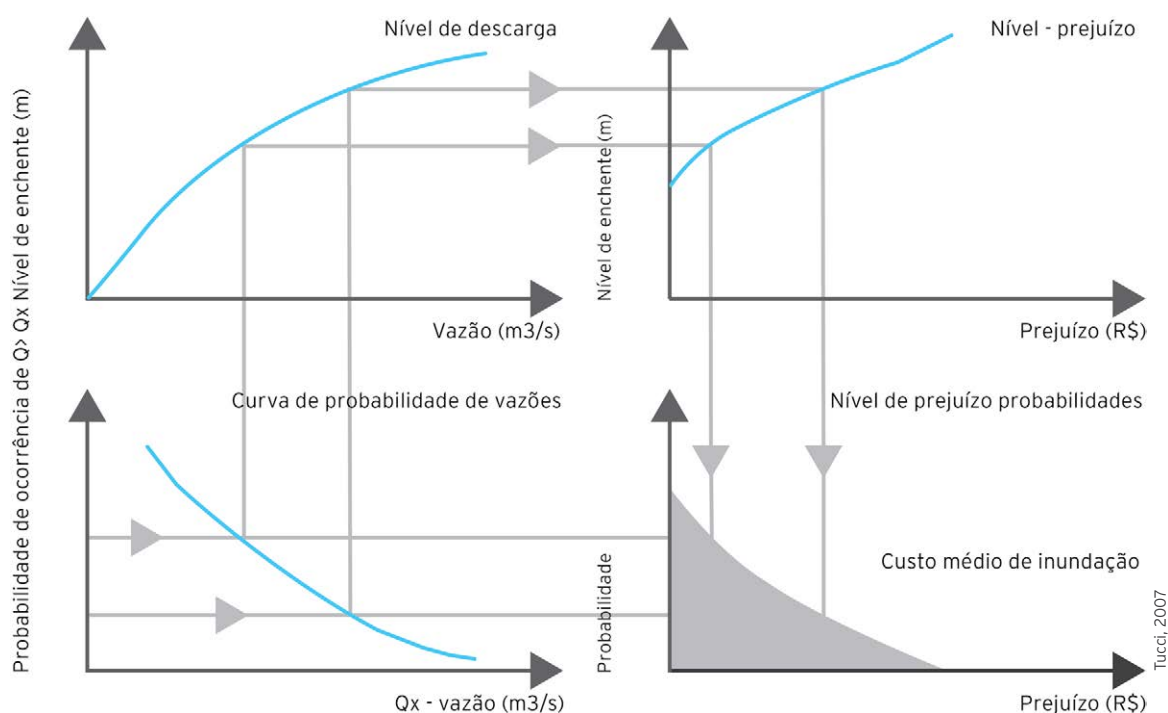


Figura 51 Relação entre probabilidade, nível, vazão e prejuízo.

A curva nível-prejuízo pode ser obtida com base em eventos já observados ou utilizando relações padrão entre o nível d'água em relação às edificações e o percentual de prejuízo causado à estrutura e aos bens nelas existentes (Figura 52).

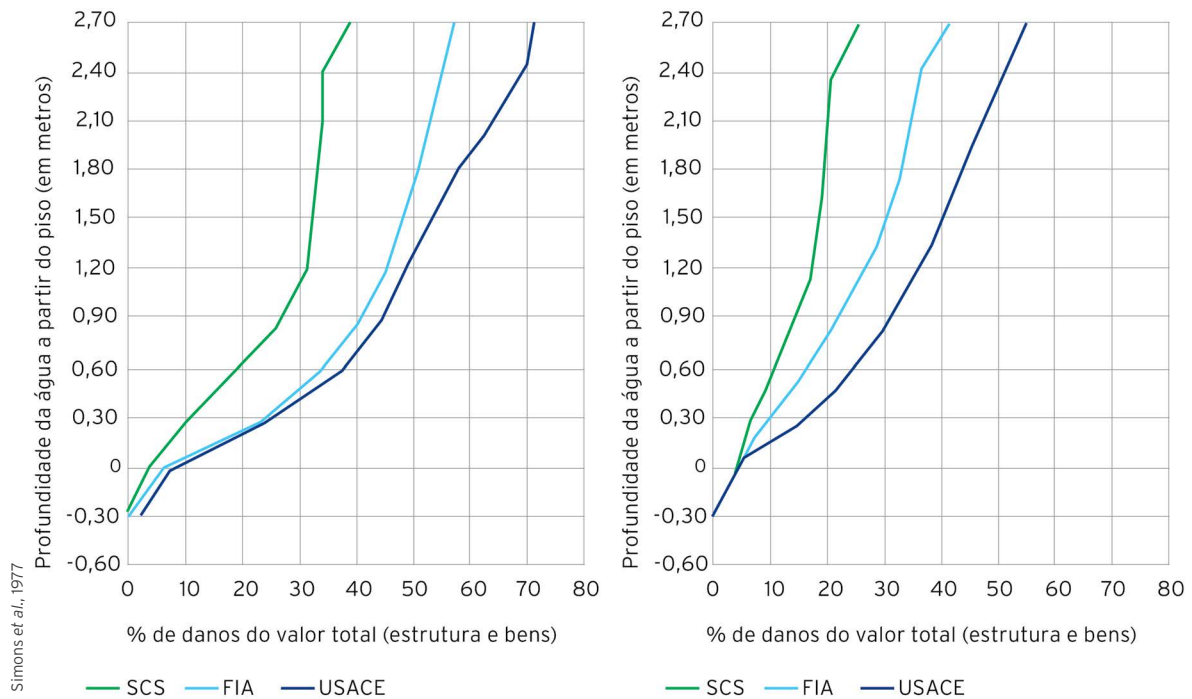


Figura 52 Curvas de prejuízo em função do nível d'água.

Os custos aproximados com implantação podem ser estimados por meio de quantificações unitárias expeditas, baseadas em custos contidos nos cadernos de encargos de obras do DF.

Com o advento da Lei nº 14.026/2020 e o seu decreto de regulamentação nº 10.588/2020, que atualiza a Lei nº 11.445/2007, tem-se a possibilidade de implantar taxas ou tarifas para a prestação dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, conforme descrito no Capítulo 5 - Gestão da Drenagem no Distrito Federal, deste Manual. Assim, recomenda-se que os estudos de viabilidade econômica a serem desenvolvidos levem em consideração o conteúdo da referida Lei e do citado decreto. Entretanto, é de fundamental importância a inclusão de todos os custos que envolvem cada alternativa estudada, a fim de que se tenham os custos integrais das alternativas, visando obter subsídios adequados para a escolha daquela de mínimo custo.

Para a determinação do mínimo custo, deve-se levar em consideração a vida útil do empreendimento, uma vez que os estudos e projetos são sempre realizados para a saturação da área de estudo. Assim, o tempo de avaliação dos custos de operação e manutenção deve ser de, no mínimo, 40 anos. Caso seja definido um outro período para a vida útil do empreendimento, esse período deve ser o utilizado nas avaliações de mínimo custo de implantação, operação e manutenção, incluindo os custos decorrentes dos aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

Critérios para Projetos de Medidas de Controle na Fonte

As medidas de controle na fonte são os dispositivos de manejo de águas pluviais que têm como função abater vazões e volumes de escoamento superficial através da infiltração e/ou armazenamento temporário.

As medidas de controle na fonte são tipicamente implantadas em lotes ou condomínios para compensar a impermeabilização produzida por novas construções. São também implantadas em áreas públicas como edificações (escolas, hospitais, órgãos e empresas etc.), praças, pátios e vias públicas. Por essas características, neste Manual, considera-se que medidas de controle na fonte são sistemas que atendem bacias de contribuição com áreas de 600 m² até, no máximo, 100 ha.

Os dispositivos de controle na fonte mais comuns, contemplados neste capítulo, são os seguintes:

- Pavimento permeável;
- Trincheira de infiltração;
- Vala de infiltração;
- Poço de Infiltração;
- Microrreservatório;
- Telhado reservatório;
- Reservatório de detenção aberto;
- Reservatório de retenção aberto;
- Reservatório subterrâneo pontual;
- Reservatório subterrâneo linear;
- Faixa gramada.

As medidas de controle na fonte⁸ são projetadas para atender ao princípio da *invariância hidráulica*, conforme recomendado no Item 6.4 - Norma para Apresentação de Projeto de Reservatório de Quantidade, deste Manual, partindo do preceito de que novos empreendimentos urbanísticos não devem sobrecarregar o sistema público de drenagem, nem os corpos receptores com o aumento das vazões pluviais.

⁸ Também referidas neste Manual como: “dispositivos de controle”, “medidas compensatórias” ou, simplesmente, MCs.

Isto significa que a vazão adicional gerada pela ocupação de uma área deve ser armazenada e/ou infiltrada para que sejam mantidas condições similares à situação preexistente, antes da ocupação. Todo novo empreendimento, portanto, deve compensar o acréscimo de vazão com a implantação de dispositivos de *controle na fonte (intra lote ou dentro do loteamento)*, e esses dispositivos devem ser parte integrante do próprio empreendimento.

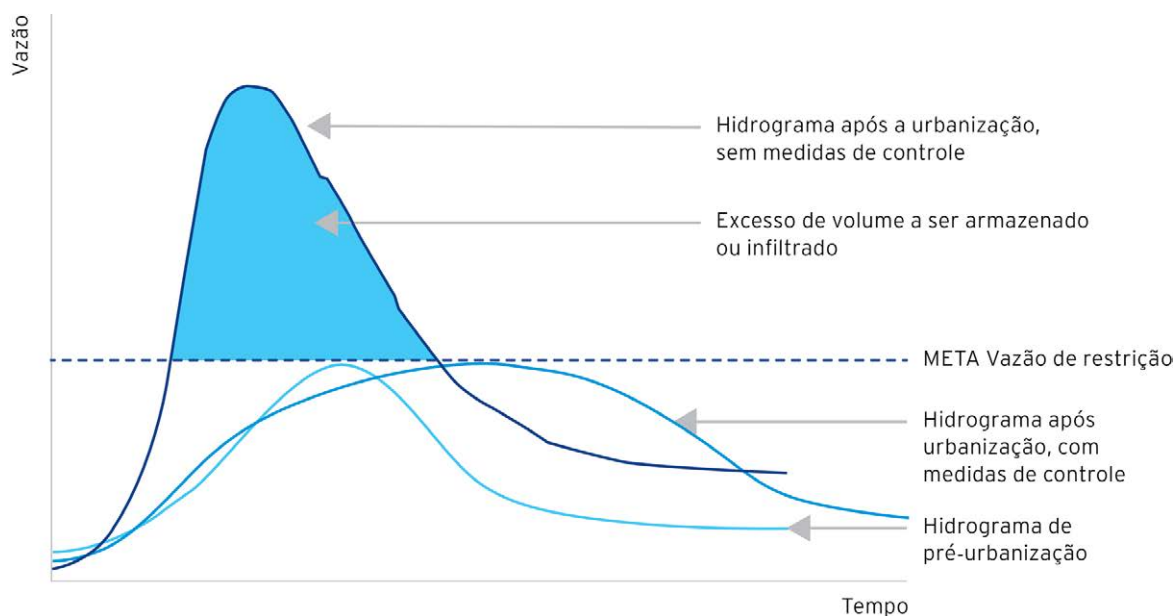


Figura 53 Representação dos hidrogramas de pré e pós-urbanização, com a indicação da vazão de restrição, que é igual à vazão máxima na situação de pré-urbanização.

Na Figura 53:

- Hidrograma de pré-urbanização: é o hidrograma hipotético, gerado pelo escoamento pluvial em uma determinada área nas suas condições "naturais", antes da urbanização;
- Hidrograma após a urbanização, sem medidas de controle: é o hidrograma que seria produzido na mesma área, após sua urbanização;
- META - vazão de restrição: é a vazão máxima admitida após a urbanização, equivalente à vazão máxima do hidrograma de pré-urbanização;
- Excesso de volume a ser armazenado ou infiltrado: é o volume que deverá ser regulado pela medida de controle, por meio de armazenamento temporário e/ou infiltração. Esse volume é um dos dados utilizados para o dimensionamento hidráulico da medida de controle. Corresponde, na Figura 53, à área entre o hidrograma após a urbanização, sem medidas de controle, e a linha horizontal que representa a vazão de restrição;
- Hidrograma após a urbanização, com medidas de controle: é o hidrograma resultante gerado pela área urbanizada com medidas de controle e que representa o efeito do amortecimento de pico de cheias. A área sob esse hidrograma equivale à área que representa o excesso de volume, menos o volume infiltrado. Note-se que quando a medida de controle (MC)

não for projetada para infiltrar todo o excesso gerado na área urbanizada, o volume de águas pluviais a ser lançado no sistema de drenagem será maior que o volume de pré-urbanização, mesmo que a vazão não ultrapasse a meta.

A Figura 54 apresenta o funcionamento de uma medida de controle genérica, projetada para armazenar e infiltrar o excesso de águas pluviais.

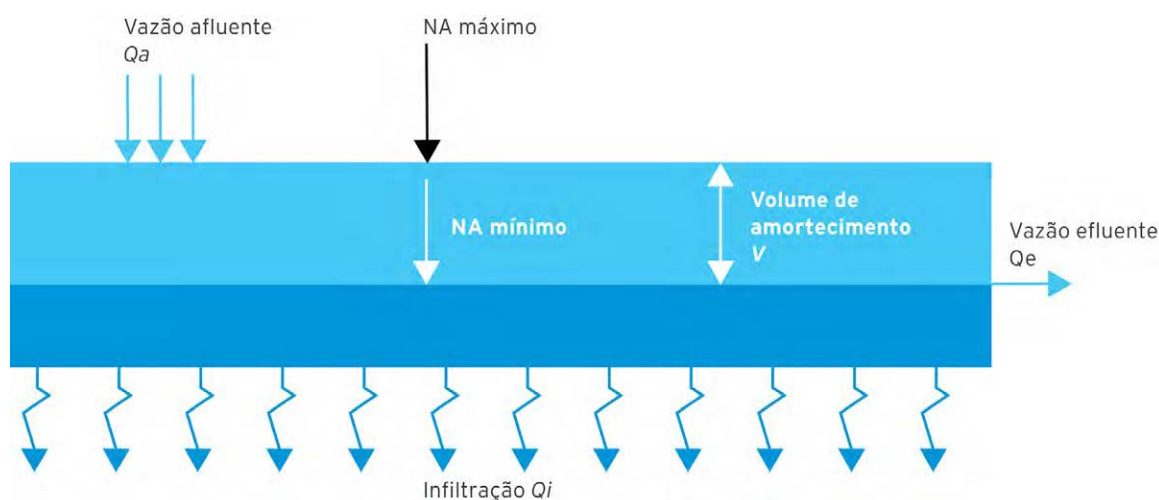


Figura 54 Funcionamento de uma medida de controle genérica.

12.1 Princípios de Dimensionamento Hidráulico

O dimensionamento hidráulico da medida de controle é feito a partir do balanço entre: vazões afluentes, vazões efluentes para o sistema de drenagem a jusante, volume de amortecimento e volume infiltrado. Esse balanço pode ser expresso pela equação da continuidade da seguinte forma:

$$Q_e = Q_a - Q_i - \frac{dV}{dt}$$

Onde:

Q_e = Vazão efluente controlada, que sai do dispositivo de controle e é lançada no sistema de drenagem urbana externo à área urbanizada. Q_e pode ser igual a zero se o volume infiltrado for equivalente ao volume afluente;

Q_a = Vazão afluente ao dispositivo de controle que depende da intensidade da chuva e das características da área de contribuição;

Q_i = Vazão que infiltra, relacionada à capacidade de infiltração do solo local;

V = Volume a ser armazenado no dispositivo de controle que, para atender a vazão de restrição, será tanto maior quanto menor for o volume infiltrado. No caso de MCs preenchidas com material granular (como pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, por exemplo), o volume V corresponde ao volume de vazios do material de preenchimento;

t = tempo.

O cálculo do volume de armazenamento V é feito pela integração da equação geral acima.

$$V = \int_0^V dV = \int_0^t Q_a dt - \int_0^t Q_e dt$$

A rigor, a vazão afluyente Q_a varia, com o tempo, em função das características da bacia de contribuição e da chuva; a vazão Q_e é função do nível de água no interior da MC, o qual também varia com o tempo em função de Q_a . O cálculo, portanto, é iterativo.

De acordo com a conceituação apresentada no início deste capítulo, as medidas de controle na fonte típicas atendem áreas de contribuição de até 100 ha. Portanto, para o cálculo das vazões afluentes, é adotado o Método Racional.

Parte do volume retido em MCs pode também ser destinado ao reúso não potável. Nesse caso, é preciso prever:

1. Um reservatório adicional para a água a ser reutilizada, pois o reservatório destinado ao amortecimento da vazão deve ser esvaziado o mais rapidamente possível, para que esteja pronto para receber a próxima chuva;
2. Dispositivo de separação das águas de primeira chuva, as quais contêm a maior parcela de poluentes oriundos da lavagem da superfície drenada. O volume a ser descartado corresponde aos primeiros 5 a 10 mm de chuva precipitados na parcela impermeável da área de contribuição (Artina, 1997);
3. Peneira para remoção de material sólido;
4. Caso haja risco de contaminação, controle da qualidade da água por meio de monitoramento sistemático.

Na literatura especializada são propostos diversos métodos de cálculo para o dimensionamento das medidas de controle na fonte. Também estão disponíveis para o meio técnico variados modelos computacionais de uso livre, como o SWMM da EPA, como também os comercializados por empresas de softwares, capazes de simular com precisão o funcionamento de dispositivos de detenção, retenção e infiltração.

Dentre o material bibliográfico disponível em português, recomenda-se a metodologia apresentada nos Capítulos 6 e 7 do livro *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana* (Baptista; Nascimento; Barraud, 2005), que abrange o cálculo das medidas de controle recomendadas neste Manual, com exceção das redes de reservatórios lineares para os quais é recomendável a utilização de modelos computacionais, conforme explicado no Item 12.15 - Reservatório Subterrâneo Linear, deste Manual.

Nos itens que se seguem são apresentados os métodos usuais de dimensionamento hidráulico para as MCs abordadas neste Manual.

12.2 Capacidade de Infiltração do Solo

Medidas de Controle na Fonte que favorecem a infiltração das águas pluviais no solo podem promover benefícios ambientais significativos. Contribuem para reduzir o volume (não somente a vazão) do escoamento superficial, auxiliam no aumento da recarga dos aquíferos subterrâneos e restituem, ao menos parcialmente, a fase subsuperficial do ciclo hidrológico natural, como apresenta a Figura 55.

Para que projetos de medidas de controle por infiltração tenham sucesso, é importante que se conheça, *a priori*, a capacidade de infiltração do solo no local onde a água penetrará, traduzida na engenharia pelo parâmetro denominado, neste Manual, *coeficiente de condutividade hidráulica*, ou de *permeabilidade* (k), sempre determinado nas condições de saturação do solo.

Tratando-se de um meio físico heterogêneo, o parâmetro k pode variar bastante de local para local, como também com a profundidade. Para que exista funcionamento adequado das MCs, é de fundamental importância que seja respeitada a capacidade limite de infiltração do solo local, a fim de se evitarem problemas de *piping* ou erosão interna.

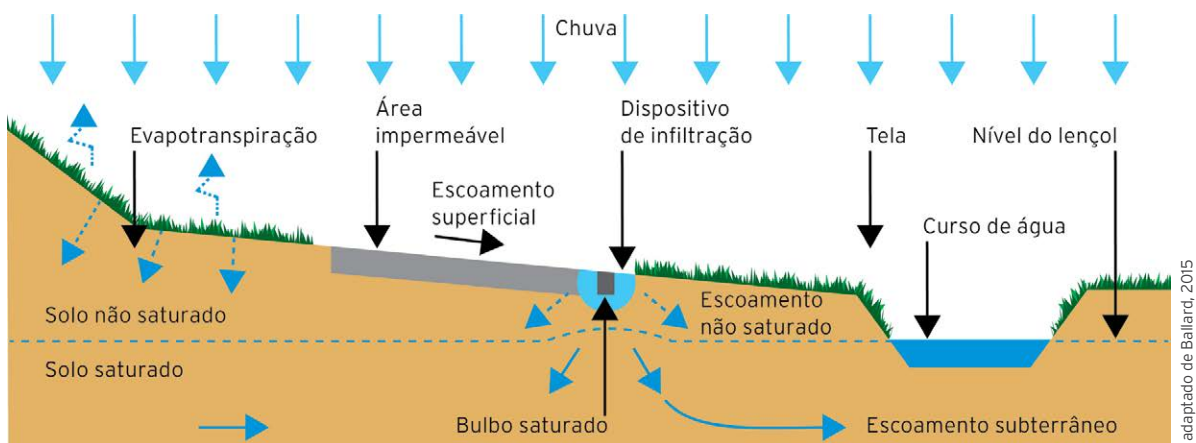


Figura 55 Funcionamento de um sistema de infiltração típico.

Para a instalação de medidas de controle por infiltração, o Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF (Concremat Engenharia/GDF, 2009) recomenda uma condutividade hidráulica saturada mínima no solo de 7,6 mm/h, o que equivale a um coeficiente $k = 2,11 \times 10^{-6}$ m/s.

Pesquisas recentes mostram que a condutividade mínima recomendada no Plano Diretor é encontrada para Latossolos enquadrados nos grupos hidrológicos A ou B pelo método SCS (*Soil Conservation Service*) do USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América). Há ainda um outro fator a ser considerado, que é o risco de colapsividade de solo presente em várias regiões do DF.

Trabalho conduzido pelo Eng. Jeferson da Costa e outros, na região de Ceilândia (Terracap, Progea, 2009), concluiu que a condutividade hidráulica superficial dos latossolos estudados (até dois metros de profundidade) varia entre $2,61 \times 10^{-7}$ m/s e $3,93 \times 10^{-5}$ m/s. O mesmo trabalho alerta para os riscos de colapsividade e para o potencial de recalque. Pela relevância da questão, reproduz-se, na sequência, um trecho do referido trabalho:

Esses valores de permeabilidade, associados à grande capacidade de infiltração da água do escoamento superficial, graças ao elevado volume de poros no solo (em geral, mais de 60%), podem provocar a concentração de água em grandes volumes nos primeiros metros superficiais.

Assim, o risco de colapsividade desses solos pode ser grande, uma vez que, atingida a saturação total, é ruída a estrutura microagregada, e os latossolos podem sofrer colapso, como já aconteceu em Ceilândia. Em áreas urbanas, a associação desse conjunto de fatores pode causar grandes danos, pois além de colapso, a concentração de água pode gerar sulcos na superfície do solo, evoluindo rapidamente para ravinas que, ao atingirem o lençol freático, formam voçorocas, caracterizando um processo erosivo de difícil controle.

Outro problema geotécnico associado à permeabilidade e o consequente colapso estrutural dos solos é o potencial recalque do terreno de fundações rasas, tendo como consequências mais comuns a danificação de edificações e de obras de infraestrutura (sistema viário, tubulações de rede de água e esgotos etc.).

(...)

Cabe ainda mencionar que é comum, nesses solos porosos e permeáveis, quando saturados e neles estabelecido um gradiente hidráulico elevado, o desenvolvimento concomitante de transporte da fração mais fina do solo, formando *piping* (cavidade em forma de tubos), que potencializa o recalque da superfície.

Para evitar essas consequências danosas resultantes da permeabilidade do solo, principalmente em áreas próximas à linha de ruptura do relevo, não deve ser permitida a retenção de água da precipitação pluviométrica em caixas de infiltração instaladas junto às áreas impermeabilizadas nem a execução de fossas ou bacias de detenção para dissipação da energia pluvial. Caso necessário, recomenda-se a construção dessas bacias abaixo da linha de ruptura do relevo.

Outro trabalho a destacar é o realizado para a Adasa pelos professores José Elói Guimarães Campos e Tatiana Diniz Gonçalves (Campos, 2015), que analisa o potencial de recarga dos aquíferos a partir das características pedológicas dos solos do Distrito Federal. Por sua importância para o planejamento de medidas de controle na fonte por infiltração, transcrevem-se aqui também trechos do referido trabalho:

Os solos, além de filtrarem as águas e regularem a disponibilidade hídrica em subsuperfície, são reservatórios de água. Os espaços vazios (poros ou interstícios) entre os grãos de solos, quando saturados de água, constituem os denominados sistemas aquíferos intergranulares, cujos atributos físicos, como composição, porosidade, textura e estrutura, são controladores da taxa de infiltração de água nos solos.

O tipo de solo, associado à declividade do terreno, uso da terra e cobertura vegetal, variabilidade espacial e temporal de chuva, constituem os

principais fatores reguladores da recarga natural dos reservatórios subterrâneos (aquíferos intergranulares e fraturados).

(...)

As principais classes de solos mapeadas (no DF) são os Latossolos, que ocupam cerca de 50% da área, e os Cambissolos, que recobrem aproximadamente 30%.

Latossolos podem ser diferenciados em Latossolos Vermelhos (38% da área) e Latossolos Vermelho-Amarelos (15%). Esses solos são formados a partir de rochas metamórficas ricas em quartzo e sílica e ocorrem, frequentemente, em terrenos de relevo plano a suave ondulado, regiões de chapada, (...)

Os Latossolos são comumente solos profundos, de até 20 metros de espessura e possuem capacidade moderada de infiltração de água. Em superfície, a taxa de infiltração (condutividade hidráulica) dos Latossolos varia na ordem de grandeza de 10^{-4} m/s a 10^{-7} m/s e, em profundidades de 50 cm a 200 cm, são comuns valores na ordem de 10^{-6} m/s a 10^{-7} m/s. (...)

Os Cambissolos (...) variam desde rasos a profundos, atingindo entre 0,2 e 1 metro e estão associados a relevo ondulado a forte ondulado, como vales e encostas de morros.

Esses solos possuem alta porosidade próximo à superfície e baixa taxa de infiltração em profundidade. Em superfície, a taxa de infiltração na ordem de grandeza de 10^{-4} m/s a 10^{-8} m/s e, em profundidades menores que 100 cm, são comuns valores de condutividade hidráulica na ordem de 10^{-4} m/s⁹.

Os cambissolos não constituem bons aquíferos intergranulares, nem representam áreas de recarga significativas (...)

Os neossolos (...) podem ser litólicos, quartzarênicos ou flúvicos, que ocorrem em áreas inferiores a 1% da poligonal total. Os neossolos quartzarênicos são solos rasos a profundos, com espessura variável de 0,5 mais de 2 metros. Estão associados a relevo plano ou suave-ondulado, possuem grande permeabilidade e alta taxa de infiltração. Como são solos formados a partir da alteração de rochas quartzíticas e areníticas, caracterizam-se por camadas de areias inconsolidadas e, portanto, são muito suscetíveis à erosão.

Os neossolos flúvicos são formados por sedimentos fluviais recentes, em regiões de relevo plano, situadas nas planícies de inundação dos maiores cursos d'água, ou nas calhas de drenagens em terrenos movimentados (...) ocorrem sempre em áreas escarpadas e são extremamente rasos, em geral com espessura total inferior a 0,5 metro e ocorrem em associação com afloramentos rochosos.

⁹ Provável erro de digitação na fonte (Campos, 2015), pois a condutividade hidráulica em Cambissolo, em profundidade, é de 10^{-8} m/s.

Os argissolos ocupam cerca de 2% da área do DF e compreendem as classes de Argissolo Vermelho (2,09%) e Vermelho-Amarelo (0,80%). São solos bastante heterogêneos e estão presentes tanto na porção inferior das encostas, onde o relevo é ondulado ou fortemente ondulado, como em terrenos aplainados. Possui capacidade de infiltração de água e profundidade variáveis. Frequentemente, a taxa de infiltração desses solos encontra-se na ordem de 10^{-6} m/s podendo chegar a 10^{-7} m/s, em profundidades maiores que 50 cm. Possuem espessura média de 10 metros e comportamento hídrico similar aos Latossolos. Constituem bons aquíferos intergranulares e ocupam significativas áreas de recarga.

Os nitossolos estão presentes em pouco mais de 1% da área e são derivados de rochas calcárias. Ocupam regiões de encostas onduladas, são profundos e bem desenvolvidos.

Os chernossolos estão associados a relevos movimentados e a rochas calcárias. São solos bem espessos, superior a 40 cm, mal drenados e representam apenas 0,08% da área do DF.

Os plintossolos, presentes em 0,40% da área do DF, possuem uma série de restrições quanto ao fluxo interno de água e, portanto, são mal drenados. São solos que apresentam grande variabilidade em suas propriedades químicas devido aos periódicos ciclos de umedecimento e secagem a que são submetidos. Típicos de regiões quentes e úmidas com estação seca definida, ocorrem normalmente em terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado, onde há importante movimentação lateral de água.

Os solos hidromórficos são constituídos pelas classes de Gleissolos Hápllicos, Gleissolos Melânicos e Espodossolos. Estão presentes em cerca de 4% da área do DF nas regiões de depressão, sujeitas a inundações. São solos restritos quanto ao fluxo de água, porém constituem sistemas conservadores de água, localizados próximos a nascentes e cursos d'água.

O relatório citado é essencial para o conhecimento prévio do potencial de infiltração dos solos do DF, sendo recomendável sua consulta para o planejamento de medidas de controle na fonte, como também para a determinação dos coeficientes de deflúvio superficial em estudos hidrológicos.

Destaca-se que, segundo esse relatório, latossolos e cambissolos estão presentes em 80% da área do DF e possuem as seguintes taxas típicas de infiltração:

- Latossolos (50% da área do DF)
 - Taxa de infiltração típica em superfície: 10^{-4} a 10^{-7} m/s
 - Taxa de infiltração típica em profundidade de 0,5 a 2,0 m: 10^{-6} a 10^{-7} m/s

- Cambissolos (30% da área do DF)
 - Taxa de infiltração típica em superfície: 10^{-4} a 10^{-8} m/s
 - Taxa de infiltração típica em profundidade maior que 1,0 m: 10^{-8} m/s

O mapeamento dos solos descritos no trecho anterior está disponível no Mapa Pedológico Digital do DF (Embrapa, 2004), o qual é reproduzido (em baixa resolução) na Figura 56.

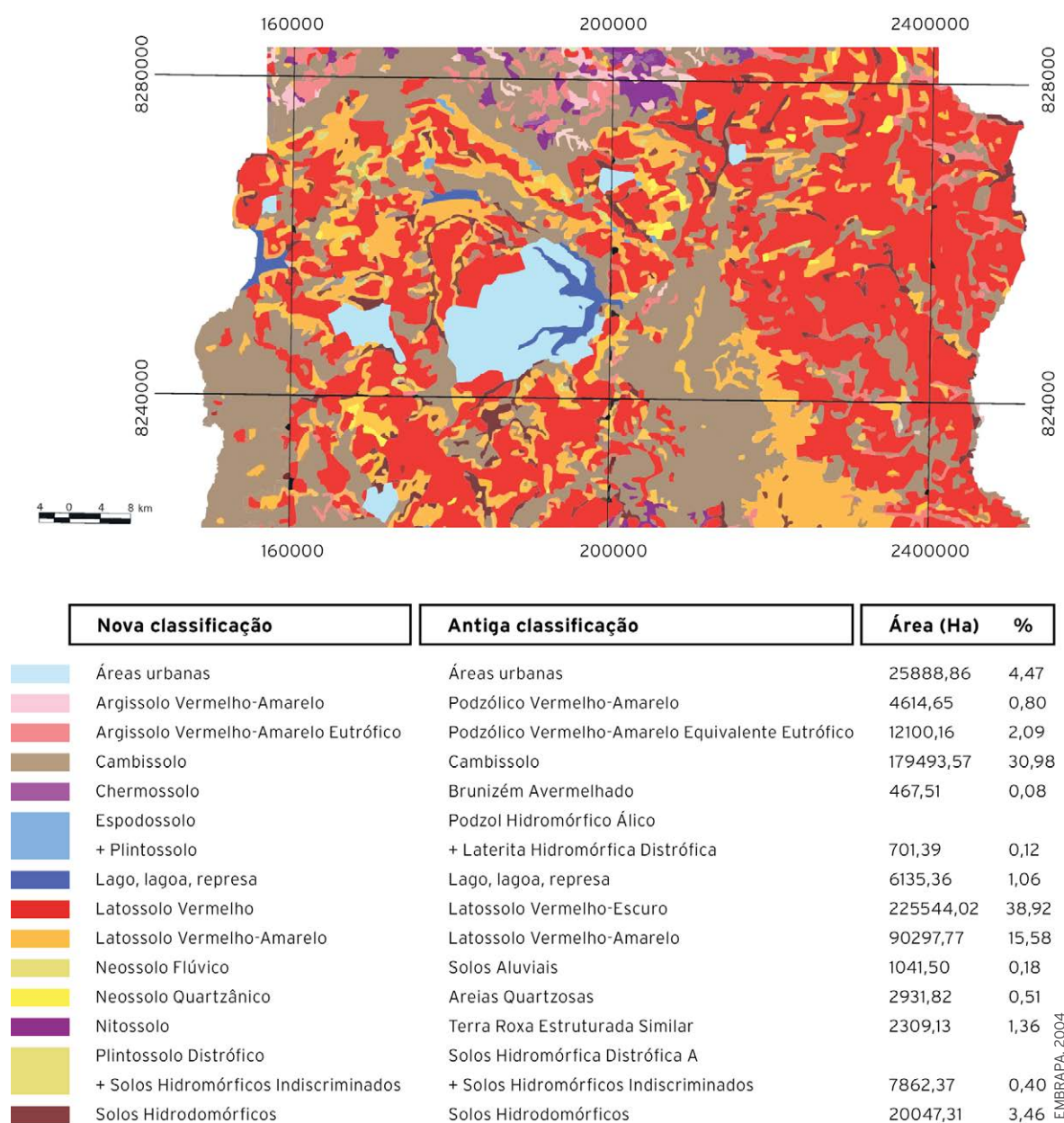


Figura 56 Mapa de solos do Distrito Federal com indicação das classes de solos atualizadas ao Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.

Destacam-se também outras pesquisas conduzidas em Ceilândia (Terracap, Progea, 2009); no Condomínio Quintas da Alvorada, próximo ao Lago Paranoá (Reforsolo, 2012); no campus da Universidade de Brasília (Silva, 2012; Alencar, 2013) e no Projeto do Estádio Nacional Mané Garrincha (Novacap, Reforsolo, 2015), onde os coeficientes de condutividade hidráulica saturadas dos solos são superiores e inferiores ao valor mínimo recomendado ($< 2,1 \times 10^{-6}$ m/s). A Tabela 8 apresenta o resumo dos resultados dessas pesquisas, e a Figura 57 a localização aproximada dos ensaios.

Tabela 8 Condutividades Hidráulicas Saturadas (k) obtidas em ensaios de infiltração no DF

Local	Fonte	Método	k (m/s)
Ceilândia	(Terracap, Progea, 2009)	Anéis concêntricos e <i>Open and role</i>	$2,61 \times 10^{-7}$ a $3,93 \times 10^{-5}$
Quintas da Alvorada	(Reforsolo, 2012)	NBR 13969	Média de $6,42 \times 10^{-6}$
Campus da UnB	(Silva, 2012)	Anéis concêntricos e ABGE Boletim 04/1996	2×10^{-6} a 1×10^{-5}
Campus da UnB	(Alencar, 2013)	ABNT 13969	$1,22 \times 10^{-5}$ a $1,34 \times 10^{-5}$
Complexo Ayrton Senna	(Novacap, Reforsolo, 2015)	ABGE Boletim 04/1996	Média de $9,82 \times 10^{-4}$

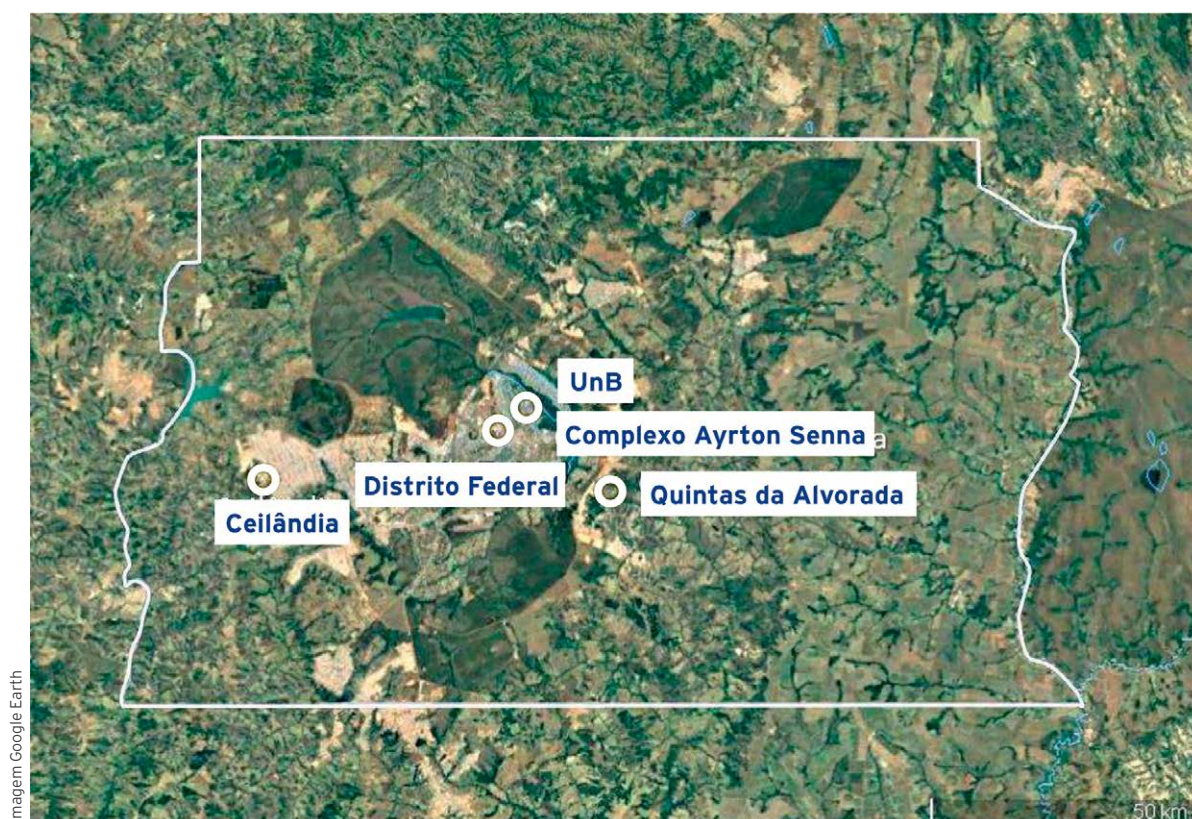


Figura 57 Localização aproximada dos ensaios de infiltração indicados na Tabela 8.

Os trabalhos referenciados anteriormente demonstraram que as taxas de infiltração podem variar consideravelmente de local para local e, ainda, que existem áreas frágeis onde a saturação do solo pode instabilizá-lo, provocando erosões remontantes, recalques e deslizamentos. Por isso, ao planejar e projetar dispositivos de infiltração, é importante seguir as seguintes recomendações:

- a. Obrigatoriedade de realização de ensaios de infiltração em condições de saturação do solo;

- b. Utilização da norma ABNT NBR 13969 de setembro de 1997 - Tanques Sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação) para a realização dos ensaios de infiltração¹⁰;
- c. Obrigatoriedade de estudos de colapsividade e de potencialidade de recalques nos locais onde há ocorrência de solos porosos, tipo latossolos, com risco de *piping* ou erosão interna e subsidências;
- d. Necessidade de teste de cisalhamento para a avaliação de risco de rompimento de taludes das MC's com inclinações acima de 1/3;
- e. Para o projeto de medidas de controle por infiltração, adotar coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade igual à metade do coeficiente obtido nos ensaios de infiltração (Leeflang, 1995 *apud* Baptista; Nascimento; Barraud, 2005);
- f. Adotar área de infiltração da MC igual à área do fundo mais a metade das áreas laterais em contato com o solo (Azzout, 1994 *apud* Baptista; Nascimento; Barraud, 2005);
- g. Os dispositivos devem acompanhar as curvas de nível do terreno, a fim de evitar declividade longitudinal do respectivo fundo;
- h. Na hipótese de ausência de ensaios do solo em campo, devem ser utilizados valores conservadores para a condutividade hidráulica saturada;
- i. Aferir, e se necessário ajustar, os critérios acima por meio do monitoramento sistemático das obras em escala real.

12.3 Classificação das Medidas de Controle na Fonte

As medidas de controle na fonte podem ser classificadas em dois grupos, de acordo com o processo de abatimento de vazão:

- Por infiltração ou recarga;
- Por armazenamento temporário.

Algumas MCs podem ser enquadradas simultaneamente nos dois grupos, pois podem funcionar, ao mesmo tempo, como dispositivo de infiltração ou recarga e de armazenamento.

As MCs também podem ser *lineares* ou *localizadas*, de acordo com suas características geométricas.

As MCs *lineares* são alongadas e possuem dimensões longitudinais significativamente maiores que suas larguras e profundidades. Por essas características, são as mais indicadas para a drenagem de sistemas viários.

As MCs *localizadas* ou pontuais ocupam espaços delimitados, com larguras não muito diferentes dos comprimentos, podendo, em planta, apresentar formatos variados (circular, retangular, trapezoidal, quadrado ou mesmo figuras geométricas irregulares). Estes tipos de MCs são mais utilizados em áreas onde os espaços disponíveis são confinados.

¹⁰ Embora os resultados dos diversos trabalhos citados sejam consistentes, é importante que se adote metodologia única, regulamentada nacionalmente, para que os resultados possam ser comparados com maior nível de certeza.

Os tipos de medidas de controle mais utilizados são listados na Tabela 9, com as respectivas classificações, de acordo com os critérios acima.

Nos Itens 12.4 a 12.16, a seguir, são descritas as MCs mais utilizadas. Procurou-se, nessas descrições, adotar a terminologia mais comum encontrada nas literaturas especializadas, tendo como referências principais o *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo* (PMSF, 2012), o *Manual de Drenagem de Curitiba* (SUDERHSA; CH2M Hill, 2002), o livro *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana* (Baptista; Nascimento; Barraud, 2005) e a própria versão original do *Manual de Drenagem do DF* (Concremat Engenharia/GDF, 2009). No Item 12.17 - Síntese das Principais Medidas de Controle na Fonte, deste Manual, apresenta-se uma tabela com uma síntese das características de cada MC abordada; no Item 12.18 - Campo de Aplicação, são apresentadas tabelas orientativas para a escolha da MC mais apropriada para cada caso e no Item 12.19 - Metodologia Geral para Projeto de Medidas de Controle na Fonte, é apresentada uma proposta metodológica para o projeto de MCs.

Tabela 9 Medidas de controle na fonte e respectivas classificações

Medida de Controle	Processo de abatimento de vazão		Características geométricas	
	Por Infiltração*	Por Armazenamento	Linear	Localizada ou pontual
Pavimento permeável				
Trincheira de infiltração				
Vala de infiltração				
Poço de Infiltração				
Microrreservatório				
Telhado reservatório				
Reservatório de detenção aberto				
Reservatório de retenção aberto				
Reservatório subterrâneo pontual				
Reservatório subterrâneo linear				
Faixa gramada				

* No DF, a utilização de medidas de controle que promovam a infiltração ou recarga deve ser realizada com cuidado, devido à ocorrência de solos colapsíveis, sujeitos ao fenômeno de *piping* ou erosão interna. O projeto de MCs por infiltração ou recarga deve ser precedido de ensaios de colapsividade, conforme especificado na NBR 14.114 - Solos argilosos dispersivos - identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (*Pinhole test*). Caso se constate suscetibilidade à colapsividade, a solução por infiltração deve ser abandonada.

12.4 Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Infiltração

12.4.1 Volume de Preenchimento

Quando for utilizado o método racional, a vazão afluyente Q_a é adotada como sendo constante durante o tempo de duração da chuva, majorada por um coeficiente m .

$$Q_a = A \cdot m \cdot C \cdot (I - Q_r)$$

Sendo:

Q_a = Vazão afluyente (L/s);

A = área de contribuição (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial (coeficiente de deflúvio);

I = intensidade da chuva, calculada pela equação IDF do Distrito Federal (L/s.ha);

Q_r = vazão de regulamentação que, no caso do DF, é igual a 24,4 L/s.ha, conforme Resolução Adasa nº 26/2023.

Os autores Urbonas e Stahre (1993) estudaram como o escoamento de blocos únicos de precipitação diferia dos resultados obtidos usando simulação contínua, com registros cronológicos de precipitação. Assumindo-se que no último caso os resultados obtidos são mais precisos, já que representam melhor o processo natural, eles concluíram que um acréscimo de 25% ao volume estimado pelo Método Racional é mais preciso. Adota-se, portanto, $m = 1,25$.

Quando a saída da água se dá por infiltração no solo, considera-se Q_e constante, diretamente proporcional ao coeficiente de permeabilidade do solo saturado e à área de infiltração:

$$Q_{ei} = 1000 \cdot k \cdot A_{inf} \cdot C_s$$

Sendo:

Q_{ei} = vazão efluente infiltrada (L/s);

k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s);

A_{inf} = área de infiltração (m²);

C_s = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade.

O volume afluyente V_a e o volume infiltrado V_i são proporcionais ao tempo de duração da precipitação td :

$$V_a = Q_a \cdot td \quad V_i = Q_{ei} \cdot td$$

O volume V_p , que corresponde ao volume preenchido na MC em uma chuva de duração td , será então:

$$V_p = \frac{(V_a - V_i)}{P}$$

Onde:

P = porosidade do material granular.

Combinando-se as equações acima, obtém-se:

$$Vp = \frac{td}{P} \cdot [1,25 \cdot A \cdot C \cdot (I - Q_r) - k \cdot A_{inf} \cdot C_s]$$

Considerando-se os parâmetros da equação acima com suas unidades usuais, tem-se:

Equação 1 - Volume de Preenchimento - MC por infiltração

$$Vp(m^3) = 6.000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - 24,4) - k \cdot A_{inf} \cdot C_s]$$

Com:

td = tempo de duração da chuva (min);

P = porosidade do material granular ou índice de vazios (%);

A = área de contribuição (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

$24,4$ (L/s.ha) = vazão de restrição, conforme Resolução Adasa nº 26/2023 (2023);

k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s);

A_{inf} = área de infiltração da MC, que é igual à área do fundo mais a metade das áreas laterais em contato com o solo (m²);

C_s = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5;

I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha) correspondente ao tempo de duração td calculada pela equação IDF do Distrito Federal:

Equação 2 - Intensidade-Duração-Frequência da Chuva Crítica no DF

$$I = \frac{4374,17 \cdot T^{0,207}}{(td + 11)^{0,884}}$$

Com:

I = intensidade da chuva (L/s.ha);

T = tempo de retorno (anos);

td = duração da chuva (min);

Observação: esta equação representa o coeficiente da equação original de 1574,7 multiplicado pelo fator 100/36 para converter a intensidade de mm/h para L/s.ha.

Para a determinação do volume da MC, deve-se calcular o volume de preenchimento (Vp) para chuvas de diferentes durações (td) até se encontrar o volume máximo. Assim como Vp , a área de infiltração A_{inf} também está relacionada com a geometria da MC. O cálculo é, então, feito de forma iterativa, até que as dimensões da MC sejam compatíveis com o volume máximo de preenchimento e com a área de infiltração.

12.4.2 Dispositivo de Controle da Vazão Efluente

A vazão, lançada no sistema de drenagem a jusante, é função da capacidade hidráulica do dispositivo que controla a vazão efluente (Figura 58).

Para o controle da vazão efluente, utiliza-se, normalmente, um orifício de seção circular, orifício de seção retangular ou bocal de seção circular, que atenda às seguintes condições:

- A saída deve ser sempre livre, pois caso seja afogada, a capacidade de retenção da MC será menor que a de projeto;
- A capacidade de descarga do orifício ou bocal deverá ser, para o nível de água máximo na MC (NA_{máx}), limitada à vazão de pré-desenvolvimento de 24,4 L/s.ha (Adasa, 2023).

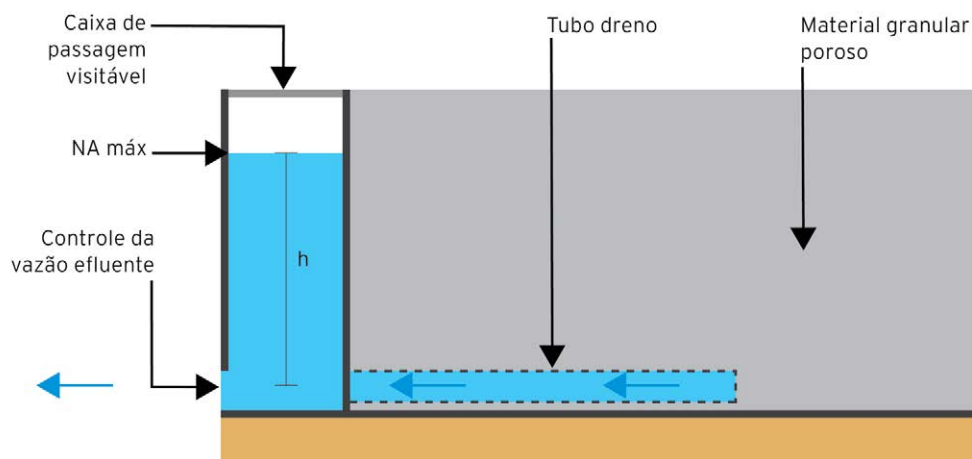


Figura 58 Dispositivo de controle da vazão efluente para MC por infiltração.

Para efeito de cálculo de vazão, devem-se considerar as seguintes definições de orifício e bocal:

Orifício: $e \leq 0,5 d$

Bocal: $0,5 d \leq e \leq 5d$

Sendo:

d = diâmetro (ou altura, no caso de orifício retangular);

e = espessura da parede.

A equação geral para o cálculo da capacidade do orifício (em m³/s) de seção circular ou retangular de parede delgada é:

Equação 3 - Vazão em um Orifício de Seção Circular

$$Q = A_{or} \cdot C_d \cdot (1 + 0,13 \cdot K_c) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Equação 4 - Vazão em um Orifício de Seção Retangular

$$IQ = Aor.Cd.(1 + 0,15.Kc).\sqrt{2.g.h}$$

Com:

Aor = área do orifício (m²);

Cd = coeficiente de contração do orifício, adotado = 0,61;

Kc = coeficiente de correção que depende da forma do orifício e de sua posição em relação às paredes laterais da caixa de passagem, conforme a Tabela 10;

g = aceleração da gravidade (m/s²);

h = altura do nível de água sobre o eixo do orifício (m), conforme a Figura 62.

Tabela 10 Coeficientes de contração em orifícios (Kc)

Posição e forma do orifício	Kc	Posição e forma do orifício	Kc
	0,00		0,00
	$Kc=a/(2.(a+b))$		0,25
	0,50		0,25
	$Kc=(2.b+a)/(2.(a+b))$		0,50

A equação geral para o cálculo da capacidade de bocal de seção circular é:

$$Q = Aor \cdot Cd \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Cd = coeficiente de contração que varia em função da relação comprimento/diâmetro (L/d), conforme a Tabela 11.

Tabela 11 Coeficiente de contração de bocais (Cd) em função da relação comprimento/diâmetro (L/d)

L/d	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0
Cd	0,60	0,75	0,78	0,79	0,80	0,82	0,79

Os valores da Tabela 11 podem ser ajustados a uma equação polinomial de 3ª ordem com um bom coeficiente de correlação ($R^2 = 0,94$):

$$Cd = 0,0123 \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^3 - 0,1226 \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^2 + 0,3711 \cdot \left(\frac{L}{d}\right) + 0,4584$$

Em áreas onde não existir sistema de drenagem que possa receber as vazões efluentes, a instalação de um dispositivo de controle, como os aqui descritos, não é viável. Nesse caso, quando a capacidade de armazenamento da MC for superada, haverá seu transbordamento, e o excesso de vazão escoará superficialmente. Nessa situação, é recomendável prever canaletas superficiais que colem o excesso de vazão e o conduzam para um local seguro.

12.4.3 Tubo

Para a drenagem da vazão não infiltrada no solo, é instalado um ou mais tubos drenos perfurados no fundo da MC (Figura 62), cujas capacidades devem ser compatíveis com a capacidade do orifício que controla a vazão efluente.

A capacidade hidráulica do tubo dreno pode ser calculada pela Equação 5:

Equação 5 - Capacidade de vazão de tubo dreno

$$Q = L \cdot Cd \cdot Aor \cdot N \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Onde:

Q = Vazão (m^3/s);

L = comprimento do tubo (m);

Cd = coeficiente de descarga dos orifícios = 0,61;

Aor = área dos orifícios (m^2);

N = número de orifícios por unidade de comprimento;

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

h = carga hidráulica = altura do nível máximo de água (m);

O Manual do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (Brasil, 2006) recomenda que a abertura dos furos deve ser determinada em função da granulometria do material que envolve o tubo e variar entre 0,6 e 10,0 mm.

12.5 Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Armazenamento

Os dimensionamentos hidráulicos de medidas de controle por armazenamento indicados a seguir devem ser aplicados em conjunto com outras análises que permitam concluir quanto à adequabilidade de suas aplicações.

Assim, os cálculos hidráulicos e os exemplos apresentados nos itens 12.6 a 12.16 devem ser acompanhamentos das análises referentes à disponibilidade de áreas, às características geotécnicas do solo (incluindo riscos de processos erosivos superficiais e subterrâneos, permeabilidade do solo, dentre outros), topografia, corpo receptor etc.

12.5.1 Volume de Armazenamento

A Resolução Adasa nº 26/2023 determina que o volume de armazenamento para controlar áreas de até 200 ha deve atender a seguinte equação:

Equação 6 - Volume de controle de MCs por armazenamento

$$V_c = 4,705 \cdot A \cdot P_i$$

Com:

V_c = volume de armazenamento (m³);

A = área de contribuição total (ha);

P_i = proporção de área impermeável (%).

$$P_i = \frac{A_i}{A} \cdot 100$$

A_i = área impermeável (ha).

A **Equação 6** foi obtida através de regressão linear considerando:

- Equação IDF do Distrito Federal com período de retorno de 10 anos;
- Vazão específica máxima efluente = 24,4 L/s.ha, conforme Resolução Adasa nº 26/2023;
- Coeficiente de escoamento superficial para área impermeável = 0,95;
- Coeficiente de escoamento superficial para área não impermeabilizada = 0,15.

12.5.2 Dispositivos de Descarga

Os reservatórios de armazenamento são dotados de um descarregador de fundo para controle da vazão efluente, dimensionado com capacidade máxima equivalente à vazão de restrição de pré-desenvolvimento pela Resolução Adasa nº 26/2023 de 24,4 L/s.ha (Adasa, 2023).

Geralmente são utilizados orifícios iguais aos descritos acima, no Item 12.4.2 - Dispositivo de Controle da Vazão Efluente, deste Manual. Para reservatórios de grandes dimensões, podem ser utilizadas adufas ou comportas de fundo, que permitem o controle mais preciso da vazão e que também podem ser abertas para esvaziamento e manutenção do reservatório.

Para a descarga de vazões maiores que a de pré-desenvolvimento, geradas por eventos de TR > 10 anos, deve ser previsto um vertedor cuja crista deve estar na cota correspondente ao nível de água que gera a vazão de restrição no descarregador de fundo ($H_{m\acute{a}x}$), conforme esquema da Figura 59.

O dimensionamento do vertedor (largura L_v e altura h_v) deve partir da análise do local onde o reservatório está localizado, com a avaliação da possibilidade de erosão e ruptura do solo do entorno, caso a vazão supere a capacidade do vertedor e escoe pelo terreno.

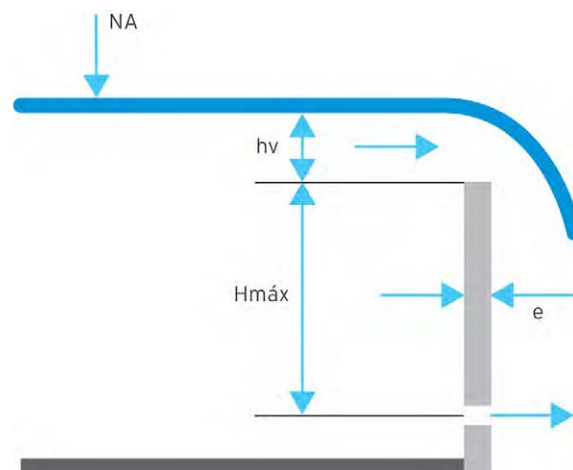


Figura 59 Descarregador de fundo e vertedor em reservatório de amortecimento.

O processo de dimensionamento hidráulico do descarregador de fundo é idêntico ao processo detalhado para dispositivo de controle da vazão efluente de medidas de controle por infiltração no Item 12.4.2 - Dispositivo de Controle da Vazão Efluente, deste Manual.

Para o dimensionamento hidráulico do vertedor, considera-se:

- Vertedor de parede delgada quando: $e < 2/3 h_v$;
- Vertedor de parede espessa quando: $e \leq 2/3 h_v$.

O comprimento da crista (L_v) do vertedor de parede delgada é calculado pela equação:

Equação 7 - Comprimento da crista de vertedor de parede delgada

$$Lv = \frac{Q}{2,950 \cdot Cv \cdot hv^{1,5}} - Cc$$

O comprimento da crista (**Lv**) do vertedor de parede espessa é calculado pela equação:

Equação 8 - Comprimento da crista de vertedor de parede espessa

$$Lv = \frac{Q}{1,704 \cdot Cv \cdot hv^{1,5}}$$

Onde:

Lv = comprimento da crista (m);

Q = vazão de descarga (m³/s);

hv = carga sobre o vertedor (m);

Cv = coeficiente de descarga;

Cc = coeficiente de contração lateral para vertedores de parede delgada, adotando-se:

Cv = 0,64, para vertedores de parede delgada;

Cc = 0,0 para vertedor de parede delgada sem contração;

Cc = 0,1.hv para vertedor de parede delgada com 1 contração;

Cc = 0,2.hv para vertedor de parede delgada com 2 contrações;

Cv = 0,86 para vertedores de parede espessa.

12.6 Pavimento Permeável

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “pavimento permeável é o pavimento que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento e cuja estrutura permite a percolação e/ou acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à sua estrutura” (ABNT, 2015).

Os pavimentos permeáveis são dispositivos que promovem a infiltração das águas pluviais e as conduzem para um reservatório preenchido com material granular de alto índice de vazios, situado na base do revestimento (Figura 60).

O revestimento da superfície, em geral, é feito de concreto de cimento Portland poroso, concreto asfáltico poroso, ou blocos de concreto impermeáveis com juntas porosas.

O pavimento permeável pode ser concebido de três maneiras diferentes em relação à infiltração no solo que constitui seu subleito:

- Infiltração total: quando toda a água captada na superfície é infiltrada no solo;
- Infiltração parcial: quando parte da água captada se infiltra, parte é armazenada temporariamente e conduzida para um exutório, por meio de drenos subsuperficiais.
- Sem infiltração: quando o subleito é impermeável e a base do pavimento funciona como um reservatório de amortecimento, cujo volume é determinado pelos vazios do material granular e o excesso é coletado por drenos e conduzido a um exutório.

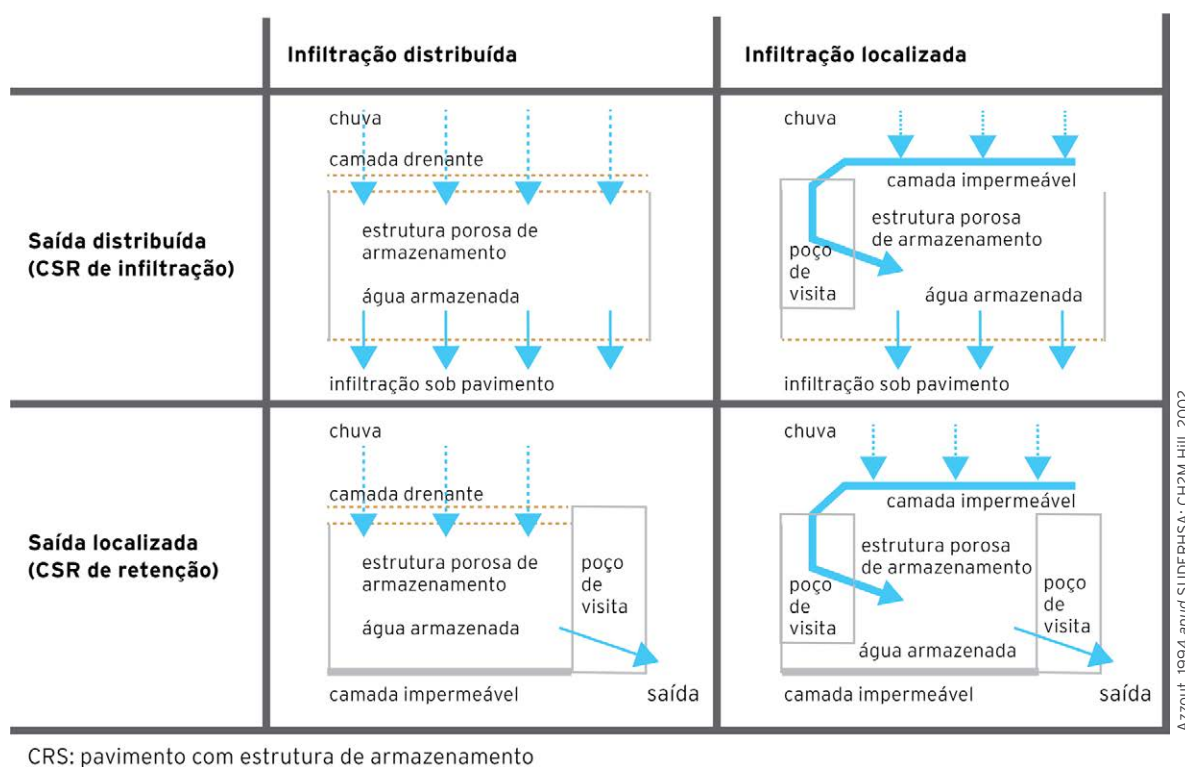


Figura 60 Pavimentos permeáveis e suas variações.

Conforme citado anteriormente, o projeto de pavimentos permeáveis é normatizado pela ABNT NBR 16.416:2015 (ABNT, 2015). A norma distingue cinco tipos de pavimentos permeáveis, de acordo com o tipo de revestimento:

1. Pavimento intertravado - peças de concreto com juntas largas;
2. Pavimento intertravado - peças de concreto com áreas vazadas;
3. Peças de concreto permeável;
4. Placas de concreto permeável;
5. Concreto permeável moldado no local. Nesse caso, normalmente é empregado Concreto Poroso Asfáltico (CPA).

Segundo a norma, o projeto de pavimento permeável deve atender, dentre outros, aos seguintes requisitos:

- O pavimento deve absorver toda a água precipitada sobre a área pavimentada mais todo o escoamento proveniente das áreas de contribuição consideradas no projeto;
- O projeto deve considerar o tipo de uso do pavimento. A definição dos materiais e das espessuras das camadas estruturais do pavimento devem atender simultaneamente às solicitações mecânicas e hidráulicas;
- Para o dimensionamento estrutural, a capacidade de suporte do solo deve ser determinada pelo índice de suporte Califórnia, conforme ABNT NBR 9895;
- A declividade máxima do pavimento deverá ser de 5%;
- O dimensionamento mecânico deve ser realizado por meio de métodos apropriados a cada tipo de revestimento, considerando a condição de saturação do solo, no caso de infiltração total ou parcial;
- Para pavimentos com infiltração total ou parcial, o nível máximo do lençol freático abaixo do subleito deve ser de 1,0 m; caso contrário, deve-se optar pelo pavimento sem infiltração que funciona como reservatório de amortecimento;
- Se houver presença de contaminantes no solo, ou risco de contaminação do lençol freático, deve-se optar pelo pavimento sem infiltração;
- Deverão ser observados os requisitos das camadas de sub-base, de base e de assentamento especificados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 da NBR 16416;
- Deverão ser observados os requisitos do material de rejuntamento especificados nas Tabelas 5 e 6 da NBR 16416;
- As juntas porosas ou aberturas dos pavimentos revestidos por peças de concreto devem ter área entre 7% e 15% da área total pavimentada e atender às demais especificações da NBR 16416;
- Também deverão ser observados os requisitos, da mesma norma, para o revestimento permeável do pavimento quanto ao coeficiente de permeabilidade, resistência mecânica, espessura mínima, resistência à tração na flexão e massa específica;
- A escolha do tipo de pavimento deve considerar a permeabilidade do subleito conforme a Tabela 12;
- O cálculo da altura da base porosa (ou base granular) do pavimento é feito pelo balanço das vazões afluentes e efluentes, recorrendo a equação especificada na Norma, conforme mostrado no Item 12.6.3 - *Dimensionamento Hidráulico de Pavimento Permeável*, deste Manual.

Tabela 12 Viabilidade de aplicação de pavimentos permeáveis, de acordo com os coeficientes de permeabilidade e o tipo de infiltração (ABNT, 2015)

Coeficiente de permeabilidade do subleito k (m/s)	Infiltração Total	Infiltração Parcial	Sem Infiltração
$> 10^{-3}$	Viável	Viável	Viável
10^{-3} a 10^{-5}	Inviável	Viável	Viável
$< 10^{-5}$	Inviável	Inviável	Viável

■ Viável ■ Inviável

Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF (Concremat Engenharia/GDF, 2009), a taxa mínima de infiltração (condutividade hidráulica saturada) do solo é de 7,6 mm/h para a instalação de medidas de controle por infiltração, o que equivale a uma taxa de $2,1 \times 10^{-6}$ m/s.

- Para a determinação do coeficiente de permeabilidade do solo, recomenda-se que sejam realizados ensaios *in situ*, no nível da superfície do subleito, que estará em contato com a estrutura porosa do pavimento. Esses ensaios deverão seguir as especificações da NBR 13.969 da ABNT e seus resultados deverão ser confrontados em ensaios de laboratório realizados pelos métodos especificados na norma ABNT NBR 13.292, no caso de solos granulares ou pela norma ABNT NBR 14.545, no caso de solos argilosos;
- A execução, inspeção final, manutenção, limpeza e ensaios de permeabilidade do pavimento acabado são também especificados na NBR 16.416.

Neste Manual, recomenda-se, ainda, que os projetos de pavimentos permeáveis devam atender outros requisitos, conforme descrito a seguir:

- Quando se tiver a previsão de infiltração, deverão ser apresentadas análises rigorosas dos solos, garantindo que não haja riscos de surgimento de processos erosivos subterrâneos;
- Também deverão ser apresentados estudos que indiquem a porcentagem máxima de área, do total de projeto, em que seja factível a implantação desta solução, delimitando, de maneira clara, a sua abrangência;
- As distâncias mínimas recomendadas entre estruturas e fundações próximas também devem ser avaliadas, evitando-se riscos de instabilidades para as mesmas;
- É de fundamental importância a apresentação de um plano de manutenção contendo estimativas de custos de limpeza e periodicidade da manutenção técnica, acrescida das tecnologias recomendadas para o correto funcionamento da solução, seguindo recomendações encontradas no mercado nacional e mundial;
- É de fundamental importância a definição dos responsáveis pela sua operação e manutenção, com carta de anuência e compromisso desses responsáveis;
- É recomendável que sejam indicadas parcerias com instituições de ensino e pesquisa, a fim de que seja possível estimular pesquisas para avaliar resultados desses dispositivos ao longo do tempo.

Desta forma, o órgão responsável pela operação e manutenção do sistema de drenagem urbana proposto terá condições de avaliar as reais condições de recebimento das soluções e programar sua capacidade de atendimento. O processo é discricionário, podendo ser reprovado em virtude do não atendimento por dificuldade de tecnologias e técnicas de manutenção de grande complexidade e baixo fornecimento em âmbito nacional.

12.6.1 Colmatção do Pavimento Permeável

A eficiência do pavimento permeável pode decair com o tempo, pelo efeito da colmatção da sua camada superficial. Segundo ensaios realizados pela *National Ready Mix Concrete Association* (NRMCA, 2011), pavimentos permeáveis revestidos de concreto poroso apresentam permeabilidade de cerca de $3,3 \times 10^{-3}$ m/s, quando novos. Com a colmatção causada pela deposição de sólidos e sedimentos, a permeabilidade decai, podendo chegar próxima a zero. Com procedimentos adequados de manutenção, é possível restabelecer parte da permeabilidade original. Testes mostram que a limpeza da superfície por sucção, de pavimento totalmente colmatado, pode aumentar seu coeficiente de permeabilidade para cerca de $0,15 \times 10^{-3}$ m/s, o que equivale a 9,0 mm/min (Alencar, 2013).

Para efeito de comparação, uma chuva com duração de 10 min e Período de Retorno de 100 anos, calculada pela equação IDF do Distrito Federal, tem uma intensidade de 4,6 mm/min, equivalente à metade da capacidade de absorção de um pavimento permeável adequadamente mantido.

Quando da implantação de pavimentos permeáveis, os responsáveis por sua manutenção deverão apresentar relatórios bianuais ao prestador de serviços, demonstrando a evolução anual da eficiência do pavimento e propondo ações que garantam a permeabilidade do mesmo ao longo do tempo.

12.6.2 Interligação do Pavimento Permeável com o Sistema de Drenagem a Jusante

A interligação do pavimento permeável com as galerias ou rede de drenagem a jusante geralmente é feita de duas maneiras:

- Captação superficial, que pode ser feita com a instalação de bocas de lobo nos pontos baixos do pavimento. Embora o pavimento poroso seja dimensionado para absorver 100% da precipitação afluyente, é seguro prever a captação de escoamento residual que pode ocorrer com a colmatção do pavimento;
- Captação subsuperficial através de tubos perfurados instalados na base granular do pavimento, no caso em que não for considerada a infiltração no subleito.

Para evitar a obstrução do orifício, deve-se prever a instalação de uma peneira na boca de lobo, com malha de abertura menor que a menor dimensão do orifício.

A Figura 61 e a Figura 62 mostram cortes típicos de pavimentos permeáveis experimentais implantados em um estacionamento na Cidade Universitária em São Paulo (Pinto, 2011), dimensionados para tráfego leve ou estacionamentos, lembrando que a espessura das camadas é calculada em função do tráfego, das características geomecânicas do subleito e da capacidade hidráulica de armazenamento da base e da sub-base.

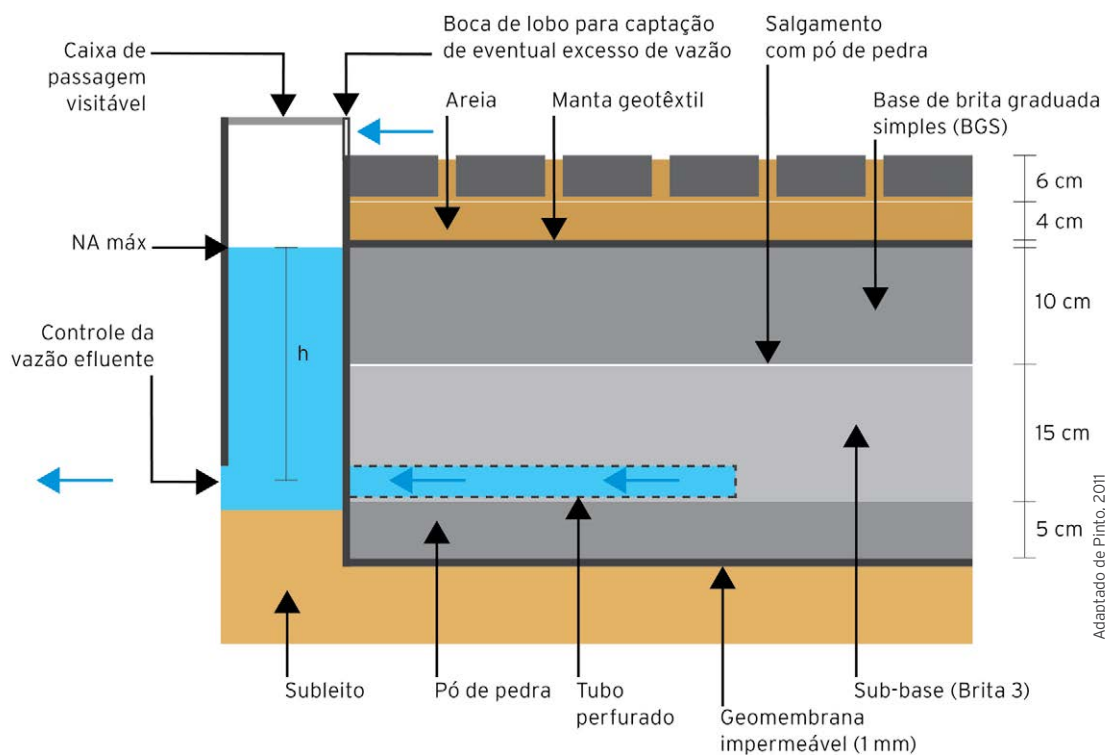


Figura 61 Corte típico de pavimento permeável para tráfego leve revestido de Blocos Intertravados de Concreto, sem infiltração no solo.

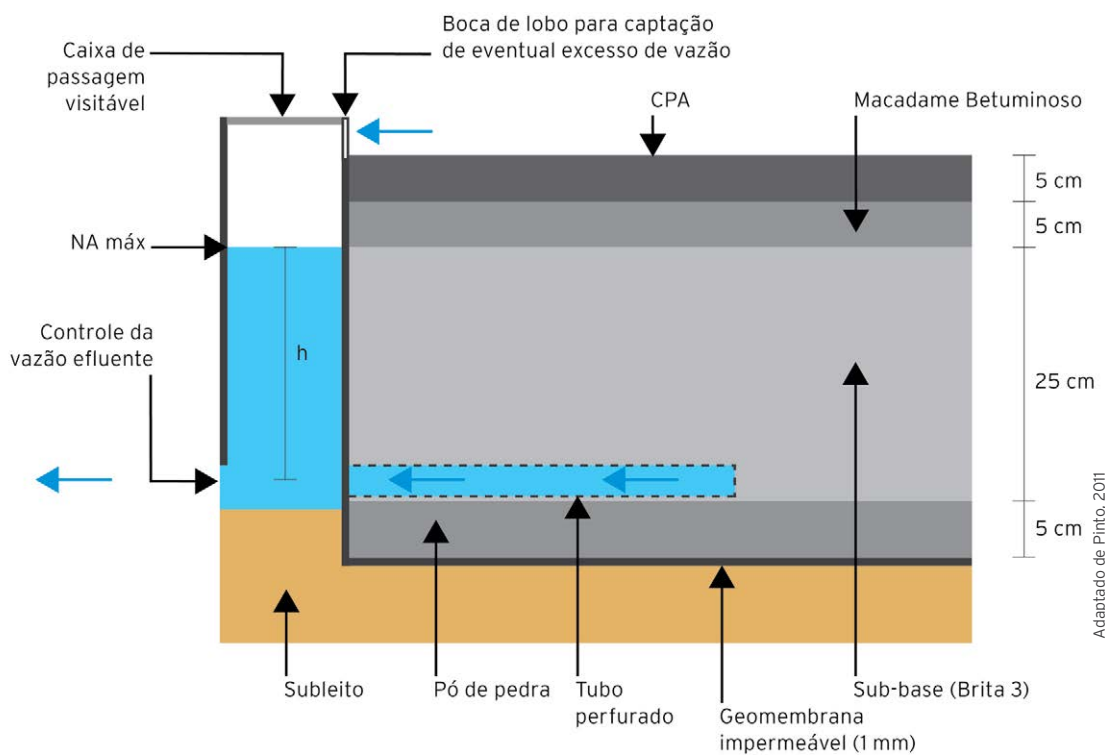


Figura 62 Corte típico de pavimentos permeável para tráfego leve revestido de Concreto Asfáltico Poroso (CPA) sem infiltração no solo.

12.6.3 Dimensionamento Hidráulico de Pavimento Permeável

Altura da base porosa

O cálculo da altura H_i de preenchimento da base porosa (ou base granular) do pavimento, para uma precipitação de duração td , é feito pela *Equação 1*, dividindo-se o volume de preenchimento (V_p) pela área do pavimento (A_p) e considerando que área de infiltração (A_{inf}) é igual à área do pavimento (A_p):

$$H = \frac{V_p}{A_p}$$

Equação 9 - Altura de Preenchimento da Base Porosa do Pavimento Permeável

$$H_i = 0,6 \cdot \frac{td}{P} \cdot \left[0,00125 \cdot \left(C \cdot \frac{A_e}{A_p} + 1 \right) \cdot (I - 24,4) - k \cdot C_s \right]$$

Com:

H_i = altura de preenchimento (m);

td = tempo de duração da chuva (min);

P = porosidade do material granular ou índice de vazios (%);

A_e = área de contribuição externa ao pavimento (ha);

A_p = área do pavimento (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial da área de contribuição externa (adimensional);

I = intensidade da chuva crítica ($L/s.ha$) correspondente ao tempo de duração (td) calculada pela equação IDF do Distrito Federal;

$24,4$ ($L/s.ha$) = vazão de restrição conforme Resolução Adasa nº 26/2023;

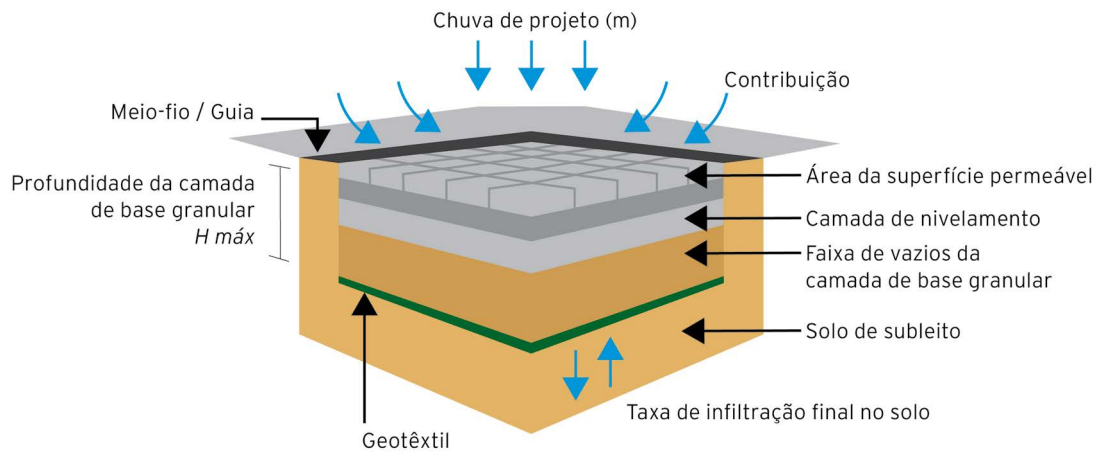
k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s);

C_s = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5;

A altura da base porosa ($H_{máx}$) será o maior valor de H_i calculado para precipitações de durações que variam de 10 a 1440 min.

Equação 10 - Altura da Base Porosa do Pavimento Permeável

$$H_{máx} = máx[H_i(td)]$$



Adaptado de Pinto, 2011

Figura 63 Corte típico de um pavimento permeável com revestimento de blocos intertravados de concreto.

12.6.4 Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Pavimento Permeável

Dados:

- Área do pavimento = 0,10 ha;
- Área de contribuição externa = 0,05 ha;
- Coeficiente de escoamento superficial da área de contribuição externa: $C = 0,8$;
- Coeficiente de permeabilidade do solo saturado, na cota do fundo do subleito,
- $k = 10^{-5}$ m/s;
- Coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade: $C_s = 0,5$;
- Índice de vazios da base porosa, $P = 30\%$;
- Vazão de regulamentação = 24,4 L/s.ha = $24,4 \times 10^{-7}$ m³/m².s

Cálculo da altura da base porosa (H)

Calcula-se H_i (Equação 9) para diversas durações de chuvas, considerando as intensidades de chuva (I) calculadas pela equação IDF do Distrito Federal (Equação 2).

$$H_i = f(td) = 0,6 \cdot \frac{td}{30} \cdot \left[0,00125 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{0,05}{0,10} + 1 \right) \cdot (I - 24,4) - 10^{-5} \cdot 0,5 \right]$$

O valor máximo encontrado para os dados acima é: $H_{máx} = 0,30$ m, para uma chuva de duração igual a 90 min, conforme o gráfico da Figura 64.

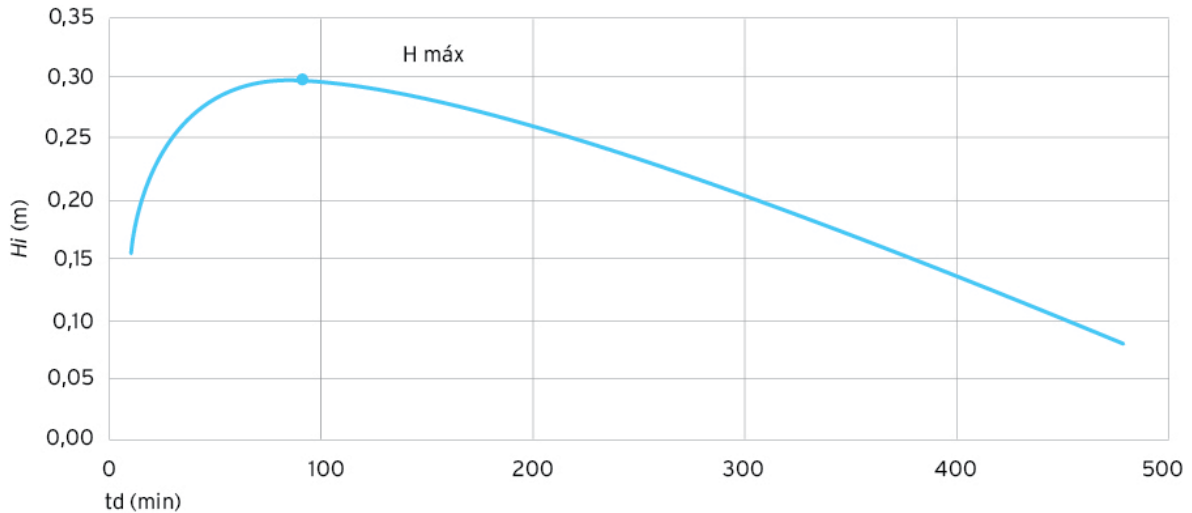


Figura 64 Variação da altura de preenchimento (H_i) com o tempo de duração da chuva (t_d).

Cálculo do Orifício de Controle da Vazão Efluente

O cálculo da vazão a ser descarregada para jusante é feito pela Equação 4, considerando:

Q = vazão de regulamentação = Q_r = (24,4 L/s.ha x área de contribuição total):

$$Q = Q_r = 24,4 \cdot (0,10 + 0,05) = 3,66 \frac{L}{s}$$

Adotando-se orifício retangular com a base junto ao fundo e um dos lados junto à parede da caixa de passagem (Figura 65), com coeficiente de correção $K_c = 0,5$ (Tabela 10) e sendo a altura do NA, $h = (H_{máx} - b/2) = (0,30 - b/2)$, tem-se:

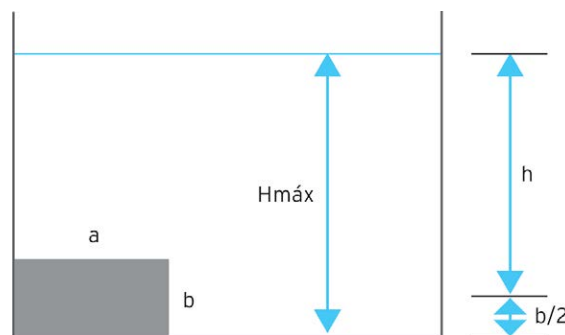


Figura 65 Posição do orifício considerado no exemplo.

$$Q \left(\frac{L}{s} \right) = Q_r = 3,66 = 1.000 \cdot A_{or} \cdot 0,61 \cdot (1 + 0,15 \cdot 0,5) \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot \left[0,30 - \left(\frac{b}{2} \right) \right]}$$

Entre as combinações de altura e largura do orifício, optou-se por adotar $a = 0,050$ m e $b = 0,045$ m, que satisfazem a equação acima.

Para evitar a obstrução do orifício, deve-se prever a instalação de uma peneira na boca de lobo, com malha de abertura menor que 0,045 m.

Dois arranjos construtivos envolvendo o dreno, o orifício e caixa de passagem podem ser observados nas Figuras 64 e 65, apresentadas anteriormente.

Cálculo do Tubo Dreno

Adotando-se:

- Q = Vazão máxima = 3,66 L/s (vazão de pré-desenvolvimento x área de contribuição);
- Tubo dreno com orifícios de seção circular com diâmetro de 5 mm;
- C_d = coeficiente de descarga dos orifícios do tubo dreno = 0,61;
- N = número de orifícios por unidade de comprimento = 20/m;
- g = aceleração da gravidade = 9,8 m/s²;
- h = carga hidráulica = altura do nível máximo de água = 0,3 + 0,045/2;

Vazão captada por metro de dreno, é calculada pela Equação 5:

$$Q = 1.000 \times 1,0 \times 0,61 \cdot \frac{\pi \cdot 0,005^2}{4 \cdot 20} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \times \left(0,3 + \frac{0,045}{2}\right)} = 0,60 \frac{L}{s}$$

Para a vazão de 3,66 L/s, o comprimento do tubo dreno será:

$$L = \frac{3,66}{0,60} = 6,10 \text{ m}$$

12.7 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração são dispositivos lineares (comprimento extenso em relação à largura e à profundidade) que recolhem o escoamento superficial para amortecê-lo e para promover sua infiltração no solo natural. Existe uma variante, denominada trincheira de retenção, adaptada a solos pouco permeáveis, que funciona como reservatório de amortecimento, com condução da água não infiltrada para um exutório localizado.

As trincheiras são escavadas no solo e preenchidas com material de enchimento de granulometria uniforme. Podem ser descobertas, cobertas com grama ou com um revestimento permeável (pode-se projetá-las de forma a comporem o paisagismo do empreendimento). A água recolhida infiltra pelas paredes e pelo fundo. As paredes, o topo e o fundo da trincheira são revestidos por um filtro geotêxtil, e, considerando apenas o fundo, pode-se também utilizar filtro de areia, para evitar penetração de sedimentos.

A trincheira de infiltração tem, portanto, as funções de abater descargas de pico e promover a recarga do aquífero removendo, pelo efeito da percolação no solo, parte dos poluentes presentes nas águas pluviais.

Na Figura 66 e na Figura 67 são apresentados desenhos esquemáticos dessa MC.

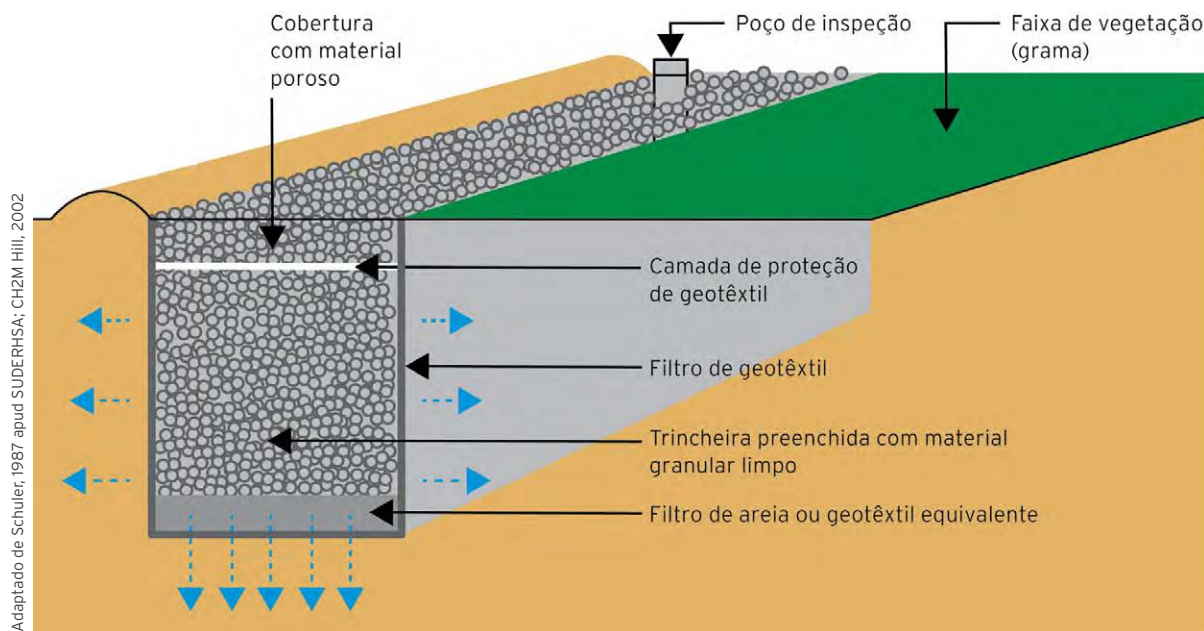


Figura 66 Trincheira de infiltração genérica.

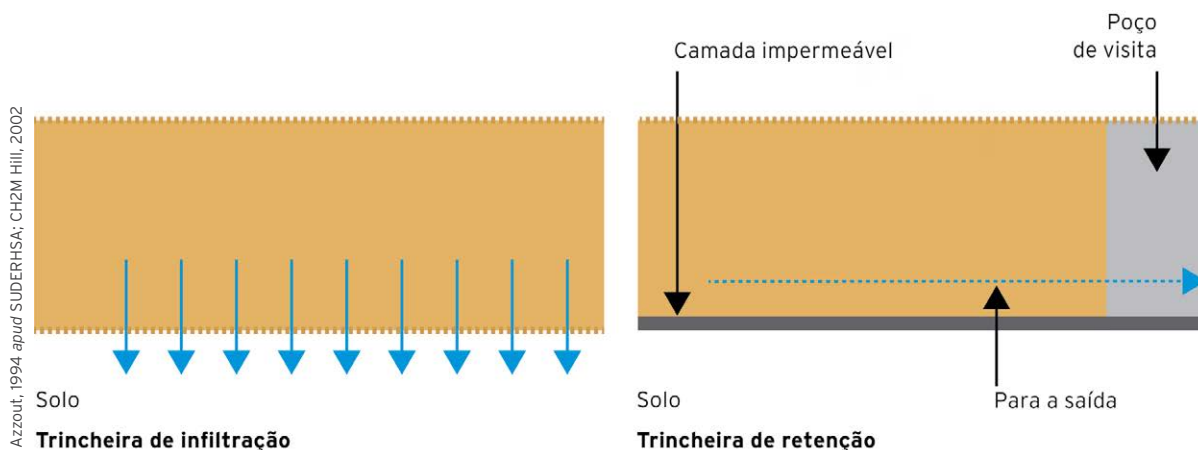


Figura 67 Trincheiras de infiltração e de retenção.

12.7.1 Colmatação da Trincheira de Infiltração

Para evitar a colmatação, as trincheiras de infiltração devem ser instaladas em áreas com urbanização consolidada onde o aporte de sedimentos seja pequeno. Para melhor retenção de sedimentos, é recomendável que a água do escoamento superficial passe por uma faixa vegetada ou por um dispositivo de sedimentação antes de atingir a trincheira.

12.7.2 Interligação da Trincheira de Infiltração com o Sistema de Drenagem a Jusante

Quando a capacidade de armazenamento da MC for superada, haverá seu transbordamento e o excesso de vazão escoará superficialmente. Nessa situação, é recomendável prever canaletas superficiais que coletem o excesso de vazão e o conduzam para um local seguro.

Havendo sistema de drenagem a jusante, em cota adequada e que possa receber o excesso de vazão, deve-se prever a instalação de dispositivo de controle de vazão e tubos dreno especificados nos Itens 12.4.2 e 12.4.3.

12.7.3 Dimensionamento Hidráulico de Trincheira de Infiltração

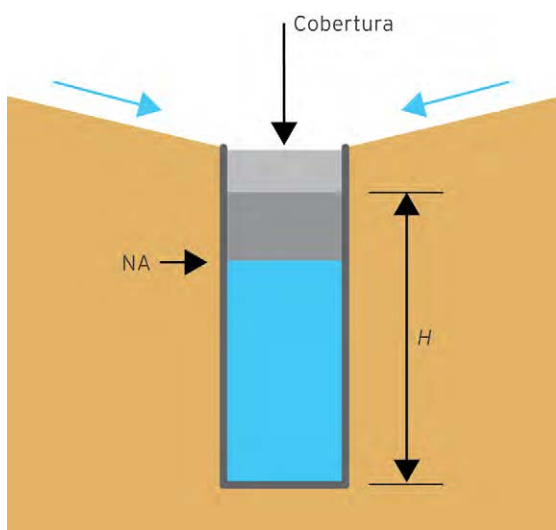
O dimensionamento hidráulico segue a metodologia e os critérios descritos no Item 12.4 - Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Infiltração, deste Manual. Nesse caso, o volume de preenchimento (V_p) é igual a (Figura 68 e Figura 69):

Equação 11 - Volume de preenchimento de trincheira de infiltração em função da geometria

$$V_p = b.L.\left(H - \frac{i.L}{2}\right)$$

O cálculo das dimensões da trincheira é feito iterativamente, igualando-se a Equação 1, com a Equação 11, apresentada anteriormente:

$$b.L.\left(H - \frac{i.L}{2}\right) = 6.000.\frac{td}{P}.\left[0,00125.A.C.(I - 24,4) - k.A_{inf}.C_s\right]$$



Válida para $L < H/i$, com:

b = largura da trincheira

L = comprimento da trincheira

H = altura do nível de água

i = declividade longitudinal

Figura 68 Trincheira de infiltração - corte transversal típico.

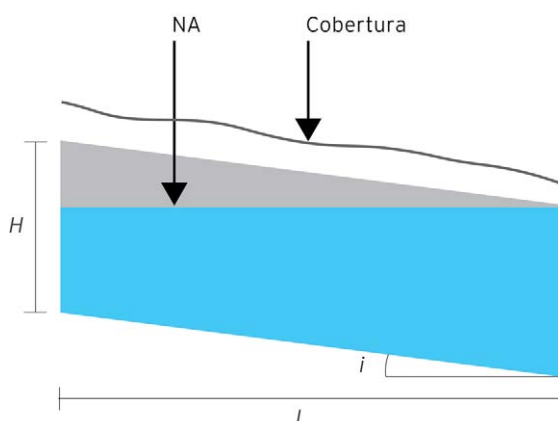


Figura 69 Trincheira de Infiltração - corte longitudinal típico.

Com:

b, L, H em metros;

i = declividade longitudinal (m/m);

td = tempo de duração da chuva (min);

P = porosidade do material granular ou índice de vazios (%);

A = área de contribuição (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha), correspondente ao tempo de duração td calculada pela equação IDF do Distrito Federal:

$$I = \frac{1.574,7 \cdot T^{0,207}}{(td + 11)^{0,884}}$$

T = tempo de retorno (anos);

td = duração da chuva (min);

24,4 (L/s.ha) = vazão de restrição, conforme Resolução Adasa nº 26/2023;

k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s);

A_{inf} = área de infiltração (m²) da trincheira, considerada igual à área do fundo mais a metade das áreas laterais.

Equação 12 - Área de infiltração de Trincheira

$$A_{inf} = L \cdot \left(H + b - \frac{i \cdot L}{2} \right)$$

C_s = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5.

Para a determinação do volume da MC, deve-se calcular o volume de preenchimento (V_p) para chuvas de diferentes durações (td) até se encontrar o volume máximo. Assim como V_p , a área de infiltração A_{inf} também está relacionada com a geometria da MC. O cálculo é, então, feito de forma interativa, até que as dimensões da MC sejam compatíveis com o volume máximo de preenchimento.

12.7.4 Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Trincheira de Infiltração

Dados

- Área de contribuição: $A = 0,1$ ha;
- Coeficiente de escoamento superficial: $C = 0,8$;
- Tempo de retorno: $T = 10$ anos;

- Vazão de restrição = 24,4 L/s.ha (conforme Resolução Adasa nº 26/2023).
- Coeficiente de permeabilidade do solo saturado: $k = 2,11 \times 10^{-6}$ m/s;
- Declividade longitudinal: $i = 0$ m/m (trincheira horizontal);
- Comprimento da trincheira: $L = 100$ m;
- Largura: 1,20 m;
- Índice de vazios do material de preenchimento: $P = 30\%$.

Resolução

A resolução é iterativa, calculando-se a profundidade do nível de água para chuvas de diversas durações. A altura da trincheira é então adotada como sendo igual ou maior que a profundidade máxima calculada nesse processo. O gráfico da Figura 70 apresenta os resultados dos cálculos efetuados com os dados acima, chegando-se a $H_{\text{máx}} = 1,38$ m, para uma chuva de 90 min.

A trincheira terá, então, as seguintes características:

Comprimento = 100 m;

Largura = 1,20 m;

Altura = 1,38 m;

Material de preenchimento com porosidade de 30%;

Volume = 166 m³.

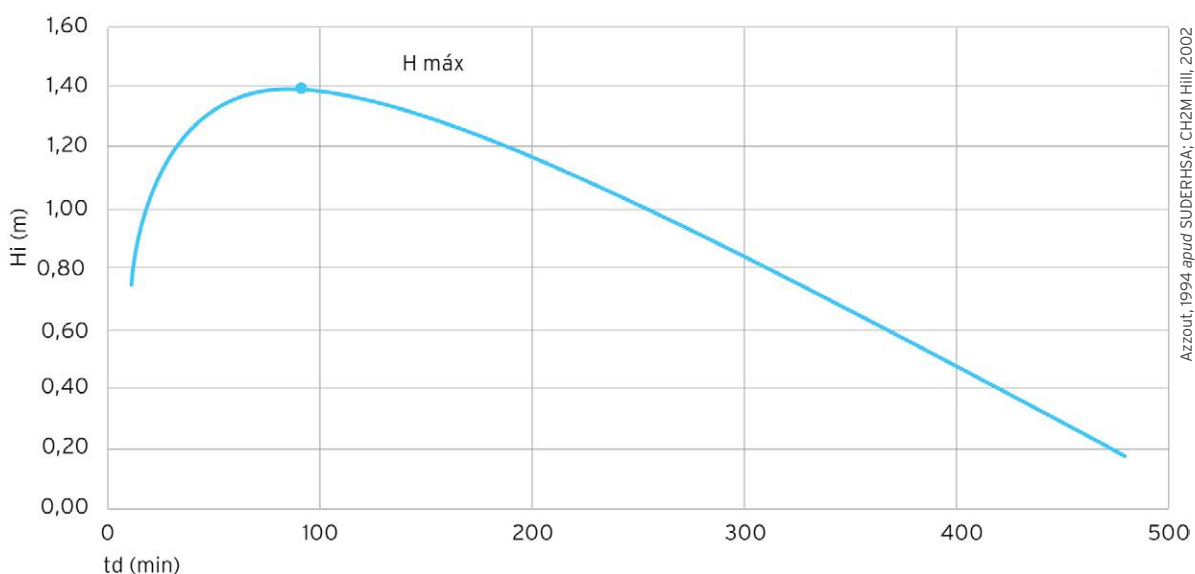


Figura 70 Trincheiras de infiltração e de retenção.

Neste Manual, recomenda-se, ainda, que os projetos de trincheira de infiltração devam atender, outros requisitos, conforme descrito a seguir:

- Quando se tiver a previsão de infiltração, deverão ser apresentadas análises rigorosas dos solos, garantindo que não haja riscos de surgimento de processos erosivos subterrâneos;
- Também deverão ser apresentados estudos que indiquem a porcentagem máxima de área, do total de projeto, em que seja factível a implantação desta solução, delimitando, de maneira clara, a sua abrangência;
- As distâncias mínimas recomendadas entre estruturas e fundações próximas também devem ser avaliadas, evitando-se riscos de estabilidades para as mesmas;
- É de fundamental importância a apresentação de um plano de manutenção contendo estimativas de custos de limpeza e periodicidade da manutenção técnica, acrescida das tecnologias recomendadas para o correto funcionamento da solução, seguindo soluções encontradas no mercado nacional e mundial.
- É de fundamental importância a definição dos responsáveis pela sua operação e manutenção, com carta de anuência e compromisso desses responsáveis;
- É recomendável que sejam indicadas parcerias com instituições de ensino e pesquisa, a fim de que seja possível estimular pesquisas para avaliar resultados desses dispositivos ao longo do tempo.

Desta forma, o órgão responsável pela manutenção do sistema de drenagem proposto terá condições de avaliar as reais condições de recebimento das soluções e programar sua capacidade de atendimento. O processo é discricionário, podendo ser reprovado em virtude do não atendimento por dificuldade de tecnologias e técnicas de manutenção de grande complexidade e baixo fornecimento em âmbito nacional.

12.7.5 Recomendações para Implantação de Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração devem ser preferencialmente implantadas acompanhando as curvas de nível do terreno, cabendo projetá-las de forma a se harmonizarem com o paisagismo do lote, com suas principais características descritas nos subitens anteriores. As Figuras 71 e 72 ilustram uma trincheira sem material de preenchimento, e a Figura 73 ilustra uma trincheira com material de preenchimento.

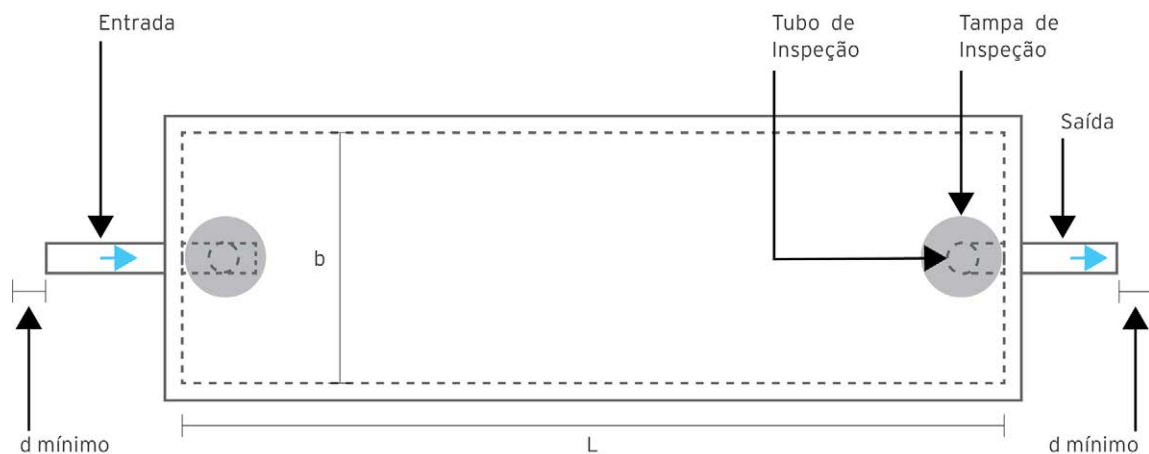


Figura 71 Trincheira de Infiltração sem Preenchimento - Vista Superior.

Fonte: Adasa

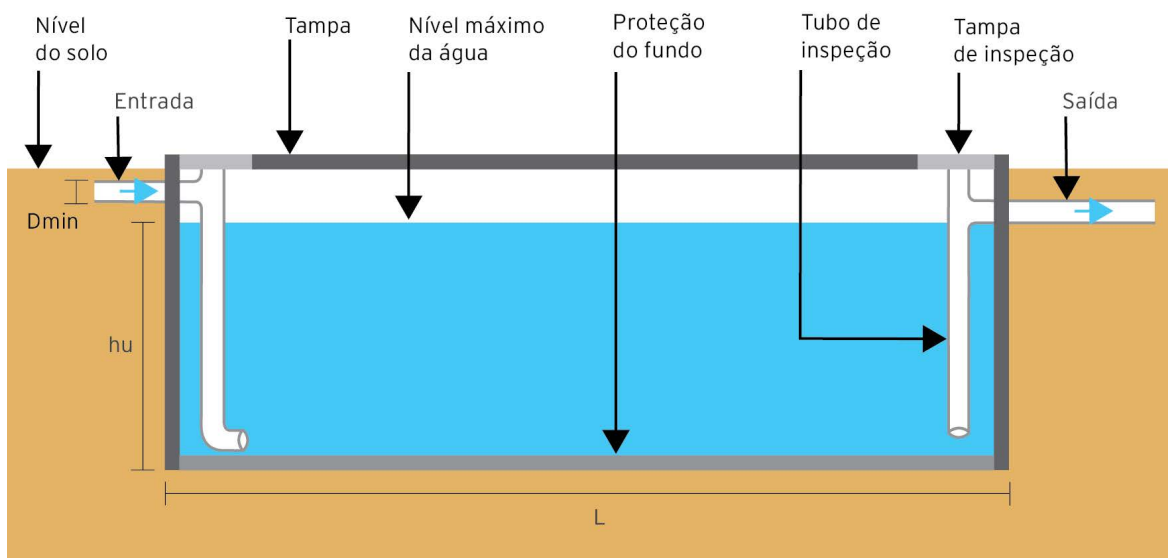


Figura 72 Trincheira de Infiltração sem Preenchimento - Corte Lateral.

Fonte: Adasa

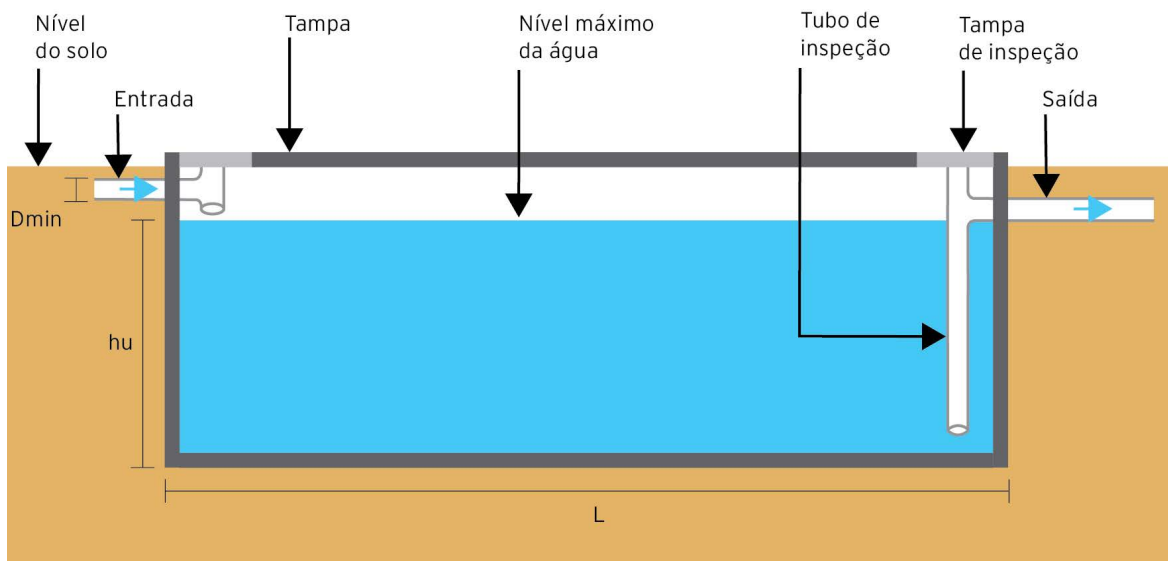


Figura 73 Trincheira de Infiltração com Preenchimento - Corte Lateral.

Fonte: Adasa

O fundo da trincheira deve se situar pelo menos a 1,20 m do nível mais alto do lençol freático. As trincheiras de infiltração devem ser locadas a pelo menos 3,00 m (três metros) de qualquer edificação, a pelo menos 5,00 m (cinco metros) de edificações com pavimento em subsolo, e a 1,50 m (um metro e meio) de quaisquer obstáculos (tais como árvores e suas raízes, muros, ou divisa de terreno).

As vazões que excedem a capacidade de infiltração devem ser destinadas ao sistema público de drenagem pluvial ou a outra destinação adequada. O orifício de saída deve ser posicionado de modo a garantir o enchimento da vala até a altura útil calculada e disponibilizar uma borda livre de no mínimo 0,2 m acima de sua geratriz superior. A geratriz inferior de tubulação de entrada não deve estar em nível inferior à geratriz superior do orifício de saída. O diâmetro mínimo das tubulações de entrada e saída é 100 mm.

Pode ser conveniente alimentar a trincheira de infiltração por mais de um ponto, facilitando a distribuição das vazões ao longo do comprimento do dispositivo.

Por razões de segurança, é recomendável que as trincheiras não preenchidas com material granular sejam cobertas com laje de concreto armado, removível para inspeção e manutenção. No caso de trincheira com preenchimento, o material de preenchimento deve ser protegido com tecido geotêxtil antes de receber aterro e grama ou outro tipo de cobertura, como uma grade metálica ou mesmo laje de concreto armado.

As paredes, o fundo da trincheira e o topo, quando houver preenchimento, devem ser revestidos por um filtro geotêxtil, para evitar penetração de sedimentos.

Quando for o caso, para evitar a colmatção, a água de escoamento superficial ou de cobertura deve passar por um dispositivo de separação de folhas e pequenos detritos, antes de atingir a trincheira. Caso a trincheira seja dimensionada para receber somente águas provenientes de cobertura, as bordas ou laterais da trincheira não devem permitir a entrada de águas escoadas superficialmente.

12.8 Vala de Infiltração

As valas de infiltração são depressões lineares, gramadas, com declividade próxima a zero, concebidas para funcionar como canais, onde o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado durante o percurso da água. A vala de infiltração é dimensionada para infiltrar toda a vazão afluyente menos a vazão de pré-desenvolvimento de 24,4 L/s.ha (Adasa, 2023), para eventos de período de recorrência de 10 anos.

Para vazões que excedem a capacidade de infiltração, o excesso é destinado a um exutório que pode ser um coletor ou galeria de águas pluviais ou, ainda, um recurso hídrico próximo.

Quando a declividade da vala for maior que zero, devem ser previstos barramentos com orifícios, com a função de aumentar o nível de água para favorecer a infiltração (Figura 74 e Figura 75).

Os efeitos esperados das valas somente são significativos para declividades reduzidas. No DF, em áreas sujeitas a chuvas de alta intensidade, com solos de baixa permeabilidade, a eficiência das valas é limitada e seu uso não é recomendado.

Da mesma forma que as trincheiras de infiltração, as valas de infiltração podem valorizar o projeto paisagístico do empreendimento.

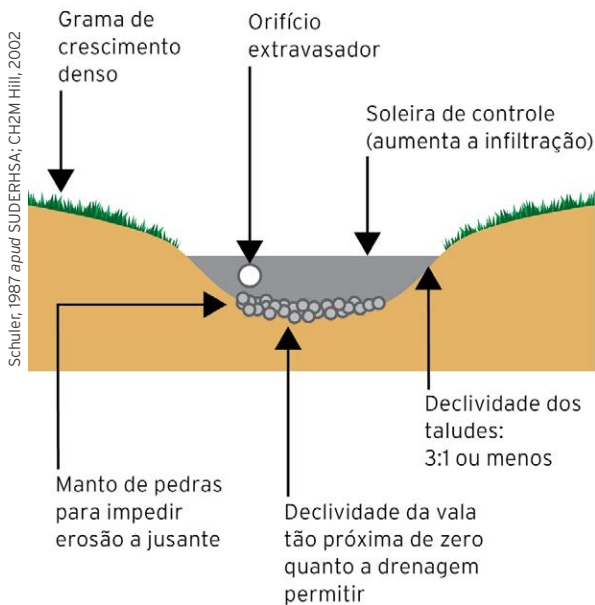


Figura 74 Vala de infiltração.

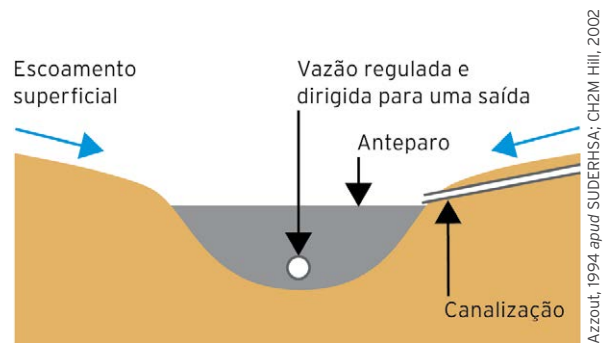


Figura 75 Vala de infiltração: anteparo para controle de nível de água.

12.8.1 Dimensionamento Hidráulico de Vala de Infiltração

O dimensionamento da vala de infiltração é similar ao de um reservatório com fundo permeável (Baptista; Nascimento; Barraud, 2005) com seção transversal trapezoidal ou triangular, conforme a Figura 76.

O projeto hidráulico da vala é feito com a equação geral de dispositivos de infiltração (Equação 1):

$$V_p(m^3) = 6.000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - 24,4) - k \cdot A_{inf} \cdot C_s]$$

Onde:

V_p = volume de água armazenada na vala de infiltração;

td = tempo de duração da chuva (min);

P = porosidade do material granular ou índice de vazios, que no caso é igual a 100%;

A = área de contribuição (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha) correspondente ao tempo de duração td , calculada pela equação IDF do Distrito Federal;

24,4 (L/s.ha) = vazão de restrição conforme Resolução Adasa nº 26/2023;

k (m/s) = coeficiente de permeabilidade do solo saturado, medido na superfície do solo com cobertura vegetal do mesmo padrão utilizado na vala (geralmente se utiliza grama);

A_{inf} = área de infiltração da vala (m²) que é adotada igual à projeção horizontal da área ocupada pela vala (Baptista; Nascimento; Barraud, 2005), conforme a Figura 76.

$$A_{inf} = L \cdot (2 \cdot h \cdot z + b)$$

L = comprimento da vala (m);

h = altura do nível de água (m);

z = inclinação dos taludes, que é função das características geotécnicas do solo (adimensional);

b = largura da base da vala (m);

C_s = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5.

Para a determinação do volume, deve-se calcular o volume de preenchimento (V_p) para chuvas de diferentes durações (td) até se encontrar o volume máximo. Assim como V_p , a área de infiltração A_{inf} também está relacionada com a geometria da vala. O cálculo é, então, feito de forma iterativa, até que as dimensões da vala sejam compatíveis com o volume máximo de preenchimento e com a área de infiltração.

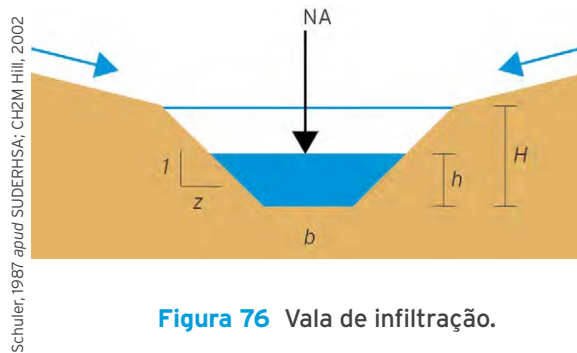


Figura 76 Vala de infiltração.

Sendo:

$$V_p = L \cdot h \cdot (b + z \cdot h)$$

A Equação 1 assume, então, a seguinte forma:

$$L \cdot h \cdot (b + z \cdot h) = 6.000 \cdot \frac{td}{p} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - 24,4) - k \cdot L \cdot (2 \cdot h \cdot z + b) \cdot C_s]$$

A altura da vala (H) a ser adotada no projeto deve considerar uma borda livre acima da altura do nível de água (h) de 10% no mínimo, isto é: $H \geq 1,10 \times h$.

12.8.2 Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Vala de Infiltração

Dados

- Área de contribuição: $A = 0,4$ ha;
- Coeficiente de escoamento superficial: $C = 0,5$;
- Tempo de retorno: $T = 10$ anos;

- Vazão de restrição = 24,4 L/s.ha (conforme Resolução Adasa nº 26/2023);
- Coeficiente de permeabilidade do solo saturado: $k = 5,5 \times 10^{-5}$ m/s;
- Inclinação dos taludes: $z = 3$;
- Largura do fundo da vala: $b = 0,5$ m;
- Comprimento da vala: $L = 30$ m.

Resolução

A resolução é iterativa, calculando-se a profundidade do nível de água para chuvas de diversas durações. A altura da vala é então adotada como sendo pelo menos 10% maior que a profundidade máxima calculada nesse processo. O gráfico da Figura 77 apresenta os resultados dos cálculos efetuados com os dados acima, chegando-se a $h_{\text{máx}} = 1,56$ m, para uma chuva de 50 min de duração. Adota-se, então, $H \geq 1,56 \times 1,1 = 1,72$ m.

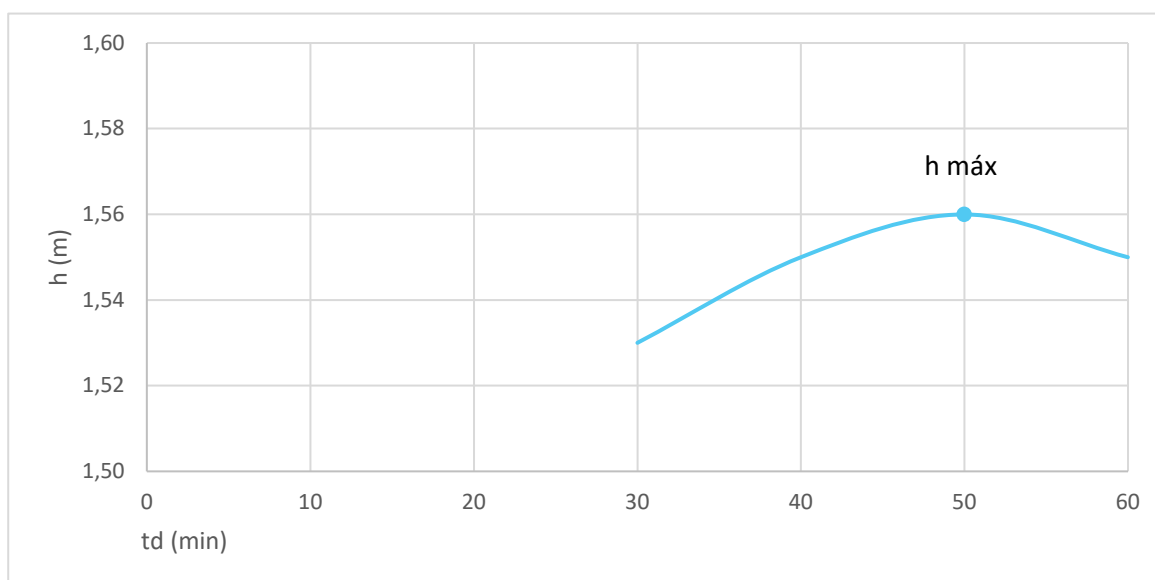


Figura 77 Exemplo de cálculo para a determinação da altura de uma vala de infiltração.

Ao analisar os resultados do exemplo, é possível observar que a área de infiltração necessária para a vala corresponde a 7% da área de contribuição, indicando que essa solução pode ser a mais apropriada para casos em que se tenha reduzida disponibilidade de área para sua implantação.

12.8.3 Recomendações para Implantação de Valas de Infiltração

O projeto e a localização das valas de infiltração devem buscar a integração com o projeto paisagístico do empreendimento. Por serem relativamente pouco profundas, estas valas são soluções típicas para situações em que há disponibilidade de área e o nível máximo do lençol freático está relativamente raso, mas pelo menos 1,20 m abaixo do fundo do dispositivo. Sendo dimensionada para receber apenas água pluvial interceptada por coberturas, suas bordas não devem permitir a entrada de outras águas escoadas superficialmente.

O orifício de saída deve ser posicionado de modo a garantir o enchimento da vala até a altura útil calculada no dimensionamento e disponibilizar uma borda livre de no mínimo 10% da profundidade útil, isto é: $H \text{ total} = 1,10 \times h \text{ útil}$. O diâmetro mínimo das tubulações de entrada e saída é 100 mm.

É recomendável alimentar a vala de infiltração por mais de um ponto, facilitando a distribuição das vazões ao longo do comprimento da vala. As Figuras 78 e 79, adiante ilustram uma situação de vala de infiltração.

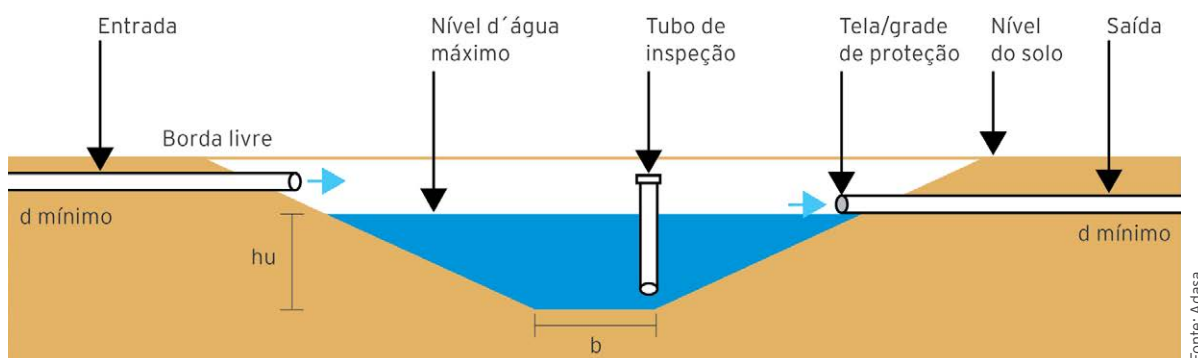


Figura 78 Vala de Infiltração com Preenchimento - Corte Lateral.

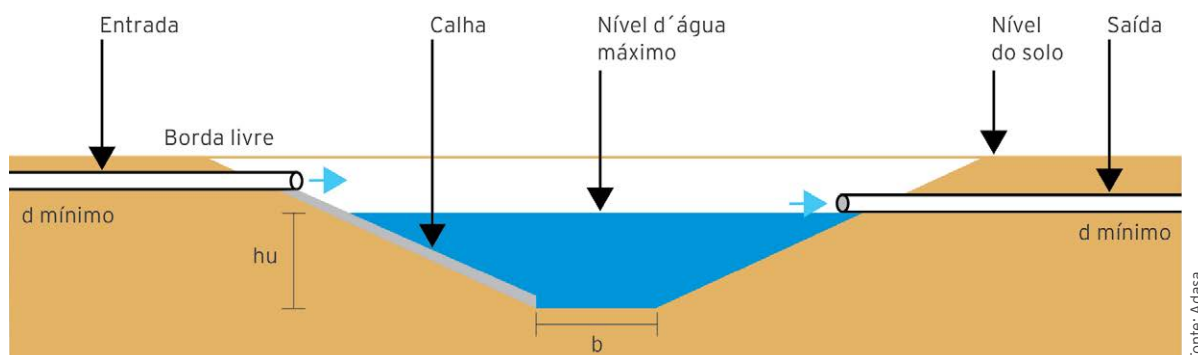


Figura 79 Vala de Infiltração sem Preenchimento - Corte Lateral.

As paredes e o fundo de vala de infiltração podem ser revestidos com espécie de grama resistente ao encharcamento do solo.

A declividade mínima das paredes não revestidas de vala de infiltração deve ser tal que previna desbarrancamento, com o mínimo de 3:1 (horizontal/vertical) quando a profundidade total for maior que 0,50 m.

As valas de infiltração devem ser locadas a pelo menos 3,00 m (três metros) de qualquer edificação, de no mínimo, 5,00 m (cinco metros) de edificações com pavimento em subsolo, e de 1,50 m (um metro e meio) de quaisquer obstáculos (tais como árvores e suas raízes, muros, ou divisa de terreno).

12.9 Poço de Infiltração

Os poços de infiltração são dispositivos pontuais que promovem a infiltração, no solo, das águas captadas. São preenchidos de material granular (seixo, cascalho, argila expandida, dentre outros) que tem como finalidade, além de armazenar a água, conter as paredes laterais do poço. Para aumentar a capacidade de armazenamento, podem também ser construídos sem o preenchimento interno e com paredes estruturais porosas de contenção.

Se a permeabilidade das camadas superiores de solo for baixa, pode-se aprofundá-las até atingir uma camada de solo mais permeável.

Os poços podem ser projetados para captação direta ou receber a descarga de coletores ou galerias de águas pluviais subterrâneas. No primeiro caso, o terreno deve ser modelado de forma a ter seu caimento orientado em direção às bocas dos poços.

Assim como as trincheiras e valas de infiltração, os poços podem ser bem integrados ao paisagismo do seu entorno e, por isso, são muito utilizados para a drenagem de praças e áreas de lazer.

A Figura 80 exemplifica um poço de infiltração preenchido com material granular.

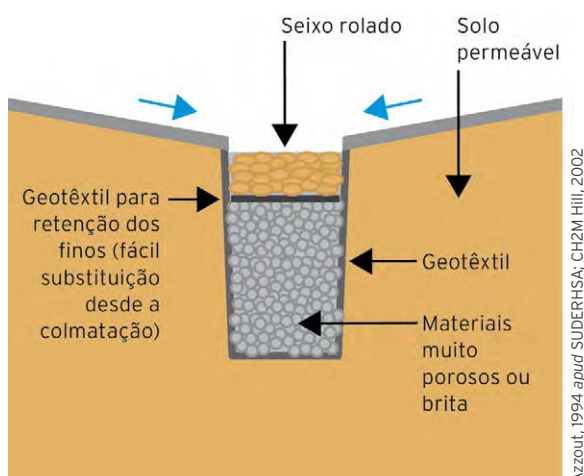


Figura 80 Poço de infiltração preenchido com agregados.

12.9.1 Colmatação do Poço de Infiltração

Para evitar a colmatação, os poços de infiltração devem ser instalados em áreas com urbanização consolidada onde o aporte de sedimentos seja reduzido. Deve também ser evitada a construção de poços de infiltração sob áreas arborizadas e assim evitar a colmatação por folhas. Para melhor retenção de sedimentos, é recomendável que a água do escoamento superficial passe por uma faixa vegetada ou por um dispositivo de sedimentação, antes de atingir o poço.

12.9.2 Interligação do Poço de Infiltração com o Sistema de Drenagem a Jusante

O poço de infiltração deve ser dimensionado para infiltrar toda a vazão afluyente, menos a vazão de pré-desenvolvimento de 24,4 L/s.ha (Adasa, 2023), para eventos de período de recorrência de 10 anos.

Para vazões que excedem a capacidade de infiltração, o excesso é transbordado e destinado, por meio de canaletas, a um exutório próximo, que pode ser um coletor ou galeria de águas pluviais ou um recurso hídrico.

12.9.3 Dimensionamento Hidráulico de Poço de Infiltração

O dimensionamento hidráulico do poço de infiltração é similar ao da trincheira de infiltração (Baptista; Nascimento; Barraud, 2005), considerando a superfície lateral de contato com o solo igual à superfície de um cilindro (ou de um tronco de cone) e o fundo circular.

O projeto do poço de infiltração também é feito com a equação geral de dispositivos de infiltração (Equação 1):

$$Vp(m^3) = H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 6.000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - 24,4) - k \cdot A_{inf} \cdot C_s]$$

Onde:

Vp = volume de água armazenada no poço de infiltração (m³);

H = altura do poço (m);

D = diâmetro do poço (m) (diâmetro médio, no caso de poço cônico);

td = tempo de duração da chuva (min);

P = porosidade do material granular ou índice de vazios (%);

A = área de contribuição (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha) correspondente ao tempo de duração td , calculada pela equação IDF do Distrito Federal;

24,4 (L/s.ha) = vazão de restrição conforme Resolução Adasa nº 26/2023;

k (m/s) = coeficiente de permeabilidade do solo saturado, medido na superfície do solo com cobertura vegetal do mesmo padrão utilizado na vala (geralmente utiliza-se grama).

A_{inf} = área de infiltração do poço, considerada igual à soma da área do fundo e da metade da lateral:

$$A_{inf} = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} + \frac{D \cdot H}{2} \right)$$

C_s = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5.

Para a determinação do volume, deve-se calcular o volume de preenchimento (V_p) para chuvas de diferentes durações (td) até se encontrar o volume máximo. Assim como V_p , a área de infiltração A_{inf} também está relacionada com a geometria do poço. O cálculo é, então, feito de forma interativa, até que as dimensões do poço sejam compatíveis com o volume máximo de preenchimento e com a área de infiltração.

12.9.4 Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Poço de Infiltração

Dados

- Área de contribuição ao poço de infiltração: $A = 0,05$ ha;
- Coeficiente de escoamento superficial: $C = 0,5$;
- Diâmetro do poço de infiltração: $D = 3,5$ m;
- Índice de vazios do material de preenchimento: $P = 35\%$;
- Coeficiente de permeabilidade do solo saturado: $k = 5,5 \times 10^{-5}$ m/s.

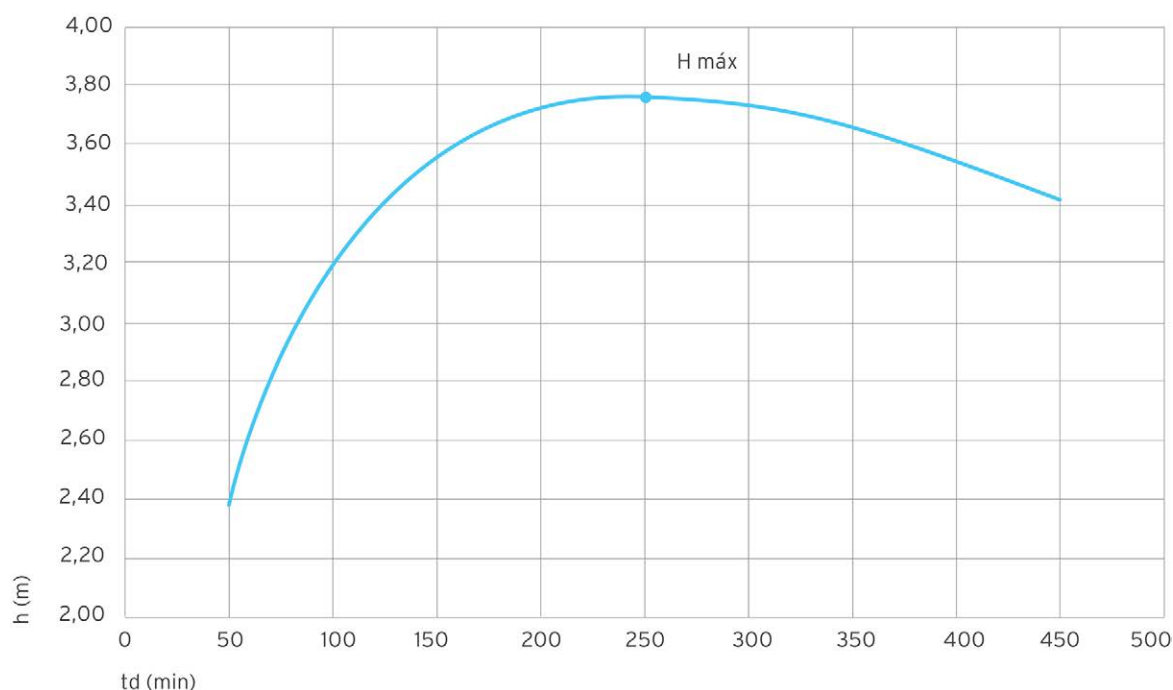


Figura 81 Exemplo de cálculo para a determinação da altura de um poço de infiltração.

Resolução

Da mesma forma que para os exemplos dos itens anteriores, a resolução é iterativa, calculando-se a profundidade do nível de água para chuvas de diversas durações. A altura do poço é então adotada como sendo igual ou maior que a profundidade máxima calculada nesse processo. O gráfico da Figura 81 mostra os resultados dos cálculos efetuados com os dados acima, chegando-se a $h_{máx} = 3,76$ m, para uma chuva de 50 min de duração.

12.9.5 Recomendações para Implantação de Poços de Infiltração

As Figuras 82 e 83 ilustram dois poços de infiltração, sendo um com material de preenchimento e outro sem material. A opção pelo preenchimento do poço com material granular implica no aumento do seu volume.

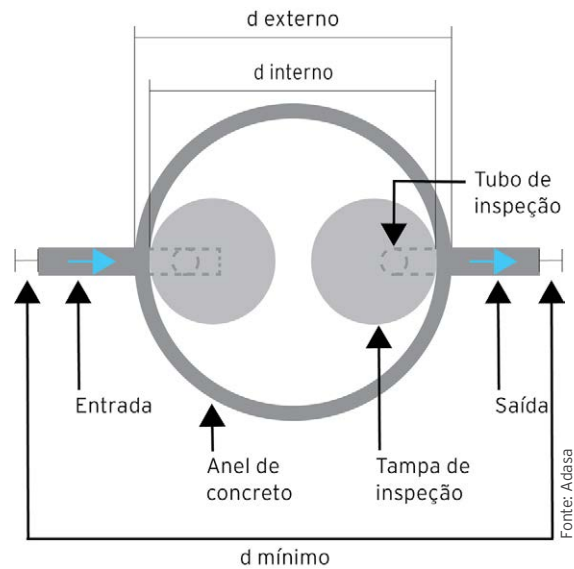


Figura 82 Poço de Infiltração com Preenchimento - Vista Superior.

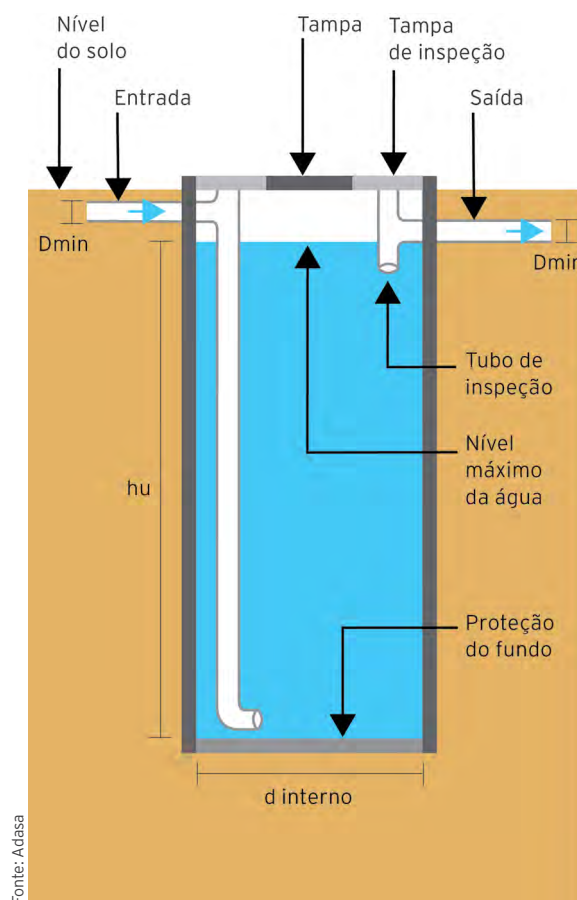


Figura 83 Poço de Infiltração sem Preenchimento - Corte Lateral.

Se a permeabilidade das camadas superiores de solo for baixa, pode-se aprofundar o poço de infiltração até atingir uma camada de solo mais permeável, desde que respeitada a limitação de distância mínima de 1,20 m do fundo do poço ao nível mais alto do lençol freático.

O poço de infiltração deve ter pelo menos 1,00 m de diâmetro interno. Quando a profundidade necessária for maior do que 5,00 m, recomenda-se utilizar poços em paralelo.

Os poços de infiltração devem ser locados a pelo menos 3,00 m (três metros) de qualquer edificação, a pelo menos 5,00 m (cinco metros) de edificações com pavimento em subsolo, e de 1,50 m (um metro e meio) de quaisquer obstáculos (tais como árvores e suas raízes, muros, ou divisa de terreno).

Quando houver preenchimento, o fundo do poço deve ser protegido contra colmatação por filtro geotêxtil ou por outro dispositivo com função de filtro. Paredes não revestidas e topo sem tampa também devem ser protegidos.

Quando for o caso, para evitar a colmatação do solo, a água afluyente deve passar por um dispositivo de separação de folhas antes de atingir o poço, que é dimensionado para receber apenas água pluvial interceptada por coberturas. A borda do poço não deve permitir a entrada de outras águas escoadas superficialmente.

As vazões que excedem a capacidade de infiltração devem ser destinadas ao sistema público de drenagem pluvial ou a outra destinação adequada. O orifício de saída deve ser posicionado de modo a garantir o enchimento da vala até a altura útil calculada e disponibilizar uma borda livre de no mínimo 0,3 m. A geratriz inferior da tubulação de entrada não deve estar em nível inferior à geratriz superior do orifício de saída. O diâmetro mínimo das tubulações de entrada e saída é 100 mm.

O revestimento das paredes do poço de infiltração pode ser de alvenaria de tijolo de barro maciço ou de blocos de concreto, com juntas verticais abertas, ou ainda com anéis ou tubos pré-moldados de concreto perfurados radialmente e assentados uns sobre os outros, sem rejuntamento. No caso de poço sem enchimento para prevenir colmatação e erosão do fundo, é recomendável a colocação de filtro geotêxtil e de uma camada de cascalho.

Os poços devem ser tampados com laje de concreto armado, removível para inspeção e manutenção, sobre a qual se pode colocar terra e grama. No caso de poços com preenchimento, o material de preenchimento deve ser protegido com tecido geotêxtil antes de receber aterro e grama ou outro tipo de cobertura, como uma grade metálica ou mesmo laje de concreto armado. As lajes de cobertura dos poços de infiltração devem ser dotadas de aberturas de inspeção com tampa, cuja menor dimensão em seção seja de 0,60 m.

12.10 Microrreservatório

São MCs tipicamente utilizadas para controlar vazões pluviais em lotes urbanos. São estruturas simples, na forma de caixas de concreto ou de alvenaria, geralmente subterrâneas¹¹, como apresenta a Figura 84.

¹¹ Havendo condições para isso, como disponibilidade de espaço, essas estruturas podem também ser abertas e seguem o mesmo princípio de funcionamento.

O microrreservatório é dotado de orifício de saída que restringe a vazão efluente até o limite máximo estabelecido pela Resolução Adasa nº 26/2023 e norma da Prestadora Novacap (24,4 L/s.ha).

Os microrreservatórios são uma alternativa interessante para áreas edificadas, onde os espaços destinados às MCs são limitados.

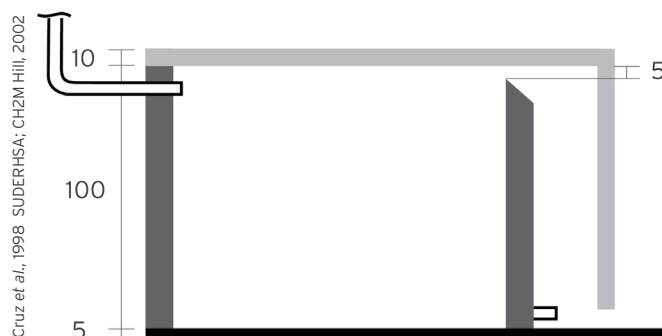


Figura 84 Exemplo de microrreservatório típico (medidas em mm).

Esses dispositivos devem ser utilizados somente para amortecimento de vazão de pico.

Os projetos de microrreservatórios devem ser elaborados seguindo as seguintes orientações:

- Estudos que indiquem o uso e a ocupação do imóvel, da máxima taxa de impermeabilidade da área de contribuição e a localização proposta do respectivo dispositivo;
- Plano de manutenção, contendo estimativas de custos de limpeza e periodicidade da manutenção técnica, acrescida das tecnologias recomendadas para o seu correto funcionamento;
- Definição dos responsáveis pela sua operação e manutenção.

12.10.1 Interligação do Microrreservatório com o Sistema de Drenagem a Jusante

As vazões efluentes dos microrreservatórios em lotes urbanos devem ser lançadas no sistema público de drenagem, da mesma maneira como é realizado o lançamento da drenagem predial convencional. Importante esclarecer que a ligação predial será efetuada em uma boca de lobo ou poço de visita, mediante autorização da prestadora Novacap. Se a cota de saída do microrreservatório for incompatível, pode-se efetuar a ligação na via (mediante autorização da prestadora Novacap) ou ainda prever um sistema de esgotamento por recalque. Em qualquer caso, a vazão interligada ou máxima bombeada não deverá ultrapassar a vazão de restrição de 24,4 L/s.ha.

12.10.2 Dimensionamento Hidráulico de Microrreservatório

O volume do microrreservatório é calculado com a equação geral de medidas de controle por armazenamento (Equação 1) apresentada no item 12.5.1 - Volume de Armazenamento, deste Manual:

$$V_c = 4,705 \cdot A \cdot P_i$$

Com:

V_c = volume de armazenamento (m^3);

A = área de contribuição total (ha);

P_i = proporção de área impermeável (%).

O dispositivo de descarga de fundo e o vertedor são calculados de acordo com a metodologia do Item 12.5.2 - Dispositivos de Descarga, deste Manual.

12.10.3 Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Microrreservatório

Dados

- Área de contribuição ao microrreservatório: $A = 0,1$ ha;
- Parcela impermeável: $P = 70\%$;
- Orifício retangular junto ao fundo, com duas contrações laterais;
- C_d = coeficiente de contração do orifício = $0,61$;
- K_c = coeficiente de correção que depende da forma do orifício e de sua posição em relação às paredes laterais da caixa de passagem, conforme a Tabela 10.

$$K_c = \frac{a}{2 \cdot (a + b)}$$

- a = largura do orifício;
- b = altura do orifício.

Resolução

Volume de controle:

$$V_c = 4,705 \cdot 0,1 \cdot 0,70 = 32,9 \text{ m}^3$$

Para esse volume, adotou-se um reservatório com as seguintes dimensões:

- Altura útil = $2,0$ m;
- Largura = $3,5$ m;
- Comprimento = $4,7$ m.

Para área de contribuição de $0,1$ ha, a vazão de controle vale: $0,1 \times 24,4 = 2,44$ L/s.

As dimensões do orifício são calculadas pela equação para orifícios retangulares apresentada no Item 12.4.2 - Dispositivo de Controle da Vazão Efluente, deste Manual:

$$Q = Aor.Cd.(1 + 0,15.Kc).\sqrt{2.g.h}$$

Adotando-se: a = 0,20 m e b = 3,26 m, resulta que a vazão do orifício para uma carga de 2,0 m = 2,44 L/s, que é a vazão de regulamentação para a área de contribuição de 0,1 ha.

12.11 Telhado Reservatório

O telhado reservatório é uma MC compensatória da impermeabilização inevitável de uma cobertura de edificação. Age no sentido de laminar na própria estrutura de cobertura o escoamento pluvial nela gerado. Funciona como um reservatório que armazena provisoriamente a água das chuvas e a libera gradualmente para a rede pluvial, por meio de um dispositivo de regulação específico. Os telhados planos (na verdade, com pouca inclinação) são mais apropriados a este tipo de MC, mas também há arranjos para telhados inclinados.

Para melhorar o conforto térmico, o telhado reservatório pode ser preenchido com cascalho, brita, argila expandida ou outro material granular (Figura 85). Há também uma variante muito comum, onde o telhado reservatório é coberto por um jardim, sendo, neste caso, denominado de Telhado Verde.

O telhado reservatório compõe a arquitetura da edificação e, portanto, é normalmente projetado juntamente com o edifício. Entretanto, também é possível sua adaptação em edifícios existentes, desde que haja condições estruturais para isso e que a laje sob o reservatório seja devidamente impermeabilizada.

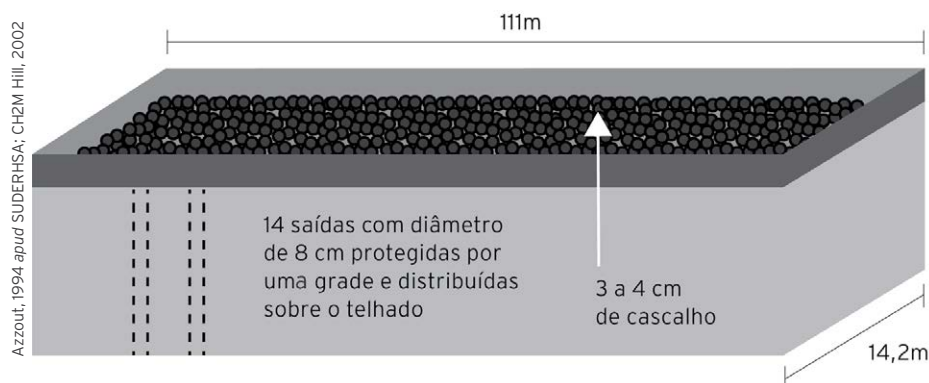


Figura 85 Exemplo de solução para telhado reservatório.

12.11.1 Interligação do Telhado Reservatório com o Sistema de Drenagem a Jusante

A captação das águas pluviais pode ser realizada por meio de ralos hemisféricos instalados na laje do telhado, na base do reservatório, devem ser protegidos por manta geotêxtil.

A água captada pelos ralos segue por condutores verticais ao longo da edificação, como é feito em uma instalação predial de águas pluviais convencional.

12.11.2 Dimensionamento Hidráulico de Telhado Reservatório

O cálculo da vazão dos condutores (Q_c) é feito de acordo com a norma ABNT NBR 10.844 de dezembro de 1989 - Instalações prediais de águas pluviais da ABNT, que estabelece:

- a. Chuva de projeto com duração de 5 min e TR = 5 anos¹²;
- b. Diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular = 50 mm (sendo recomendável a utilização de DN mínimo de 75 mm para reduzir problemas de entupimentos);
- c. Dimensionamento dos condutores verticais realizado a partir dos seguintes dados:
 - Q = Vazão de projeto (L/min);
 - H = altura da lâmina de água sobre o condutor (m);
 - L = comprimento do condutor vertical (m).
- d. Diâmetro interno do condutor vertical obtido através dos ábacos apresentados na referida Norma ABNT e que não podem ser reproduzidos aqui por razões de direitos autorais.

12.11.3 Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Telhado Reservatório

Dados

Área do telhado = 100 m² = 0,01 ha.

Resolução

Calcula-se a intensidade da chuva pela equação IDF do Distrito Federal, considerando a duração de 5 min e TR = 10 anos.

Como resultado, a vazão captada pelo telhado será igual a 6,07 L/s ou 364 L/min.

Consultando os ábacos da ABNT NBR 10844, verifica-se que serão necessários, no mínimo, 2 condutores de 50 mm de diâmetro interno.

Para uma área de 100 m², a vazão de restrição seria de 0,244 L/s, muito menor que a capacidade de um condutor de diâmetro mínimo, segundo a referida Norma. Nesse caso, o controle de vazão deve ser feito no nível do terreno, por meio de outro dispositivo, como um microrreservatório, por exemplo.

É importante destacar que, apesar de a norma estabelecer diâmetro mínimo igual a 50 mm, para redução de problemas operacionais, recomenda-se neste Manual a utilização de diâmetros iguais ou superiores a 75 mm.

¹² A legislação no DF (Resolução Adasa nº 26/2023 e Lei Complementar nº 929/2017) exige TR para precipitação de 10 anos.

12.12 Reservatório de Detenção Aberto

É um reservatório mantido seco nas estiagens, destinado a amortecer os picos de escoamento superficial, liberando mais lentamente os volumes afluentes (Figura 86). Pode ser escavado ou materializado por uma pequena barragem de terra ou concreto, aproveitando ou não depressões naturais do terreno.

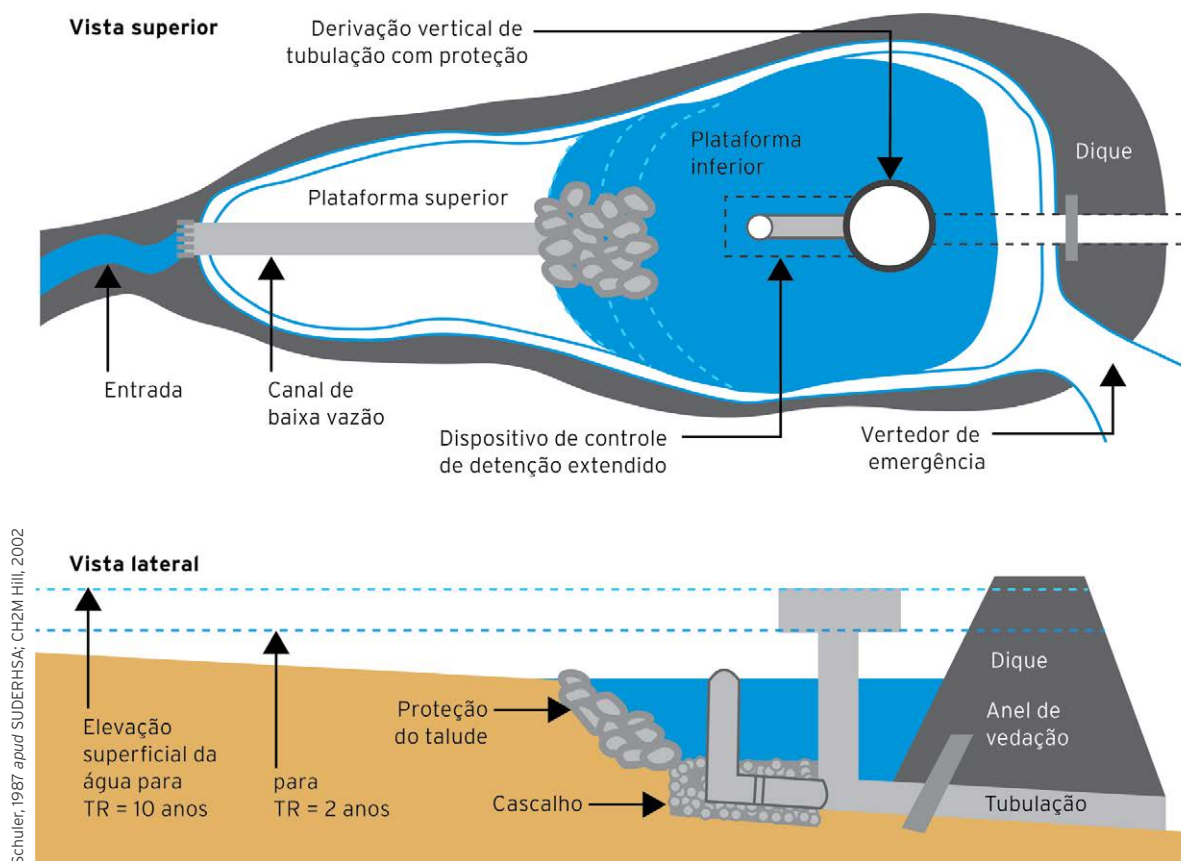


Figura 86 Reservatório de retenção aberta típico.

Observação:

Anel de vedação garantindo estanqueidade entre a tubulação e o maciço de terra da barragem, evitando-se danos à estrutura.

O fundo e os taludes podem ser de terreno natural, de terreno escavado ou de concreto. Para seu correto funcionamento, necessita, a montante, de dispositivos como uma bacia de decantação e gradeamento para a contenção de sedimentos e lixo. Na saída, além das estruturas da tomada d'água e tubulações, há um extravasor de emergência para verter vazões maiores que as vazões de projeto.

O projeto do reservatório de retenção aberta deve considerar o controle da proliferação de insetos. O tempo de retenção deve ser inferior ao tempo do ciclo reprodutivo dos es-

pécimes locais. O Plano Diretor de Drenagem do DF (Concremat Engenharia/GDF, 2009) limita esse tempo a 12h.

Uma variante para os reservatórios de detenção são os reservatórios de infiltração que consideram que parte do volume armazenado será infiltrado. Esses reservatórios são geralmente implantados em áreas isoladas de terrenos destinados à função precípua de infiltração no solo dos excessos pluviais (Figura 87).

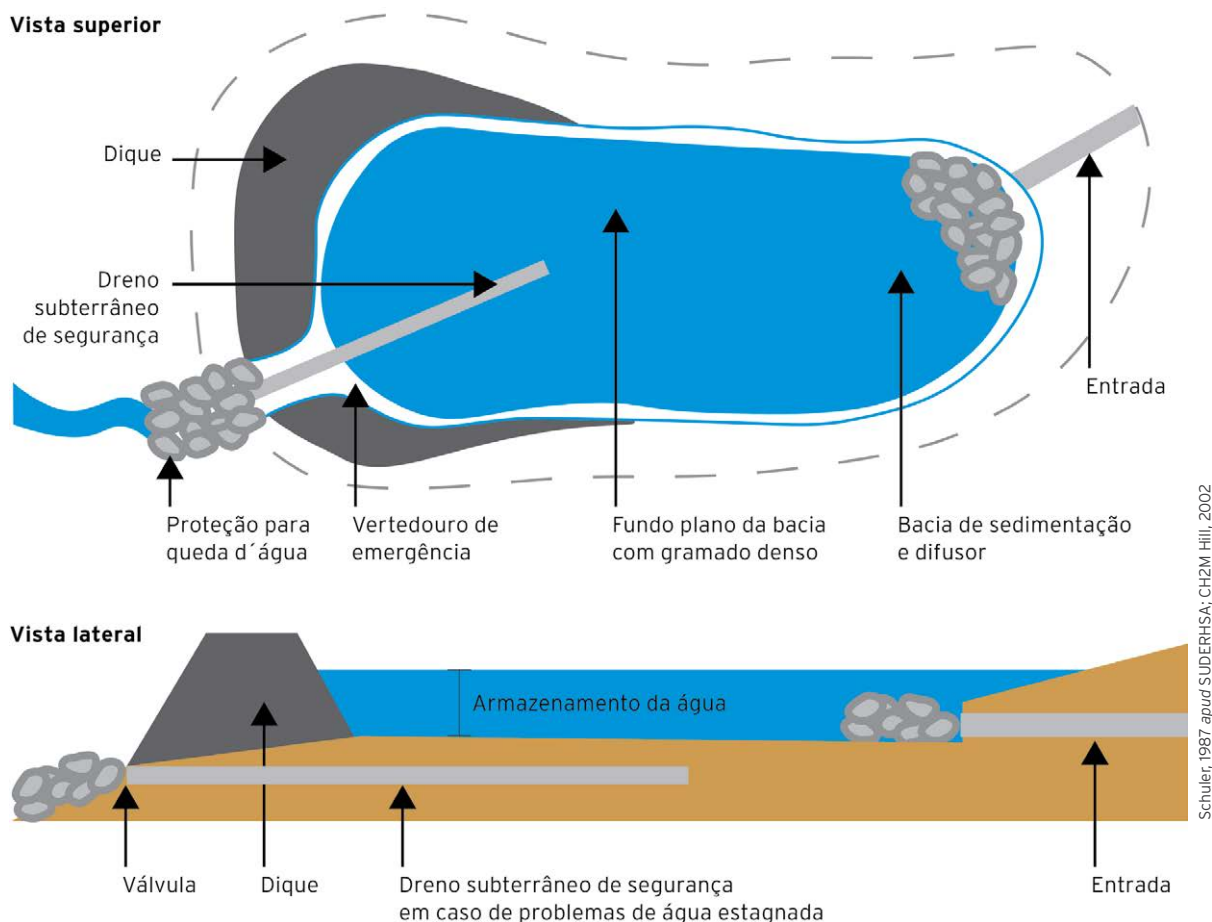


Figura 87 Bacia de infiltração típica.

Assemelham-se aos reservatórios de detenção, porém se distinguem por possuírem um dispositivo de saída para um esvaziamento controlado. Para segurança, devem conter vertedor de emergência e um dreno enterrado no leito para a preservação do fundo. Os reservatórios de detenção e/ou infiltração se adéquam a locais com solos permeáveis e lençol freático profundo.

As principais vantagens das reservatórios de detenção + infiltração são: a preservação do balanço hídrico local (com controle de picos para altos períodos de retorno) e a possibilidade de serem utilizados como tanque de sedimentação na fase de construção de loteamentos.

Os dimensionamentos desses reservatórios devem considerar a metodologia de cálculo aplicada para reservatórios de detenção acrescida da metodologia de cálculo para dispositivos de infiltração, considerando como área de infiltração aquela definida como apropriada nos estudos geotécnicos, sempre levando em consideração a possibilidade de saturação do solo.

12.12.1 Interligação do Reservatório de Detenção Aberto com o Sistema de Drenagem a Jusante

A interligação com o sistema de drenagem a jusante é realizada a partir da descarga do fundo e do vertedor para um recurso hídrico ou canal a céu aberto, sendo fundamental prever um dissipador de energia.

É importante observar que a Prestadora Novacap exige a instalação de dissipadores tipo impacto (Bradley-Peterka) e a Resolução Adasa nº 26/2023 estabelece que a “velocidade do escoamento a jusante de obra de drenagem executada no Distrito Federal não poderá aumentar em relação à condição existente”. Essas duas exigências visam minimizar efeitos de aceleração de processos erosivos no ponto de lançamento e devem ser consideradas no projeto.

12.12.2 Dimensionamento Hidráulico de Reservatório de Detenção Aberto

O processo de dimensionamento hidráulico segue exatamente a metodologia de dimensionamento hidráulico de medidas de controle por armazenamento apresentada no Item 12.5 - Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Armazenamento, deste Manual, podendo-se tomar como exemplo o caso do microrreservatório apresentado no Item 12.10.3 - Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Microrreservatório, deste Manual.

12.13 Reservatório de Retenção Aberto

O reservatório de retenção aberto (Figura 88) é similar ao de detenção, com a diferença de que é mantido um volume de água permanente em seu fundo. No tempo seco, tem a aparência de um lago, contribuindo para a harmonização paisagística e para a melhoria da qualidade da água.

Após um evento de chuva, portanto, o reservatório não se esvazia completamente. Para garantir a qualidade da água do volume permanente, deve ser projetado para um tempo de residência entre 2 e 4 semanas.

Assim como os reservatórios de detenção, é importante que sejam dotados de estruturas de retenção de resíduos sólidos e sedimentos. Para a redução do aporte de carga difusa, recomenda-se a instalação de dispositivos de partição das águas de primeira chuva, como os descritos no Item 19.7 do Apêndice.

Para o controle de insetos vetores de doenças de veiculação hídrica, utilizam-se espécimes de peixes e anfíbios adaptados ao ecossistema do lago permanente, tomando-se o cuidado de que haja renovação constante da água e de se prever o manejo permanente e adequado dessa fauna.

Deve-se ter especial atenção com a presença de esgotos sanitários afluentes aos reservatórios, evitando-se prejuízos aos sistemas de reservação. Assim, caso haja essa ocorrência, deve-se promover a retirada dos esgotos sanitários para se evitar a proliferação de algas e/ou impactos negativos ao ecossistema, o que pode proporcionar situações desagradáveis à população, como, por exemplo, a eutrofização do lago e o surgimento de odores desagradáveis e aspectos esverdeados para a coloração das águas.

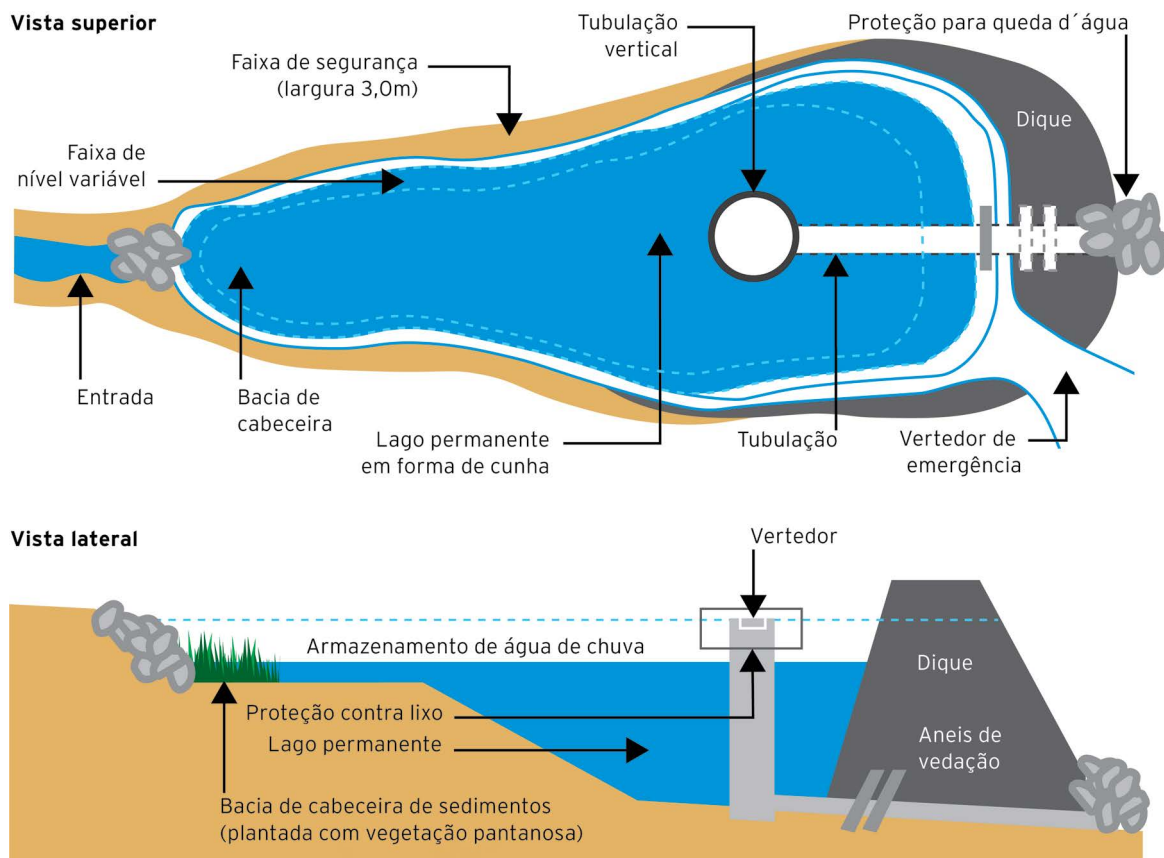


Figura 88 Reservatório de retenção aberto (Schuler, 1987 *apud* SUDERHSA; CH2M Hill, 2002)

Observação:

Anel de vedação garantindo estanqueidade entre a tubulação e o maciço de terra da barragem, evitando-se danos à estrutura.

12.13.1 Interligação do Reservatório de Retenção Aberto com o Sistema de Drenagem a Jusante

A interligação com o sistema de drenagem a jusante é feita, como nos reservatórios de detenção abertos, a partir da descarga do fundo e do vertedor para um corpo de água ou canal a céu aberto, sendo fundamental prever um dissipador de energia.

Também nesse caso é importante observar que a Novacap exige a instalação de dissipadores tipo impacto (Bradley-Peterka), e a Resolução Adasa nº 26/2023 estabelece que a “velocidade do escoamento a jusante de obra de drenagem executada no Distrito Federal não poderá aumentar em relação à condição existente”. Essas duas exigências visam minimizar efeitos de processos erosivos no ponto de lançamento e devem ser consideradas no projeto.

12.13.2 Dimensionamento Hidráulico de Reservatório de Retenção Aberto

O processo de dimensionamento hidráulico do reservatório de retenção aberto segue exatamente a metodologia de dimensionamento hidráulico de medidas de controle por armazenamento apresentada no Item 12.5 - Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Armazenamento, deste Manual, podendo-se tomar como exemplo o caso do microrreservatório mostrado no Item 12.10.3 - Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Microrreservatório, deste Manual.

12.14 Reservatório Subterrâneo Pontual

O reservatório subterrâneo é um tanque estanque construído abaixo do nível do solo (com paredes em concreto impermeável), permitindo o aproveitamento da superfície para outro fim, como, por exemplo, uma praça, área verde gramada ou terreno de esporte (Figura 89). Há outros tipos que são escavados no solo e preenchidos com material poroso estrutural (cascalho, por exemplo). Funciona de maneira similar aos reservatórios de detenção impermeável a céu aberto. Portanto, abate o escoamento pluvial nela introduzido por efeito de laminação controlado na saída por orifício e válvula no fundo. Há um vertedor de extravasamento para segurança da obra.

O reservatório subterrâneo deve estar equipado com dispositivos de proteção contra poluição e aporte de sólidos (sedimentos e resíduos sólidos) similares aos utilizados nas outras MCs, tomando-se o cuidado de se controlarem possíveis emissões de gases tóxicos.

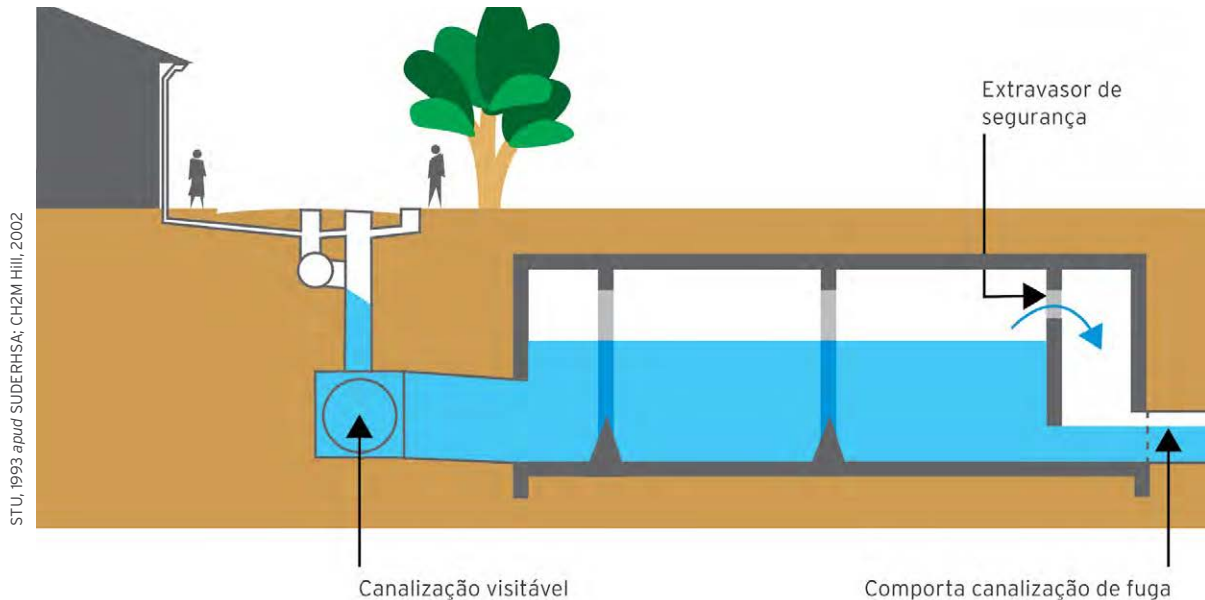


Figura 89 Reservatório subterrâneo pontual.

12.14.1 Interligação do Reservatório Subterrâneo Pontual com o Sistema de Drenagem a Jusante

O reservatório subterrâneo pontual situa-se, geralmente, entre trechos de coletor ou galerias de águas pluviais, e a sua interligação com o trecho a jusante é realizada por meio de um sistema de orifício de fundo com vertedor de segurança.

O projeto deve ser realizado de tal modo que a lâmina de água a jusante deixe a saída do orifício livre para a vazão de projeto, garantindo a utilização de todo o volume do reservatório para o amortecimento desejado.

12.14.2 Dimensionamento Hidráulico de Reservatório Subterrâneo Pontual

O processo de dimensionamento hidráulico do reservatório subterrâneo pontual segue exatamente a metodologia de dimensionamento hidráulico de medidas de controle por armazenamento apresentada no Item 12.5 - Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Armazenamento, deste Manual, podendo-se tomar como exemplo o caso do microrreservatório mostrado no Item 12.10.3 - Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Microrreservatório, deste Manual.

12.15 Reservatório Subterrâneo Linear

O reservatório linear (também conhecido como “supertubo”) tem o mesmo princípio de funcionamento do reservatório de amortecimento pontual em linha. É frequentemente utilizado quando não existem áreas disponíveis para a implantação de reservatórios pontuais, pois pode ser construído sob o sistema viário.

Esse tipo de MC é semelhante a uma galeria, ou canal fechado, com seção transversal maior do que a estritamente necessária para a veiculação da vazão de projeto. Um orifício instalado na saída controla a vazão transposta para jusante e o excesso de volume, decorrente da diferença entre as vazões afluentes e efluentes que é acumulado no interior da tubulação (Figura 90 e Figura 91).

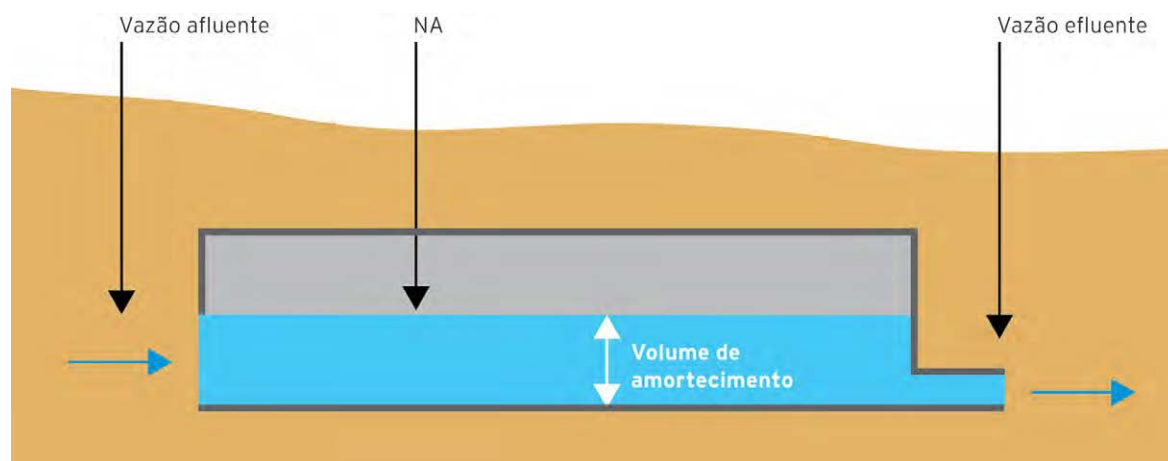


Figura 90 Representação de trecho de reservatório subterrâneo linear.

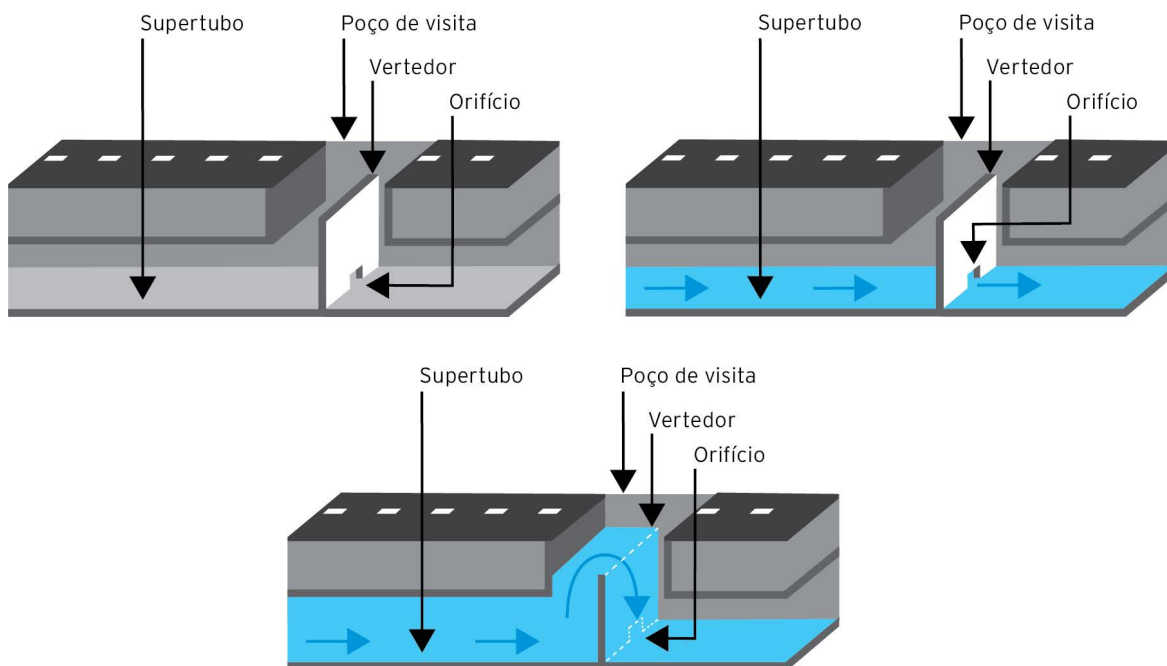


Figura 91 Fases de funcionamento de reservatório linear dotado de orifício para controle de vazão, vertedor e poço de visita.

Para vencer grandes desníveis, os reservatórios lineares podem ser projetados em série. Também podem ser projetados em rede, formando malhas fechadas de tubulações interligadas entre si (similares às das redes de distribuição de água), otimizando o aproveitamento dos volumes ociosos, o que não acontece em sistemas convencionais de drenagem.

Uma das características desse tipo de MC é que ao mesmo tempo em que transporta as águas pluviais, amortece as vazões de pico ao longo de seu trajeto. Tem, portanto, duas funções simultâneas: galeria de águas pluviais e reservatório de amortecimento.

Por esse motivo, considerando também a possibilidade de se aproveitar o espaço já ocupado pelo sistema viário, é uma solução que apresenta expressiva vantagem econômica e ambiental, quando implantada em áreas densamente urbanizadas, com poucas áreas livres.

O projeto de redes de reservatórios lineares de amortecimento requer estudos hidrológicos e hidráulicos complexos. Para seu dimensionamento hidráulico, é necessário utilizar como ferramenta de cálculo modelos computacionais de simulação hidrológica e hidráulica integradas, do tipo distribuído, com capacidade de simular o escoamento em regime transitório com lâmina livre ou sob pressão.

Os reservatórios subterrâneos lineares, sendo implantado em longas extensões e com grandes diâmetros, podem proporcionar interferências com outras infraestruturas, sendo que essas interferências devem ser criteriosamente avaliadas quando da elaboração dos estudos e projetos, evitando-se interrupções indevidas quando de suas implantações.

12.15.1 Interligação do Reservatório Subterrâneo Linear com o Sistema de Drenagem a Jusante

O reservatório subterrâneo linear situa-se, geralmente, entre trechos de coletor ou galerias de águas pluviais. Sua interligação com o trecho a jusante é realizada por meio de um sistema de orifício de fundo com vertedor de segurança (Figura 91).

O projeto deve ser realizado de tal modo que a lâmina de água à jusante deixe a saída do orifício livre para a vazão de projeto, garantindo a utilização de todo o volume do reservatório para o amortecimento desejado.

12.15.2 Dimensionamento Hidráulico de Reservatório Subterrâneo Linear

O processo de dimensionamento hidráulico do reservatório subterrâneo linear segue exatamente a metodologia de dimensionamento hidráulico de medidas de controle por armazenamento apresentada no Item 12.5 - Dimensionamento Hidráulico de Medidas de Controle por Armazenamento, deste Manual, podendo-se tomar como exemplo o caso do microrreservatório mostrado no Item 12.10.3 - Exemplo: Dimensionamento Hidráulico de Microrreservatório, deste Manual.

Para reservatórios lineares não horizontais, que funcionam com lâmina livre, deve-se aplicar o fator de redução calculado pela Equação 11.

12.16 Faixa Gramada

Faixas gramadas são caracterizadas por áreas com solo vegetadas, concebidas para desacelerar e infiltrar parcialmente escoamentos laminares provenientes das superfícies impermeáveis urbanas (estacionamentos e vias de tráfego de veículos) e controle de águas pluviais provenientes de coberturas. Nos sistemas de macrodrenagem, assumem o papel de zona de escape para enchentes ou inundações.

As faixas menores, indicadas para estacionamentos, devem ser localizadas a montante do sistema público de drenagem. Tem a propriedade de diminuir significativamente a velocidade do escoamento superficial, sendo que sua eficiência na redução dos picos de vazão deve ser verificada para cada situação específica. Outra função principal dessa MC é a remoção de partículas poluentes como sedimentos finos, matéria orgânica e traços de metais. Em pequena escala, as faixas gramadas são tipicamente utilizadas em lotes e loteamentos, no entorno de superfícies impermeabilizadas ou associadas a outras MCs como, por exemplo, pavimento permeáveis.

O caráter linear das faixas gramadas permite uma grande flexibilidade de arranjos espaciais.

Para proporcionar o escoamento laminar da área de contribuição para a faixa gramada é recomendável associar um difusor (Figura 92), que pode ser uma pequena valeta ou uma pequena soleira.

Em escala maior, as faixas gramadas ou arborizadas encaixam-se muito bem arquitetonicamente nas margens dos rios da macrodrenagem. Neste caso, além de se destinarem a amortecer cheias frequentes, podem assumir o papel adicional de parque linear.

Na Figura 92 são apresentados alguns detalhes desse tipo de MC.

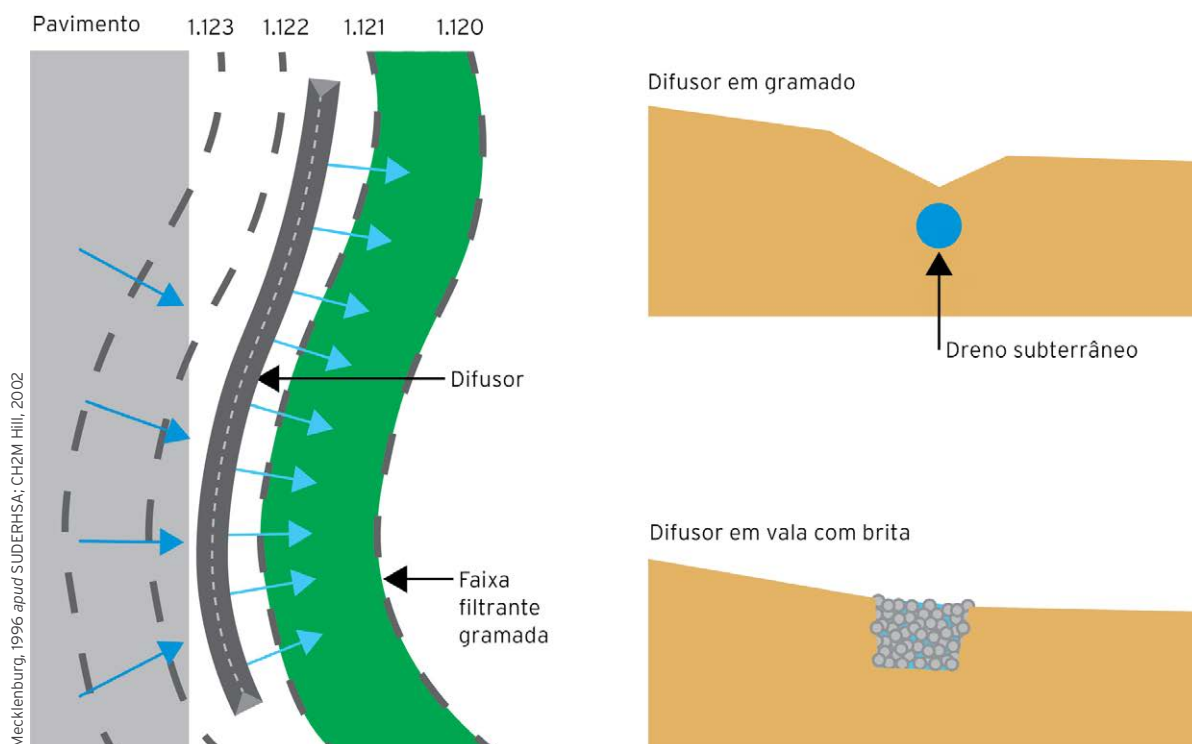


Figura 92 Faixa gramada - detalhes típicos.

12.16.1 Interligação da Faixa Gramada com o Sistema de Drenagem a Jusante

Quando a capacidade de armazenamento da faixa for superada, haverá seu transbordamento e o excesso de vazão escoará superficialmente. Nessa situação, é recomendável prever canaletas superficiais que colem o excesso de vazão e o conduzam para um local seguro.

Havendo sistema de drenagem a jusante, em cota adequada e que possa receber o excesso de vazão, deve-se prever a instalação de dispositivo de controle de vazão e tubos dreno especificados nos Itens 12.4.2 e 12.4.3.

12.16.2 Dimensionamento Hidráulico da Faixa Gramada

O processo de dimensionamento hidráulico da faixa gramada segue exatamente a metodologia de dimensionamento hidráulico de medidas de controle por infiltração apresentada no Item 12.8.1 - Dimensionamento Hidráulico de Vala de Infiltração, deste Manual.

As recomendações para a implantação das faixas gramadas também devem seguir, no que couber, o contido no item 12.8.3 - Recomendações para Implantação de Valas de Infiltração, deste Manual.

12.17 Síntese das Principais Medidas de Controle na Fonte

A Tabela 13 sintetiza as principais características das medidas de controle na fonte descritas nos itens anteriores, bem como suas respectivas funções e efeitos.

Em sistemas de drenagem viária, é importante avaliar a necessidade de implantação de sistema separador de água e óleo antes do lançamento final em curso d'água.

TABELA 13 Medidas de controle e suas principais características

Medida de Controle	Característica Principal	Variantes	Função	Efeito
Pavimento permeável	Pavimento com revestimento e base porosos	Esgotamento por infiltração no solo e/ou para um exutório	Armazenamento temporário e/ou infiltração	Retardo e amortecimento do escoamento, podendo proporcionar efeito de recarga. Remoção parcial de poluentes e sedimentos
Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Trincheira de infiltração, com esgotamento para um exutório	Infiltração no solo concentrada e linear	Retardo, amortecimento do escoamento e recarga. Remoção parcial de poluentes e sedimentos
Trincheira de Retenção	Reservatório linear escavado no solo preenchido ou não com material poroso	Trincheira de infiltração	Retenção do escoamento	Retardo e retenção do escoamento. Remoção integral de poluentes e sedimentos
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Vala de infiltração efetiva em solo permeável	Infiltração no solo e/ou retenção linear da chuva precipitada na própria vala e em áreas adjacentes	Retardo, amortecimento do escoamento e recarga. Remoção parcial de poluentes e sedimentos
Vala de retenção	Depressões lineares no terreno	Vala de retenção efetiva no solo pouco permeável	Retenção do escoamento	Retardo e retenção do escoamento. Remoção integral de poluentes e sedimentos
Poço de infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Poço preenchido com material poroso ou revestido com paredes permeáveis	Infiltração pontual	Retardo e amortecimento do escoamento. Remoção parcial de poluentes e sedimentos

Medida de Controle	Característica Principal	Variantes	Função	Efeito
Microrreservatório	Reservatório enterrado de pequenas dimensões	Vazio ou preenchido com material poroso. Com fundo em solo ou vedado, tipo cisterna	Amortecimento das vazões de pico por armazenamento temporário	Retardo e amortecimento do escoamento
Telhado reservatório	Telhado com função reservatório	Vazio ou preenchido com material poroso, podendo ser solo com vegetação (telhado verde)	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo e amortecimento do escoamento. Isolamento térmico. Remoção parcial de poluentes
Reservatório de detenção aberto	Reservatório seco	Reservatório sobre leito natural ou escavado. Com leito em solo permeável ou impermeável, ou com leito revestido	Amortecimento das vazões de pico por armazenamento temporário	Retardo e amortecimento do escoamento.
Reservatório de retenção aberto	Reservatório com água permanente	Reservatório com leito permeável (freático aflorante) ou com leito impermeável	Armazenamento temporário e/ou infiltração	Retardo, amortecimento do escoamento e recarga. Remoção parcial de poluentes e sedimentos
Reservatório subterrâneo pontual	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Reservatório vazio, fechado e estanque. Reservatório preenchido com material poroso	Armazenamento temporário	Retardo e amortecimento do escoamento
Reservatório subterrâneo linear	Galerias ou canais fechados com seções transversais maiores	Canais isolados. Rede de canais	Armazenamento temporário e, imultaneamente, transporte das águas pluviais	Retardo e amortecimento do escoamento
Faixas gramadas	Faixas de terreno em torno de faixas impermeabilizadas e/ou marginais a corpos d'água.	Faixas gramadas ou arborizadas	Áreas de escape para enchentes e inundações	Retardo, amortecimento do escoamento e recarga. Remoção parcial de poluentes e sedimentos

12.18 Campos de Aplicação

A literatura técnica especializada fornece uma série de orientações sobre os campos de aplicação de cada tipo de medida de controle. Na Tabela 14 e na Tabela 15 apresentam-se orientações gerais para a escolha da medida de controle na fonte mais apropriada para cada situação. Tais orientações foram adaptadas do Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo (PMSP, 2012) e do Manual de Drenagem de Curitiba (SUDERH-SA; CH2M Hill, 2002), os quais foram desenvolvidos a partir de outras fontes (Baptista; Nascimento; Barraud, 2005; Schuler, 1987; Azzout, 1994).

É importante destacar que o desempenho de um dispositivo de controle depende fundamentalmente das condições locais. A escolha do dispositivo ideal deve ser feita, sempre que possível, com base na experiência prática, a partir da observação monitorada da performance de dispositivos que operam em condições similares. Deve-se levar em consideração, ainda, as capacidades técnico-operacionais do responsável pela implantação, operação e manutenção do dispositivo.

Os fatores mais relevantes que condicionam a escolha da medida de controle na fonte são os seguintes:

- **Área de contribuição**

Teoricamente, a escolha da MC independeria do tamanho da área de contribuição. A prática mostra, entretanto, que algumas são mais adequadas a áreas maiores e outras a áreas menores, em função de critérios econômicos e urbanísticos. A Tabela 14 apresenta as faixas típicas de aplicação de algumas medidas de controle mais usuais em função da área drenada.

- **Capacidade de infiltração do solo**

Característica utilizada para o dimensionamento de dispositivos de infiltração, podendo viabilizar ou inviabilizar a sua aplicação. Solos argilosos com capacidade de infiltração reduzida, por exemplo, não são apropriados para medidas de controle de infiltração e, nesse caso, é um fator determinante que impõe a utilização de dispositivo de armazenamento.

Por isso, para se projetar um sistema de infiltração, é imprescindível que a taxa de infiltração utilizada no dimensionamento seja determinada em ensaios de campo realizados na mesma camada onde a água infiltrará, com o solo saturado, obedecendo-se a normas indicadas neste Manual.

Conforme determina o Plano Diretor de Drenagem do DF (Concremat Engenharia/GDF, 2009), a taxa de infiltração mínima do solo quando saturado é de $2,1 \times 10^{-6}$ m/s para dispositivos de infiltração.

- **Nível do lençol freático**

O nível do lençol freático muito próximo à base do dispositivo também pode reduzir a taxa de infiltração, restringindo o uso de medidas de controle de infiltração.

Nesse caso, também é preciso considerar o risco de contaminação do aquífero. A melhoria da qualidade da água pelo efeito da filtração fica prejudicada pelo menor percurso de percolação desde a base do dispositivo até o lençol subterrâneo.

Segundo o PDDU (Concremat Engenharia/GDF, 2009), a profundidade mínima do nível do lençol freático, no período de chuvas, deve ser 1,2 m, a partir do fundo de qualquer dispositivo de infiltração.

- **Declividade do terreno**

Dispositivos de controle por infiltração, instalados na superfície do solo (como valas gramadas, pavimentos permeáveis, poços e valas de infiltração), apresentam melhor desempenho em terrenos de baixa declividade. Em terrenos de alta declividade devem-se prever reservatórios com ou sem fundos infiltrantes.

- **Paisagismo e disponibilidade de área**

Medidas de controle superficiais podem se integrar muito bem ao projeto paisagístico, desde que sejam previstas áreas com dimensões adequadas. Quando a disponibilidade de área for restrita, as instalações subterrâneas, em geral, são mais apropriadas.

Nos casos específicos de zonas urbanas consolidadas e densamente ocupadas, encontrar espaço para medidas de controle superficiais, e até mesmo para reservatórios subterrâneos, muitas vezes exige desapropriação e construção por processos construtivos não convencionais. Nesse caso, deve-se considerar a implantação de reservatórios lineares que podem ser construídos sob o sistema viário e com técnicas executivas correntes.

- **Instalações subterrâneas**

Instalações subterrâneas, como redes de água, coletores de esgotos, linhas de telecomunicação e sistemas de drenagem podem se constituir em interferências físicas que reduzem o espaço para a instalação de dispositivos de controle que exijam escavação do subsolo.

Por isso, para a escolha da solução adequada, é imprescindível um cadastro prévio dessas instalações.

- **Poluição hídrica**

Conforme o Item 3.2 - Urbanização e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas, deste Manual, e Item 19.5 do Apêndice - Considerações sobre o Controle de

Qualidade da Água, deste Manual, as águas pluviais urbanas estão sujeitas a contaminação de diversas origens, como explicitado na Figura 3, presente no subitem 3.2.1 - Efeitos da Urbanização sobre os Corpos Hídricos, deste Manual.

O escoamento superficial transporta a carga difusa originária na lavagem da atmosfera e das superfícies por onde transitam. Nas galerias subterrâneas e canais, as águas pluviais recebem ainda a carga de esgotos não coletados e as remanescentes dos esgotos tratados. No início das chuvas, a concentração de poluentes confere às águas pluviais características próximas aos dos esgotos *in natura*.

Como regra geral, deve-se evitar o lançamento de águas muito contaminadas em dispositivos de controle na fonte, especialmente as que recebem lançamentos de esgotos. Para esses casos de presença de esgotos sanitários, os mesmos devem ser retirados, não sendo admitidos aos dispositivos. Recomenda-se, ainda, a utilização de técnicas de separação das águas de primeira chuva, como as descritas no Item 19.5 do Apêndice deste Manual.

Por outro lado, as cargas e os sedimentos presentes no escoamento superficial podem ser abatidos, até um certo limite, por alguns dispositivos de controle na fonte que funcionam como uma espécie de estação de tratamento. O escoamento por superfícies vegetadas, a percolação por meio das camadas de solo e a detenção estendida podem produzir a depuração e a retenção de poluentes, contribuindo para melhorar a qualidade das águas lançadas nos corpos hídricos.

Nesse caso, deve-se considerar a necessidade de monitoramento e manutenção, principalmente quando a presença de contaminantes em superfícies abertas ou em áreas de recarga de aquíferos possa trazer riscos à população.

- **Fragilidade do solo**

Ao avaliar a viabilidade de dispositivos de infiltração, é importante considerar os efeitos que a água poderá causar na estabilidade do solo. O carreamento de materiais finos pela água em solos suscetíveis ao fenômeno conhecido como *piping* pode provocar a perda de estabilidade do maciço, além de erosão interna e colapso do terreno.

É importante, portanto, que na fase de concepção da medida de controle, sejam feitos também estudos de colapsividade de solo que possam fundamentar a escolha da solução mais adequada para o caso em estudo.

- **Exutório**

O projeto do dispositivo de controle na fonte deve considerar as condições do exutório para onde será destinada a descarga das águas pluviais.

Quando, pelas características fisiográficas do terreno, não existe um exutório adequado nas proximidades, devem-se priorizar as medidas de controle por infiltração, atentando para os riscos de surgimento de processos erosivos internos e nos

lançamentos. Assim, estudos geotécnicos do solo e de velocidade de escoamento superficial são fundamentais para as implementações de ações adequadas.

- **Tráfego**

Locais onde existe tráfego intenso de veículos pesados não são adequados para a instalação de medidas de controle vegetadas e pavimentos permeáveis. Neste caso, deve-se considerar a utilização de reservatórios subterrâneos.

- **Limite de altura**

Algumas medidas de controle, como pavimento permeável e trincheira de infiltração, por razões construtivas, têm suas alturas máximas e mínimas limitadas.

Nos casos em que a área destinada à MC for pequena, deve-se estudar a viabilidade de implantação de algum outro tipo de dispositivo, como reservatório de detenção linear.

- **Escoamento por gravidade**

O escoamento por gravidade depende da cota do exutório e da profundidade da MC. No caso de MCs, cujas profundidades em relação ao exutório não permitem a descarga por gravidade, deve-se prever seu esgotamento por bombeamento. Entende-se que soluções que dependam de energia elétrica somente sejam adotadas após esgotarem todas as possibilidades de soluções por gravidade.

- **Operação e Manutenção**

Assim como todo o sistema de drenagem, as medidas de controle na fonte exigem operação e manutenção periódica para:

- Reduzir o risco de contaminação da água despejada em corpos hídricos superficiais;
- Reduzir o risco de contaminação da água percolada para o aquífero subterrâneo;
- Reduzir o aporte de sedimentos e resíduos sólidos para os cursos d'água;
- Evitar a colmatagem das camadas de infiltração, impedindo a redução da capacidade hidráulica da MC;
- Reduzir o acúmulo de sedimentos, evitando-se a diminuição da capacidade de reservação;
- Implementar ações que evitem o surgimento de processos erosivos.

TABELA 14 Fatores condicionantes para a implantação

Medidas de controle na fonte	Áreas Contribuintes Típicas	Taxas de Infiltração Adequadas do Solo, quando Saturado (10 ⁻⁶ m/s) (**)	Condições solo-aquífero			
			Freático alto profundidade < 1,2 m	Aquífero em risco (***)	Solo frágil à água	Subsolo impermeável
Pavimento permeável	< 10 ha	> 2,1	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Trincheira de infiltração	< 6 ha	2,1 a 10,0	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Trincheira de retenção	< 6 ha	N.A.	Vermelho	Vermelho	Amarelo	Amarelo
Vala de infiltração	< 6 ha	2,1 a 55,6	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Vala de retenção	< 6 ha	N.A.	Vermelho	Vermelho	Amarelo	Amarelo
Poço de Infiltração	< 6 ha	2,1 a 55,6	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Microrreservatório	< 2 ha	2,1 a 55,6 (*)	Verde	Verde	Verde	Verde
Telhado reservatório	< 2 ha	N.A.	Verde	Verde	Verde	Verde
Reservatório de detenção aberto	< 100 ha	N.A.	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Reservatório de retenção aberto	< 100 ha	N.A.	Verde	Vermelho	Amarelo	Amarelo
Reservatório subterrâneo pontual	< 100 ha	N.A.	Verde	Verde	Verde	Verde
Reservatório subterrâneo linear	< 100 ha	N.A.	Verde	Verde	Verde	Verde
Faixa gramada	< 6 ha	2,1 a 55,6 (*)	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo

TABELA 15 Aplicabilidade de medidas de

Medida de Controle na fonte	Solo		Profundidade do lençol	
	Impermeável	Permeável	0 a 1,2 m	>1,2 m
Pavimento permeável com infiltração parcial ou total no subleito	Red	Blue	Red	Blue
Pavimento permeável sem infiltração no subleito	Green	Green	Green	Green
Trincheira de infiltração	Red	Blue	Red	Blue
Trincheira de retenção	Green	Green	Green	Green
Vala de infiltração	Red	Blue	Red	Blue
Vala de retenção	Green	Green	Green	Green
Poço de infiltração	Red	Blue	Red	Blue
Microrreservatório	Green	Green	Green	Green
Telhado reservatório	Green	Green	Green	Green
Reservatório de detenção aberto	Green	Green	Green	Green
Reservatório de retenção aberto	Green	Green	Green	Green
Reservatório subterrâneo pontual	Green	Green	Green	Green
Reservatório subterrâneo linear	Green	Green	Green	Green
Faixa gramada	Red	Blue	Red	Blue

controle na fonte em relação às características locais

	Declividade		Carga hidráulica		Espaço disponível	
	0 - 5%	>5%	0 - 1 m	1 - 2 m	Pouco	Muito
	Verde	Vermelho	Verde	Vermelho	Verde	Verde
	Verde	Vermelho	Verde	Vermelho	Verde	Verde
	Verde	Azul	Verde	Azul	Azul	Verde
	Verde	Azul	Verde	Azul	Azul	Verde
	Verde	Vermelho	Verde	Azul	Azul	Verde
	Verde	Vermelho	Verde	Azul	Verde	Verde
	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Verde	Verde	Verde	Azul	Verde	Verde
	Verde	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Verde
	Verde	Vermelho	Verde	Verde	Vermelho	Verde
	Verde	Verde	Verde	Verde	Azul	Verde
	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Azul	Vermelho	Verde	Vermelho	Azul	Verde

Verde = sim; Azul = dependente de análise específica das condições locais; Vermelho = não

Tabela adaptada do *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo* (PMSP, 2012) e do *Manual de Drenagem de Curitiba* (SUDERHSA; CH2M Hill, 2002).

12.19 Metodologia Geral para Projeto de Medidas de Controle na Fonte

A metodologia geral para o projeto de medidas de controle na fonte é apresentada no fluxograma da Figura 93 e descrita a seguir:

a. Dados e informações

- Área de contribuição total, que é igual à área do terreno ocupado pelo empreendimento, incluindo as áreas de montante e construídas e, ainda, as áreas livres;
- Projeto de implantação do empreendimento¹³, com a delimitação das áreas impermeáveis;
- Chuva crítica: equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) estabelecida pelo PDDU para o Distrito Federal e replicada neste Manual;
- Caracterização preliminar do solo quanto à sua capacidade de infiltração, podendo ser feita a partir de mapas pedológicos da região;
- Disponibilidade de área para a implantação de dispositivos de controle na fonte por infiltração a céu aberto.

b. Cálculo da vazão máxima ou dos hidrogramas para pré e pós-urbanização

- Os hidrogramas devem ser calculados de acordo com os critérios da Resolução Adasa nº 26/2023. A escolha do método de cálculo deverá ser feita em função da área de contribuição. Se a área for menor que 100 ha, pode ser utilizado o Método Racional. Se a área for maior que 100 ha e menor que 300 ha, devem ser observadas as considerações do Capítulo 9 - Critérios para Avaliação do Nível de Complexidade do Projeto, deste Manual, sobre a utilização desse método. Para áreas maiores, será necessário elaborar estudo hidrológico com as especificações estabelecidas na Resolução citada.

c. Capacidade de infiltração do solo e nível do lençol freático

- Se a avaliação preliminar mostrar que a capacidade de infiltração do solo e o nível do lençol freático são adequados à implantação de dispositivos que promovam a infiltração, deve-se realizar ensaios de infiltração *in situ* para a determinação precisa dos parâmetros de infiltração que serão utilizados no projeto do dispositivo de controle;
- Caso o solo apresente características de baixa capacidade de infiltração ou nível de lençol freático incompatível, ou mesmo se não houver área suficiente em função do projeto de implantação do empreendimento, pode-se adotar, como solução, o reservatório de amortecimento;
- Não havendo área disponível para a infiltração de todo o excesso de vazão, poderão ser adotadas soluções que combinem armazenamento e infiltração, podendo incluir também reservatórios.

¹³ Empreendimento se refere a obra, pública ou privada, cujo impacto negativo sobre o sistema de drenagem será mitigado com a implantação da medida de controle, podendo ser uma edificação, pátio, praça, sistema viário etc.

d. Projeto geral da medida de controle

- Os projetos gerais das medidas de controle deverão ser elaborados com base nos métodos apresentados neste Manual.

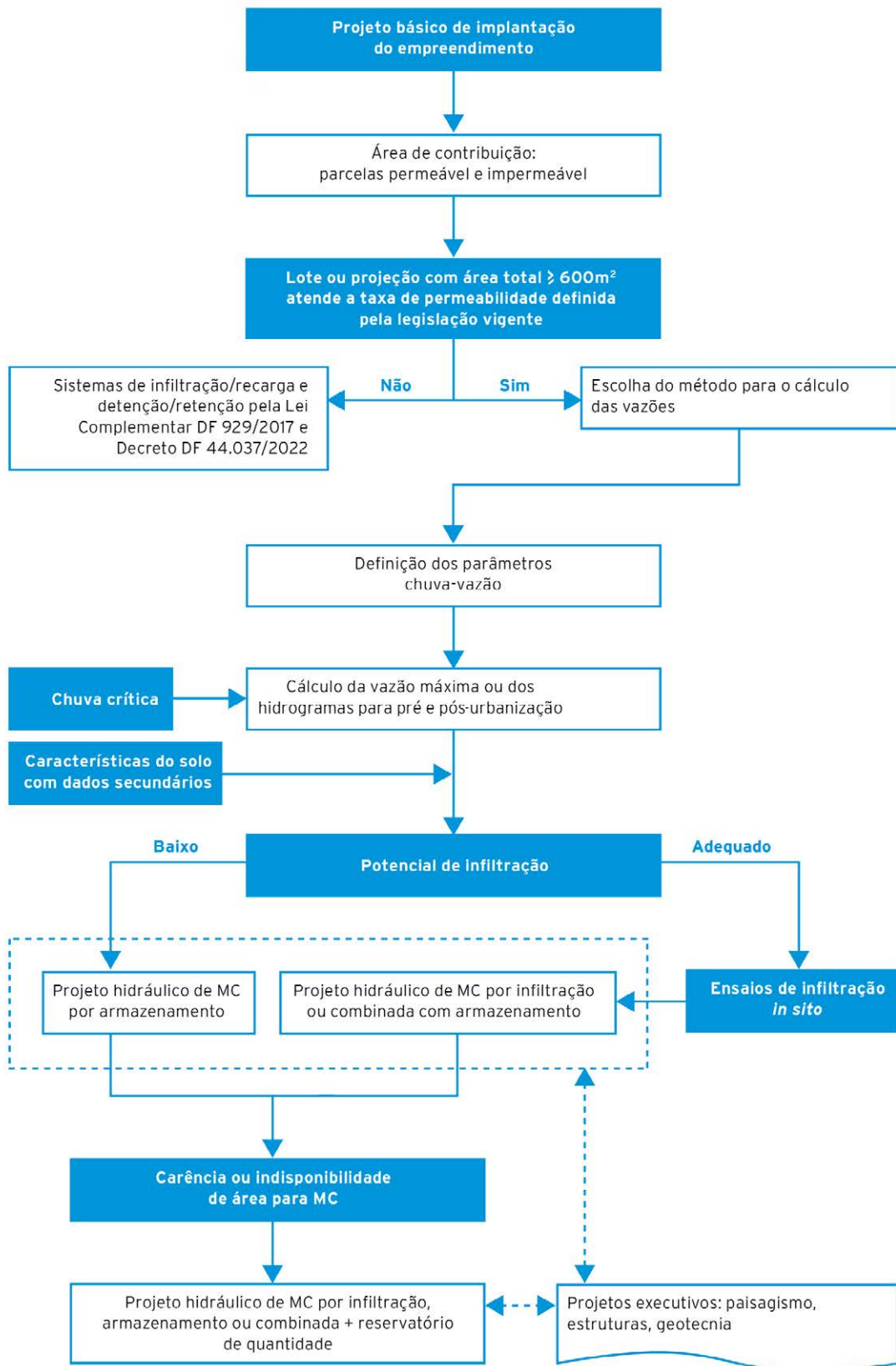


Figura 93 Metodologia para projeto de medida de controle na fonte integrado ao projeto do empreendimento.

12.20 Roteiro Proposto para Dimensionamento de Medidas de Controle

Qualquer metodologia para dimensionamento de medidas de controle para lançamento em recursos hídricos superficiais deverá seguir e estar compatível com a Resolução Adasa nº 26/2023 e com a Lei Complementar nº 929/2017, bem como seu Decreto Regulamentar nº 44.037/2022.

Importante esclarecer que este Manual restringe a proposta para dimensionamento de medidas de controle para lotes, projeções ou empreendimentos que mantenham as taxas originais de permeabilidade do solo. Por conseguinte, o roteiro a ser apresentado fundamenta-se somente na Resolução Adasa nº 26/2023.

O roteiro para dimensionamento de medidas de controle na fonte é apresentado no fluxograma da Figura 93 e descrito a seguir:

a. Dados e informações

As principais classes de solos no DF são os Latossolos (aproximadamente 50% da área total) e os Cambissolos (cerca de 30%), segundo Campos e Gonçalves (2015). Segundo Sartori *et al.* (2005), os Latossolos são enquadrados nos grupos hidrológicos A ou B pelo método SCS (Serviço de Conservação do Solo) do USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América). Os Cambissolos estão presentes no grupo C. Como exemplo, tem-se a taxa de infiltração ou coeficiente de permeabilidade dos solos para 25,4 mm/h para o grupo hidrológico A, e 7,6 mm/h para o grupo hidrológico B. Os Cambissolos precisam ser avaliados com cautela para infiltração, porque são solos considerados com reduzida taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão.

b. Roteiro proposto para dimensionamento

O dimensionamento hidráulico dos dispositivos de infiltração e recarga é realizado a partir do balanço entre: vazões afluentes, vazões efluentes para o sistema de drenagem a jusante ou lançamento final, volume de amortecimento e volume infiltrado, conforme apresentado em Baptista, Nascimento e Barraud (2005).

Quando for utilizado o Método Racional, a vazão afluente (Q_a) é adotada como:

$$Q_a = m \cdot A \cdot C \cdot (I - Q_r)$$

Onde:

m = coeficiente de majoração, adotado como 1,25, conforme Urbonas e Stahre (1993);

A = área de contribuição;

C = coeficiente de escoamento superficial (coeficiente de deflúvio);

I = intensidade da chuva, calculada pela equação IDF do Distrito Federal;

Q_r = vazão de regulamentação, no caso do DF, é igual a 24,4 L/s.ha.

A vazão efluente (Q_{ei}) é considerada constante, representada pela saída da água por infiltração no solo, sendo:

$$Q_{ei} = k \cdot A_{inf} \cdot C_s$$

Onde:

Q_{ei} = vazão efluente infiltrada;

k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado;

A_{inf} = área de infiltração;

C_s = coeficiente de segurança para a permeabilidade, adotado como 0,5.

O volume afluente (V_a) e o volume infiltrado (V_i) são proporcionais ao tempo de duração da chuva (td). Assim, o volume de preenchimento (V_p) no dispositivo em uma chuva de duração td será:

$$\frac{(Q_a \cdot td) - (Q_{ei} \cdot td)}{P}$$

Onde:

P = porosidade do material granular.

Combinando-se as equações acima de acordo com as unidades usuais:

$$V_p(m^3) = 6000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - Q_r) - k \cdot A_{inf} \cdot C_s]$$

Onde:

A = área de contribuição (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A_{inf} = área de infiltração do dispositivo, que é igual a área do fundo mais a metade das áreas laterais em contato com o solo (m^2);

I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha), correspondente ao tempo de duração calculada pela equação IDF do Distrito Federal, apresentada a seguir, e demais parâmetros definidos anteriormente.

$$I = \frac{4374,17 \cdot T^{0,207}}{(td + 11)^{0,884}}$$

Com:

T = tempo de retorno (anos) adotado igual a 10 anos.

Para determinar o volume do dispositivo de infiltração e recarga, deve-se escolher o modelo do dispositivo e suas dimensões iniciais e calcular o volume de preenchimento (V_p) para chuvas de diferentes durações (td) até se encontrar o máximo volume. O cálculo é realizado de forma iterativa, ajustando as dimensões previstas do dispositivo para que sejam compatíveis com o volume máximo de preenchimento (V_p). É importante ressaltar que a área de infiltração (A_{inf}) do modelo do dispositivo escolhido está relacionada diretamente com o volume de preenchimento (V_p).

Cada medida de controle possui a respectiva equação para estimativa de seu volume de preenchimento, o que foi apresentado nos itens anteriores (pavimento permeável, trincheira, vala etc.).

Critérios para Projetos de Sistemas de Micro e Macro drenagem

13

Neste capítulo são apresentados os critérios para serem utilizados em elaboração de projetos de sistemas de micro e macro drenagem.

Micro e macro drenagem são semelhantes nos processos de dimensionamento de seus sistemas, existindo somente adequações em alguns critérios e parâmetros de projetos.

Os projetos básicos e executivos deverão obedecer às Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), leis, decretos, regulamentos, portarias e normas governamentais pertinentes, devendo, na ocasião da elaboração do projeto, serem utilizadas as edições mais recentes ou as que venham substituí-las.

Para as situações não previstas nas Normas Técnicas da ABNT, poderão ser consultadas e utilizadas as Normas Técnicas estrangeiras.

Os Projetos Básico e Executivo deverão ser constituídos, no mínimo, pelos seguintes documentos:

- Memoriais Descritivo e Justificativo;
- Memoriais de Cálculo;
- Especificações Técnicas de materiais, de equipamentos e de serviços;
- Desenhos de Projeto;
- Orçamento com as planilhas de quantitativos e preços;
- Manual de Operação e Manutenção;
- Resumo do projeto;
- Outros elementos julgados importantes em cada caso.

Os Projetos Básico e Executivo terão o nível de detalhamento exigido para cada etapa e necessariamente divididos pelas seguintes especificidades:

- Projeto de arquitetura e de urbanização da área, quando for o caso;
- Projeto de hidráulica, de mecânica, de elétrica, de automação, de estruturas, de fundações, de incêndio, de CFTV Industrial e de Instalações Prediais, sempre que se fizerem necessários;

- Projeto de escavação indicando os cortes e aterros em plantas, seções e cortes;
- Projeto do canteiro, dos acessos provisório e permanente e de pavimentação.

13.1 Projetos de Sistemas de Drenagem Urbana

Para os projetos de sistemas de drenagem urbana, especialmente nos casos mais complexos, recomenda-se o uso de modelos computacionais com a metodologia descrita neste Manual.

Para casos mais simples que envolvem projetos de baixa ou média complexidade, ressalvados os casos cujas avaliações específicas demonstrem a necessidade de estudos mais detalhados, pode-se utilizar o método descrito a seguir.

13.1.1 Capacidade Hidráulica das Vias

No projeto de um sistema de drenagem, as vias de tráfego são consideradas como canais abertos, cujas capacidades são limitadas pela faixa alagada máxima admissível e pela velocidade, que deve ser controlada para evitar a erosão do pavimento e altos índices de periculosidade (Figura 94 e Figura 95).

A faixa alagada máxima admissível deve ser determinada de modo a se prever uma faixa livre de alagamento de 3,00 m, conforme especificado no Termo de Referência para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial no Distrito Federal (Novacap, 2012)¹⁴:

Equação 13 - Faixa de via Alagada

$$Fa = L - 3,0$$

Onde:

Fa = faixa alagada máxima admissível (m)

L = largura da via (m)

Velocidade máxima do escoamento:

Para evitar a erosão do pavimento = 3,0 m/s (Wilken, 1978);

Em locais onde há movimento de pedestres = 1,5 m/s, correspondente à periculosidade moderada para profundidades até 0,3 m.

O cálculo da capacidade hidráulica da via e da velocidade é feito pela equação de Manning, associada à equação da continuidade, considerando a via como um canal triangular, conforme mostrado na Figura 94.

¹⁴ No Distrito Federal normalmente não são utilizadas sarjetas. Entretanto, no caso de haver sarjetas, o critério de área máxima alagada é o mesmo, alterando-se apenas a seção transversal da via.

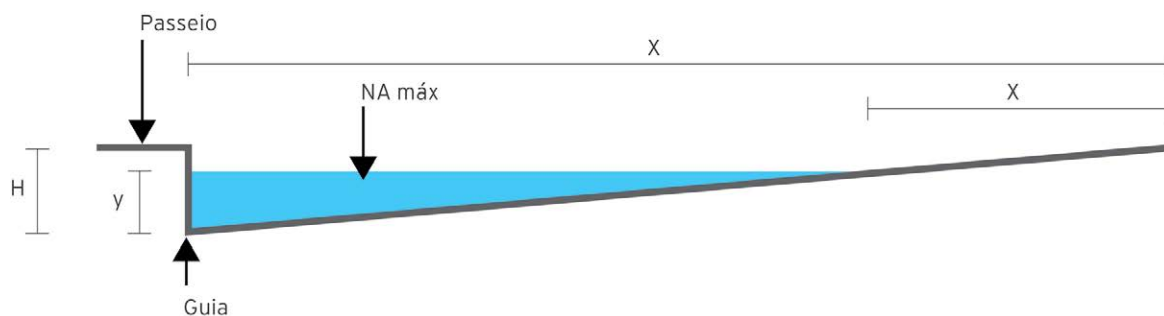


Figura 94 Seção típica de uma via que funciona como um canal triangular.

$$V = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot \sqrt{s}$$

$$Q = V \cdot A$$

Onde:

V = velocidade (m/s);

n = o coeficiente de rugosidade de Manning, adotado igual a 0,017 para vias públicas;

Rh = raio hidráulico (m), onde:

$$Rh = \frac{A}{P}$$

P = perímetro molhado, onde:

$$P = y + \sqrt{y^2 + (B - x)^2}$$

y = profundidade da água (m);

B = largura (m);

x = largura livre de alagamento, que deve ser maior ou igual a 3,0 m;

s = declividade longitudinal do greide da via (m/m);

Q = vazão (m³/s);

A = área de seção de escoamento (m²).

Para as avaliações das capacidades hidráulicas das vias, deve-se levar em consideração:

- Para a definição de área a atender para o 1º trecho de uma rede de drenagem, pode-se adotar como área de contribuição máxima para o 1º dispositivo de captação o correspondente a 1 hectare (ha), assim como altura máxima de lâmina no escoamento da via de 12 cm. Nesses casos, os dispositivos de captação deverão apresentar capacidade para engolimento da vazão de dimensionamento;
- Para as definições dos demais trechos, pode-se manter a área máxima de contribuição de 1 ha, desde que exista uma comprovação dos impactos sobre as vias e validado pela prestadora Novacap;
- Para os casos de sistemas existentes, a serem ampliados, poderão ser adotados critérios diferentes, desde que os dispositivos de captação

apresentem capacidade hidráulica de receber toda a vazão a eles afluentes e que sejam aprovados pela prestadora Novacap.

13.1.2 Capacidade de Engolimento dos Dispositivos de Captação

Para o cálculo da capacidade hidráulica de captação da boca de lobo (também chamada de “capacidade de engolimento”) devem-se considerar os diversos padrões de boca de lobo e os métodos de cálculo descritos a seguir.

- a. Boca de lobo com entrada lateral, sem depressão, profundidade da água < abertura da BL.

Para BLs sem depressão, quando a lâmina de água na entrada da boca de lobo for menor do que a altura da sua abertura, considera-se a BL funcionando como um vertedor. Sua capacidade pode ser calculada por:

$$Q = 1,7 \cdot L \cdot y^{1,5}$$

Onde:

Q = capacidade de engolimento (m^3/s);

y = altura do nível de água na entrada da BL (m);

L = comprimento longitudinal da abertura da BL (m).

- b. Boca de lobo com entrada lateral, sem depressão, profundidade da água > que o dobro da abertura da BL.

Para BLs sem depressão, quando a lâmina de água (y) na entrada da boca de lobo for maior do que o dobro da altura da sua abertura (h), sua capacidade de engolimento pode ser calculada por:

$$Q = 3,01 \cdot L \cdot h^{1,5} \cdot \sqrt{\frac{y}{h} - 0,5}$$

Para situações intermediárias ($h < y < 2 \cdot h$), pode-se estimar a capacidade de engolimento por interpolação ou por outro critério devidamente justificado.

- c. Boca de lobo com entrada lateral e com depressão.

O cálculo da capacidade de engolimento de BLs com depressão pode ser feito com o ábaco da Figura 95.

- d. Boca de lobo com grelha, profundidade da água < 12 cm.

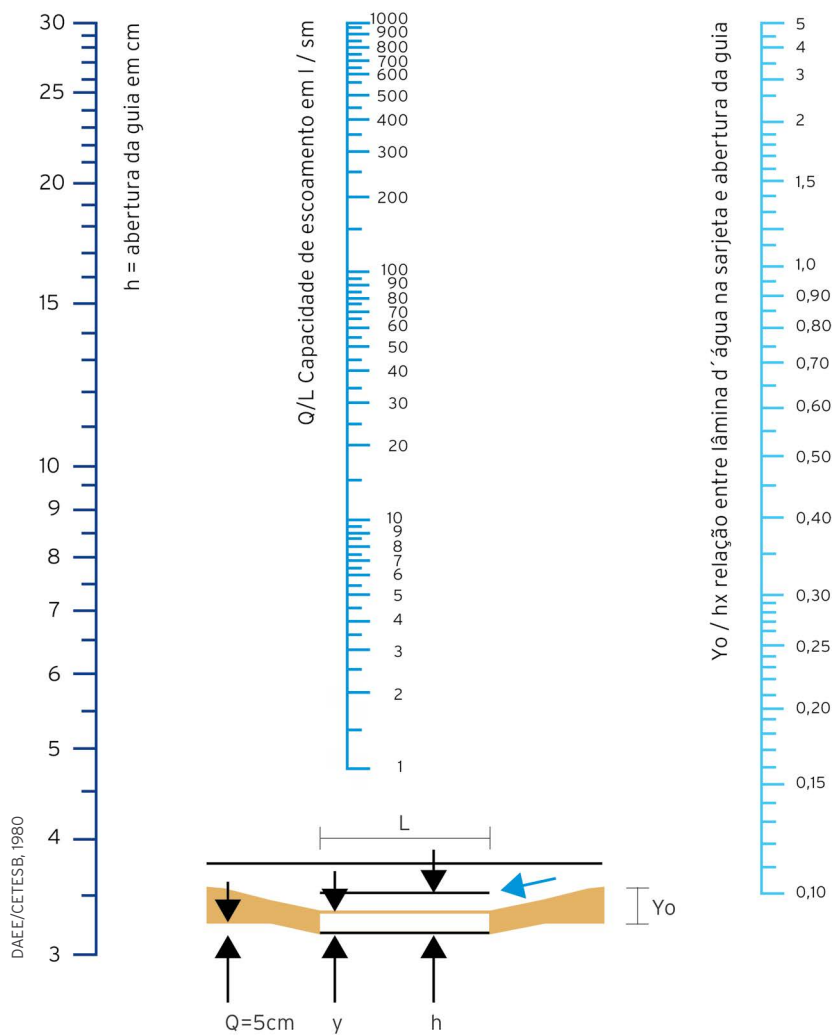


Figura 95 Capacidade de engolimento de bocas de lobo com depressão de 5 cm em pontos baixos.

Para o cálculo da capacidade das bocas de lobo com grelha, pode-se considerar, também, como no primeiro caso, seu funcionamento análogo ao de um vertedor de soleira livre. Nesse caso, o comprimento total da soleira do vertedor (P) é igual ao perímetro livre da grelha (igual ao perímetro total, descontando-se as barras e o lado adjacente à guia). Essas considerações são válidas para lâminas de água de até 12 cm.

O cálculo da vazão de engolimento (Q) é feito pela equação (FHWA, 1996; Tomaz, 2012):

$$Q = 1,66 \cdot P \cdot y^{1,5}$$

Onde:

y = altura da lâmina de água na entrada da BL e P o perímetro livre.

No exemplo da Figura 96 :

$$P = 7 \cdot b + 2^a$$

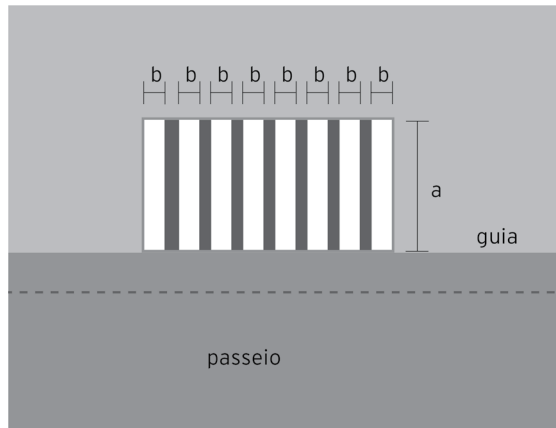


Figura 96 Exemplo de boca de lobo com grelha.

- e. Boca de lobo com grelha, profundidade da água > 42 cm

Para profundidades de lâmina maiores que 42 cm, a vazão é calculada por Tomaz (2012):

$$Q = 2,9 \cdot A \cdot \sqrt{y}$$

Onde:

A: área da grade, excluídas as áreas ocupadas pelas barras (m²);

y: altura de água sobre a grelha (m).

Na faixa de transição entre 12 e 42 cm, pode-se estimar a capacidade de engolimento por interpolação ou por outro critério devidamente justificado.

- f. Boca de lobo combinada: grelha + entrada lateral

A capacidade teórica de engolimento das bocas de lobo combinadas é aproximadamente igual à soma da vazão de engolimento calculada para a grelha, mais a vazão calculada para BL com entrada lateral.

- g. Boca de lobo simples padrão Novacap com grelha e meio-fio vazado

Para a boca de lobo simples padrão Novacap, com grelha e meio-fio vazado, quando não se queira efetuar os dimensionamentos devidos para se definirem as capacidades de engolimento, pode-se adotar como capacidade a vazão de 40 L/s.

Entretanto, é importante destacar que essa capacidade pode ser superior à indicada anteriormente para condições favoráveis, como, por exemplo, em situações em que a boca de lobo esteja em um ponto baixo da seção longitudinal da via, recebendo contribuições dos dois trechos da via (antes e depois da boca de lobo). Nesses casos, quando do dimensionamento, pode-se obter uma capacidade de engolimento superior.

Por outro lado, em casos em que se tenha declividade acentuada da seção longitudinal da via (acima de 5%), a capacidade de engolimento da boca de lobo pode ser inferior. É importante destacar que a capacidade de engolimento de uma boca de lobo se reduz à medida que se aumenta a declividade da seção longitudinal da via.

Assim, tendo em vista essas especificidades, é recomendável o dimensionamento das capacidades de engolimento das bocas de lobo para todas as situações de projeto.

h. Captação linear

A captação linear poderá ser prevista em formato de valetas, valas ou canais.

O critério de dimensionamento desta captação deverá respeitar a sua capacidade hidráulica de recepção das águas pluviais e de transporte, considerando parâmetros de projeto utilizados para redes coletoras.

i. Fatores de redução da capacidade de escoamento

As capacidades de engolimento são, na prática, menores que os valores teóricos (PMSP/FCTH, 1998).

Para o cômputo final da vazão máxima de escoamento em vias, deve-se multiplicar o valor calculado pelo fator de redução correspondente à declividade, da Tabela 16.

Tabela 16 Fatores de redução de escoamento (DAEE/Cetesb, 1980)

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

Da mesma forma, a capacidade teórica calculada de uma BL deve ser reduzida pela multiplicação do valor calculado pelo fator de redução da Tabela 17.

Tabela 17 Fator de redução do escoamento para bocas de lobo (DAEE/Cetesb, 1980)

Localização	Tipo de boca de lobo	% permitida sobre o valor teórico
Ponto Baixo	Com entrada lateral	80
	Com grelha	50
	Combinada	65
Ponto Intermediário	Com entrada lateral	80
	Com grelha longitudinal	60
	Com grelha transversal ou longitudinal com barras transversais	60
	Combinada	110% dos valores indicados para a grelha correspondente

13.1.3 Redes de Coleta de Águas Pluviais

Conforme definições apresentadas no início deste Manual, de acordo com os conceitos técnicos adotados no Distrito Federal, as redes de coleta de águas pluviais dividem-se, conceitualmente, em microdrenagem e macrodrenagem, sendo que a microdrenagem se refere à parte do sistema de drenagem composta pelas tubulações de seção circular, com até 0,80 m de diâmetro, que transportam as águas pluviais captadas pelas bocas de lobo até o seu lançamento na rede de macrodrenagem ou em cursos d'água superficiais. Para as redes de macrodrenagem, têm-se diâmetros circulares superiores, usualmente indo até 1.500 mm, também podendo ocorrer galerias retangulares, em concreto armado, com diâmetros necessários para transportar a vazão afluente, considerando as declividades dessas canalizações.

Os passos a serem seguidos para o projeto hidráulico de uma rede de drenagem de águas pluviais são apresentados a seguir. No Item 13.3.4 - Parâmetros de projeto recomendados no Termo de Referência da Novacap, deste Manual, são apresentados os parâmetros de cálculo recomendados no Termo de Referência para Projetos de Sistemas de Drenagem Pluvial da Novacap (2019).

1. Definir o traçado da rede, como no exemplo da Figura 97. É importante destacar que, para a definição do traçado da rede, deverão ser levadas em consideração as descrições contidas no item 7.3.4 - Rede de Drenagem, bem como o conteúdo do item 7.4 - Modalidade Condominial para a Implantação de Redes Coletoras de Águas Pluviais Urbanas, deste Manual;
2. Delimitar as áreas contribuintes correspondentes a cada trecho da rede, como no exemplo da Figura 98;
3. Calcular o tempo de concentração:

$$t_{i+1} = t_0 + \sum_1^i t_i$$

t_0 = tempo de entrada na primeira boca de lobo, calculado através de fórmulas empíricas ou adotado conforme critério proposto no Termo de Referência da Novacap;

t_i = tempo de translação no trecho i:

$$t_i = \frac{L}{V}$$

L = comprimento do trecho i;

V = velocidade de escoamento no trecho i;

4. Determinar o coeficiente de escoamento superficial (C) de cada área contribuinte, conforme os critérios do Termo de Referência da Novacap (2019). Para as áreas cujos padrões de uso de solo não se enquadrem nesses critérios, deverão ser utilizados coeficientes propostos na literatura técnica;
5. Calcular a intensidade da chuva de projeto baseado na equação IDF do Distrito Federal descrita no Capítulo 3 - Conceitos Gerais, deste Manual, considerando-se o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração e período de retorno (TR) de 10 anos¹⁶:

$$i = \frac{1.574,7 \cdot TR^{0,207}}{(tc + 11)^{0,884}}$$

Onde:

i = intensidade da chuva em mm/h;

TR = tempo de recorrência em anos;

tc = tempo de duração da chuva em min.

6. Se a área total de contribuição for menor que 100 ha, calcular a vazão do trecho pelo Método Racional. Se for maior, a vazão deverá ser calculada por modelo hidrológico de transformação chuva-vazão que considere a discretização temporal da precipitação e o cálculo do hidrograma, como os descritos no Item 19.4 do Apêndice deste Manual;
7. Calcular o diâmetro da tubulação do trecho (D), a respectiva relação nível de água/diâmetro (x) e a velocidade (V), pelas equações abaixo, que podem ser resolvidas por aproximações sucessivas ou outro método numérico¹⁷;
8. Calcular também os diâmetros dos condutos de ligação entre as BLs e a rede. Nesses cálculos deverão ser considerados os diâmetros das tubulações disponíveis no mercado.

¹⁶ Em casos especiais, em que um alagamento ou inundação possa colocar em risco a vida humana ou causar grandes prejuízos à mobilidade urbana ou ao patrimônio, o TR deverá ser maior e seu valor avaliado caso a caso.

¹⁷ A solução para essas equações pode ser facilmente encontrada utilizando-se a ferramenta Solver do MS Excel®.

As velocidades limites e os coeficientes de rugosidade (n) deverão observar as recomendações do Termo de Referência da Novacap, indicados no 13.3.4.

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot \sqrt{i} \quad A = D^2 \left[\frac{\arccos(1 - 2 \cdot x)}{4} - (0,5 - x) \cdot \sqrt{x - x^2} \right]$$

$$Rh = \frac{A}{P}$$

$$P = D \cdot \arccos(1 - 2 \cdot x)$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Com:

Q = vazão

A = área molhada

n = coeficiente de rugosidade

Rh = raio hidráulico

i = declividade da tubulação

P = perímetro molhado

D = diâmetro da tubulação

Quando as seções de dimensionamento forem diferentes de circulares, as equações anteriores deverão ser adaptadas para o tipo de seção a ser utilizado.

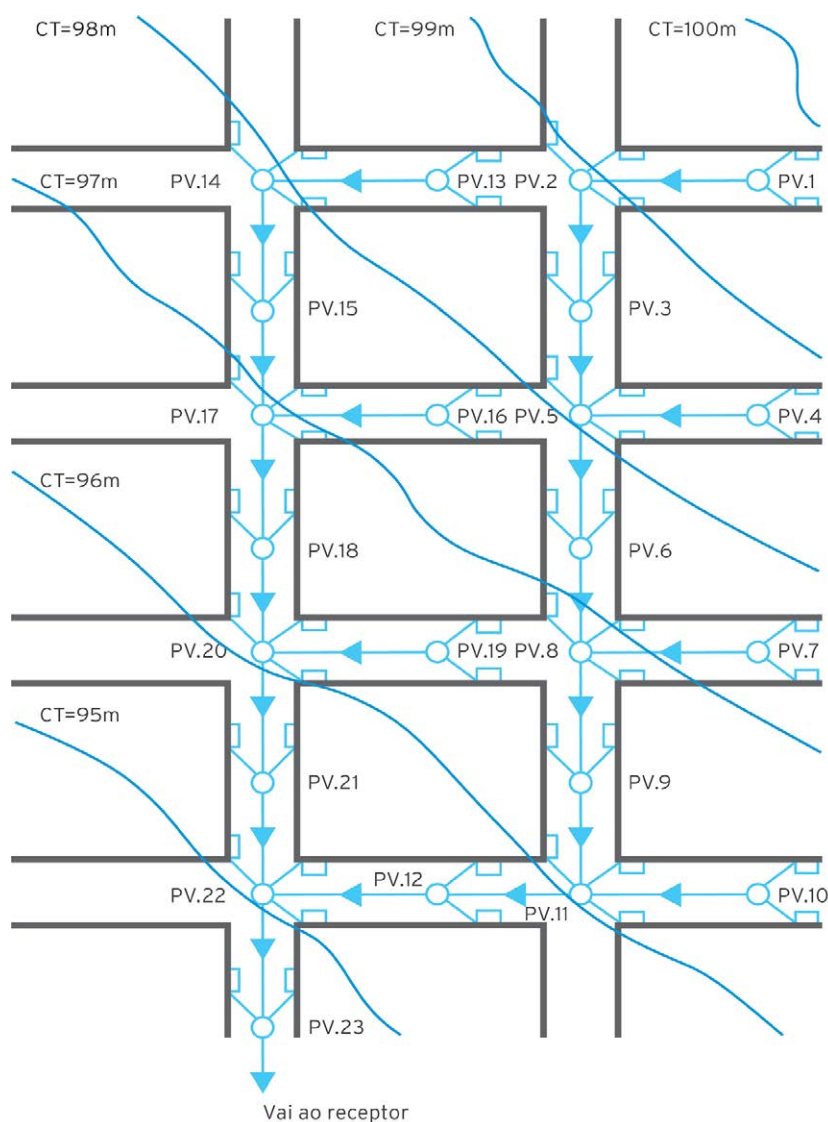


Figura 97 Exemplo de traçado de rede de drenagem.

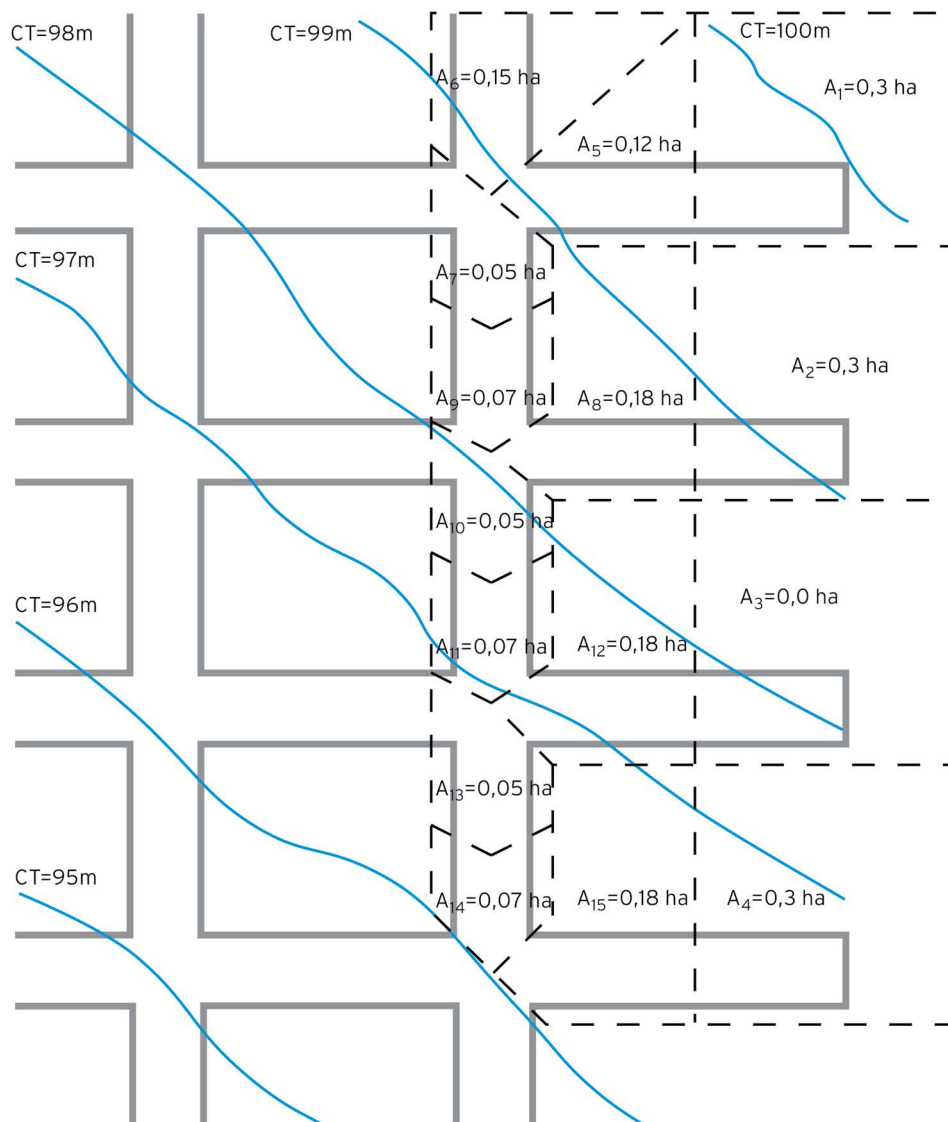


Figura 98 Exemplo de traçado de áreas de contribuição para uma rede de drenagem.

13.1.4 Parâmetros de projeto recomendados no Termo de Referência da Novacap

Os parâmetros de projeto recomendados no Termo de Referência da Novacap (2012) são os seguintes:

- Período de Retorno (TR) da chuva crítica: 10 anos. Esse tempo de retorno pode ser ajustado em função do conteúdo da Tabela 6 deste Manual;
- Coeficientes de escoamento superficial (C), segundo a Tabela 18:

Tabela 18 Uso do solo e coeficientes de escoamento superficial (C)

Uso do solo	C
Áreas calçadas ou impermeabilizadas	0,90
Áreas com bloco intertravado maciço	0,78
Áreas intensamente urbanizadas e com áreas verdes	0,70
Áreas residenciais com áreas ajardinadas	0,40
Áreas de solo natural com recobrimento de brita	0,30
Áreas com inclinação superior a 5% integralmente gramadas ou com jardins ou vegetação natural	0,20
Áreas com inclinação inferior a 5% integralmente gramadas ou com jardins ou vegetação natural	0,15

No cálculo da vazão, deverá ser incluída toda a área de contribuição a montante do ponto considerado.

Outros valores do coeficiente de escoamento superficial, que levem em conta a sua variação com o período de recorrência, ou outras metodologias para sua fixação, deverão ser submetidos à apreciação da Novacap.

É importante a apresentação de tabela contendo os cálculos para a definição de coeficiente de escoamento superficial considerando as médias ponderadas e os critérios adotados.

- Tempo de entrada na primeira boca de lobo (t_0): de 10 a 15 minutos, a ser definido com a fiscalização da Novacap, em função das características da área de projeto.
- Diâmetro mínimo da rede: 600 mm, podendo ser admitidos diâmetros menores, em condições das especificidades do projeto nos casos de utilização de áreas privadas onde haja restrições de espaços para a utilização do diâmetro de 600 mm;
- Diâmetro mínimo do conduto de ligação: 400 mm caso a boca de lobo seja singela, sendo que, em todos os casos, ele deverá ser dimensionado considerando a declividade do conduto e a vazão de projeto para o trecho;
- Declividade mínima da rede: Tubos, Galerias e Canais - declividade mínima para garantir uma velocidade não inferior à mínima;
- Velocidades limites de escoamento na rede (ver comentários destacados no quadro adiante):
 - Mínima: 1,0 m/s;
 - Máxima: 6,0 m/s (para revestimentos de concreto);
 - Máxima: 8,0 m/s (para revestimentos em PEAD ou PVC, respeitando os limites dos fabricantes dos materiais a serem empregados);

- Coeficiente de rugosidade (n) de Manning:
 - Tubos de concreto: 0,015
 - Canais de concreto: 0,013
 - Tubos de PVC: 0,010
 - Tubos de PEAD com acabamento liso interno: 0,008 a 0,012
- Nível de água máximo
 - igual a 82% do diâmetro ($x_{\text{máximo}} = 0,82$) nas condições de escoamento livre, sob pressão atmosférica.

A velocidade de escoamento em um sistema de drenagem deve obedecer a limites mínimos e máximos pelas seguintes razões:

- **Limite mínimo:** estabelecido para evitar a deposição de sedimentos ao longo do sistema e preservar as seções de escoamento de projeto;
- **Limite máximo:**
 - As perdas de carga que ocorrem ao longo do trajeto da água no sistema de drenagem são proporcionais ao quadrado da velocidade. Os critérios adotados em projetos de baixa complexidade não preveem o cálculo de perdas de carga localizadas, por isso é conveniente que a velocidade máxima seja limitada;
 - Quanto mais alta a velocidade de escoamento, quanto maior a presença de sedimentos e de poluição orgânica, maior o desgaste da superfície da tubulação, galeria ou canal. Materiais como concreto ou aço corrugado são mais suscetíveis à erosão pelo atrito provocado pelos sólidos presentes na água e pela corrosão gerada pela liberação de gases (como gás sulfídrico) em decorrência da agitação provocada por escoamentos turbulentos. Materiais plásticos como PVC ou PEAD normalmente são mais resistentes a essas ações, desde que protegidos de radiações ultravioletas;
 - Considerando a situação hipotética de que a água pluvial é isenta de sedimentos e livre de poluição orgânica, tubulações, galerias ou canais revestidos de concreto armado, com recobrimento adequado da armadura, podem durar mais de 40 anos, se observado o limite de velocidade de 6,0 m/s. Tubulações de PVC ou PEAD sob essas condições podem durar mais de 75 anos;
 - Para a utilização de tubulações de aço corrugado em sistemas urbanos de drenagem, é recomendável que recebam um revestimento de concreto, pois a prática mostra que o tratamento anticorrosivo que recebem não é suficiente para protegê-las do meio agressivo. Observando-se a velocidade limite de 6,0 m/s, a durabilidade dessas tubulações é semelhante à do concreto com cerca de 40 anos.

13.1.5 Condição de Contorno no Ponto de Lançamento da Rede

No projeto hidráulico da rede de drenagem, deve-se verificar o nível de água máximo (y_m) do corpo hídrico receptor no ponto de lançamento da rede (que pode ser em um trecho de outra rede existente, galeria ou curso d'água). Esse nível deve ser comparado com o nível de água no trecho final da rede (y_{nf}), calculado no regime uniforme, conforme metodologia descrita acima.

É importante destacar que há problemas com a estabilidade das margens dos córregos, para abrigar lançamentos de drenagem, sendo que essas análises devem ser efetuadas quando das definições dos pontos de lançamentos finais, incluindo análises quanto a estabilidade das margens e dos solos, principalmente em locais com declividades elevadas do corpo receptor. Essas análises podem implicar na necessidade de implantação de dispositivos adicionais, além daqueles usualmente solicitados pelo prestador de serviços, visando garantia das margens dos corpos hídricos receptores.

O nível y_m define a condição de controle da rede e, dependendo do seu valor, pode exigir ajustes no projeto para que se garanta que o sistema tenha a capacidade prevista, conforme se segue:

- a. Nível de água no corpo hídrico receptor menor ou igual ao nível normal na rede ($y_m < y_{nf}$)

Neste caso, a saída é livre no ponto de lançamento e nenhum ajuste de projeto é necessário. Entretanto, caso o desnível seja superior a 0,50 m, deverá ser avaliada a possibilidade de ocorrência de processos erosivos e a necessidade de dispositivos adicionais para preservar as características físicas do ponto de lançamento.

- b. Nível de água no corpo receptor maior que o nível normal na rede ($y_m > y_{nf}$)

Neste caso, deve-se observar ainda as seguintes possibilidades:

- Regime de escoamento fluvial na rede projetada ($y_{nf} > \text{nível crítico}$)

Fazer o cálculo da curva de remanso a partir de jusante, verificar se as condições de velocidade mínima estão satisfeitas e se há possibilidade de afogamento de algum trecho.

Caso a velocidade seja menor que a mínima, as seções transversais e as cotas da rede deverão ser ajustadas.

Se houver possibilidade de afogamento (nível de água maior que o diâmetro), a rede deverá ser calculada como tubulação afogada sob pressão a partir desse ponto. Caso a linha piezométrica ultrapasse o nível do terreno (considerando uma margem de segurança de cerca de 1,0 m), a geometria da rede deve ser ajustada.

- Regime de escoamento torrencial na rede projetada ($y_{nf} = \text{nível crítico}$)

Neste caso, poderá haver a formação de ressalto hidráulico em algum ponto da rede, o que poderá limitar sua capacidade e gerar velocidades excessivas que podem danificar a tubulação.

Para essa situação, deve-se procurar modificar a geometria da rede ou prever estrutura especial de dissipação de energia para contenção do ressalto em um trecho pré-determinado.

- c. Nível de água no corpo hídrico receptor acima da cota da geratriz superior interna da rede ($D < y_{nr}$)

Nesta situação, a rede funcionará afogada e deverá ser recalculada como conduto sob pressão, conforme descrito anteriormente.

É importante observar que a prestadora Novacap exige a instalação de dissipadores tipo impacto Bradley-Peterka (Peterka, 1958 - Figura 99) e a Resolução Adasa nº 26/2023 estabelece que a “velocidade do escoamento a jusante de obra de drenagem executada no Distrito Federal não poderá aumentar em relação à condição existente”. Essas duas exigências visam minimizar efeitos de processos erosivos no ponto de lançamento e devem ser consideradas no projeto.

Destaca-se, entretanto, que para pequenas áreas de contribuição (no máximo de 2,0 ha e rede de drenagem máxima de 600 mm), satisfeitas todas as verificações de projetos e desde que se conclua que não haverá impactos ambientais negativos ao corpo receptor, poderão ser admitido dissipadores de energia hidráulicos (simples).

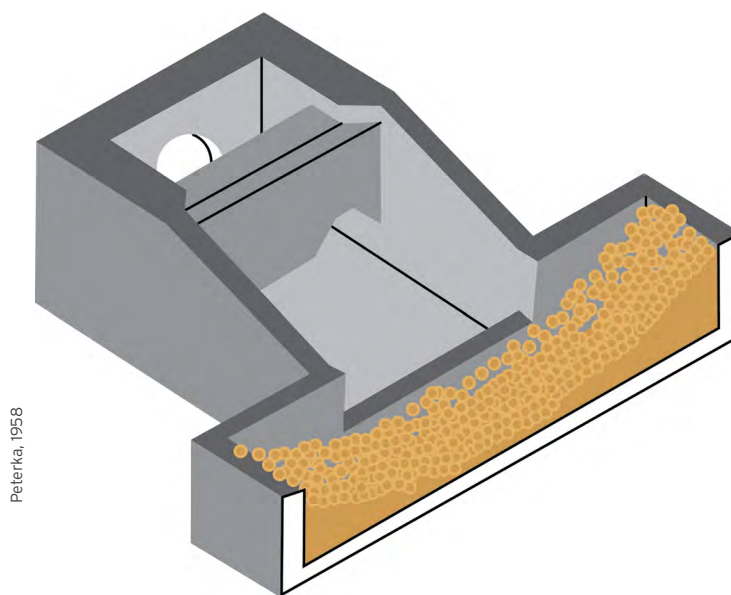


Figura 99 Dissipador de energia tipo impacto.

O cálculo da eficiência do dissipador é determinado pelo gráfico da Figura 100, a partir do número de Froude (F), número adimensional calculado pela seguinte equação (Chow, 1959):

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

Com:

V = velocidade de aproximação ao dissipador;

g = aceleração da gravidade;

L = largura característica,

Onde:

$$L = \frac{Am}{T}$$

Am = área molhada na saída da tubulação;

T = largura da superfície livre.

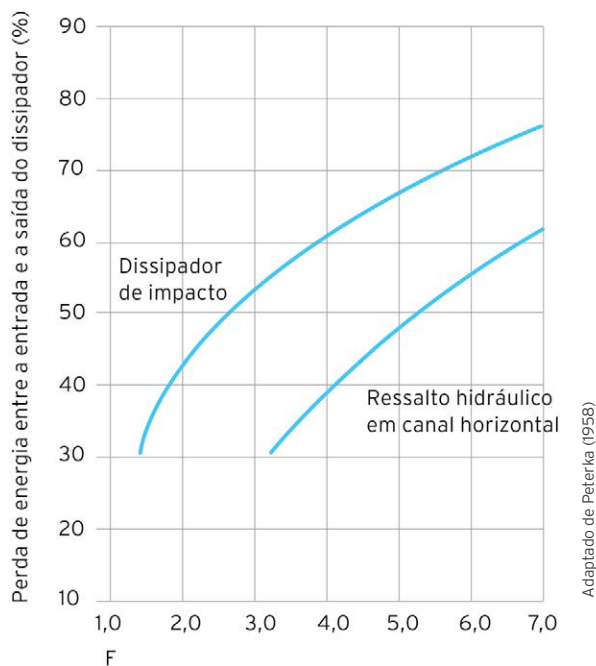


Figura 100 Eficiência de dissipadores de impacto tipo Bradley-Peterka e de ressalto hidráulico em canal horizontal em função do número de Froude (F).

Desde que previamente discutidos e aprovados pela prestadora Novacap, poderão ser aceitos outros dispositivos de dissipação de energia, como, por exemplo, dissipadores verticais, que correspondem a um PV com degraus verticais internos, para aplicação em lançamentos com declividades elevadas. Esses dispositivos demandam dimensionamentos hidráulicos e estruturais, além de sua estabilidade vertical.

13.2 Macrodrenagem

O planejamento do sistema de macrodrenagem deve levar em consideração a divisão do território do Distrito Federal em:

- 3 Regiões hidrográficas (Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná, conforme Figura 13;
- 7 Bacias hidrográficas Figura 14;

- 41 Unidades hidrográficas (Figura 15), algumas das quais são agrupadas em Bacias Elementares, conforme o PDDU (Concremat Engenharia/GDF, 2009).

13.2.1 Ocupação Territorial

O planejamento da macrodrenagem deve ser efetivado por unidade hidrográfica e considerar as seguintes situações em relação à ocupação territorial:

- c. Urbanização consolidada: desenvolvimento do plano de controle, com medidas de retenção e ampliação de rede pluvial, tratando a bacia de forma integrada e considerando todos os efeitos do escoamento. O princípio é o de que a vazão de saída da bacia deve ser controlada em função de possíveis impactos negativos a jusante, e seu planejamento deve eliminar todos os locais de alagamento, considerando os cenários de uso do solo do Plano Diretor e o Tempo de Retorno previsto.
- d. Área de expansão urbana, ainda não ocupada: neste caso, pode-se utilizar a seguinte estratégia:
 - Considerar os dispositivos legais que regulamentam o uso e a ocupação do solo, vigentes no DF;
 - Prever dispositivos de amortecimento e infiltração que preservem, na medida do possível, a vazão de pré-desenvolvimento, de acordo com o estabelecido na Resolução Adasa nº 26/2023;
 - Planejar parques lineares e espaços públicos dotados de lagos que, além de contribuírem para a valorização da paisagem, colaborem para a redução das vazões e melhoria da qualidade da água.

13.2.2 Etapas do Planejamento

No planejamento da macrodrenagem, são recomendadas as seguintes etapas de desenvolvimento, conforme o fluxograma da Figura 101.

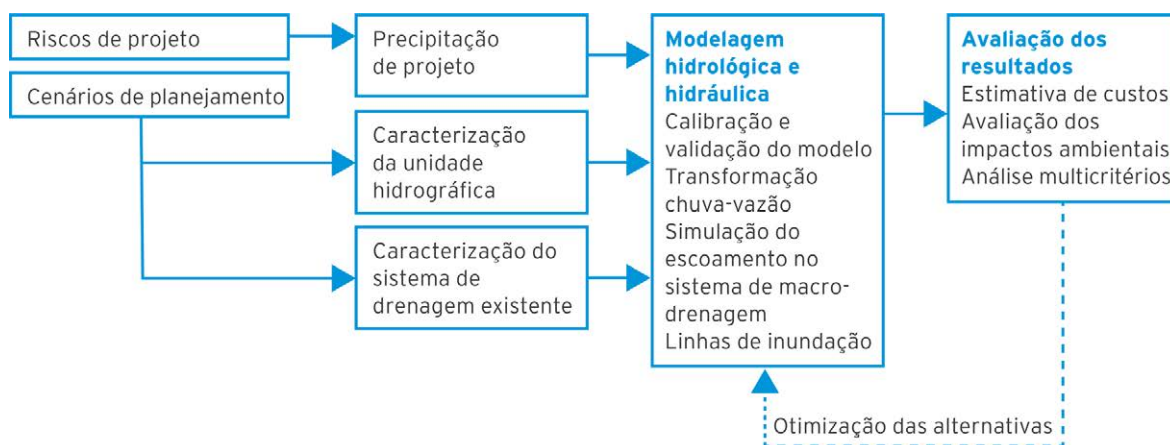


Figura 101 Etapas de planejamento do sistema de macrodrenagem.

1. Caracterização da unidade hidrográfica:

- Avaliação da geologia, tipo de solo, hidrogeologia, relevo, ocupação urbana, população caracterizada por sub-bacia para os cenários de interesse;
- Drenagem - definição da bacia e sub-bacias, sistema de drenagem natural e construído, com as suas características físicas, tais como: seção de escoamento, cota, comprimento de canais e cursos d'água e bacias contribuintes à drenagem;
- Dados hidrológicos - precipitação, sua caracterização pontual, espacial e temporal; verificar a existência de dados de chuva e vazão que permitam ajustar os parâmetros dos modelos utilizados; dados de qualidade da água e produção de material sólido (sedimentos).

2. Definição dos cenários de planejamento e risco:

- Os cenários de planejamento são definidos de acordo com o desenvolvimento previsto para a cidade, representado pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial - PDOT, bem como as áreas ocupadas que não foram previstas, áreas desocupadas parceladas e áreas que deverão ser parceladas no futuro. Da mesma forma, o risco do estudo deve ser escolhido de acordo com os critérios do Capítulo 3 - Conceitos Gerais, deste Manual.

3. Determinação da precipitação de projeto:

- Com base nos registros de precipitação da área mais próxima da bacia, deve-se utilizar a curva IDF do Distrito Federal apresentada no Item 13.1.3 - Redes de Coleta de Águas Pluviais, deste Manual, considerando a duração da precipitação de pelo menos 24 horas. Esse valor deve ser discretizado no tempo em intervalos de tempo menores ou igual a 1/5 do tempo de concentração da bacia. Para bacias maiores que 25 km², deve-se aplicar um coeficiente de abatimento espacial definido com base na literatura técnica, já que não há estudos específicos sobre a distribuição espacial de chuvas intensas para o DF.

4. Avaliação da capacidade e Simulação dos cenários:

- Os cenários são simulados para as redes de drenagem existentes e/ou projetadas. O modelo hidrológico, utilizado para áreas maiores que 100 ha, deve ser capaz de representar a bacia de contribuição da forma mais realista possível, dentro do cenário previsto. A finalidade dessas simulações é identificar se o sistema tem capacidade de comportar os acréscimos de vazão gerados pela evolução urbana de cada cenário, no caso de verificação; ou no caso de projeto, se o sistema foi corretamente dimensionado para a vazão existente. Quando se utiliza o cenário de ocupação urbana atual, o objetivo é verificar a capacidade de escoamento das redes de drenagem existentes. A análise dos resultados permite identificar os locais onde o sistema de drenagem não tem capacidade de escoar as vazões,

gerando, portanto, alagamentos. Para grande parte das bacias do Distrito Federal foram efetuadas estas simulações, que constam no Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (Concremat Engenharia/GDF, 2009). Nesse sentido, o referido Plano realizou simulações dos trechos do sistema de drenagem existente à época, com diâmetros maiores que 1.000 mm; entretanto, houve uma carência na análise nos pontos de lançamentos nos corpos hídricos receptores de drenagem urbana;

- Essas análises deverão ser atualizadas, considerando um novo cadastro técnico dos sistemas existentes, as ampliações verificadas nos sistemas de drenagem, a inclusão de novas áreas de parcelamentos urbanos definidas posteriormente à elaboração do referido PDDU, os dispositivos de amortecimento de vazão implantados no DF a partir da Resolução Adasa nº 26/2023 bem como da Lei Complementar nº 929/2017, dentre outras situações;
- Essas simulações deverão gerar alternativas de solução, as quais deverão ser caracterizadas conforme descrito no item 6.6 - Elaboração de Estudos de Concepção, deste Manual.

5. Seleção de alternativas para controle:

- Considerando as condições simuladas anteriormente, quando a situação for de verificação da capacidade das redes de drenagem, devem ser identificadas as limitações existentes no sistema e os locais onde ocorrem essas limitações (caso não exista, esta etapa não é realizada). Neste caso, o planejador deve buscar analisar as alternativas de controle, priorizando medidas de detenção ou retenção, que não transfiram para jusante os acréscimos de vazão máxima. Essas análises devem levar em consideração o conteúdo da Resolução Adasa nº 26/2023 bem como da Lei Complementar nº 929/2017, dentre outras que forem publicadas;
- É importante destacar que os sistemas de drenagem implantados a partir da emissão da Resolução Adasa nº 26/2023 já constam com os dispositivos de amortecimento de vazão necessários. Entretanto, as áreas onde os sistemas foram implementados antes de 2011 não apresentam os dispositivos necessários, sendo necessária a avaliação das estruturas a serem implementadas nessas áreas;
- Geralmente, a combinação de soluções envolve reservatórios urbanos em áreas públicas, ou áreas potencialmente públicas, com adaptação da capacidade de drenagem em alguns trechos, mantendo a vazão máxima dentro de limites previstos pela legislação ou da capacidade dos rios, córregos ou canais a jusante do sistema. No caso de dimensionamento, a alternativa de controle deve prever a utilização de estruturas de amortecimento da cheia para não ampliar a enchente a jusante, e deve-se verificar se a rede projetada tem capacidade para escoar a atual vazão.

6. Simulação das alternativas de controle:

- Definidas as alternativas na fase anterior, as mesmas devem ser simuladas para o risco e cenário definido como meta. Nas simulações, verifica-se se a alternativa de controle também evita os alagamentos das ruas para riscos menores ou iguais ao de projeto. No caso de verificação, a mesma pode ser realizada para o cenário atual de ocupação e/ou para um cenário de ocupação futura.

7. Avaliação da qualidade da água:

As etapas da avaliação da qualidade da água são:

- Determinação da carga proveniente do esgoto sanitário que não é coletada pela rede de esgotamento sanitário;
- Determinação da carga de resíduo sólido;
- Determinação da carga difusa conduzida pelo sistema de drenagem;
- 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.

8. Avaliação econômica:

- Os custos das alternativas devem ser quantificados, permitindo analisar a alternativa mais econômica para controle da drenagem, envolvendo, quando possível, também a melhoria da qualidade da água pluvial, seguindo as recomendações descritas no item 6.6 - Elaboração de Estudos de Concepção, deste Manual.

9. Seleção da alternativa:

- Em função das condicionantes técnicas, econômicas, 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, seguindo as recomendações descritas no item 6.6 - Elaboração de Estudos de Concepção, deste Manual.

10. Verificação para cheias maiores que a de projeto:

- Esta fase envolve identificar condições de funcionamento superiores à de projeto, para prevenção, seguindo os riscos para cada bacia, tendo em vista a ocupação urbana e a área da bacia.

13.3 Dimensionamento de Reservatório de Amortecimento

O dimensionamento do reservatório envolve as seguintes etapas:

- Disposição espacial do reservatório;
- Determinação do volume;
- Dimensionamento hidráulico dos dispositivos de entrada e de saída.

O dimensionamento dos dispositivos de saída deve considerar o tempo de esvaziamento do volume de qualidade da água e os demais critérios deste Manual, de acordo com o tipo de reservatório escolhido.

As metodologias a serem adotadas para os dimensionamentos dos reservatórios encontram-se descritas na Resolução Adasa nº 26/2023.

O reservatório de qualidade apresenta como função principal reter a poluição difusa presente nas águas pluviais, melhorando a qualidade de água do corpo hídrico receptor. Assim, em seus projetos deve existir reduzida velocidade transversal da água e baixa turbulência. Por isso, após o enchimento desse reservatório ou dispositivo, a vazão afluente incremental deverá seguir diretamente para o reservatório de quantidade.

O reservatório de quantidade apresenta como principal função o amortecimento das vazões captadas nos sistemas de drenagem urbana, mantendo-se a vazão no corpo hídrico receptor, nas mesmas condições anteriores à ocupação urbana.

Pode-se prescindir do reservatório de quantidade, quando o lançamento do sistema de drenagem ocorrer em um reservatório de água previsto para controle ou regularização de vazão, como os Lagos Paranoá e Descoberto.

13.3.1 Disposição Espacial do Reservatório

A escolha do local do reservatório depende essencialmente do espaço disponível. O local ideal é sempre junto ao sistema de drenagem que permita o maior efeito sobre a vazão de jusante.

De acordo com a sua posição em relação à rede de drenagem, os reservatórios podem ser *off-line*, quando são localizados ao lado da rede (Figura 102), ou *on-line*, quando estão alinhados à rede (Figura 103).

O reservatório *off-line* pode funcionar com um vertedor lateral ou com uma galeria ou canal, extravasando para a área de detenção a partir de uma vazão limite. Existem grandes variações desses dispositivos em função dos condicionantes locais de capacidade de escoamento para jusante, volume e afluência ao sistema (Figuras 102 a 104).

Além deste sistema, existem dispositivos denominados de Retenção, que são reservatórios com lâmina de água, projetados para melhorar a qualidade da água da drenagem afluente em função do tempo de residência do volume dentro do reservatório.

Esses dispositivos têm seu volume acrescido, com relação ao amortecimento do pico, visando ao atendimento das condições de qualidade da água.

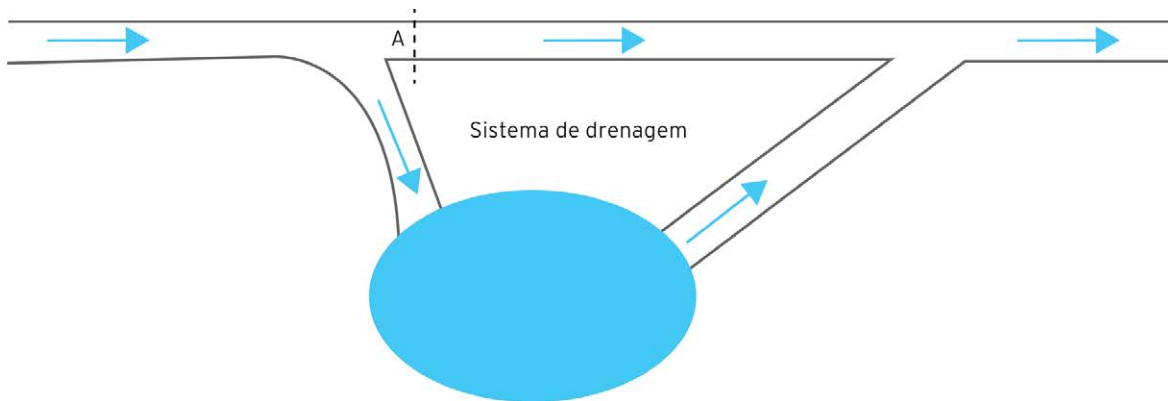


Figura 102 Reservatório *off-line* com restrição de vazão na seção A.

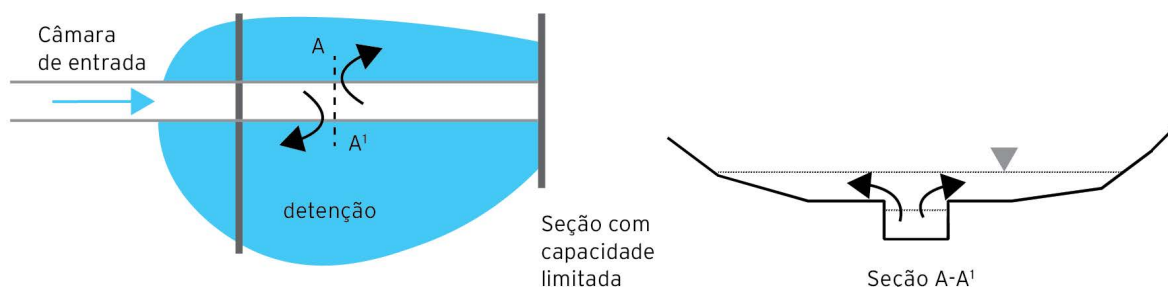


Figura 103 Reservatório *on-line* com câmara de retenção de resíduos sólidos.

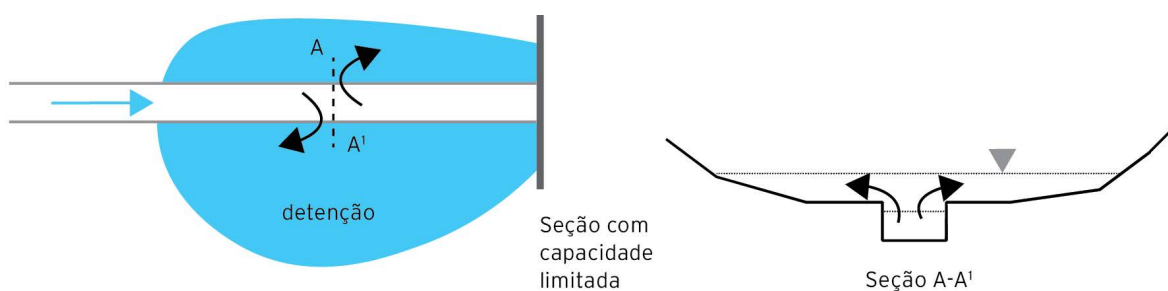


Figura 104 Reservatório *on-line*, com controle de vazão efluente e com reservação lateral.

Tendo em vista as limitações de espaço, esses reservatórios podem ser implantados em trechos intermediários de uma rede coletora ou em seu trecho final. Quando implantados em trechos intermediários, seus volumes de amortecimento deverão ser avaliados de maneira a se garantir, no final do sistema, o atendimento à vazão de lançamento, bem como a questão relativa à qualidade de água no corpo hídrico receptor.



Foto: Luciano Piva, PMSP

Figura 105 Reservatório *in-line*, Aricanduva 2, em São Paulo.



Foto: Luciano Piva, PMSP

Figura 106 Reservatório *off-line* Inhumas, em São Paulo.

13.3.2 Volume do Reservatório

Segundo a Resolução Adasa nº 26/2023 para o dimensionamento do reservatório de quantidade deverão ser observados o tamanho do terreno, seu percentual de impermeabilização e as características da bacia, não podendo o lançamento no corpo hídrico ultrapassar a vazão máxima específica de 24,4 L/s.ha. Em casos de impossibilidade de atendimento dessas condições, poderão ser apresentados estudos alternativos que atestem a capacidade do corpo hídrico de receber vazão específica de lançamento diversa, ficando esses estudos sujeitos à aprovação da Adasa.

Os critérios de cálculo da Resolução da Adasa são os seguintes:

- Quando a área de contribuição for inferior a 200 ha (duzentos hectares), seu volume será determinado por meio da seguinte equação:

$$V = (4,705 \cdot Ai) \cdot Ac$$

Onde:

V = volume do reservatório em m^3 ;

Ai = percentual de área impermeável do terreno;

Ac = área de contribuição em ha.

- Para áreas de contribuição superiores a 200 ha, será necessário elaborar estudo hidrológico a fim de determinar o volume do reservatório de quantidade e seus dispositivos de saída, de forma a garantir que a vazão a ser lançada no corpo hídrico receptor não ultrapasse a vazão de pré-desenvolvimento de 24,4 L/s. ha, regulamentada na Resolução Adasa nº 26/2023. Da mesma forma, em casos de impossibilidade de atendimento dessas condições, poderão ser apresentados estudos alternativos que atestem a capacidade do corpo hídrico de receber vazão específica de lançamento diversa, ficando esses estudos sujeitos à aprovação da Adasa.
- O estudo hidrológico deverá conter, no mínimo, as seguintes condicionantes:
 - a. Uso de modelo hidrológico de transformação de precipitação em vazão com, pelo menos, o método do hidrograma, para que se estime o volume do escoamento superficial que entra no reservatório. Para tanto, devem-se considerar as chuvas com tempo de retorno de 10 anos;
 - b. A duração da chuva de projeto deve ser de, no mínimo, 24 h, com sua distribuição temporal estabelecida dentro de critérios de maximização do pico;
 - c. A área impermeável deve ser estabelecida de acordo com o somatório das áreas impermeáveis previstas no projeto;
 - d. A vazão máxima de saída não pode ultrapassar a vazão máxima de pré-desenvolvimento de 24,4 L/s.ha;
 - e. A simulação deverá demonstrar o atendimento da detenção do volume correspondente à chuva de projeto por 24 h e o amortecimento da vazão a ser lançada no corpo hídrico, de forma a não ultrapassar a vazão de pré-desenvolvimento.

Embora não conste da Resolução da Adasa, sugere-se que, para bacias com área acima de 100 ha, o volume do reservatório de quantidade seja verificado com o uso de modelos computacionais. Para tanto, deverão ser observadas as seguintes condições:

- A vazão efluente deve corresponder à vazão específica, prevista na Resolução Adasa nº 26/2023, de 24,4 L/(s.ha) ou, caso seja inviável atender a essa condição, deve estar limitada à capacidade hidráulica do corpo hídrico receptor;
- Para determinar o tempo de duração da chuva de projeto, deverão ser simulados diversos tempos (até 24h), e escolhido aquele que resultar no volume maior;
- Para o dimensionamento do dispositivo de saída, deve-se considerar um tempo de esvaziamento máximo de 12h.

13.4 Condicionantes para Projetos de Canalização

O escoamento em um curso d'água 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. Os condicionantes de jusante podem ser: estrangulamento do rio devido a pontes, aterros, mudança de seção, reservatórios, oceano. Esses condicionantes reduzem a vazão de uma galeria, canal ou rio, independentemente das suas próprias capacidades hidráulicas;
- **Condicionantes locais:** definem a capacidade de cada seção do rio de transportar uma quantidade de água. A capacidade local de escoamento depende da área, da seção, da largura, do perímetro, da declividade e da rugosidade das paredes. Quanto maior a capacidade de escoamento, menor o nível de água.

Se em um canal com escoamento subcrítico existe uma ponte, aterro ou outra singularidade que provoque uma redução local da sua capacidade, a vazão de montante é reduzida pelo represamento de jusante e não pela capacidade própria do canal. Esse tipo de singularidade provoca o aumento do nível de água, produzindo o efeito denominado *remanso*.

A extensão do trecho que sofre efeito de jusante depende de fatores que variam com a diferença de nível provocada pela singularidade e com a capacidade hidráulica do canal.

O escoamento pode acontecer também em dois regimes: regime permanente ou regime não permanente. O regime é permanente se a velocidade da água em uma dada seção transversal é constante, em módulo e direção. O regime é não permanente quando a velocidade varia no tempo, como acontece na passagem de uma onda de cheia.

O escoamento numa canalização pode acontecer à superfície livre, quando a pressão na superfície é igual à pressão atmosférica; ou sob pressão, quando a pressão é maior que a pressão atmosférica. Num sistema de drenagem, alguns trechos podem operar sob pressão e outros à superfície livre. Critérios e parâmetros de projetos podem determinar condições e materiais compatíveis para os dois regimes de escoamentos em um mesmo sistema.

Outro aspecto importante para os projetos de canalizações é o ponto de lançamento, onde se devem prever dispositivos de dissipação de energia, sempre que se fizerem necessários.

Diretrizes Para Termos De Referência

Neste capítulo apresentam-se diretrizes para definição das atividades que devem ser especificadas em Termos de Referência para contratação de Estudos de Concepção, Projetos Básicos ou Executivos.

Os projetos de drenagem urbana no Distrito Federal devem atender aos critérios de outorga determinados pela Adasa e devem ser elaborados em duas fases:

- 1. Estudo de concepção;**
- 2. Projetos básicos e/ou executivos.**

Tendo em vista as definições da Adasa, com os Estudos de Concepção têm-se informações suficientes para se obter a outorga prévia; e com os projetos básicos e/ou executivos, têm-se as informações suficientes para obter a outorga de direito de uso de recursos hídricos para o lançamento de águas pluviais.

Para efeito de orientação, apresentam-se a seguir roteiros básicos para cada uma dessas fases, com as atividades mínimas a serem desenvolvidas, que poderão ser adaptadas para cada caso, de acordo com suas especificidades.

É recomendável que o planejamento e o gerenciamento de estudos de concepção e de projetos básicos e/ou executivos sejam realizados utilizando-se ferramentas que possibilitem a organização sequencial das diversas atividades, considerando seus prazos, interdependências e recursos alocados, como, por exemplo, a tecnologia BIM - Building Information Modeling (Eastman *et al.*, 2011) ou outra similar.

14.1 Estudo de Concepção

Conforme descrito anteriormente, o conteúdo mínimo para estudos de concepção encontra-se detalhado no item 6.6 - Elaboração de Estudos de Concepção, deste Manual, o qual deve ser seguido.

O prestador de serviços, quando da elaboração de projetos de baixa complexidade, poderá apresentar termo de referência com conteúdo parcial para a elaboração dos Estudos de Concepção, em comparação ao conteúdo indicado no item 6.6 deste Manual, ficando sob sua responsabilidade as informações suficientes para se garantir a obtenção de solução de mínimo custo de implantação, operação e manutenção para o sistema a ser projetado.

Atividade 1 - Plano de trabalho consolidado

O objetivo desta atividade é o detalhamento e a consolidação do Plano de Trabalho, apresentado na Proposta Técnica da empresa contratada para a execução de Estudos de Concepção, e envolve todas as fases de execução do estudo.

O Plano de Trabalho Consolidado norteará a condução dos serviços do início ao fim. Será precedido de uma reunião com a participação das equipes técnicas da Contratante e da Contratada, a ser realizada logo após a assinatura do Contrato. Nessa reunião serão consolidados os termos da Proposta, esclarecidas eventuais dúvidas sobre os Estudos de Concepção e definidos detalhes, como:

- Procedimentos para o fornecimento de dados da Contratante e demais entidades relacionadas aos estudos, bem como levantamentos de dados por parte da Contratada;
- Formas de documentação das atividades e padronização de documentos;
- Formas de comunicação entre a Contratada e a Contratante;
- Detalhamento das atividades do projeto e respectiva rede de precedência;
- Detalhamento do cronograma e estabelecimento de um calendário de reuniões de trabalho;
- Detalhamento e consolidação da metodologia de trabalho;
- Apresentação da relação de dados e informações a serem providenciados pela Contratante e demais entidades;
- Apresentação da relação de dados e informações a serem levantados pela Contratada;
- Programação dos seminários, oficinas e demais eventos, com a previsão de datas, a indicação dos temas a serem abordados e público-alvo, sempre que se fizerem necessários;
- Outros detalhes pertinentes ao planejamento dos trabalhos.

Sempre que, durante o desenvolvimento dos Estudos de Concepção, for reconhecida a necessidade de mudanças significativas em relação ao planejamento inicial, o Plano de Trabalho deverá ser revisado e formalmente reapresentado.

Atividade 2 - Mecanismos de participação pública

Deverão ser estabelecidos mecanismos de participação pública, como oficinas, seminários e outros eventos, em todas as fases dos Estudos de Concepção que envolvam decisões que tenham rebatimento direto sobre a população da área de influência do projeto. A Modalidade Condominial, apresentada no item 7.4 - Modalidade Condominial para a Implantação de Redes Coletoras de Águas Pluviais Urbanas, é uma excelente estratégia a seguir.

Atividade 3 - Coleta, análise e seleção de dados e informações secundárias

Os dados e as informações para os Estudos de Concepção serão coletados junto às entidades que tenham relação com o escopo do trabalho, bem como produzidos/levantados pelo próprio contratante. Como ponto de partida, poderá ser utilizada a lista apresentada no Capítulo 8 - Base de Dados, deste Manual, aliado com o conteúdo do item 6.6 - Elaboração de Estudos de Concepção, também deste Manual.

Atividade 4 - Inspeções de campo

As inspeções de campo complementarão as informações secundárias, com a possibilidade de utilizar-se de um modelo computacional, que deverão apresentar como resultado da Atividade 3 no que se refere a:

- Ocupação urbana e uso do solo atual, conforme proposto no item 6.6.1 - Caracterização da Área de Estudo, deste Manual;
- Avaliação qualitativa da precisão do cadastro do sistema existente coletado na atividade anterior, conforme descrito no item 6.6.2 - Caracterização do Sistema Existente de Drenagem na Área de Projeto, deste Manual;
- Caso se note que os cadastros estão incompletos ou são imprecisos, deverão ser feitas complementações mínimas suficientes para os Estudos de Concepção;
- As obras de drenagem existentes sem cadastro disponível, com cadastro incompleto ou impreciso, serão cadastradas na fase de projeto.
- Verificação dos limites de bacias e de sub-bacias;
- Mapeamento e caracterização das áreas inundáveis com base em informações de campo, se possível com o registro das datas e horários dos eventos mais críticos;
- Outros dados de interesse que auxiliem na formulação de alternativas.

As informações levantadas em campo serão armazenadas no banco de dados georreferenciado, juntamente com os demais dados coletados.

Atividade 5 - Cenários futuros de ocupação e desenvolvimento urbano

Esta atividade consistirá na projeção da ocupação urbana na bacia de drenagem estudada. Deverão ser consideradas: a Lei de Zoneamento e de Uso do Solo, o Código Florestal e outros dispositivos legais pertinentes, além do estudo das tendências de adensamento e expansão da área urbana, conforme descrito nos itens 6.6.1 e 6.6.4 deste Manual.

Destaca-se que os Estudos de Concepção deverão considerar sempre a situação de ocupação plena da área de drenagem, segundo as legislações vigentes quando da sua elaboração.

Atividade 6 - Diretrizes urbanísticas

Nesta atividade serão definidas as diretrizes urbanísticas que condicionarão a formulação de alternativas. Essas diretrizes contemplarão, entre outros, os seguintes aspectos:

- Paisagem urbana;
- Mobilidade;
- Equipamentos públicos;
- Critérios para intervenções em áreas tombadas, quando for o caso;

- Outros aspectos que reduzam os impactos e valorizem as intervenções.

Atividade 7 - Modelagem hidrológica e hidráulica

Nesta atividade serão realizados estudos sobre os corpos receptores (conforme item 6.6.5 - Estudos dos Corpos Hídricos Receptores deste Manual), bem como formuladas as alternativas de solução (conforme item 6.6.6 - Formulação de Alternativas, deste Manual), procedendo-se os pré-dimensionamentos das unidades que irão compor as referidas alternativas (conforme item 6.6.7 - Pré-dimensionamento das Alternativas Propostas, deste Manual).

Serão avaliadas as eficiências hidráulicas das alternativas, com a possibilidade de utilizar-se de um modelo computacional, que deverão apresentar como resultado: vazões, volumes armazenados, traçado de linhas de alagamento e/ou inundação com critérios idênticos para todas as alternativas estudadas.

Para os projetos de alta complexidade, o modelo a ser utilizado deverá atender as seguintes especificações:

- Módulo hidrológico de transformação chuva-vazão agregado ou distribuído;
- Módulo hidráulico integrado ao modelo hidrológico com capacidade de executar simulações pelo método da onda dinâmica, considerando todas as parcelas das equações de Saint Venant, contando ainda com recursos para:
 - Simular simultaneamente e, como um único sistema, as redes de drenagem subterrânea e superficial de toda a bacia de drenagem;
 - Simular escoamentos livre e sob pressão;
 - Recursos que permitam gerar manchas de alagamento e/ou inundação (modelo 2D ou "pseudo-2D") sobre o Mapa Digital do Terreno (MDT);
 - Simulação da qualidade da água ao longo do sistema, considerando indicadores de poluição difusa e de esgotos sanitários.

Também é desejável que o modelo tenha capacidade de considerar a operação de medidas de controle na fonte e outras medidas que promovam o aumento das áreas permeáveis e dos volumes de retenção.

A modelagem deverá seguir as seguintes etapas:

- a. Seleção dos modelos a serem utilizados;
- b. Introdução de dados;
- c. Preparação, calibração e validação do modelo;

Nesta fase deverá ser feita a simulação do sistema existente para eventos conhecidos. A calibração será feita com base em dados de medição de chuvas, de níveis e vazões de um evento crítico e a validação com base em dados do mesmo tipo para outros eventos.

- d. Configuração de soluções alternativas;

Considerando as diretrizes urbanísticas formuladas em atividade anterior.

- e. Simulação de cenários futuros.

Nesta fase deverão ser simulados, no mínimo, os seguintes cenários:

- Cenário tendencial: que considerará o sistema existente e a ocupação futura da bacia. Este cenário servirá para a verificação hipotética do que poderá acontecer caso nenhuma ação de controle de cheias seja implantada e será utilizado para a avaliação dos danos evitados nos estudos custo/benefício.
- Cenários alternativos de planejamento: em que serão simuladas as diversas alternativas de solução para a condição de ocupação futura da bacia.

Para cada cenário, deverão ser feitas simulações para precipitações de diferentes tempos de recorrência e durações, e também, dependendo das dimensões da bacia de drenagem, para diferentes distribuições temporais e espaciais. Para os cenários futuros, deverão ainda ser realizadas simulações para eventos críticos observados e utilizados na calibração e validação do modelo.

Os principais resultados desta atividade são:

- Pré-dimensionamento hidráulico das alternativas;
- Avaliações quanto a vazões e linhas de alagamento e/ou inundação para os diversos cenários e precipitações;
- Avaliações dos efeitos das medidas de controle na fonte e a serem implantadas no sistema de drenagem sobre a redução das vazões críticas, redução das linhas de alagamento e/ou inundação e sobre a qualidade da água.

Atividade 8 - Análise dos resultados das simulações

Deverão ser avaliados os resultados das alternativas estudadas, examinando os seus impactos nos corpos hídricos receptores, tanto no aspecto de quantidade quanto no de qualidade de água, conforme descrito no item 6.6.5 - Estudos dos Corpos Hídricos Receptores, deste Manual.

Poderão ser realizadas análises comparativas entre as linhas de alagamento e/ou inundação de cada alternativa com as linhas de inundação do sistema atual para eventos críticos de mesmas características e iguais condições de impermeabilização da bacia. Tais análises permitirão avaliar os benefícios resultantes de cada alternativa para projetos de baixa e média complexidade, sendo essa atividade obrigatória para projetos de alta complexidade.

Também deverão ser avaliados os impactos sobre a qualidade da água das alternativas, considerando vazões de tempo seco e de tempo chuvoso.

Atividade 9 - Estimativa de custos das alternativas e Análises das Alternativas Propostas

Nesta atividade serão avaliados os custos de implantação, de manutenção, de operação e das medidas mitigadoras necessárias de cada alternativa considerando as obras e as

ações complementares, conforme descrito no item 6.6.8 - Estimativas de Custos das Alternativas Propostas, deste Manual.

Serão efetuadas, ainda, as análises que envolvem os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais levando-se em consideração as etapas de implantação, operação e manutenção, a fim de se obter a alternativa de mínimo custo, conforme descrito no item 6.6.9 - Análises das Alternativas Propostas, deste Manual.

Atividade 10 - Análises multicritérios

Essa atividade poderá ser exigida para projetos de alta complexidade, a critério do prestador de serviços, ou sugerido pelo projetista, quando não se tiver clara a solução de mínimo custo a ser recomendada pelos estudos de concepção.

Para estas análises, serão definidos os atributos mais relevantes para a escolha da alternativa mais adequada e arbitrados pesos de ponderação para cada um desses atributos, de acordo com sua relevância.

Poderão ser considerados, entre outros, os seguintes atributos:

- Capacidade de reduzir os riscos de alagamento e/ou inundação;
- Capacidade de contribuir com a melhoria da qualidade da água;
- Custo de implantação;
- Custos de operação e manutenção;
- Impactos negativos, nas fases de implantação e operação, sobre: a mobilidade urbana, a paisagem, a qualidade da água etc.;
- Impactos sobre as cheias a jusante das obras;
- Vulnerabilidade (possibilidade de falha e suas consequências);
- Valorização imobiliária;
- Desenvolvimento tecnológico;
- Repercussão na mídia;
- Prazo de implantação;
- Nível de consenso entre as entidades envolvidas no projeto e a população a ser beneficiada;
- Possibilidade de implantação em etapas com aumento progressivo da segurança hídrica.

A alternativa escolhida será aquela que receber a maior pontuação na análise multicritérios.

Atividade 11 - Relatório final

O relatório final apresentará os resultados dos estudos elaborados, conclusões e recomendação da alternativa mais adequada justificada pelas análises efetuadas.

O relatório final poderá conter, sempre que for cabível, atendendo às recomendações dos Termos de Referência:

- Desenhos com a localização e descrição das obras de cada alternativa;
- Desenhos com as delimitações das bacias e das sub-bacias: traçado da rede de drenagem existente, lei de zoneamento, classificação do uso do solo atual e tendencial;
- Descrição do modelo computacional utilizado para as simulações hidrológicas e hidráulicas;
- Dados de entrada do modelo hidrológico-hidráulico para cada simulação realizada com as respectivas justificativas técnicas;
- Desenhos com as linhas de inundação correspondentes às alternativas e para o sistema de drenagem existente;
- Planilhas de estimativas de custos das alternativas estudadas com os respectivos memoriais de cálculo;
- Planilhas detalhadas com as ponderações e resultados das análises multicritérios;
- Registros das oficinas realizadas com as recomendações sugeridas pelos participantes;
- Justificativas sobre o aceite ou não dessas recomendações;
- Recomendações para a elaboração dos documentos de solicitação de outorga e licenciamento ambiental, formuladas a partir das análises efetuadas e das discussões promovidas nas oficinas;
- Recomendações quanto aos eventuais impactos com o tráfego de veículos e interferências com empreendimento localizados;
- Especificações e diretrizes para os projetos básicos e/ou executivos;
- Documentação técnica para instruir a solicitação da outorga prévia;
- Apresentação da Alternativa Escolhida, conforme descrito no item 6.6.10 - Apresentação da Alternativa Escolhida, deste Manual;
- Outras informações que se fizerem necessárias e de tal maneira a se atenderem aos termos de referência que deram origem aos Estudos de Concepção.

14.2 Projetos Básicos e/ou Executivos

Os conteúdos dos Projetos Básicos e/ou Executivos estão descritos no Capítulo 13 - Critérios para Projetos de Sistemas de Micro e Macrodrenagem, deste Manual. Tais critérios devem ser seguidos, contendo os projetos necessários e nos níveis de detalhamento ali definidos.

Os projetos básicos e/ou executivo consistirão no detalhamento da solução selecionada nos Estudos de Concepção e deverão ser desenvolvidos em tantas etapas quantas se façam necessárias para que se tenha atendido integralmente o conteúdo dos Termos de Referência, bem como as especificidades da área de projeto. Para efeito conceitual, neste item são consideradas 5 Etapas para a elaboração dos projetos, cada qual contemplando as atividades sugeridas relacionadas a seguir.

Etapa 1 - Consolidação dos Estudos de Concepção, que poderão conter as seguintes atividades, respeitando-se o conteúdo dos termos de referências:

Atividade 1.1	Plano de Trabalho;
Atividade 1.2	Levantamentos Topográficos Complementares;
Atividade 1.3	Sondagens e Ensaios Geotécnicos;
Atividade 1.4	Cadastrros dos Sistemas de Drenagem Existentes e de demais Sistemas que possam proporcionar Interferências;
Atividade 1.5	Levantamento de Informações Secundárias Complementares que se fizerem necessárias;
Atividade 1.6	Calibração do Modelo de Simulação, quando for o caso;
Atividade 1.7	Simulações Matemáticas do Sistema Projetado;
Atividade 1.8	Avaliação do <i>layout</i> geral Geométrico-Hidráulico definido na Concepção;
Atividade 1.9	Outras atividades que se façam necessárias, tendo em vista as especificidades e complexidades dos projetos básicos e/ou executivos.

Etapa 2 - Detalhamento dos Projetos Básicos e/ou Executivos:

Atividade 2.1	Detalhamento Geométrico-Hidráulico-Arquitetônico-Urbanístico das unidades que compõem o Projeto;
Atividade 2.2	Identificação de Áreas Contaminadas;
Atividade 2.3	Ensaio de Contaminação do Solo;
Atividade 2.4	Laudo de Edificações;
Atividade 2.5	Definição e Detalhamento dos Métodos Construtivos;
Atividade 2.6	Detalhamento dos Processos de Controle de Sedimentos e Manejo de Resíduos Sólidos da Construção Civil;
Atividade 2.7	Diretrizes para Relocação de Interferências;
Atividade 2.8	Projeto de Obras Provisórias;
Atividade 2.9	Projeto de Estruturais e de Fundações;
Atividade 2.10	Projeto de Recomposição de Pavimentos;
Atividade 2.11	Projeto de Sistemas de Controle na Fonte;
Atividade 2.12	Projeto de Requalificação Paisagística;
Atividade 2.13	Projetos Elétricos e de Automação, caso necessários;
Atividade 2.14	Orçamento e Cronograma Físico-Financeiro;

- Atividade 2.15 Elementos para o Termo de Referência de Contratação da Obra;
- Atividade 2.16 Especificações Técnicas de Materiais, Serviços e Equipamentos;
- Atividade 2.17 Outras atividades que se façam necessárias, tendo em vista as especificidades e complexidades dos projetos básicos e/ou executivos.

Etapa 3 - Programa de Ações Complementares

- Atividade 3.1 Manual de Operação e Manutenção e Planejamento de Pré-Operação;
- Atividade 3.2 Programa de Monitoramento.

Etapa 4 - Outorga e Licenciamento Ambiental

- Atividade 4.1 Documentação para solicitação de outorga definitiva;
- Atividade 4.2 Relatórios para solicitação de Licenciamento Ambiental.

Etapa 5 - Acompanhamento Técnico de Obras

Os projetos básicos e/ou executivos deverão ser apresentados seguindo os conteúdos expostos no Capítulo 13 - Critérios para Projetos de Sistemas de Micro e Macrodrenagem, deste Manual.

Critérios para Apresentação de Estudos e Projetos no Prestador de Serviços

15

Os Estudos de Concepção deverão ser apresentados ao Prestador de Serviços Novacap, seguindo seus critérios e exigibilidade.

O projeto de drenagem pluvial a ser apresentado ao Prestador de Serviços Novacap deverá ser composto pelos seguintes itens mínimos:

- Memoriais Descritivos e Justificativos;
- Memoriais de Cálculo;
- Especificações Técnicas de Materiais, Serviços e Equipamentos;
- Desenhos de Projeto;
- Orçamentos com planilhas de quantitativos;
- Manual de Operação e Planejamento de pré-operação;

Todos os documentos integrantes do projeto deverão ser apresentados de acordo com modelos estabelecidos pela SUDUR - Subsecretaria de Urbanismo e Preservação - por meio da Instrução Normativa Técnica - INTC nº 2/98-IPDF.

O projeto deverá ser apresentado em nível básico ou executivo, atendendo ao detalhamento exigido nos termos de referência.

Memoriais Descritivos, Justificativos e de Cálculo

Os memoriais descritivos, justificativos e de cálculo poderão ser apresentados em um único relatório, caso a complexidade do projeto seja baixa ou moderada.

Em seguida, descrever os critérios técnicos de projeto adotados para o seu desenvolvimento, bem como a metodologia de cálculo seguida tanto para o dimensionamento das redes coletoras quanto para dispositivos de amortecimento de vazão e de qualidade, previstos no projeto.

Para o dimensionamento das redes e galerias de águas pluviais, a planilha hidráulica de dimensionamento deverá ser apresentada junto com os memoriais de cálculo e deverá, exclusivamente, conter as seguintes colunas:

- **Coluna 1** - Numeração da Rede;
- **Coluna 2** - Representação dos trechos entre dois poços de visita, com o PV a montante e a jusante;

- **Colunas 3 e 4** - Cotas dos terrenos, dos poços de visita a montante e a jusante do trecho em metros (m);
- **Coluna 5** - Área de contribuição para a captação efetuada a montante do trecho considerado, em hectares (ha);
- **Coluna 6** - Área de contribuição para o trecho, proveniente de contribuição de trecho de rede secundária, em hectares (ha);
- **Coluna 7** - Somatória das áreas de contribuição, em hectares (ha);
- **Coluna 8** - Somatória da multiplicação das áreas de contribuição pelo coeficiente de escoamento superficial C, em hectares (ha);
- **Coluna 9** - Coeficiente de escoamento superficial para a área de contribuição, adimensional;
- **Coluna 10** - Coeficiente de Manning, correspondendo ao material utilizado, conforme descrito no item 13.2.4 - Parâmetros de projeto recomendados no Termo de Referência da Novacap, deste Manual, adimensional;
- **Coluna 11** - Tempo de concentração em minutos (min) ou segundos (s);
- **Coluna 12** - Intensidade de chuva, em (mm/hora) ou (mm/min) ou (l/s x ha);
- **Coluna 13** - Comprimento entre eixos de PV (trecho), em metros (m);
- **Coluna 14** - Vazão calculada que passa pelo trecho em litros por segundo (l/s);
- **Colunas 15 e 16** - Seção da rede (diâmetro) ou da galeria (altura x largura), em milímetros, (mm);
- **Coluna 17** - Declividade da galeria adotada para o projeto em porcentagem (%);
- **Coluna 18** - Velocidade de escoamento no trecho, em metros por segundo (m/s);
- **Coluna 19** - Altura da lâmina d'água no tubo em metros (m);
- **Coluna 20** - Relação entre a altura da lâmina d'água e a seção da galeria, em porcentagem (%);
- **Colunas 21 e 22** - Profundidades dos PVs de montante e jusante respectivamente em metros (m);
- **Colunas 23 e 24** - Cotas das geratrizes inferiores da galeria a montante e a jusante, em metros (m);
- **Coluna 25** - Degrau em metros (m).

Ao final deste capítulo é apresentado um modelo de planilha com as colunas descritas anteriormente.

Plantas Parciais das Redes e Galerias de Águas Pluviais

As plantas parciais deverão ser desenvolvidas em escala de 1:1.000, contendo todo o urbanismo do SIRGAS 2000/SICAD disponível mais atualizado, com os nomes de regiões administrativas, setores, conjuntos, quadras, logradouros e edifícios que possam servir de referência.

A rede projetada deverá ser representada com linha tipo Contínuos na cor nº 170 tanto para o desenho quanto para a plotagem e espessura de 0.40 mm.

A fonte do texto deverá ser tipo simplex ou romans tamanho 1.6 cm em cor nº 50 para o desenho e nº 07 para plotagem e espessura de 0.20 mm.

Deverão ser apresentadas, exclusivamente, as seguintes informações:

- Extensão do trecho em (m) na parte superior da linha;
- Sentido do fluxo por meio de uma seta (→), também na parte superior;
- Diâmetro do tubo em (mm) na parte inferior da linha; e
- Declividade do trecho em (%) também na parte inferior.

A Figura 107, a seguir, apresenta como deve ser a representação esquemática de um trecho de rede projetada nas plantas parciais.

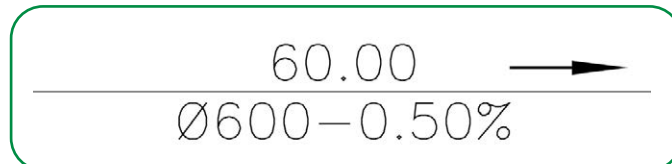


Figura 107 Representação esquemática de um trecho de rede projetada.

A rede existente deverá ser representada com linha tipo Dashed2 em cor nº 10 tanto para o desenho quanto para a plotagem e espessura de 0.30 mm do AutoCad.

A fonte do texto deverá ser tipo simplex ou romans tamanho 1.6 cm em cor nº 50 para o desenho e nº 07 para plotagem e espessura de 0.20 mm.

Deverão ser apresentadas, exclusivamente, as seguintes informações:

- Extensão do trecho em (m) na parte superior da linha;
- Sentido do fluxo por meio de uma seta (→) também na parte superior;
- Diâmetro do tubo em (mm) na parte inferior da linha; e
- Declividade do trecho em (%) também na parte inferior.

A Figura 108, a seguir, apresenta como deve ser a representação esquemática de um trecho de rede existente nas plantas parciais, quando a tubulação for em concreto.

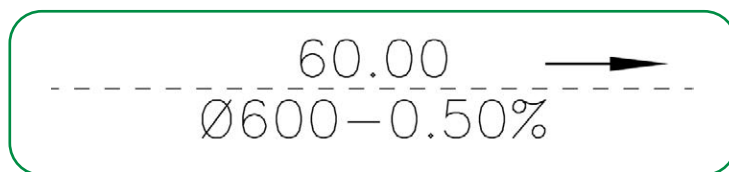


Figura 108 Representação esquemática de um trecho de rede existente.

Os poços de visita da rede projetada deverão ser representados com linha tipo Contínuos na cor nº 170, tanto para o desenho quanto para a plotagem, e espessura de 0.40 mm.

A fonte do texto dos dados dos poços de visita deverá ser tipo simplex ou romans tamanho 1.6 cm em cor nº 50 para o desenho e nº 07 para plotagem e espessura de 0.20 mm.

Deverão ser apresentadas, exclusivamente, as seguintes informações do PV:

- Número do PV, do ramal e da rede;
- Coordenadas UTM da localização do PV Existente;
- Cota do terreno em (m);
- Cota(s) da(s) geratriz(es) inferior(es) do(s) tubo(s) na(s) chegada(s) no PV em (m);
- Cota da geratriz inferior do tubo na saída do PV em (m);

A Figura 109, a seguir, apresenta como deve ser a representação esquemática de um PV da rede projetada nas plantas parciais.

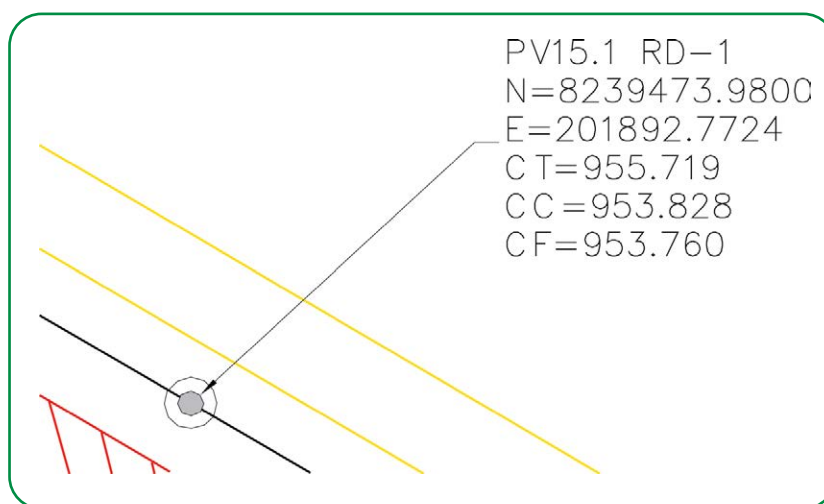


Figura 109 Representação esquemática de um poço de visita projetado - PV.

Para os poços de visita da rede existente, devem-se utilizar as mesmas configurações de texto dos PVs da rede projetada, com exceção para a sua representação em circunferência sobre o traçado da rede existente. Essa representação deverá estar com linha tipo Dashed2 em cor nº 10, tanto para o desenho quanto para a plotagem, e espessura de 0.30 mm do AutoCad.

Quando a rede projetada representar uma galeria celular em concreto, o símbolo de diâmetro que antecede a dimensão do conduto deverá ser substituído pelo símbolo de seção, conforme pode ser visto na Figura 110, a seguir apresentada. Quando a seção for retangular, deverão ser indicadas as duas dimensões internas da seção da galeria.

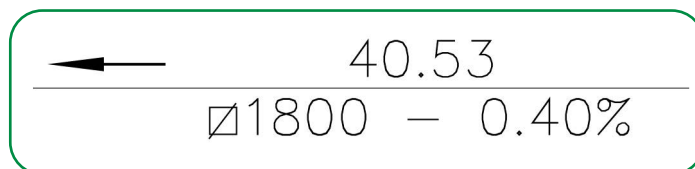


Figura 110 Representação esquemática para a seção do conduto quando for uma galeria celular.

Para a representação de um conduto em *tunnel liner*, as letras TL deverão ser acrescentadas antes da representação do diâmetro da tubulação, conforme pode ser visto na Figura 111, a seguir apresentada.

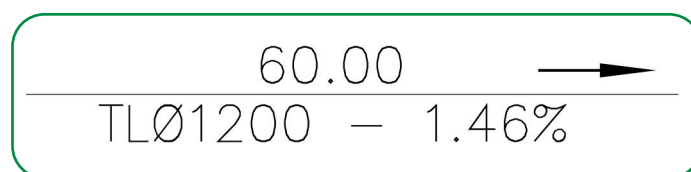


Figura 111 Representação esquemática para *tunnel liner*.

Em caso de representar o conduto com outro tipo de material, tal como o PEAD, deverá ser acrescentada a sigla do mesmo antes do diâmetro, assim como foi feito para o *tunnel liner*, conforme pode ser visto na Figura 112, abaixo.

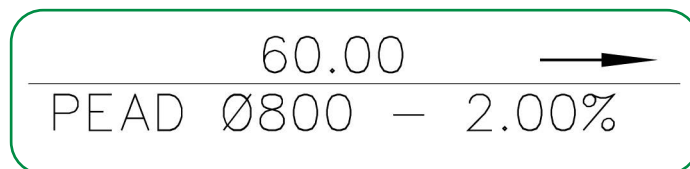


Figura 112 Representação esquemática de um trecho de rede em PEAD.

Planta Geral

A planta geral deverá ser desenvolvida em escala que permita uma boa compreensão de toda a área de projeto. As escalas usualmente adotadas são 1:2.000, 1:2.500, 1:5.000, 1:7.500 e 1:10.000, dependendo, evidentemente, do tamanho da área de projeto. Para áreas de projeto muito grandes, pode ser apresentada mais uma planta geral, de tal maneira a abarcar toda a área de projeto. Em situações em que a área de projeto pode ser apresentada em uma escala mais apropriada, faltando pequenos trechos, podem ser utilizados tamanhos de desenhos como o A-0 e o A-0 estendido, desde que previamente acordado com o prestador de serviços.

A planta geral deverá conter todo o urbanismo do SIRGAS 2000/SICAD mais atualizado, com os nomes de regiões administrativas, setores, conjuntos, quadras, logradouros e edifícios que possam servir de referência. Além disso, as curvas de nível devem ser representadas de metro em metro até a escala 1:5.000 e de 5 em 5 metros para escalas maiores.

As configurações das cores e espessuras das penas, tanto para o desenho quanto para a plotagem, seguem as mesmas configurações apresentadas acima para as plantas parciais, devendo variar apenas o tamanho do texto, que precisará ser compatível com a escala adotada, permitindo assim uma boa leitura dos dados da rede.

Deverão ser apresentadas, exclusivamente, as seguintes informações:

- Extensão do trecho em (m) na parte superior da linha;
- Sentido do fluxo por meio de uma seta (\longrightarrow), também na parte superior; e
- Diâmetro do tubo em (mm) na parte inferior da linha, com indicação do seu material.

A Figura 113, a seguir, apresenta como deve ser a representação esquemática de um trecho de rede projetada nas plantas gerais. Destaca-se, mais uma vez, a necessidade de se incluir o tipo de material utilizado, quando o mesmo não for o concreto, conforme descrito para as plantas parciais.

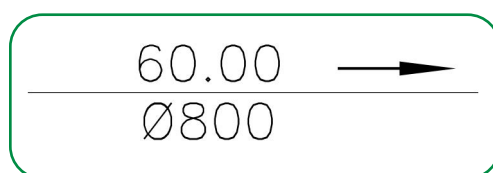


Figura 113 Representação esquemática de um trecho de rede projetada para planta geral.

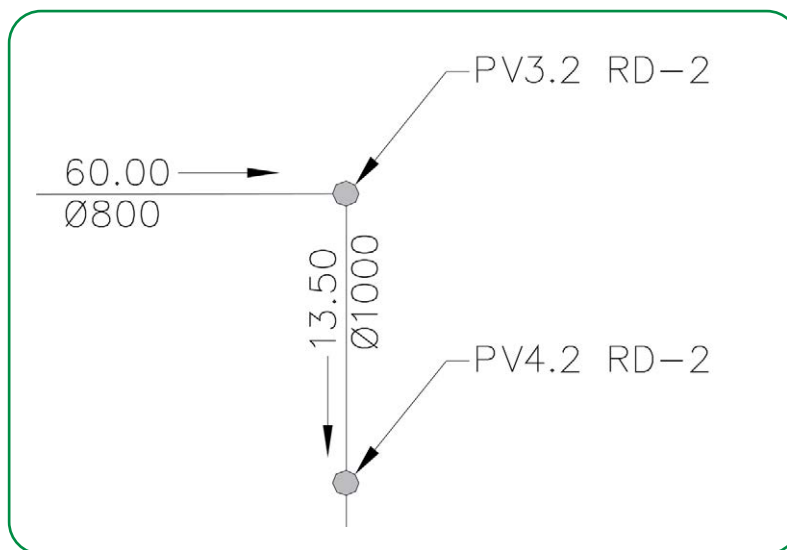


Figura 114 Representação esquemática de um poço de visita - PV na planta geral.

Planta de Área de Contribuição

A planta de área de contribuição deverá ser desenvolvida em escala que permita a visualização de toda a área que contribui para o projeto, e normalmente sua escala segue a mesma da planta geral.

A planta de área de contribuição deverá conter todo o urbanismo do SIRGAS 2000/SICAD mais atualizado, com os nomes de regiões administrativas, setores, conjuntos, quadras, logradouros e edifícios que possam servir de referência.

A delimitação da área de contribuição deverá compreender o trecho entre o poço de visita de montante e de jusante, ou seja, no exemplo da Figura 115, para o dimensionamento do coletor a partir do PV 21.1, a área de contribuição compreenderá a área delimitada entre o PV 20.1 e o PV 21.1.

O traço representativo da área de contribuição deverá ser representado com linha tipo Contínuos na cor nº 90, tanto para o desenho quanto para a plotagem, e espessura de 0.40 mm.

As demais configurações das cores e espessuras das penas, tanto para o desenho quanto para a plotagem, seguem as mesmas configurações apresentadas acima para as plantas parciais, devendo variar apenas o tamanho do texto, que deverá ser compatível com a escala adotada, permitindo assim uma boa leitura dos dados tanto dos PVs quanto da área de contribuição.

A fonte do texto deverá ser tipo simplex ou romans tamanho 1.6 cm em cor nº 50 para o desenho e nº 07 para plotagem e espessura de 0.20 mm.

Deverão ser apresentadas, exclusivamente, as seguintes informações do PV:

- Número do PV, do ramal e da rede;
- Extensão do trecho em (m) na parte superior da linha;
- Sentido do fluxo por meio de uma seta (\longrightarrow), também na parte superior;
- Área de contribuição em hectares (ha); e
- Curvas de nível de metro em metro ou de cinco em cinco metros, dependendo da escala do desenho, seguindo as mesmas recomendações da planta geral.

A Figura 115, a seguir, apresenta como deve ser a representação esquemática das informações necessárias em uma planta de área de contribuição.

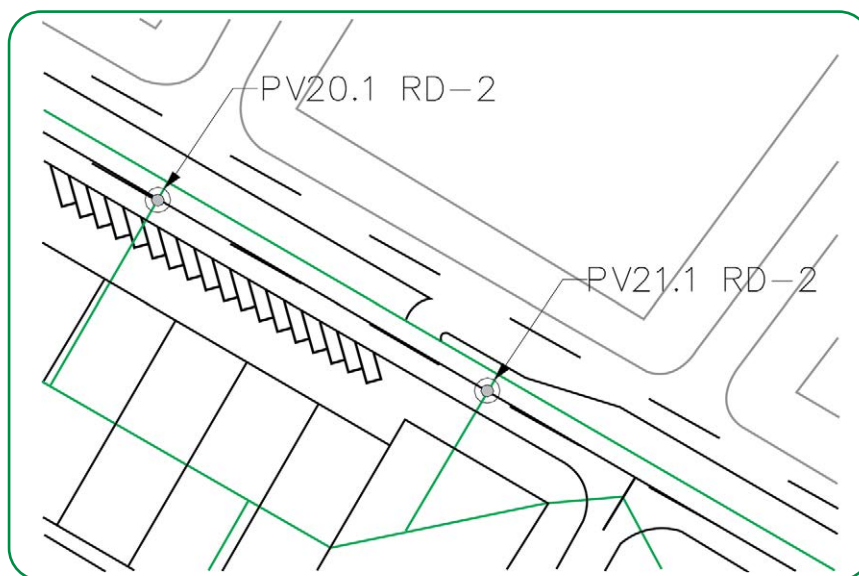


Figura 115 Representação esquemática de uma planta de área de contribuição.

Plantas de Detalhes

O conjunto de plantas de detalhes tem como objetivo apresentar os detalhes construtivos de todas as estruturas que compõem os projetos de drenagem, com exceção da rede coletora, que já é apresentada nas plantas parciais e gerais.

Esse conjunto é normalmente composto de plantas baixas e cortes que permitam a perfeita compreensão do detalhe construtivo da estrutura em questão.

A Prestadora de Serviços Novacap já possui projetos padrões para as estruturas listadas na Tabela 19, cuja adoção deverá ser sempre priorizada para os projetos desenvolvidos no âmbito do DF. Quaisquer estruturas adotadas que difiram das listadas abaixo deverão ter devidamente justificada a sua pertinência, bem como apresentadas as suas Plantas de Detalhes.

Esses projetos encontram-se disponíveis para consulta e obtenção de cópia no setor da SEAU/DEINFRA/DU/Novacap. O interessado deverá levar uma mídia digital tipo CD/DVD ou pen-drive para tal.

Nesse sentido, os detalhes construtivos de quaisquer estruturas que não façam parte dos projetos padrões da Prestadora de Serviços Novacap deverão ser apresentados em plantas de detalhes específicos, contendo todas as informações necessárias para sua execução, como, por exemplo, plantas de formas, ferragem com os respectivos quadros quantitativos, planta baixa e cortes.

Todos os projetos devem ser apresentados conforme descrito no Capítulo 13 - Critérios para Projetos de Sistemas de Micro e Macrodrenagem, deste Manual.

Todos os desenhos que compreendem o projeto de drenagem deverão ser entregues em arquivos PDF e DWG, salvos em versão AutoCad a ser definida pelo prestador de serviços.

A Tabela 19, a seguir, apresenta os projetos padrões da Prestadora de Serviços Novacap.

As planilhas hidráulicas, bem como os memoriais descritivos, também deverão ser entregues em arquivos digitais e em pdf.

Tabela 19 Projetos Padrões do Prestador de Serviços

ESTRUTURA	Nº DESENHO
BOCA DE LOBO	
- B-L. / P.V. / C.P. para tubos até 0,80	150/505
- B-L. SIMPLES c/ MEIO-FIO	150/015.1
- B-L. SIMPLES c/ GRELHA – e Estribo – FERRO FUNDIDO	150/014.1
- B-L. ESPECIAL e estribo	150/016.1
- B-L c/ MEIO-FIO Vazado	150/472.B
- Laje inferior da B-L SIMPLES, DUPLA e TRIPLA (H=1,50)	s/nº
- GRELHA DE CONCRETO	150/462
BUEIRO	
- Bueiro de tubo circular de concreto armado	150/90
POÇO DE VISITA (P.V.)	
- P.V. 400 a 600	150/018.1
- P.V. 800	150/397
- P.V. 1.000	150/004
- P.V. 1.200	150/05
- P.V. 1.500	150/06

- P.V. c/ CAPEAMENTO (Degrau)	-
- TAPÃO DE FºFº PARA POÇO DE VISITA	150/107
- TAPÃO DE CONCRETO PARA POÇO DE VISITA	150/028.1
DISSIPADORES DE ENERGIA	
- A1(800), A2(1000), A3(1200), A4(1500) (Padrão)	
- Cabeça de bueiro 0,50m	150/ s/nº
- Cabeça de bueiro 0,80m	150/064.1
CANAL	
- Canal – Diversos	-
- CANAL do PARQUE DA CIDADE	-
- Galeria de Lançamento do PARQUE DA CIDADE	-
GALERIAS (c/ e s/ Capeamento – Degrau)	
- Galeria 1.65	150/371.A
- Galeria 1.80	150/372.A
- Galeria 2.00	150/362.A
- Galeria 2.20	150/109
- Galeria 2.40	150/296
- Galeria 2.60	150/235.A
- Galeria 3.00	150/302
GALERIAS – Mudança de Greide – Degrau	
- Degrau – Mudança de greide galeria 1.65	150/426.A
- Degrau – Mudança de greide galeria 1.80	150/104
- Degrau – Mudança de greide galeria 2.00	150/563.A
- Degrau – Mudança de greide galeria 2.20	150/234
GALERIAS – Concordância de Galeria	
- 1.65 c/ 1.80	150/112
- 1.65 c/ 1.50 p/ 2.40	150/79 A e B
- 1.80 / 2.20 / 2.60	150/929.1
- 2.00 c/ 2.20	150/114
- 2.20 p/ 1.65 e 1.80	150/927.1
- 2.20 c/ 2.40	150/136
VISITA EM GALERIA	
Drenagem “Espinha de Peixe”	-
Dreno “Detalhes diversos”	-
Caixa Separadora “Lama/Óleo” p/ Postos de Gasolina	150/003.1

Plantas de Cadastro Técnico de Redes e de As Built de Unidades Operacionais

O cadastro técnico compreende a apresentação das plantas com o traçado da rede de drenagem e todas as informações correspondentes necessárias e suficientes para caracterizar o que foi efetivamente implantado, elaborada após a execução da obra.

É de fundamental importância que os cadastros técnicos sejam apresentados durante a elaboração das obras, sendo que em cada medição de serviços efetuados, deve-se acompanhar, obrigatoriamente, o cadastro técnico do trecho medido.

As plantas de cadastros técnicos deverão ser desenvolvidas em escala de 1:1.000, contendo todo o urbanismo do SIRGAS 2000/SICAD disponível mais atualizado, com os nomes de regiões administrativas, setores, conjuntos, quadras, logradouros e edifícios que possam servir de referência.

O conteúdo das informações de uma planta de cadastro técnico de rede deverá ser idêntico ao conteúdo de uma planta de projeto, apenas com as indicações de cadastro técnico, acrescidas e adequadas para as informações de execução de obras.

Todas as demais unidades que comporão o projeto, tais como poços de vistas especiais, bocas de lobo especiais, reservatórios de quantidade e de qualidade, unidades de recalque, edificações, dentre outras, deverão ter seus cadastros seguindo os padrões da ABNT para *As Built*.

A Tabela 20, a seguir, apresenta todas as configurações para o desenho e a plotagem.

Tabela 20 Layers para entrega de cadastro de rede de

Nome do layer	cor	Linetype (Tipo de linha)	Lineweight (Espessura)
Carimbo (linhas e textos)			
Carimbo_line-02	yellow	Contínuo	0,20 mm
Carimbo_line-03	green	Contínuo	0,30 mm
Carimbo_line-06	magenta	Contínuo	0,60 mm
Carimbo_line-07	white	Contínuo	0,70 mm
Carimbo_txt-arquivo	magenta	Contínuo	0,60 mm
Carimbo_txt-dados	cyan	Contínuo	0,40 mm
Carimbo_txt-item	green	Contínuo	0,30 mm
Carimbo_txt-legenda-02	yellow	Contínuo	0,20 mm
Carimbo_txt-legenda-05	blue	Contínuo	0,50 mm
Carimbo_txt-obra-executada	magenta	Contínuo	0,60 mm
Carimbo_txt-sicad-1	cyan	Contínuo	0,40 mm
Carimbo_txt-sicad-2	yellow	Contínuo	0,20 mm
Carimbo_txt-sicad-3	green	Contínuo	0,30 mm
Carimbo_txt-nº -do-contrato	green	Contínuo	0,30 mm
Carimbo_txt-data-do-contrato	green	Contínuo	0,30 mm
Carimbo_txt-fiscal-contrato	green	Contínuo	0,30 mm
Drenagem (objetos e textos)			
Drn_bl-boca de lobo	Green	Contínuo	0,30 mm
drn_chamada	Red	Contínuo	0,10 mm
drn_cp-caixa de passagem	Green	Contínuo	0,30 mm
drn_drenos	White	Contínuo	0,70 mm
drn_galeria	White	Contínuo	0,70 mm
Drn_pv-poço-de-visita	Green	Contínuo	0,30 mm

	Objetos	Outras informações
	Linha divisão interna do selo do carimbo (amarelo)	
	Linha externa do carimbo (verde)	
	Linha destaque a numeração da folha (magenta)	
	Linha interna do carimbo e divisão externa do carimbo (branco)	
	Texto título Arquivo Técnico ("modelo padrão")	Fonte: arial unicode ms - tamanho 6.3 mm
	Texto - Dados (contrato, endereço da obra, data, escala, RT, Eng.Fiscal, desenhista/cadista, período de execução etc.)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.2 mm
	Texto - Itens ("modelo padrão")	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.2 mm
	Texto de legenda	Fonte: arial unicode ms - tamanho 1.8 mm
	Texto título da legenda	Fonte: arial unicode ms - tamanho 3.5 mm
	Texto - Objeto do contrato	Fonte: arial unicode ms - tamanho 3.0 mm
	Numeração SICAD (principal)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 3.0 mm
	Numeração SICAD (secundários)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.5 mm
	Texto título ("modelo padrão")	Fonte: arial unicode ms - tamanho 3.5 mm
	Nº do contrato da firma executora	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.0 mm
	Data de execução do contrato	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.0 mm
	Fiscal do contrato	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.0 mm
	Boca de lobo (simples, dupla, tripla, com grelha etc.)	Dimensão = 4.0 m x 1.4 m
	Linha de chamada (cotas, amarrações e informações)	-
	Caixa de passagem	Lado = 2.5 m
	Drenos (calha, canaleta etc.)	Obs.: Existindo rede presumida não cadastrada, utilizar <i>linetype = hidden</i>
	Galeria	
	Poço de visita	Raio = 1.6 m

Drn_ramal	Blue	continuo	0,50 mm
drn_rede	Magenta	continuo	0,60 mm
Drn_seta-sentido-escoament	Green	continuo	0,30 mm
drn_símbolo_gal-retangular	Green	continuo	0,30 mm
drn_txt-bl	Yellow	continuo	0,20 mm
drn_txt-cota-amarração	Yellow	continuo	0,20 mm
drn_txt-cota-angulos	Yellow	continuo	0,20 mm
drn_txt-cota-pv	Green	continuo	0,30 mm
drn_txt-cota-rede	Green	continuo	0,30 mm
drn_txt-cp	Yellow	continuo	0,20 mm
drn_txt-firma executora	Green	continuo	0,30 mm

malha

Malha_coordenadas	Yellow	continuo	0,20 mm
Malha_line	Red	continuo	0,10 mm

Urbanismo (textos)

Txt_areas	Cyan	continuo	0,40 mm
Txt_conjuntos	Green	continuo	0,30 mm
Txt_id	Green	continuo	0,30 mm
Txt_lotes	Red	continuo	0,10 mm
Txt_quadras	Blue	continuo	0,50 mm
txt_vias	Yellow	continuo	0,20 mm

Urbanismo (linhas)

Urb_projeções	Red	continuo	0,10 mm
Urb_vias	Yellow	continuo	0,20 mm

Ramal	Obs.: Existindo rede presumida não cadastrada, utilizar <i>linetype = hidden</i>
Rede	
Sentido de escoamento	Utilizar o objeto seta do modelo digital
Galeria seção retangular (símbolo seção)	Utilizar o símbolo do modelo digital
Texto de identificação Boca de lobo	Fonte: arial unicode ms - tamanho 1.6 mm
- BLS (simples), BLD (dupla), BLT (tripla), BLSG (simples com grelha)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 1.6 mm
Texto da cota de amarração	Fonte: arial unicode ms - tamanho 1.6 mm
Texto cota de ângulo	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.0 mm
Texto cota do poço de visita (profundidade, degrau etc.)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.0 mm
Texto cota da rede (distância, diâmetro*, declividade)	*Símbolo \varnothing = “%%248”
Texto Caixa de passagem (C.P.)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 1.6 mm

Coordenadas (UTM e GEOGRÁFICA)	Fonte: ARIAL UNICODE MS - Tamanho 1.5 mm
Malha	-

Texto (áreas, zoneamentos)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.7 mm
Texto (numeração de conjuntos)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.5 mm
Texto (identificação comercial, governamental e institucional)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.2 mm
Texto (numeração de lotes)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 1.6 mm
Texto (identificação quadras)	
Texto (nomes vias, ruas, avenidas, praças)	Fonte: arial unicode ms - tamanho 2.3 mm

Edificações, lotes, projeções.	-
Vias (ruas, avenidas, estacionamentos, meio-fio etc.)	-

CONFIGURAÇÕES:

- 1** - FONTES: Todos os textos deverão estar em fonte ARIAL UNICODE MS;
- 2** - FORMAT / LINETYPE PROPERTIES / GLOBAL SCALE FACTOR = 10.000;
- 3** - LAYERS: Os objetos deverão estar “TODOS” em BYLAYER, ou seja, deverão estar em sua cor correspondente.

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES:

1. Deve-se “evitar” a transposição de objetos além da malha principal e a sobreposição de textos em linhas que os torne ilegíveis;

Coordenadas:

2. O desenho deverá estar “georreferenciado”, ou seja, ajustado em sua respectiva posição em relação ao eixo ‘ZERO’(0,0,0);

Urbanismo:

3. O SICAD deverá estar de acordo com a URBANIZAÇÃO OFICIAL ATUAL, com a indicação correta de “VIAS”, “PROJEÇÕES”, “INDICAÇÕES DE ENDEREÇO” etc., inclusive com indicação de “CÓRREGOS”, quando existirem;

Redes pré-existentes:

4. Em caso de haver redes pré-existentes, identificar o que tenha sido executado com o nome das “FIRMAS” e “contrato” (quando necessário) em suas respectivas obras em cada trecho de rede, galeria, boca de lobo, ou qualquer tipo de obra de drenagem;

IDENTIFICAÇÕES ESPECIAIS:

5. Devem estar devidamente identificadas: galerias, *tunnel liner*, bacias, bueiros, obras especiais etc.;

Amarrações:

6. Todos os PVs existentes devem conter “AMARRAÇÃO” em relação a qualquer ponto fixo existente no local próximo à rede e existente na URBANIZAÇÃO OFICIAL, tais como “MEIOS-FIOS”, “LOTES”, “PROJEÇÕES” etc. (Obs.: Não havendo a possibilidade de amarração em um ponto fixo previsto no urbanismo, deverá ser adotada a indicação do “ÂNGULO” em relação a mudança de direção da rede);
7. Todos os lotes de esquina (“canto”) de conjunto e onde estiverem com “AMARRAÇÕES” de PVs ou REDES deverão ser identificados (numerados);

Poço de visita:

8. A representação dos P.V.s não devem estar cruzados com a de redes, somente com “LINHAS DE CHAMADAS” (cotas e amarrações);

Carimbo:

9. Os “DADOS” do carimbo deverão estar devidamente preenchidos: firma executora, objeto do contrato, número do contrato, período de execução, escala, legenda correspondente ao que foi executado (com detalhes quando necessário), endereço referente ao sicad correspondente, desenhista/cadista etc.;
10. O cadastro deverá estar no mesmo modelo PADRÃO fornecido pela Novacap no que se refere a TODAS as configurações de *LAYERS*, *PENAS* e *CORES* PADRÃO.

PLOTAGEM:

1. Utilizar o *plot style table* (tabela de estilo de plotar) = *monochrome*. Ctb
 - A espessura das linhas já foi definida na configuração do *layer* (*lineweight*).

Recomendações Construtivas para Medidas de Controle na Fonte

Neste capítulo são destacados alguns aspectos técnicos a serem observados no detalhamento construtivo das medidas de controle, fundamentados na literatura técnica e no Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (Concremat Engenharia/GDF, 2009).

Os elementos técnicos apresentados na sequência têm um caráter de recomendação, podendo ser utilizados outros critérios baseados nos conhecimentos do projetista e do construtor, desde que aprovados pelos órgãos contratantes e cumpridas as recomendações do Capítulo 12 - Critérios para Projetos de Medidas de Controle na Fonte, deste Manual.

É importante destacar que a prestadora de serviços Novacap poderá elaborar documento específico definindo padrões construtivos, os quais, quando publicados, deverão prevalecer em comparação com o contido neste capítulo.

16.1 Dispositivos de Infiltração

16.1.1 Pavimentos Permeáveis

- a. Investigações geotécnicas de acordo com o Item 12.2 - Capacidade de Infiltração no Solo, deste Manual, complementadas por sondagens e ensaios para dimensionamento da estrutura do pavimento, conforme normas pertinentes;
- b. No item 12.6 - Pavimento Permeável, deste Manual, tem-se diversas recomendações definidas em normas, bem como recomendações adicionais que devam ser atendidas a fim de se garantir a efetividade dos benefícios previstos por esses dispositivos, bem como garantindo o não surgimento de processos erosivos subterrâneos, a porcentagem máxima de área passível de ser beneficiada com a solução, as distâncias mínimas de edificações e outras infraestruturas, o plano de manutenção técnica, a definição de responsáveis pela operação dos dispositivos, o que fazer em casos de colmatção do pavimento permeável, dentre outras;
- c. Escavação para remoção da camada superficial até a cota da base da estrutura do pavimento.

No caso de o projeto prever a infiltração no solo, o subleito não deve receber nenhum tipo de compactação. Deve-se evitar a passagem de veículos e maquinários que possam produzir alguma compactação, a fim de preservar a capacidade de infiltração e evitar sua redução.

A declividade do fundo do pavimento deve ser de no mínimo 1% em direção ao extravasor. A declividade da superfície também deverá ser de, no mínimo, 1% em direção às captações.

Declividades acima de 5% criam um “volume morto” (cunha de desconto) que reduz o volume útil de armazenamento, conforme ilustrado na Figura 116.

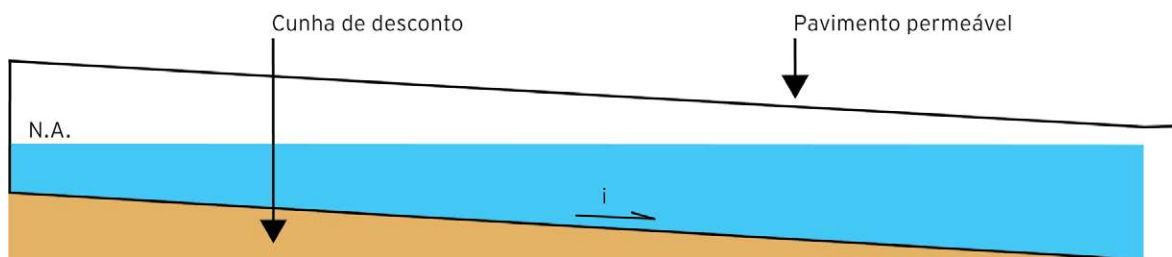


Figura 116 Redução do volume útil de armazenamento em função da declividade.

Não é necessário que as declividades do fundo do reservatório e da superfície final do pavimento sejam iguais. Para que o volume da cunha de desconto seja reduzido, é possível reduzir a declividade do fundo, conforme a Figura 117.

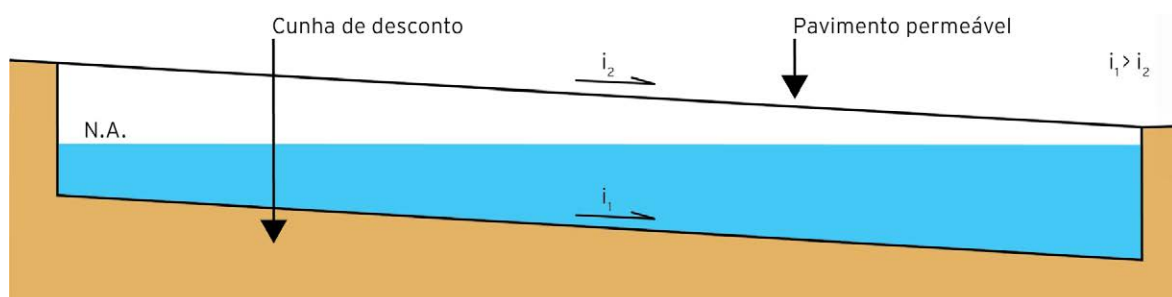


Figura 117 Superfície do subleito e superfície do pavimento com declividades distintas.

A divisão do pavimento permeável em células (Figura 118) deve ser realizada com base na capacidade de vazão máxima do extravasor para o risco de projeto, ou pela declividade da superfície do dispositivo. Recomenda-se um desnível máximo de 0,244 m em uma célula, e o seu comprimento máximo L_{MAX} pode ser calculado pela equação (Acioli, 2005):

$$L_{MAX} = \frac{0,244}{i}$$

Onde:

L_{MAX} = distância máxima entre as paredes das células na direção da declividade (m).

i = declividade da superfície do pavimento (m/m).

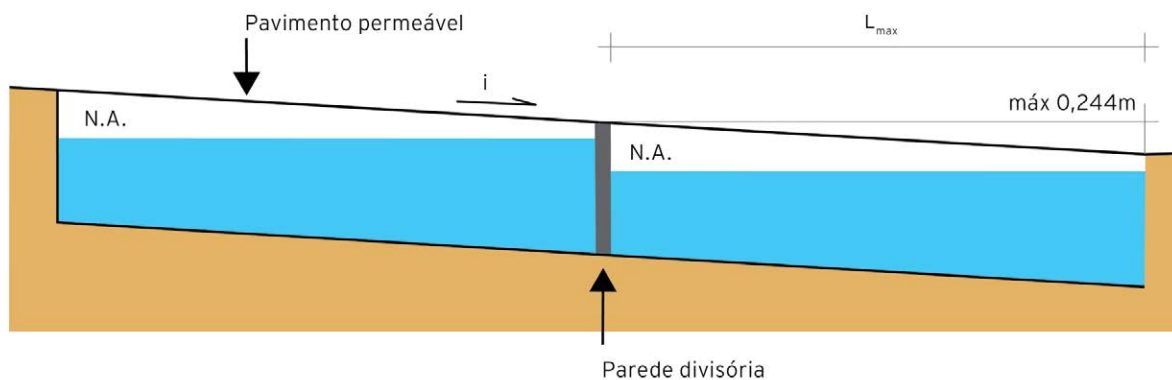


Figura 118 Divisão da base do pavimento em células para redução do volume morto.

A escolha por rotas de drenagem menos íngremes é fundamental para a construção de pavimentos permeáveis, conforme ilustrado na Figura 119.

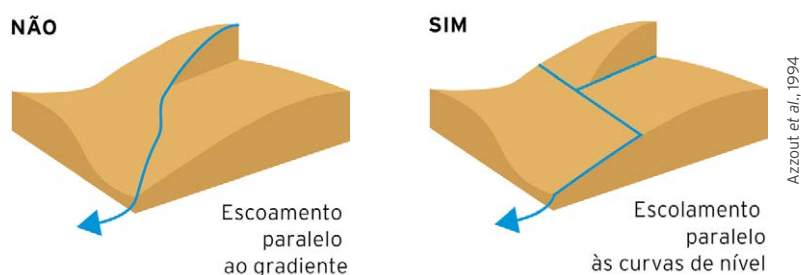


Figura 119 Direção do escoamento superficial em função do relevo.

d. Camada base ou reservatório

A camada de agregado, assentada entre a capa do pavimento e o subleito, tem por objetivo transmitir os esforços de compressão da camada de revestimento para o solo suporte e, também, armazenar provisoriamente a água até que se infiltre no solo ou escoe para o sistema de drenagem a jusante.

O material granular a ser utilizado deve ser de diâmetro superior a 10 mm, e com curva granulométrica mais aberta possível, ou seja, com fragmentos de tamanho uniforme para que sua porosidade se situe entre 32% e 50%.

Antes de sua utilização, recomenda-se realizar um ensaio para medir a porosidade real do agregado e verificar se está de acordo com as especificações de projeto. Esse ensaio pode ser realizado com qualquer recipiente de volume conhecido, sendo que esse deve ser preenchido completamente com uma amostra do agregado. Então, adiciona-se água com um recipiente graduado, de maneira a conhecer o volume total de água que é necessário para completar o recipiente de volume conhecido. A porosidade será a razão entre o volume de água adicionado e o volume do recipiente.

O agregado deve estar livre de contaminações, matéria orgânica, resíduos diversos, e inclusive de outros agregados com granulagem diferente da especificada. Deve-se também realizar a lavagem do agregado, ou então recusar o material no ato da sua entrega.

Com a escavação concluída, as laterais devem receber o fechamento de contorno, que tem o objetivo de confinar o preenchimento da base do pavimento, evitando deformações horizontais.

A base porosa do pavimento deve ser totalmente envolta por geotêxtil ou filtro de areia com porosidade da ordem de 90%, e abertura de filtração de 100 μm , a fim de permitir a fácil passagem de água entre as interfaces. O geotêxtil não necessita de nenhum tipo de fixação ou emenda, apenas de um transpasse mínimo, que em geral é de 50 cm (Figura 120). Durante a colocação, deve-se ter o cuidado de não o deslocar, preservando assim, o transpasse mínimo.

Antes da execução da capa, o agregado deve ser compactado mecanicamente, reduzindo, assim, possíveis deformações da estrutura do pavimento.

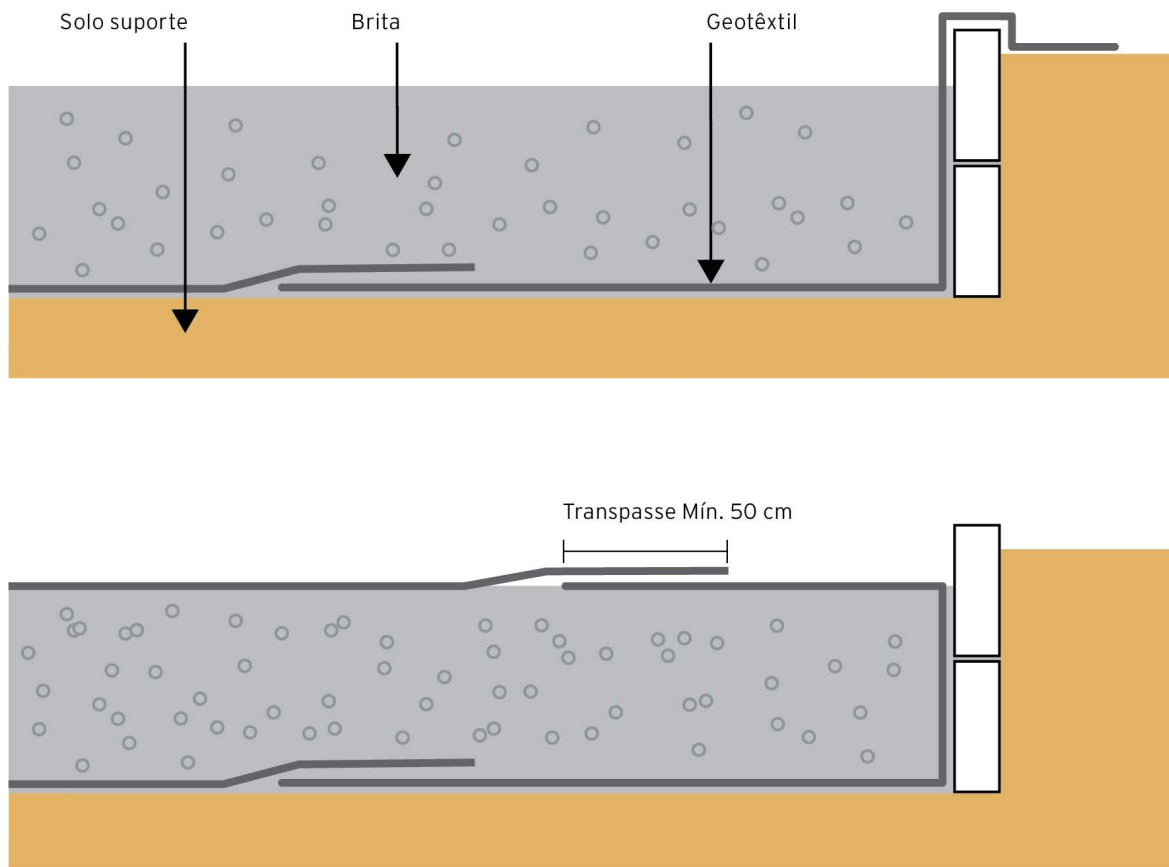


Figura 120 Detalhes do transpasse da manta geotêxtil que envolve a base porosa do pavimento permeável.

e. Tubo de inspeção

O tubo de inspeção possibilita a verificação do nível de água na camada da base do pavimento. Deve ser fechado no seu topo com uma base de ancoragem e com tampa com resistência compatível com o tipo de trânsito que deverá suportar. Na sua extremidade inferior é fixada uma tela que evita o ingresso de agregado no tubo (Figura 121).

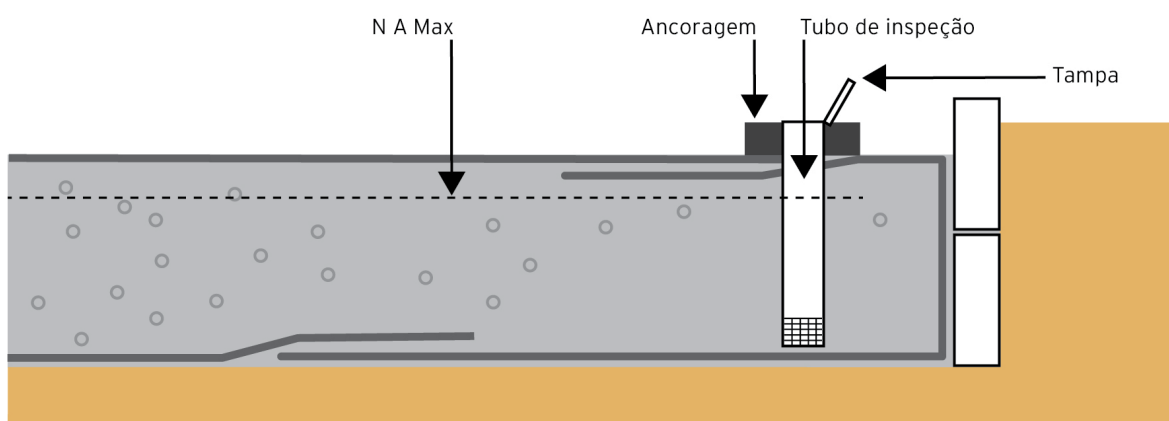


Figura 121 Instalação do tubo de inspeção.

f. Capa de asfalto ou concreto

A capa é preparada de forma similar à dos pavimentos convencionais, porém sem a fração de agregado fino, o que confere a capacidade de infiltração desejada.

A resistência à compressão de pavimentos permeáveis situa-se entre 20 e 30 MPa, com porosidade mínima de 12%, capacidade mínima de infiltração de 1 cm/s, sendo que a espessura da capa não deve ser inferior a 7 cm (Figura 122).

O assentamento da camada de revestimento deve ser realizado apenas com rolo compactador de cilindro metálico liso, não devendo ser utilizado o compactador de pneus para preservar a porosidade superficial do revestimento.

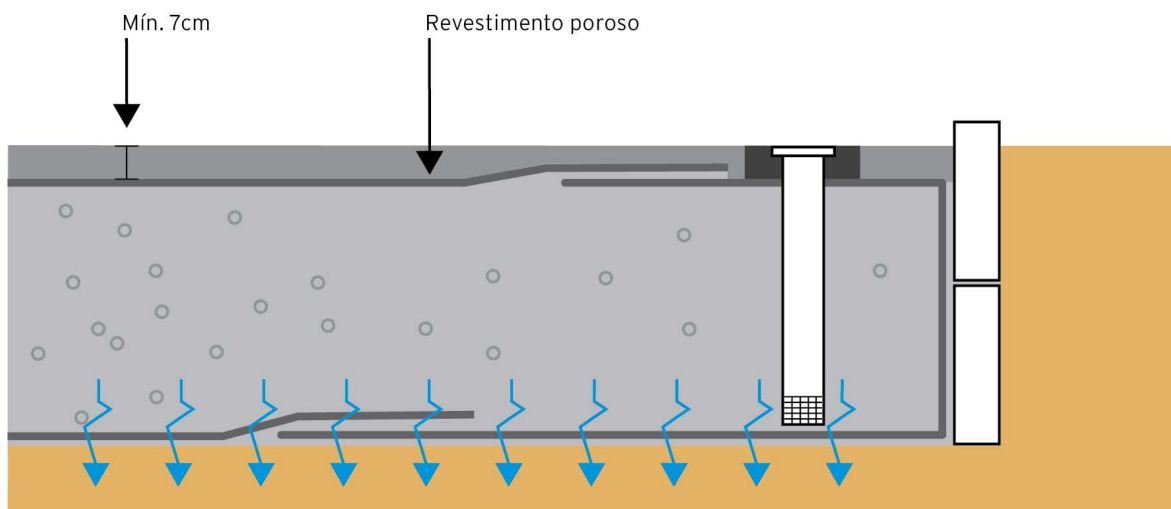


Figura 122 Seção típica de pavimento poroso, com infiltração, acabado. No caso de pavimentos sem infiltração, o fundo e as laterais são revestidos de material impermeável.

16.1.2 Valas de Infiltração

a. Investigações geotécnicas e escavação

Devem seguir as mesmas recomendações feitas para os pavimentos permeáveis no Item 16.1.1 - Pavimentos Permeáveis, deste Manual.

b. Seção transversal

O formato de seção mais utilizado é o triangular; no entanto, outros formatos também são utilizados (Figura 123 e Figura 124), sempre privilegiando as pequenas declividades nos taludes, nas quais a relação largura-profundidade deve ser entre 4 e 10 vezes. Ver também o *Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT* (Brasil, 2006).

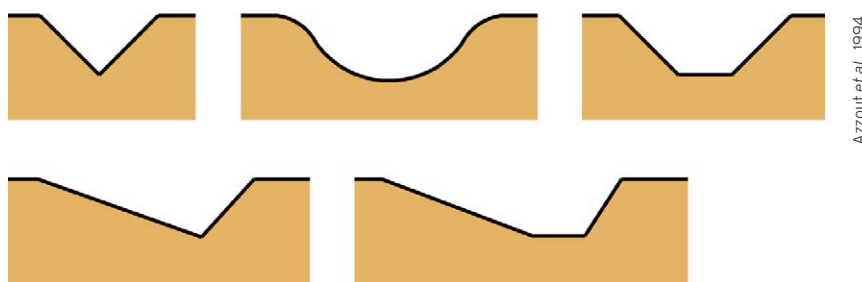


Figura 123 Seções típicas de valas de infiltração.

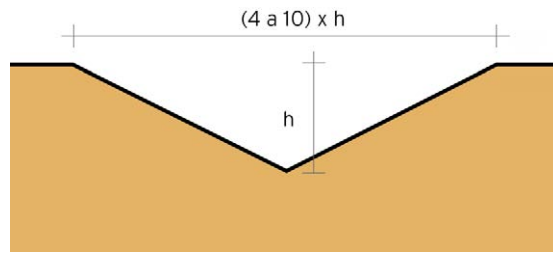


Figura 124 Relações típicas entre largura e altura de valas de infiltração.

c. Barramentos

Se a declividade longitudinal da vala for superior a 2%, devem ser construídos barramentos para reduzir a velocidade de escoamento e melhorar a capacidade de infiltração (Figura 125).

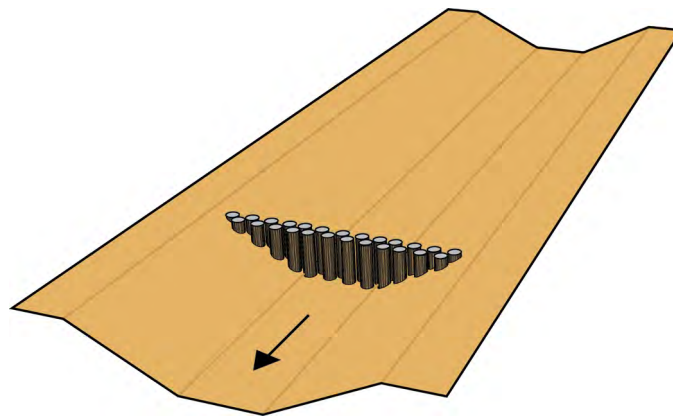


Figura 125 Barramento recomendado para valas com declividade superior a 2%.

d. Revestimento

O tipo de revestimento mais empregado é a grama. Quando a velocidade de escoamento for superior a 3 m/s para a vazão de projeto, deve-se empregar um revestimento resistente à erosão na parte inferior central da vala, como, por exemplo, pedra argamassada ou concreto, conforme a Figura 126.

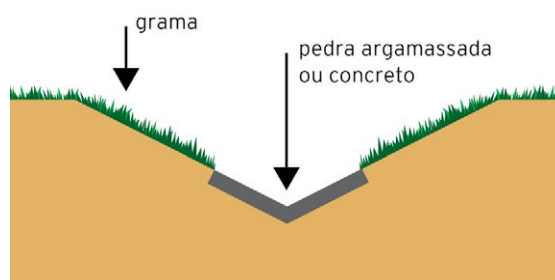


Figura 126 Revestimento resistente à erosão no fundo da vala.

Para solos com taxa de infiltração próximas do limite mínimo, recomenda-se a utilização de uma canaleta central preenchida com pedra de mão, a fim de acelerar o processo de infiltração, conforme a Figura 127.

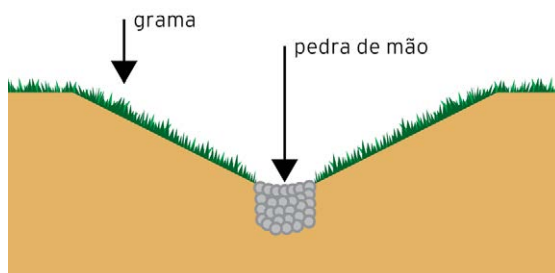


Figura 127 Preenchimento do fundo da vala com pedra de mão para aumentar a capacidade de infiltração.

16.1.3 Poços de Infiltração

a. Investigações geotécnicas e escavação

Devem seguir as mesmas recomendações feitas para os pavimentos permeáveis no Item 16.1.1 - Pavimentos Permeáveis, deste Manual.

Poços de infiltração devem possuir profundidade de até 20 m; e por essa característica, deve-se evitar ao máximo a entrada de finos durante a escavação e operação. Isso porque a substituição ou limpeza do preenchimento pode ser uma operação de alta complexidade.

b. Recomendações para elaboração de estudos e projetos, bem como para a implantação das unidades

Devem seguir o conteúdo do item 12.9 - Poço de Infiltração, deste Manual, dando-se especial atenção ao contido no subitem 12.9.5 - Recomendações para Implantação de Poços de Infiltração.

c. Localização

Pelas mesmas razões acima, o posicionamento dos poços de infiltração deve ser de tal forma que evite a colmatção por fontes geradoras de finos, e também de possíveis prejuízos decorrentes de raízes de árvores próximas.

d. Preenchimento

O tipo de preenchimento mais utilizado é o agregado graúdo com curva granulométrica aberta (uniforme), devendo-se seguir as mesmas recomendações feitas para os pavimentos permeáveis no Item 16.1.1 - Pavimentos Permeáveis, deste Manual.

O preenchimento deve ser envolto por manta geotêxtil com transpasse mínimo de 50 cm. No topo é criada uma pequena camada de acabamento com a superfície superior livre, conforme mostra a Figura 128.

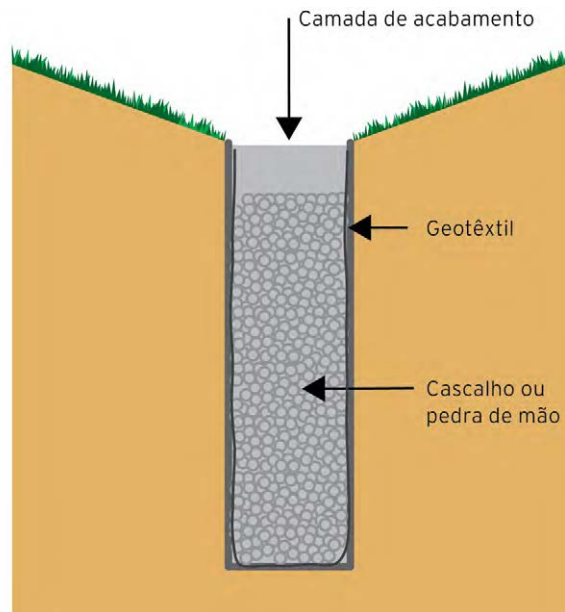


Figura 128 Preenchimento típico de poço de infiltração.

e. Decantação prévia

Em locais onde a presença de finos na água é significativa, devem ser construídos dispositivos que retenham uma parcela desse material, bem como gradeamento para remover os resíduos maiores, antes da entrada no dispositivo, conforme mostrado na Figura 129.

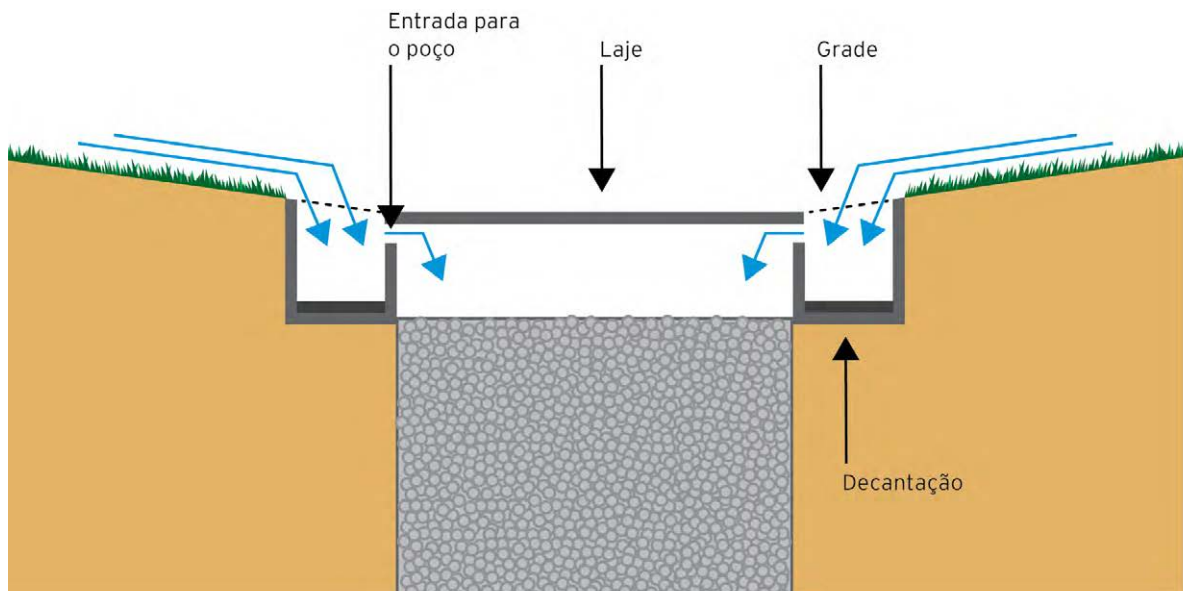


Figura 129 Câmara de decantação na entrada de poço de infiltração.

16.1.4 Trincheiras de Infiltração

a. Investigações geotécnicas e escavação

Devem seguir as mesmas recomendações feitas para os pavimentos permeáveis no Item 16.1.1 - Pavimentos Permeáveis, deste Manual.

A escavação das trincheiras de infiltração pode ser realizada manualmente ou mecanicamente. A escavação mecânica promove uma menor compactação, já que no processo manual pode ocorrer a compactação do fundo da vala por pisoteamento.

b. Recomendações para elaboração de estudos e projetos, bem como para a implantação das unidades

Devem seguir o conteúdo do item 12.7 - Trincheiras de Infiltração, deste Manual, dando-se especial atenção ao contido no subitem 12.7.5 - Recomendações para Implantação de Trincheiras de Infiltração.

c. Declividade e profundidade

As trincheiras devem ser, preferencialmente, escavadas paralelamente às curvas de nível do terreno, mantendo o fundo plano e sem declividade. Quando isso não é possível, é conveniente criar divisões internas para trincheiras construídas em terrenos com declividades superiores a 2%, ficando o fundo da trincheira disposto na forma de degraus.

A profundidade é condicionada à profundidade em que o nível médio do lençol freático se encontra. No entanto, a relação altura-largura deve ser maior que 1 (altura maior que a largura), pois o fundo da trincheira tem tendência de colmatar-se mais rapidamente.

d. Preenchimento

O tipo de preenchimento mais utilizado é o agregado graúdo com curva granulométrica aberta (uniforme). Devem ser seguidas as mesmas recomendações feitas para os pavimentos permeáveis no Item 16.1.1 - Pavimentos Permeáveis, deste Manual.

Assim como nos pavimentos e poços, o preenchimento deve ser envolto por geotêxtil. Sua instalação precisa ser realizada com o devido cuidado para evitar rupturas e mantendo o transpasse mínimo de 50 cm.

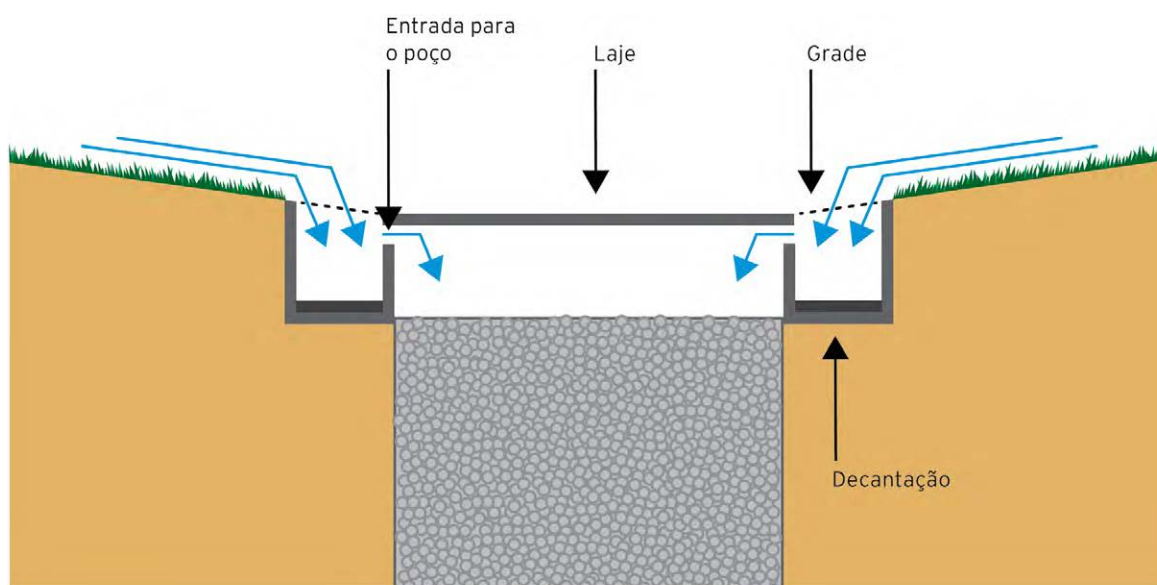


Figura 130 Corte transversal típico de uma trincheira de infiltração.

e. Extravasor

O extravasor evita o transbordamento descontrolado da trincheira, que se ocorrer pode avariar significativamente o dispositivo ao erodir bordas e áreas adjacentes.

O extravasor deve ser dimensionado para atender um risco superior ao adotado para a trincheira, e entra em funcionamento somente quando o nível d'água estiver próximo à borda (Figura 131).

Uma alternativa de extravasor pode ser implementada conformando-se uma calha no ponto mais baixo da borda da trincheira, para, assim, direcionar o fluxo e evitar a erosão

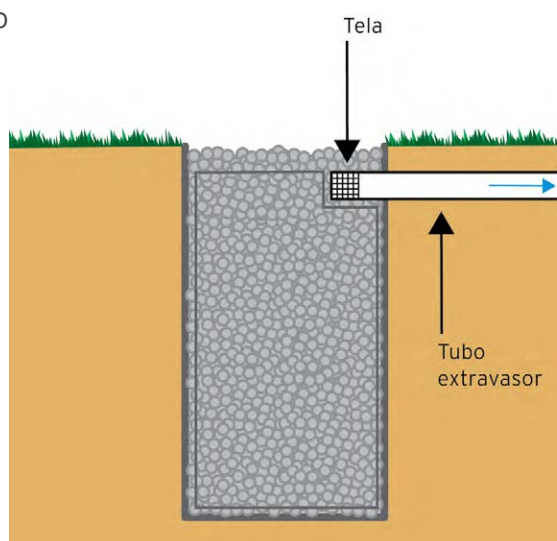


Figura 131 Detalhe típico de tubo extravasor em trincheira de infiltração.

f. Tubo de inspeção

Deve-se prever a instalação de um tubo vertical de inspeção para a verificação do nível de água no interior da trincheira, similar ao do pavimento permeável (ver Item 16.1.1 - Pavimentos Permeáveis, deste Manual), conforme a (Figura 132).

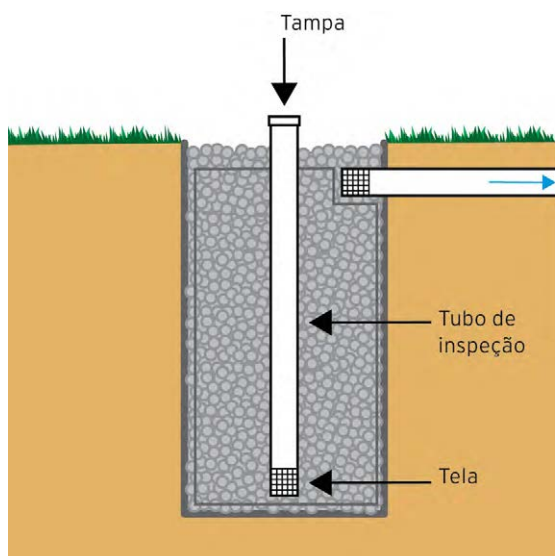


Figura 132 Tubo de inspeção em trincheira de infiltração.

16.2 Dispositivos de Armazenamento

Os dispositivos de armazenamento deverão respeitar as recomendações contidas na Resolução Adasa nº 26/2023.

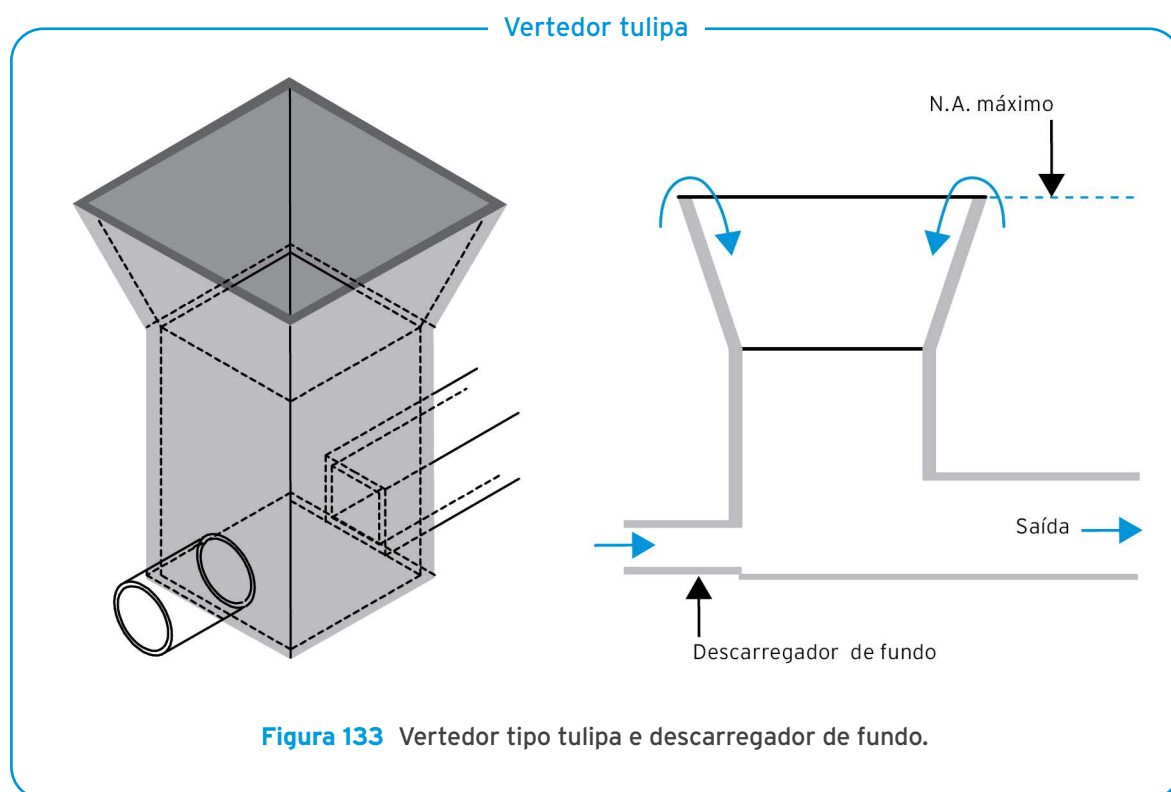
Importante controlar e evitar que o escoamento superficial externo entre no reservatório ou que provoque aceleração de processos erosivos.

16.2.1 Reservatórios de Detenção Abertos

O tipo de barragem mais utilizado na área urbana e em suas proximidades é o dique de terra. O documento *Diretrizes para a Construção de Barragens - Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens* (ANA, 2016) possui as recomendações construtivas necessárias em consonância com o porte do maciço.

Para a construção de barragens em ambiente urbano ou em suas adjacências, são apresentados detalhes técnicos que poderão ser adotados.

Para o caso de vertedores, existe uma grande variedade de modelos que podem ser usados em reservatórios de controle de cheias, sendo que os mais empregados são os do tipo tulipa, de crista e de janela, mostrados na Figura 133, na Figura 134 e na Figura 135.



Vertedor de crista

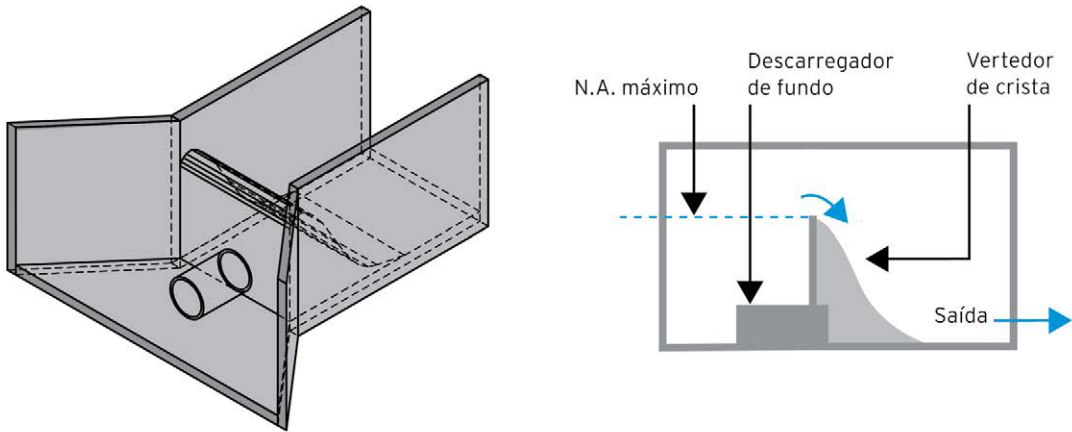


Figura 134 Vertedor de crista e descarregador de fundo.

Vertedor de janela

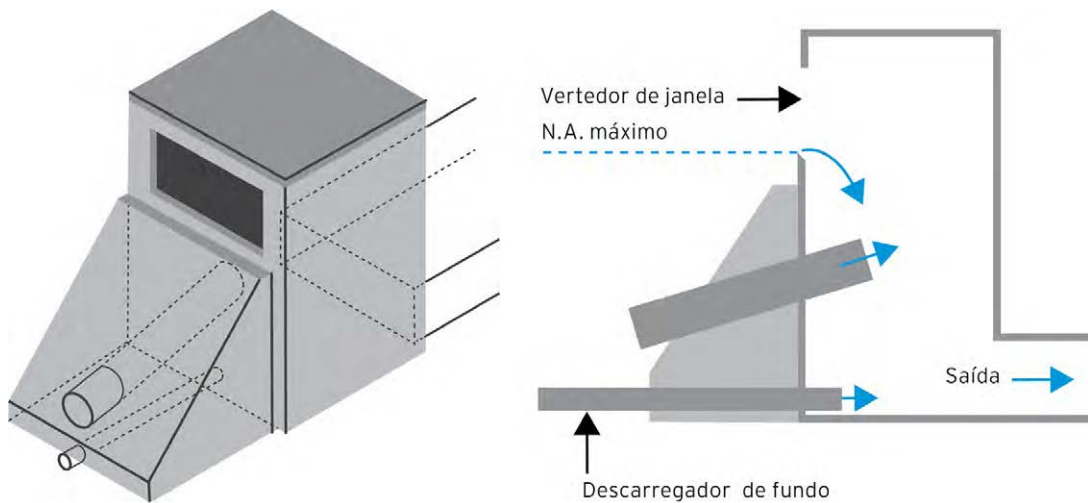


Figura 135 Vertedor de crista e descarregador de fundo.

Para evitar a erosão a jusante da descarga, deve-se prever a instalação de dissipadores de energia hidráulica. Na maioria dos casos, quando as condições locais permitirem, devem-se instalar dissipadores de impacto tipo Bradley-Peterka (Peterka, 1958), de acordo com as exigências da Novacap e a Resolução Adasa nº 26/2023 (Adasa, 2023), a qual estabelece que a “velocidade do escoamento a jusante de obra de drenagem executada no Distrito Federal não poderá aumentar em relação à condição existente”.

Quando o uso desse tipo de dissipador não for possível em função do espaço disponível, ou quando vazões e velocidades estiverem fora da sua faixa de aplicação, podem-se utilizar soluções alternativas descritas na literatura especializada, como em Chow (1959), Wilken (1978), Peterka (1958), Artina (1997), ou outras, mantendo-se as condições mínimas exigidas na Resolução Adasa nº 26/2023.

Em muitos casos, para a retenção dos resíduos sólidos transportados pelas águas pluviais, são instaladas barreiras nas entradas dos reservatórios que evitam o acúmulo de detritos na zona de detenção.

A experiência no DF, entretanto, indica que a retenção de sedimentos e resíduos sólidos deve se situar dentro dos reservatórios, concentrando o material no seu interior. Dessa forma, é possível facilitar a limpeza dos detritos e evitar o retorno de águas pluviais aos coletores. Esse objetivo é atendido quando se instala gradeamento na entrada da descarga de fundo dos reservatórios

Existem também sistemas sofisticados de gradeamento, como grades com limpeza automática, peneiras rotativas e trituradores, que são geralmente utilizados na remoção de resíduos na entrada de estações de tratamento de esgoto. Entretanto, em reservatórios de detenção, é necessário remover apenas o material grosseiro, o que pode ser feito com grades com espaçamento menor que 10 cm, com limpeza manual.

Em locais em que resíduos de maior dimensão, como troncos e galhos, possam chegar aos locais de tomada d’água, recomenda-se criar uma barreira com elementos verticais de concreto espaçados de cerca de 50 cm, conforme mostra a Figura 136.

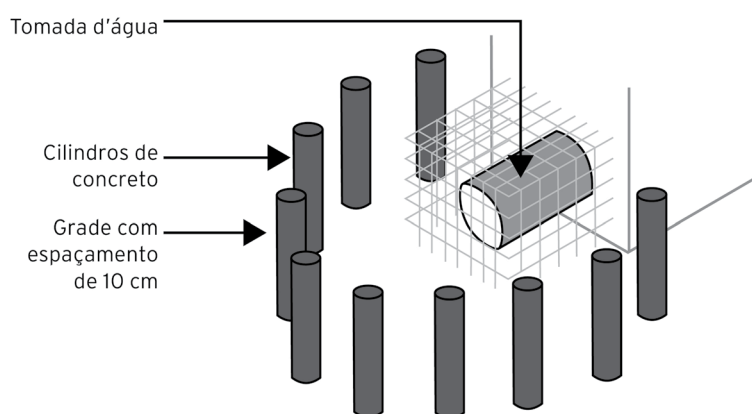


Figura 136 Exemplo de sistema de proteção de tomada de água em reservatórios de amortecimento.

A cota de coroamento da barragem deve ser definida em função de uma altura de segurança calculada a partir da altura das ondas no reservatório e demais critérios previstos na legislação e nas normas pertinentes, não devendo ser menor que 30 cm acima do nível máximo do reservatório.

16.2.2 Reservatórios de Detenção Fechados

Frequentemente se utiliza bombeamento para realizar o esvaziamento do reservatório enterrado, pois, na maioria dos casos, as condições das declividades da rede, à qual o dispositivo se conecta, não permite o escoamento por gravidade. E nesses casos, o sistema de gradeamento deve retirar a totalidade de resíduos grosseiros antes que esses ingressem na câmara de reservação.

Na Figura 137 é apresentado um croqui de um típico reservatório de detenção enterrado, construído em concreto armado.

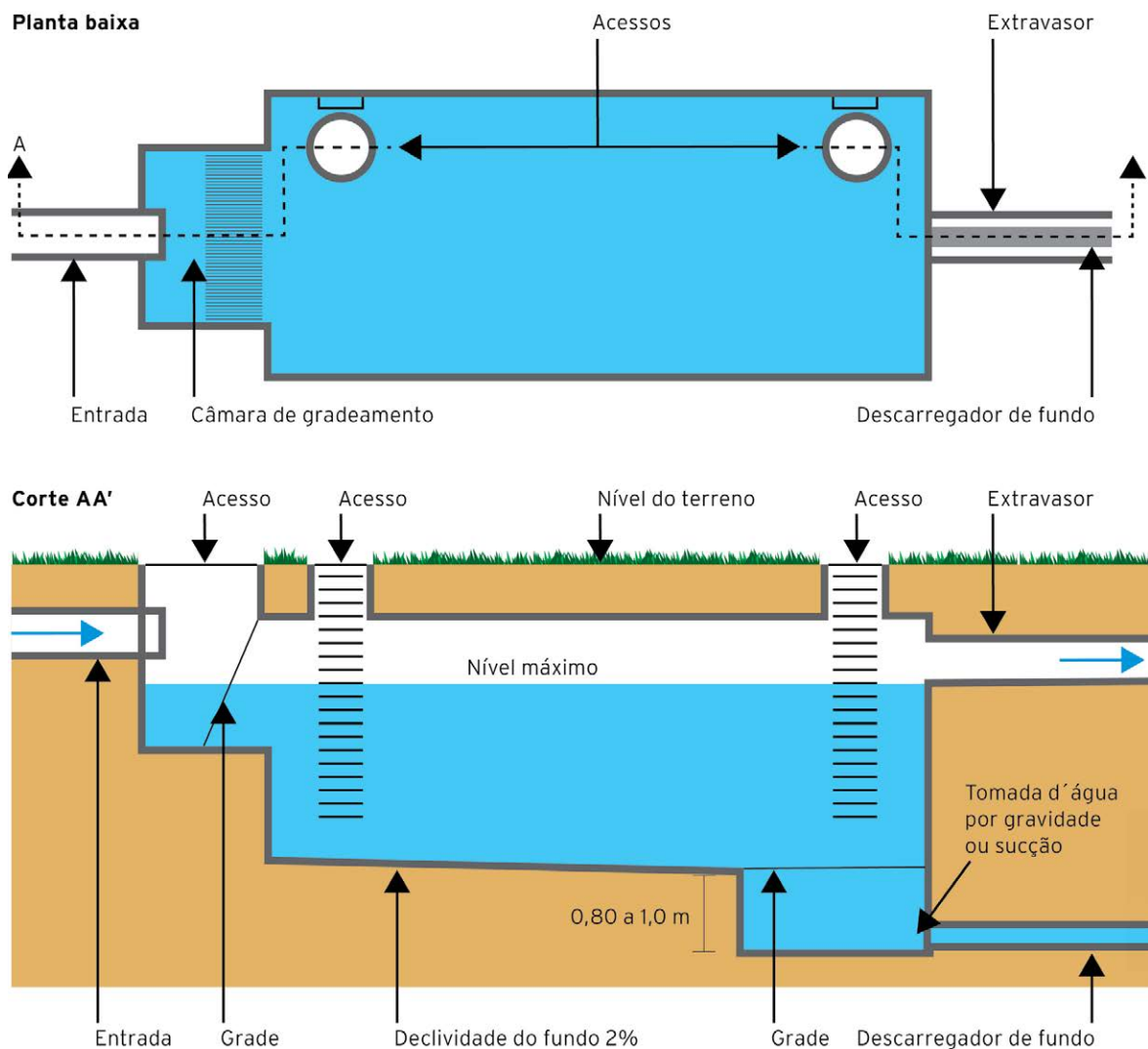


Figura 137 Esquema típico de reservatório enterrado.

Para facilitar a limpeza de reservatórios que contenham pilares no seu interior, recomenda-se que esses sejam de seção circular, suas bases tenham uma forma curva, como mostra a Figura 138, abaixo:

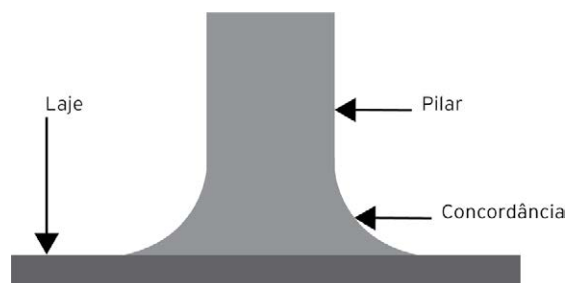


Figura 138 Detalhe típico da base de um pilar da estrutura de um reservatório fechado

Os reservatórios de detenção devem prever pontos de acesso para a realização da manutenção, que devem ter dimensões compatíveis com as dimensões dos equipamentos de manutenção.

Uma opção prática, que vem sendo muito utilizada, é o reservatório subterrâneo construído com uma rede de tubos e conexões pré-fabricados, como mostrado na Figura 138. Trata-se de uma solução prática para pátios de estacionamentos, praças ou outras áreas em que se pretende que a superfície permaneça livre. Entre as vantagens desse tipo de reservatório, destacam-se a rapidez de execução e o custo.

Cuidado especial deve ser tomado no seu dimensionamento estrutural e na sua execução para que se garantam sua integridade e durabilidade (Figura 139). Os catálogos e cadernos técnicos dos fabricantes fornecem especificações detalhadas sobre como projetar e construir reservatórios de detenção de tubos pré-fabricados.

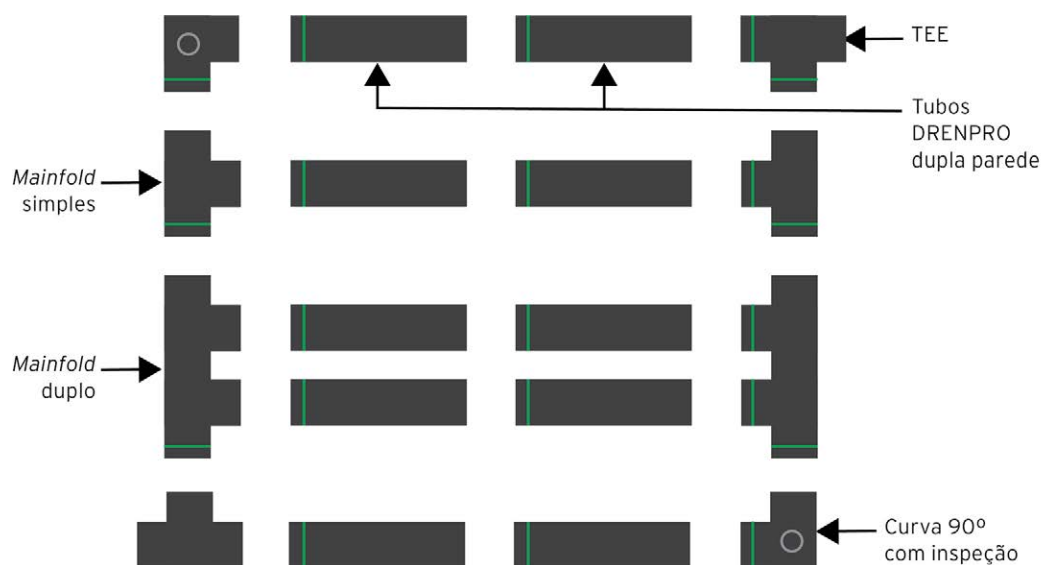


Figura 139 Montagem de reservatório de detenção com tubos de polietileno de alta densidade - PEAD.

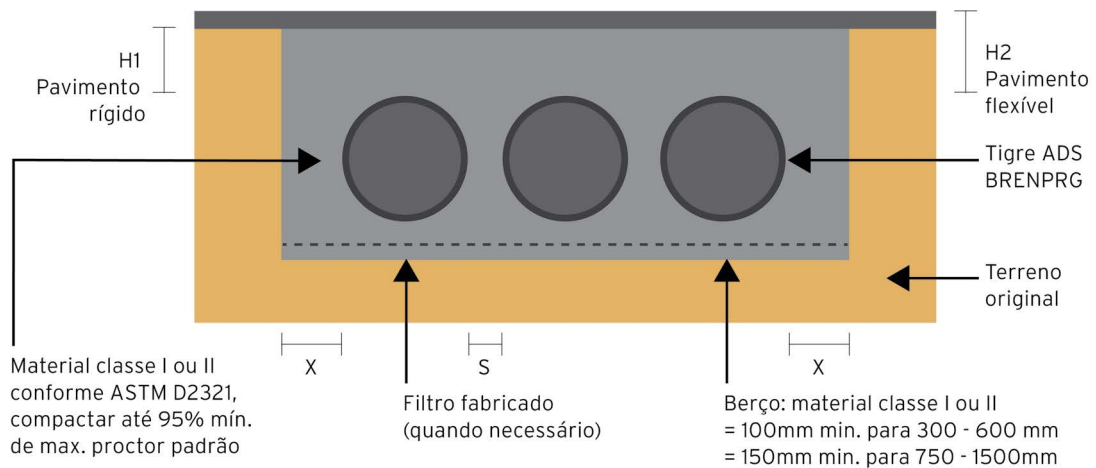


Figura 140 Detalhes dimensionais de espaçamentos, cobrimentos e assentamento de tubos de PEAD para reservatório de detenção.

Existem no mercado sistemas pré-fabricados em PEAD para o tratamento de águas pluviais, que promovem a retenção de óleos e sedimentos, contribuindo para melhorar a qualidade das águas provenientes de áreas impermeabilizadas, como pátios e estacionamentos (ver exemplo na Figura 141, Figura 142 e Figura 143). Os catálogos dos fabricantes fornecem detalhes técnicos de dimensionamento, instalação, manutenção e desempenho.

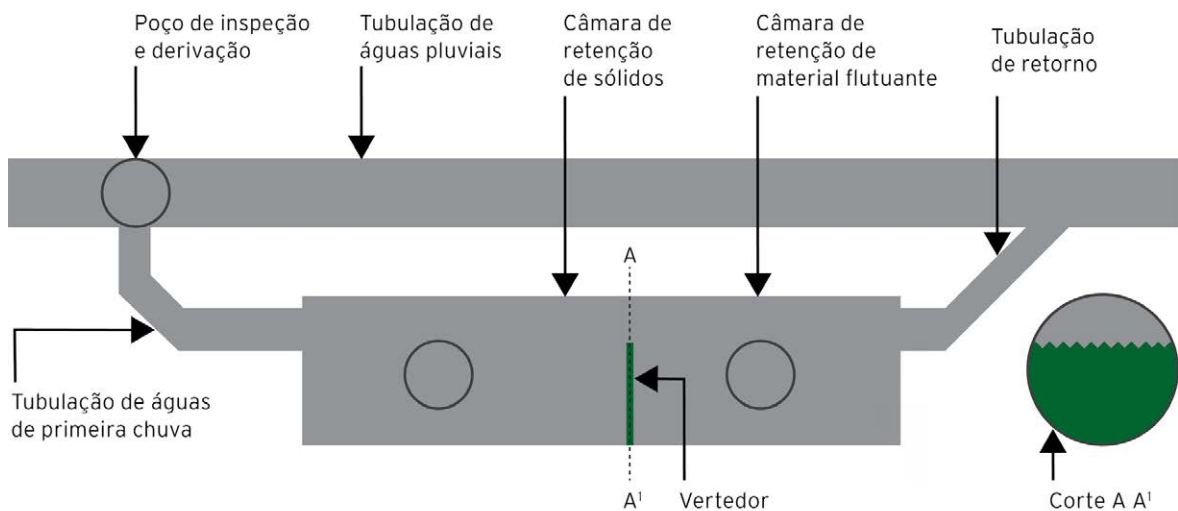


Figura 141 Unidade pré-fabricada de tratamento de águas pluviais.

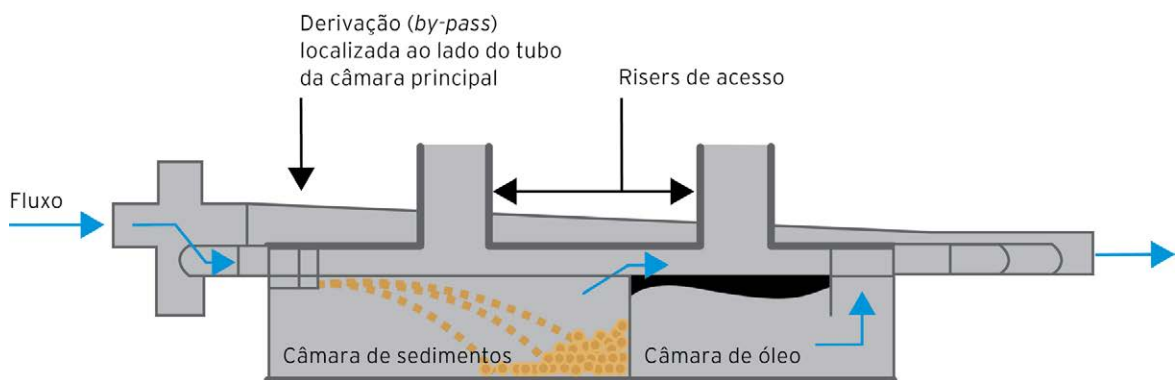


Figura 142 Corte longitudinal de unidade pré-fabricada de tratamento de águas pluviais.

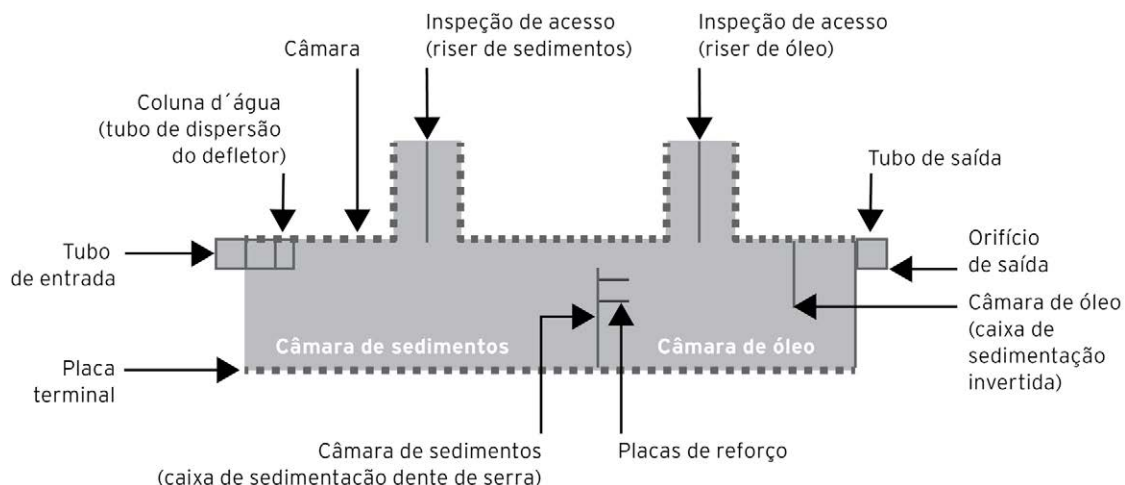
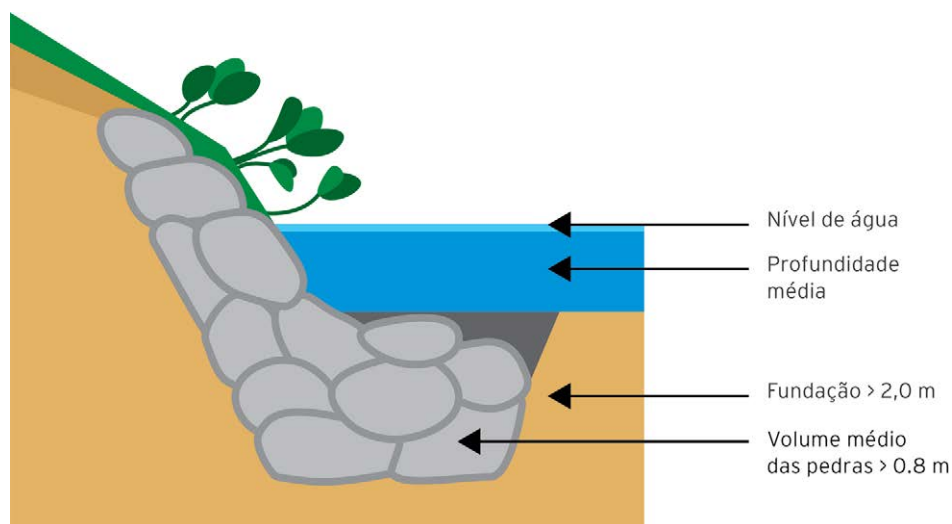


Figura 143 Corte longitudinal de unidade pré-fabricada de tratamento de águas pluviais.

16.2.3 Reservatórios de Retenção

Os reservatórios de retenção, além da função de redução dos riscos de alagamento e/ou inundação, promovem a melhoria da qualidade da água e da paisagem urbana, ao reterem parte da água coletada, formando um lago.

Na sua concepção arquitetônico-paisagística, é importante que as margens sejam cobertas por vegetação, podendo receber reforços de pedras ou outro tipo de estrutura de características naturais se as propriedades mecânicas do solo assim o exigirem, como exemplificado na Figura 144.



Regione Piemonte, 2006

Figura 144 Proteção de margem em pedras, vazios preenchidos com terra orgânica plantada com arbustos e grama.

O nível do espelho d'água deve ser definido por meio da curva cota-volume e da estimativa do volume de amortecimento necessário. No caso de o dimensionamento hidráulico determinar uma profundidade útil reduzida, deve-se aprofundar o reservatório, criando-se um relevo de fundo ondulado (Figura 145).

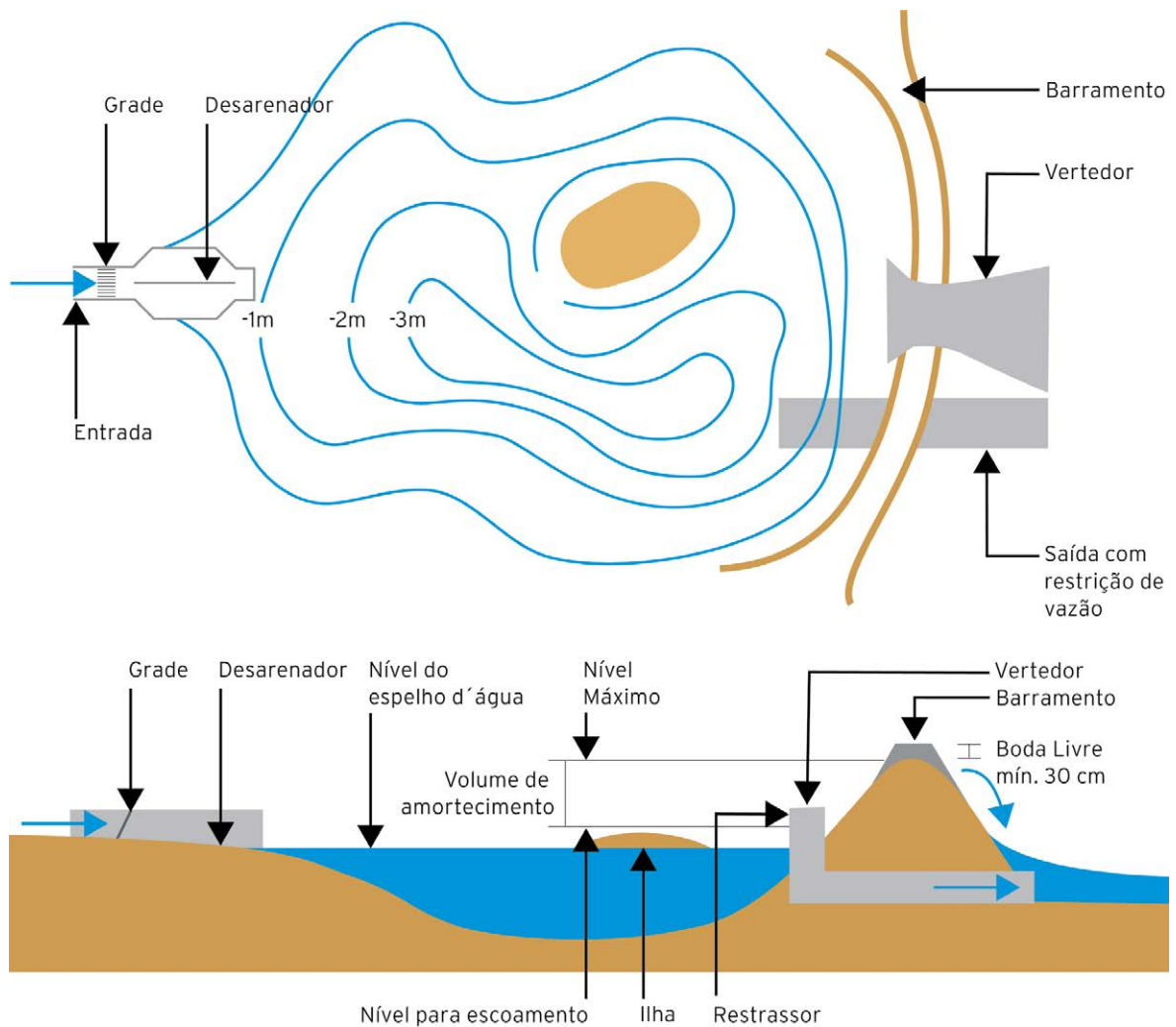


Figura 145 Planta e perfil longitudinal de um reservatório de retenção típico.

A utilização de aeradores pode ser adotada para elevar o nível de oxigênio dissolvido (OD) na água, melhorando assim as condições para a manutenção da vida das espécies presentes no lago.

O OD é um fator limitante nos meios aquáticos com organismos que o necessitem para respiração e degradação de matéria orgânica. A presença de oxigênio na água possibilita a atividade de micro-organismos aeróbios que contribuem para a estabilização e mineralização da matéria orgânica ativa. Para que cumpram essa função, recomenda-se que os aeradores sejam dimensionados para a manutenção de uma concentração mínima de 2,0 mg/L de oxigênio dissolvido.

A presença de OD em águas ricas em material orgânico também é desejável por prevenir a formação de substâncias com odores repulsivos.

Os aeradores podem ser de agitação ou por jato (chafariz), sendo este último menos eficiente, mas é frequentemente utilizado como ornamento.

As recomendações para a retenção de resíduos sólidos são as mesmas sugeridas para os reservatórios de detenção (ver Item 16.2.1 - Reservatórios de Detenção Abertos, deste Manual).

Análises granulométricas do sedimento que se deposita no fundo dos reservatórios de retenção sem desarenador apontam que mais de 80% é composto de areia (entre 0,062 e 2,000 mm), fazendo assim relevante a utilização de dispositivos que removam este tipo de partícula previamente ao seu ingresso no reservatório.

Os desarenadores, ou caixas de areia, são estruturas que diminuem a velocidade de escoamento, de modo a permitir a sedimentação da areia em um determinado trecho do canal de entrada do reservatório. São formados por dois canais que operam independentemente, de tal modo que enquanto um trabalha, o outro recebe manutenção e limpeza (Figura 146). A interrupção do fluxo é realizada por comportas que são operadas manualmente em cada canal.

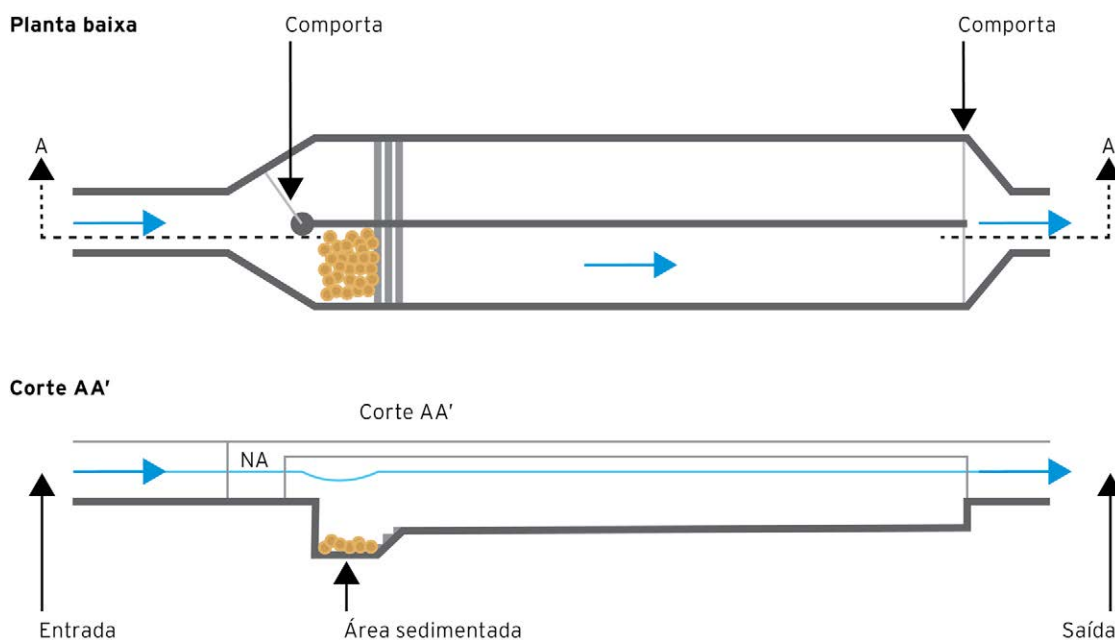


Figura 146 Planta e corte longitudinal de um desarenador típico.

Para o projeto hidráulico do desarenador, podem ser utilizados os critérios encontrados na literatura técnica sobre tratamento de esgotos - sugere-se, por exemplo, Piveli (2014).

Em sistemas modernos de drenagem, utilizam-se também tanques de sedimentação com sistema de autolimpeza hidráulico (Figura 147). Nesse tipo de sistema, os sedimentos são arrastados por um fluxo de água de alta velocidade para um emissário que os transporta para uma estação de tratamento. A vantagem dessa solução é que a remoção, o tratamento e o condicionamento dos sedimentos podem ser realizados em um local centralizado, otimizando a operação e a manutenção do sistema de drenagem.

Foto: Yazaki, novembro de 2013



Figura 147 Reservatório de água de primeira chuva com sistema hidráulico automático de remoção de sedimentos em Milão, Itália.

Como salientado anteriormente no Item 16.2.1 - Reservatórios de Detenção Abertos, deste Manual, a experiência com os reservatórios implantados no DF indica que a manutenção é facilitada quando a retenção de sedimentos e resíduos sólidos é feita no próprio corpo do reservatório. Nesse caso, o reservatório pode ser dimensionado para reter areia no seu fundo. Funcionando como um desarenador, basta apenas verificar a velocidade da água no sentido longitudinal (direção entrada e saída da água do reservatório).

Nos reservatórios de retenção, a vegetação aquática tem seu surgimento de forma natural através dos próprios mecanismos de reprodução vegetal, não necessitando da inserção de mudas ou sementes.

A vegetação aquática tem papel fundamental na absorção de nutrientes e criação de ambientes propícios à vida das demais espécies residentes no lago.

A variedade de espécies e a limitação da sua área de ocupação no lago são regidas pela variação de profundidade da bacia de retenção.

Importante atenção deverá ser dada ao manejo da vegetação aquática do reservatório, a fim de proporcionar fauna específica que evite a proliferação de vetores de doenças, principalmente mosquitos.

Diretrizes de Operação e Manutenção

Para que se possa ter uma prestação de serviços em regime de eficiência, é de fundamental importância a implementação de ações de planejamento e de controle. Consequentemente, há a necessidade de indicadores para avaliação da prestação dos serviços e da regulação, servindo de ferramentas para o fortalecimento institucional do prestador, levando-o a melhorias continuadas ao longo do tempo.

17.1 Prioridades

Os serviços de operação manutenção dos sistemas de drenagem devem priorizar as áreas mais vulneráveis do Distrito Federal. Para a identificação dessas áreas, sugere-se localizar, em cada Região Administrativa, as áreas mais vulneráveis segundo os critérios indicados na Tabela 22.

Tabela 22 Critérios para avaliação da vulnerabilidade do sistema de drenagem do DF

Indicador de vulnerabilidade	Fontes de informação
Pontos críticos de alagamento e inundação <ul style="list-style-type: none"> • Número de imóveis atingidos • População atingida • Prejuízos materiais • Ocorrência de mortes • Ocorrência de doenças de veiculação hídrica • Interferência com a mobilidade • Frequência 	<ul style="list-style-type: none"> • Defesa Civil • Departamento de Trânsito do DF • Secretaria de Estado de Saúde do DF • Prestador de Serviços de Drenagem
Demandas da população	<ul style="list-style-type: none"> • Central de atendimento do GDF • Ouvidorias da Adasa e da Novacap • Redes sociais • Meios de comunicação (imprensa)
Chuvas <ul style="list-style-type: none"> • Intensidade • Frequência • Distribuição espacial 	<ul style="list-style-type: none"> • Rede de monitoramento hidrometeorológico da Adasa
Qualidade da água (IQA)	<ul style="list-style-type: none"> • Rede de monitoramento da Adasa • Rede de monitoramento da Caesb
Data da última inspeção	<ul style="list-style-type: none"> • Novacap • DER/DF

Os indicadores acima podem ser quantificados por critérios a serem estabelecidos em comum acordo entre as entidades responsáveis pela prestação de serviço de drenagem (Novacap, DER) e entidade reguladora (Adasa). Quanto maior o valor do indicador, maior a prioridade.

Deve-se ressaltar que alguns indicadores, como ocorrência de mortes ou surtos de doenças de veiculação hídrica, requerem intervenção imediata.

Em locais onde alagamentos ou inundações frequentes atingem grande número de propriedades, uma quantidade considerável de pessoas é afetada, o que gera prejuízos materiais e requer manutenção com frequência acima da periodicidade normal.

O mesmo deve ser planejado para as áreas onde são registradas as maiores demandas da população, onde chove com maior intensidade e mais constância.

O prestador de serviços deve também estar atento à redução dos índices de qualidade das águas associada à ocorrência de chuvas. Como mostra este Manual, a maioria das medidas de controle contribui para a redução da poluição hídrica. Uma piora da qualidade da água após a ocorrência de chuvas, principalmente depois de um período seco, pode indicar que a manutenção do sistema de drenagem é insuficiente e necessita de maior regularidade.

Por fim, deve-se verificar a data da última inspeção, procurando manter as periodicidades sugeridas no Item 17.2 - Frequência, deste Manual, para cada tipo de dispositivo de drenagem.

17.2 Frequência

A frequência de manutenção preventiva requerida para o sistema de drenagem depende do tipo de dispositivo ou instalação, mas, de modo geral, é recomendável que todas os dispositivos de drenagem passem por manutenção, pelo menos, antes da estação de chuvas e logo após a ocorrência de chuvas intensas. Isso porque, se houver acúmulo de sedimentos ou resíduos sólidos, a eficiência do sistema será menor que a prevista em projeto.

É importante também manter uma estrutura funcional que possibilite a realização de vistorias sob demanda cada vez que um indicador, ou conjunto de indicadores, ultrapassar o valor preestabelecido.

Na Tabela 23 são sugeridas frequências para a vistoria e manutenção do programa de cada componente do sistema de drenagem.

Tabela 23 Programa de manutenção do sistema de drenagem

Dispositivos	Frequência* (intervalo em dias)	
	Vistoria Programada	Manutenção Preventiva**
Captações: bocas de lobo, aberturas nas guias padrão DER, outras	30	60
Conduitos de ligação	30	60
Galerias, redes, canais	60	180
Pavimentos permeáveis	60	180

Trincheiras, valas e poços de infiltração	60	180
Faixas gramadas	30	60
Reservatórios de detenção ou retenção abertos	30	180
Reservatórios subterrâneos	60	180

* Considerar também a seguinte sistemática de vistoria e manutenção sob demanda:

- Antes da estação chuvosa
- Após chuva intensa
- Quando algum indicador de vulnerabilidade ultrapassar o limite preestabelecido
- A frequência deverá ser ajustada ao nível de vulnerabilidade do dispositivo e do local

** Inclui: limpeza, correção de falhas e reparos.

17.3 Modelo de Ficha de Inspeção

A Tabela 24 e a Tabela 25, apresentadas nas próximas páginas, sugerem modelos de fichas de inspeção que deverão ser ajustados e complementados com o seu uso ao longo do tempo. O prestador de serviços poderá utilizar outros modelos que melhor se adéquem às suas necessidades e às especificidades das unidades operacionais.

Tabela 24 Modelo sugerido para ficha de inspeção de dispositivos de microdrenagem

DATA	Horário Chegada	Horário Saída
LOCALIZAÇÃO		
Unidade Hidrográfica		Corpo Hídrico Receptor
Endereço		Região Administrativa
Coordenadas	N:	E:
CHUVAS NO MOMENTO DA VISTORIA		CHUVAS NAS ÚLTIMAS 12 HORAS
Sim	Não	Sim
		Não
COMPONENTE DE MICRODRENAGEM		
Boca de lobo		Trincheira de infiltração
Abertura nas guias padrão DER		Vala de infiltração
Conduto de ligação		Poço de infiltração
Poço de visita		Faixa gramada
Bueiro		Microrreservatório subterrâneo
Rede		Microrreservatório aberto
Galeria de diâmetro inferior a 1.000 mm		Reservatório subterrâneo linear
Canal		Outro - especifique:
Pavimento permeável		

CONDIÇÃO DA ÁREA DO ENTORNO (S = Sim; N = Não)			
Item	Condição		
	S	N	
Alagada ou inundada no momento da inspeção			
Alagada ou inundada na última chuva			
Ocorrência de erosão			
Ocorrência de recalques			
Presença de resíduos sólidos			
Presença de vegetação que necessite de poda ou capina			
Outras condições relevantes - especifique:			
CONDIÇÃO DO DISPOSITIVO (S = Sim; N = Não; NA = Não se Aplica)			
Item	Condição		
	S	N	NA
Vestígio de erosão			
Presença de sedimentos			
Presença de resíduos sólidos (lixo)			
Presença de esgotos			
Dispositivo sem tampa			
Dispositivo com tampa danificada			
Dispositivo sem grelha			
Dispositivo com grelha danificada			
Deformação			
Fissuras			
Presença de vegetação invasora			
Vestígio de transbordamento ou vertimento pelo vertedor			
Sinais de danos ou desgaste			
Sinais de colmatção (no caso de dispositivos de infiltração)			
Obstrução parcial do sistema de descarga			
Obstrução total do sistema da descarga			
Obstrução da entrada			
Acúmulo de resíduos nas grades de entrada (no caso de reservatórios)			
Presença de insetos ou larvas ou animais mortos			
Nível de sedimentos na caixa de areia - medido a partir do fundo (cm)			
Nível de água no interior do dispositivo - medido a partir do fundo (cm)			
Outras ocorrências:			

Tabela 25 Modelo sugerido para ficha de inspeção de reservatórios

DATA		Horário Chegada		Horário Saída	
LOCALIZAÇÃO					
Unidade Hidrográfica		Corpo Hídrico Receptor			
Endereço		Região Administrativa			
Coordenadas	N:		E:		
CHUVAS NO MOMENTO DA VISTORIA			CHUVAS NAS ÚLTIMAS 12 HORAS		
Sim		Não		Sim	
				Não	
TIPO DE RESERVATÓRIO - APRESENTAR CROQUIS EM FOLHA ANEXA					
Reservatório de quantidade		Quantidade de células (bacias)			
Reservatório de qualidade		Outro tipo - especifique			
Reservatório de quantidade e qualidade					
DISSIPADOR DE ENERGIA				Sim	
				Não	
Se sim , especifique o tipo:					
TALUDES					
Revestidos com vegetação		Solo exposto sem vegetação			
Revestidos de Concreto		Gabião			
Outro tipo - especifique:					
FUNDO					
Revestido com vegetação		Solo exposto sem vegetação			
Revestido de Concreto		Gabião			
Outro tipo - especifique:					
CONDIÇÃO DA ÁREA DO ENTORNO (S = Sim; N = Não)					
Item			Condição		
			S	N	
Alagada ou inundada no momento da inspeção					
Alagada ou inundada na última chuva					
Ocorrência de erosão no entorno ou a jusante do lançamento					
Ocorrência de recalques					
Presença de resíduos sólidos					
Presença de vegetação que necessite de poda ou capina					
Outras condições relevantes - especifique:					

CONDIÇÃO DO RESERVATÓRIO (S = Sim; N = Não; NA = Não se Aplica)			
Item	Condição		
	S	N	NA
ENTRADA			
Presença de sedimentos			
Presença de resíduos sólidos			
Sinais de erosão			
Presença de esgotos			
Presença de óleos e graxas			
Sinais de colmatação dos gabiões			
Deformações			
Fissuras			
Presença de vegetação invasora			
Vestígio de transbordamento			
Sinais de danos ou desgastes			
Presença de insetos ou larvas ou animais mortos			
Nível de sedimentos retidos na caixa de areia - medido a partir do fundo (cm)			
Nível de água no canal de entrada - medido a partir do fundo (cm)			

CONDIÇÃO DO RESERVATÓRIO (S = Sim; N = Não; NA = Não se Aplica)			
Item	Condição		
	S	N	NA
CÉLULAS			
Presença de sedimentos			
Presença de resíduos sólidos			
Sinais de erosão			
Presença de esgotos			
Presença de óleos e graxas			
Sinais de colmatação dos gabiões			
Deformações			
Fissuras			
Presença de vegetação invasora			
Vestígio de transbordamento			
Sinais de danos ou desgastes			
Presença de insetos ou larvas ou animais mortos			

Nível de sedimentos retidos na caixa de areia - medido a partir do fundo (cm)			
Nível de água no reservatório - medido a partir do fundo (cm)			
SAÍDA			
Presença de sedimentos			
Presença de resíduos sólidos			
Sinais de erosão nas estruturas de descarga			
Sinais de erosão a jusante das estruturas de descarga			
Presença de esgotos			
Presença de óleos e graxas			
Sinais de colmatação dos gabiões			
Deformações			
Fissuras			
Presença de vegetação invasora			
Vestígio de transbordamento			
Sinais de danos ou desgastes			
Presença de insetos ou larvas ou animais mortos			
Nível de sedimentos a jusante da descarga - medido a partir do fundo (cm)			
Nível de água a jusante da descarga - medido a partir do fundo (cm)			
OUTRAS OCORRÊNCIAS			
Especifique, indicando os locais:			

17.4 Manutenção Preventiva

Na Tabela 26 apresentam-se recomendações gerais de manutenção preventiva para cada tipo de dispositivo de drenagem contemplado neste Manual, as quais deverão ser ajustadas e complementadas com as experiências da prestadora de serviços Novacap.

Tabela 26 Recomendações gerais para manutenção preventiva de dispositivos de drenagem

Dispositivo	Recomendações gerais de Manutenção Preventiva
Dispositivos de Captação (Boca de lobo e outros)	<ul style="list-style-type: none">• Limpeza manual ou com uso de equipamentos de sucção;• Reparos na tampa, fundo e estrutura, caso apresentem danos.
Captação padrão DER	<ul style="list-style-type: none">• Limpeza e desobstrução da entrada;• Poda da vegetação.
Ramais de Ligação	<ul style="list-style-type: none">• Limpeza manual ou com uso de equipamentos de sucção;• Reparos na tubulação, caso apresente trincas ou esteja desalinhada.
Rede	<ul style="list-style-type: none">• Limpeza manual ou com uso de equipamentos de sucção;• Reparos na tubulação, caso apresente trincas ou esteja desalinhada.
Galeria	<ul style="list-style-type: none">• Limpeza manual ou com uso de equipamentos de sucção;• Reparos na galeria, caso apresente trincas ou esteja desalinhada.
Canal	<ul style="list-style-type: none">• Limpeza manual ou mecânica;• Reparos no revestimento, caso apresente trincas ou recalques acentuados.
Pavimento permeável	<ul style="list-style-type: none">• Limpeza: sucção a vácuo precedida por jateamento com água a alta pressão;• Não é recomendado uso de varrição;• Preenchimento de depressões e fissuras com pavimento convencional, não superando 10% da área total do módulo do pavimento;• Realizar perfurações de 1,3 cm de diâmetro, com espaçamento de 30 cm nos pontos que permanecerem colmatados após a sucção;• No caso de blocos vazados: replantar a grama onde houver falhas e aparar o excesso de vegetação.
Trincheira de infiltração	<ul style="list-style-type: none">• Limpeza;• Poda da grama adjacente, mantendo uma altura de cerca de 1 cm;• Poda das árvores com galhos que se projetem sobre a trincheira;• Substituição da camada de agregados de preenchimento e da manta geotêxtil, caso estejam colmatados. Se a colmatagem ocorre em mais de 50% da altura da trincheira, a substituição deverá ser completa;• Sanar as erosões em áreas que contribuem diretamente à trincheira para evitar o ingresso de sedimentos.

Dispositivo	Recomendações gerais de Manutenção Preventiva
Vala de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza; • Tamponamento de cavas e realinhamento do perfil com terra vegetal; • Poda da vegetação; • Reposição de grama onde houver falhas; • Remoção da vegetação invasora; • Desobstrução dos orifícios das soleiras de barramento; • Sanar as erosões em áreas que contribuem diretamente à vala para evitar o ingresso de sedimentos.
Poço de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza; • Poda da grama adjacente mantendo uma altura de cerca de 1 cm; • Poda das árvores com galhos que se projetem sobre o poço; • Substituição da camada de agregados de preenchimento e da manta geotêxtil, caso estejam colmatados. Se a colmatagem ocorre em mais de 50% da altura da trincheira, a substituição deverá ser completa; • Remoção dos sedimentos acumulados nos decantadores de entrada, caso existam; • Sanar as erosões em áreas que contribuem diretamente ao poço para evitar o ingresso de sedimentos.
Faixa gramada	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza; • Tamponamento de cavas e realinhamento do perfil com terra vegetal; • Reposição de grama onde houver falhas; • Remoção da vegetação invasora; • Sanar as erosões em áreas que contribuem diretamente à faixa gramada para evitar o ingresso de sedimentos.
Reservatório de detenção aberto	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza com água nos reservatórios com fundo revestido de concreto, ou que tenham usos secundários; • Verificar as cercas ou alambrados de fechamento da área do reservatório; • Verificar integridade das estruturas em gabião ou colchão reno e efetuar eventuais reparos; • Reconstruir os pontos de erosão dos taludes; • Poda da vegetação do leito do reservatório; • Reposição da vegetação onde houver falhas; • Limpar as grades, desarenadores e tomadas d'água; • Caso o reservatório seja instrumentado para monitoramento, os instrumentos devem ser inspecionados e limpos; • Remover resíduos sólidos e sedimentos acumulados.

Dispositivo	Recomendações gerais de Manutenção Preventiva
Reservatório de retenção aberto	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza com água nos reservatórios com fundo revestido de concreto, ou que tenham usos secundários; • Verificar as cercas ou alambrados de fechamento da área do reservatório; • Verificar integridade das estruturas em gabião ou colchão reno e efetuar eventuais reparos; • Reconstruir os pontos de erosão dos taludes; • Poda da vegetação das margens do reservatório; • Reposição da vegetação onde houver falhas; • Limpar as grades, desarenadores e tomadas d'água; • Remover resíduos sólidos e sedimentos acumulados; • Remover a vegetação flutuante do espelho d'água; • Esvaziar o reservatório e remover o sedimento do fundo quando este estiver ocupando 20% do volume original; • Caso o reservatório seja instrumentado para monitoramento, os instrumentos devem ser inspecionados e limpos.
Reservatório subterrâneo pontual	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza com remoção de sedimentos e resíduos sólidos; • Reparos na estrutura, caso apresente trincas ou fissuras.
Reservatório subterrâneo linear	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza com remoção de sedimentos e resíduos sólidos; • Reparos na estrutura, caso apresente trincas ou fissuras.

18 Referências

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *ABNT NBR 16416:2015 Pavimentos permeáveis de concreto - requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *NBR 10844. Esta Norma fixa exigências e critérios necessários aos projetos das instalações de drenagem de águas pluviais, visando a garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia*. 1989. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5624/abnt-nbr10844-instalacoes-prediais-de-aguas-pluviais-procedimento>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *NBR 13969 Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. 1997. Disponível em: https://www.acquasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf. Acesso em: 23 jun. 2023.

ACIOLI, L. A. *Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ADASA-DF (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal). *Mapa Hidrográfico do Distrito Federal*. Brasília: Adasa, 2023.

ADASA-DF (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal). *Resolução nº 09, de 08 de abril de 2011*. Estabelece os procedimentos para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais. Brasília: Adasa, 2011.

ADASA-DF (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal). *Resolução nº 26, de 17 de agosto de 2023*. Estabelece os procedimentos para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais. Brasília: Adasa, 2023.

ALENCAR, P. C. D. *Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). *Diretrizes para a construção de barragens - Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens*. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: http://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/volume-vi-diretrizes-para-a-construcao-de-barragens. Acesso em: 18 jun. 2023.

ARTINA, S. E. A. *et al. (A cura di). Sistemi de Fognatura - Manuale di Progettazione*. Milão: HOEPLI; Centro Studi Idraulica Urbana, 1997.

AZZOUT, Y.; CRES, F. N.; BARRAUD, S.; ALFAKI, E. *Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception réalisation et entretien*. Paris: Lavoisier, 1994.

BALLARD, B. W.; WILSON, S.; UDALE-CLARKE, H.; ILLMAN, S.; SCOTT, T.; ASHLEY, R.; KELLAGHER, R. *The SuDS Manual*. v. 5. London: Ciria, 2015.

BAPTISTA, M. B.; MOURA, P. M.; BARRAUD, S. *Avaliação multicritérios de sistemas de drenagem urbana*. Revista REGA. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2009.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. 2005. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. *Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências*. Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/D7217.htm. Acesso em: 26 fev. 2022.

BRASIL. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2021 (ano de referência: 2020)*. Brasília: Serviço Nacional de Informações sobre Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento - SNS; Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos/agua-e-esgotos>. Acesso em: 13 jan. 2022.

BRASIL. Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007. *Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico*. Brasília: Diário Oficial da União, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 22 jun. 2023.

BRASIL. Lei 12.608 de 10 de abril de 2012. *Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências*. Brasília: Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 25 jun. 2023.

BRASIL. Lei 12.651. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989*. Brasília: Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 23 jun. 2023.

BRASIL. Lei 12.727 de 17 de outubro de 2012. *Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12727.htm#:~:text=Esta%20Lei%20estabelece%20normas%20gerais,e%20prev%20%C3%AA%20instrumentos%20econ%C3%B4micos%20e. Acesso em: 23 jun. 2023.

BRASIL. Lei 14.026 de 15 de julho de 2020. *Atualiza o marco legal do saneamento básico*. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, ed. 135, seção 1, p. 1, 16/07/2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 22 jun. 2023.

BRASIL. *Lei 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências.* Brasília: Diário Oficial da União, 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 25 jun. 2023.

BRASIL. *Lei 9.785 de 29 de janeiro de 1999. Altera o Decreto-Lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941 (desapropriação por utilidade pública) e as Leis nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (registros públicos), e nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (parcelamento do solo urbano).* Brasília: Diário Oficial da União, 1999. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9785.htm#art3. Acesso em: 25 jun. 2023.

BRASIL. *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.* Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: 26 jun. 2023.

BRASIL. *Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Estabelece normas gerais sobre licitações e contratos administrativos pertinentes a obras, serviços, compras, alienações e locações no âmbito dos Poderes da União, do Distrito Federal e dos Municípios.* Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8666compilado.htm. Acesso em: 26 jun. 2023.

BRASIL. *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.* Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 26 jun. 2023.

BRASIL. *Manual de Drenagem de Rodovias.* Rio de Janeiro: Departamento de Infraestrutura de Transportes; Diretoria de Planejamento e Pesquisa; Coordenação de Estudos e Pesquisa; Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. (IPR. Publ. 724).

BRASIL. *Portaria Iphan nº 166 de 11 de maio de 2016. Que complementa a Portaria nº 314 de 1992. Que estabelece critérios para intervenções urbanísticas no Plano Piloto de Brasília.* Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/KujrwOTZC2Mb/content/id/21520662/doi-2016-05-12-portaria-n-166-de-11-de-maio-de-2016-21520401. Acesso em 18 jun. 2023.

BRASIL. *Portaria Iphan nº 314 de 08 de outubro de 1992. Que estabelece critérios para intervenções urbanísticas no Plano Piloto de Brasília.* Brasília: Diário Oficial da União, 1992. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_n_314_de_8_de_outubro_de_1992.pdf. Acesso em: 18 fev.2022.

BRASIL. *Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.* Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005.

BRASIL. *Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 2005 do Conama.* 2011. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2011a.

BRASIL. *Termo de Referência para Elaboração de Estudos de Concepção para Gestão das Águas Pluviais. Manejo de Águas Pluviais e Drenagem Urbana - Diretrizes e Parâmetros. Estudos e projetos*. Brasília: Ministério das Cidades; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2011b.

CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal). *Esgoto Condominial*. Disponível em: <https://www.caesb.df.gov.br/esgoto/esgoto-condominial.html>. Acesso em: 02 mar. 2022.

CAMARGO, R. Brasília corre risco de racionamento de água. *Congresso em Foco*. UOL. Disponível em: <http://congressoemfoco.uol.com.br/noticias/brasil-ia-corre-risco-de-racionamento-de-agua/>. Acesso em: 22 jun. 2023.

CAMPOS, J. L. G.; GONÇALVES, T. D. *Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no Distrito Federal: Relatório de Consultoria Técnica*. Brasília: Adasa, 2015.

CHOW, V. T. *Open-Channel Hydraulics*. New York; St. Louis; San Francisco; Dusseldorf; London; Mexico; Panama; Sydney Toronto; Tokyo: Mc Graw-Hill; Kogakusha, 1959.

CITY OF PORTLAND. *Stormwater Management Manual*. Portland, EUA, 2004. Disponível em: <https://www.portlandoregon.gov/bes/71127>. Acesso em: 22 jun. 2023.

CRH/DF (CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS DO DISTRITO FEDERAL). *Resolução nº 02 de 17 de dezembro de 2014. Aprova o enquadramento dos corpos de água superficiais do Distrito Federal em classes, segundo os usos preponderantes, e dá encaminhamentos*. Brasília: CRH/DF, 2014.

CRUZ, M. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com detenção em lotes urbanos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 19-31, out/dez. 1998.

DAEE/Cetesb (Departamento de Águas e Energia Elétrica/Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). *Drenagem Urbana - Manual de Projeto*. São Paulo: DAEE; CETESB, 1980.

DAWDY, D. R. (Ed.). Knowledge of sedimentation in urban environments. *Journal of the Hydraulic Division*, American Society of Civil Engineers (ASCE), v. 93, Ser. HY, nº 6, p. 235-45, Nov. 1967. (Conference preprint).

DISTRITO FEDERAL. *Decreto nº 39.558 de 20 de dezembro de 2018. Aprova o Regimento Interno do Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal - Brasília Ambiental - Ibram e dá outras providências*. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/931bd_43b3f1847548a5adda68af4a4ea/Decreto_39558_20_12_2018.html. Acesso em: 23 fev. 2022.

DISTRITO FEDERAL. *Lei 4.285, de 26 de dezembro de 2008. Reestrutura a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - Adasa/DF, dispõe sobre recursos hídricos e serviços públicos no Distrito Federal e dá outras providências*. Brasília: Câmara Legislativa do Distrito Federal, 2008. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/cidadao/legislacao/leidistrital_4285_2008.pdf. Acesso em: 22 jun. 2023.

DISTRITO FEDERAL. *Lei complementar nº 803, de 25 de abril de 2009 com as alterações decorrentes da Lei Complementar nº 854, de 15 de outubro de 2012*. Brasília: Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGHET), 2012a.

DISTRITO FEDERAL. *Lei complementar nº 929, de 28 de julho de 2019. Dispõe sobre dispositivos de captação de águas pluviais para fins de retenção, aproveitamento e recarga artificial de aquíferos em unidades imobiliárias e empreendimentos localizados no Distrito Federal e dá outras providências*. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/e8ac10b417504d6fb30227641c9bd949/Lei_Complementar_929_28_07_2017.html. Acesso em: 22 fev. 2022.

DISTRITO FEDERAL. *Lei nº 6138, de 26 de abril de 2018 que Institui o Código de Obras e Edificações do Distrito Federal - COE*. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/94156cc83d524f1ba6d0c0555ec9cd9d/Lei_6138_26_04_2018.html. Acesso em: 26 fev. 2022.

DISTRITO FEDERAL. *Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos*. Brasília: Ecoplan Engenharia Ltda., 2012b.

DISTRITO FEDERAL. *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal - Manual Técnico 2 e 3*. Brasília: Secretaria de Estado de Obras do GDF, 2009.

DISTRITO FEDERAL. *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal: Manual Técnico 2 e 3*. Brasília: Concremat Engenharia; Secretaria de Estado de Obras do GDF, 2009.

DISTRITO FEDERAL. *Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Versão Preliminar*. Brasília, Adasa; Serenco, Tomo V, Produto 2, ago. 2016. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/Produtos-PDSB/Produto_7/1_PDSB_DF_subproduto_7.1_0717_VF_DIGITAL.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

DISTRITO FEDERAL. *Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. Brasília: Adasa/DF; Serenco, 2017.

EASTMAN, C.; SACKS, R.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2nd. ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Mapa pedológico digital: SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo*. Planaltina: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004.

FCTH/FRANCA (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA). *Plano de Drenagem Urbana para o Município de Franca*. Franca: Prefeitura Municipal de Franca, 2009.

FCTH/PMSP (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO). *Análise de alternativas para o controle de inundações no Vale do Anhangabaú*. São Paulo: FCTH/PMSP, 2014.

FHWA (Federal Highway Administration). *Urban drainage design manual - HE 22, metric version*. Virginia, USA: FHWA, 1996.

GOMES, C. I. D. (Ed.). Avaliação da qualidade de águas pluviais lançadas por bacias de retenção em corpos hídricos do Distrito Federal. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. *Anais...* Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 22 a 27 de novembro de 2015.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (Iphan). *Portaria nº 166, de 11 de maio de 2016*. Brasília: Iphan, 2016.

ITALIA. *Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 12/2005*. Testo integrale. Bollettino Ufficiale. Milano, Regione Lombardia, Italia, 2012.

LABSID (Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisões). *SSD ABC - Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas*. ABC 6. Disponível em: <http://www.labsid.eng.br/>. Acesso em: 22 jun. 2023.

LEEFLANG, M. J.; MONSTER, N. J. *The design of infiltration and percolation facilities: literature review*. Delft, Netherlands: Technische Universiteit Delft ed., 1995.

MASCARÓ, J. L. *Loteamentos urbanos. EBAH - Rede social para o compartilhamento acadêmico*. Disponível em: <http://www.ebah.com.br>. Porto Alegre: L. Mascaró, 2003. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAhQloAF/loteamentos-urbano>. Acesso em: 05 set. 2022.

MECKLENBURG, D. *Rainwater and Land Development: Ohio's Standards for Stormwater Management Land Development and Urban Stream Protection*. 2nd. ed. Columbus, Ohio, USA: Ohio Department of Natural Resources, 1996.

NAKAMURA, J. Como planejar o posicionamento das bocas de lobo em vias públicas. *Revista Infraestrutura Urbana*, PINI, São Paulo, 2016.

NOVACAP (Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil). *Termo de referência e especificações para elaboração de projetos de sistemas de drenagem pluvial no Distrito Federal*. Brasília: Diretoria de Urbanização (DU); Departamento de Infraestrutura Urbana (DEINFRA), 2012.

NOVACAP (Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil); Reforsolo (Reforsolo Engenharia - Geotecnia e Meio Ambiente). *Sondagens a trado e ensaios de laboratório para avaliação da permeabilidade do solo do Complexo Esportivo Ayrton Senna: Relatório Técnico*. Brasília: Novacap, 2015.

NRMCA (National Ready Mix Concrete Association). *Pervious concrete pavement: when it rains it drains*. 2011. Disponível em: <http://www.perviouspavement.org/index.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

PALLA, A.; COLLI, M.; CANDELA, A.; ARONICA, G. T.; LANZA, L. G. *Pluvial flooding and efficiency of urban drainage*. In: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE MODELLING. Belgrado; Messina: University of Genova; University of Messina, 2012.

PAPIRI, S.; PAOLETTI, A. *Sistemi fognari unitari e separati: aspetti funzionali e ambientali*. In: GIORNATA DI STUDIO: LA SEPARAZIONE DELLE ACQUE NELLE RETI FOGNARIE URBANE, 25 Giugno 2003, Roma, Centro Studi Idraulica Urbana (CSDU), 2003.

PEREIRA, M. C. S.; LUCCI, R. M.; AMARO, C. A.; SIMIONATO, L. Y.; YAZAKI, L. F. O. L.; Porto, M. F. A.; NATALE, O. Influência do controle da impermeabilização no custo do sistema de drenagem. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. *Anais...* Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

PETERKA, A. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. Denver, Colorado: US Department of Interior; Bureau of Reclamation, 1958.

PINTO, L. L. C. A. *O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano*. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PITA, M. Manejo Integrado - Estádio Mané Garrincha. *Revista Infraestrutura Urbana*, São Paulo, PINI, v. 33, ano 4, mar. 2014.

PIVELI, R. P. *Tratamento de esgotos sanitários*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - PHA. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em: http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=14718. Acesso em: 15 fev. 2023.

PMSP (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO). *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1998.

PMSP (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano/Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (SMDU/FCTH). *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais*. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2012.

REFORSOLO Engenharia, Geotecnia e Meio Ambiente. *Análise da infiltração, colapsividade e absorção dos estratos superficiais para as áreas destinadas às bacias de retenção do Condomínio Quintas da Alvorada - Relatório Técnico*. Brasília: REFORSOLO, 2012.

REGIONE PIEMONTE. *Ingegneria naturalistica: nozione e tecniche di base*. Torino: Direzione Opere Pubbliche; Difesa del Suolo; Economia Montana e Foreste, 2006.

RIO DE JANEIRO. *Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana*. Rio de Janeiro: Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas - Rio-Águas, 2010.

RIZZO, L. D. *Mitigazione del rischio idraulico e attività ambientale: le prospettive offerte nel Veneto dal Piano Direttore ad una nuova cultura del territorio*. [Apresentação]. Venezia, Italia: Consorzio di bonifica Dese Sile, 2007.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 4, p. 5-18, 2005.

SCHULER, T. R. *Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs*. Washington: Department of Environmental Programs; Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SCS (Soil Conservation Service). *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Washington: U.S. Department of Agriculture Supplement, 1975. (Technical Release, 55).

SERVICE TECHNIQUE DE L'URBANISME (STU). *La maîtrise des eaux pluviales: des solutions sans tuyau dans l'agglomération de Bordeaux*. Bordeaux, France: Les Éditions du STU, 1993.

SILVA, C. V. S.; OLIVEIRA, C. P. M.; GARCIA, J. I. B.; YAZAKI, L. F. O. L.; NATALE, O.; BRITES, A. P. Z. *Scenario evaluation of alternatives for flood control in the Anhangabaú watershed, Brazil*. São Paulo: ICFM 6, 2014.

SILVA, J. P. *Estruturas de infiltração com utilização de materiais alternativos no controle de alagamentos, inundações e prevenção de processos erosivos*. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SILVEIRA, A. L. Provável efeito urbano nas relações IDF das chuvas de Porto Alegre. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 2, p. 93-107, 1997.

SIMONS, B. D.; PONCE, V. M.; LI, R. M.; CHEN, Y. H.; GESSLER, J.; WARD, T. J.; DUONG, N. *Flood flows, Stages and damages*. Fort Collins: Engineering Research Center; Colorado State University, 1977.

SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental); CH2M Hill do Brasil Serviços de Engenharia Ltda. *Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu*. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 2002.

TERRACAP (COMPANHIA IMOBILIÁRIA DE BRASÍLIA); PROGEA (PROGEA ENGENHARIA E ESTUDOS AMBIENTAIS). *Estudo de Impacto Ambiental - Avaliação das ocupações irregulares nas bordas da cidade de Ceilândia*. Brasília: TERRACAP, 2009.

TOMAZ, P. Capítulo 5: Microdrenagem. In: *Curso de manejo de águas pluviais*. 2012. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livro_calculos/capitulo05.pdf. Acesso em: 15 jun. 2023.

TUCCI, C. E. M. *Gestão das inundações urbanas*. Porto Alegre: Global Water Partnership South America; UNESCO, 2005.

TV GLOBO. Coreia do Sul mostra como despoluir rios. *Globo.com*. 13 abr. 2009. Disponível em: <http://jornalnacional.globo.com/Telejornais/JN/0,,MUL1083891-10406,00-COREIA+DO+SUL+MOSTRA+COMO+DESPOLUIR+RIOS.html>. Acesso em: 15 jun. 2023.

URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT. *Urban Storm Drainage Criteria Manual*. Denver, EUA: UDFCD, 2008.

URBONAS, B.; STAHR, P. *Stormwater Best Management Practices and Detention*. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.

WILKEN, P. S. *Engenharia de Drenagem Superficial*. São Paulo: Cetesb, 1978.

YAZAKI, L. F. O. L.; HAUPT, J. P. O.; PORTO, M. F. A. Uso potencial de sistemas mistos de esgotos e águas pluviais para redução da poluição hídrica em bacias urbanas. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2007.

YAZAKI, L. F.; MORIHAMA, A. C. D.; AMARO, C.; TOMINAGA, E. N. S.; YAZAKI, L. F. O. L.; PEREIRA, M. C. S.; PORTO, M. F. A.; MUKAI, P.; LUCCHI, R. M. O. Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions. *Water Science and Technology*, London, IWA Publishing, v. 66, n. 4, p. 704-11, 2012.

19.1 Enquadramento de Corpos Hídricos em Classes

Segundo a Resolução Conama nº 357/2005, as águas doces do Território Nacional são classificadas em:

- 1. Classe especial: águas destinadas:**
 - a. Ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
 - b. À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
 - c. À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

- 2. Classe 1: águas que podem ser destinadas:**
 - a. Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
 - b. À proteção das comunidades aquáticas;
 - c. À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
 - d. À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes;
 - e. À proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

- 3. Classe 2: águas que podem ser destinadas:**
 - a. Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
 - b. À proteção das comunidades aquáticas;
 - c. À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
 - d. À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
 - e. À aquicultura e à atividade de pesca.

- 4. Classe 3: águas que podem ser destinadas:**
 - a. Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
 - b. À irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
 - c. À pesca amadora;
 - d. À recreação de contato secundário;
 - e. À dessedentação de animais.

5. Classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a. À navegação;
- b. À harmonia paisagística.

Dessa forma, corpos hídricos enquadrados na Classe Especial são os que têm os usos mais exigentes; e os enquadrados na Classe 4, os menos exigentes, conforme ilustram a Figura 148 e a Figura 149.

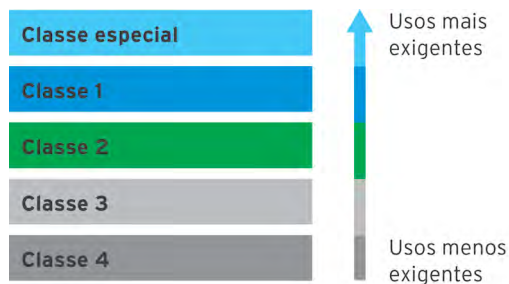


Figura 148 Classes de enquadramento segundo a Resolução Conama nº 357/2005.

Usos das águas doces	Classes de enquadramento				
	Especial	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Mandatória em unidades de conservação e proteção integral				
Proteção das comunidades aquáticas		Mandatória em terras indígenas			
Recreação de contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para consumo humano	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional avançado	
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Irrigação		Hortaliças e frutas consumidas cruas	Hortaliça, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte,...	Culturas arbóreas, corealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Figura 149 Usos da Água e Classes de Enquadramento.

19.2 Cálculo de Vazões pelo Método Racional

Conforme especificado no Capítulo 9 - Critérios para Avaliação do Nível de Complexidade do Projeto, o método racional é adotado para o cálculo da vazão de projeto para áreas de contribuição totais de até 100 ha.

A vazão de projeto, por este método, é determinada pela expressão:

$$Q = 0,00278.C.I.A$$

Onde:

Q = vazão de projeto (m³/s);

C = coeficiente de escoamento superficial ou de deflúvio (adimensional);

I = intensidade chuva crítica (mm/h), com duração igual ao tempo de concentração da bacia de contribuição; e

A = área da bacia (ha).

19.2.1 Intensidade da Chuva Crítica

A intensidade da chuva crítica é calculada pela equação IDF (intensidade - duração - frequência) do Distrito Federal (Concremat Engenharia/GDF, 2009):

$$I = \frac{1.574,7.T^{0,207}}{(td + 11)^{0,884}}$$

Onde:

T = tempo de retorno em anos;

td = duração da chuva em minutos; e

I = intensidade (mm/h).

No Método Racional, considera-se $td = tc$ = tempo de concentração da bacia.

19.2.2 Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente de escoamento superficial é um parâmetro que representa a relação entre a vazão que escoar pela superfície e a vazão de chuva precipitada. Depende da capacidade de infiltração do solo e de sua cobertura.

A rigor, outros fatores, como a declividade do terreno e o nível de saturação do solo, também afetam o coeficiente C .

Como se trata de um método simplificado, admite-se adotar coeficientes de escoamento superficiais extraídos de tabelas da literatura especializada, que se relacionam ao uso do solo, como mostra a Tabela 29. Para representar a saturação do solo, recomenda-se majorar os valores obtidos pela Tabela 29 pelos coeficientes multiplicadores da Tabela 30.

Para que as imprecisões inerentes ao Método Racional sejam superadas e os projetos aprimorados, é imprescindível que se estabeleça uma rotina de análise reversa dos critérios de projeto. O objetivo é refinar os parâmetros C , a partir do monitoramento hidrológico-hidráulico das obras (ou, pelo menos, pela observação qualitativa de seus desempenhos), para as condições específicas das diferentes feições de usos do solo e pedológicas do Distrito Federal, criando-se critérios próprios, ajustados às condições locais.

Importante

Os valores de C devem ser estimados para as condições futuras de urbanização, considerando a vida útil das obras entre 30 e 50 anos. Recomenda-se adotar, como condição futura, valores de C equivalentes à impermeabilização máxima permitida pela Lei de Zoneamento em vigor. Dessa forma, o sistema de drenagem é dimensionado para atender a uma condição real provável, determinada pela legislação que controla o uso do solo.

Em algumas situações (como em nenhuma lei se estabelece um limite claro para a impermeabilização de lotes), esse critério pode produzir a elevação dos custos do sistema, tornando-os economicamente inviáveis. Nesse caso, o planejador deve propor a alteração da Lei, para que esta se ajuste à infraestrutura de drenagem possível de ser executada.

Quando esse procedimento for inviável, recomenda-se estimar os coeficientes C a partir de um estudo de cenários futuros de urbanização e impermeabilização, construídos a partir de análises tendenciais de evolução.

Tabela 27 Valores recomendados do coeficiente de escoamento (adaptado de ASCE, 1969; e Wilken, 1978)

Uso do Solo	C
Área Comercial/Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas, em cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
Área Comercial/Edificação não muito densa: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 - 0,70
Área Residencial: Residências isoladas; com muita superfície livre Unidades múltiplas (separadas); partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas Unidades múltiplas (conjugadas) Lotes com > 2.000 m ² Áreas com apartamentos	0,35 - 0,50 0,50 - 0,60 0,60 - 0,75 0,30 - 0,45 0,50 - 0,70
Área industrial: Indústrias leves Indústrias pesadas	0,50 - 0,80 0,60 - 0,90
Outros: Matas, parques e campos de esporte, partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas e parques ajardinados Parques, cemitérios; subúrbio com pequena densidade de construção Playgrounds Pátios ferroviários Áreas sem melhoramentos	0,05 - 0,20 0,10 - 0,25 0,20 - 0,35 0,20 - 0,40 0,10 - 0,30

Tabela 28 Coeficiente multiplicador do coeficiente de escoamento de acordo com o tempo de retorno (Wright-MaLaughlin, 1969).

Tempo de retorno (anos)	Multiplicador
2 a 10	1,0
25	1,1
50	1,2
100	1,25

Para bacias hidrográficas heterogêneas, o coeficiente de escoamento global (C) deve ser determinado pela ponderação linear dos coeficientes (Ci) de cada área homogênea (Ai) da bacia:

$$C = \frac{\sum A_i \cdot C_i}{\sum A_i}$$

Segundo o Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial no Distrito Federal (Novacap, 2019), “a determinação do coeficiente de deflúvio deverá ser feita a partir da avaliação de macro áreas com a apresentação e caracterização dos tipos e usos do solo na bacia de projeto com o objetivo de determinar o grau de impermeabilização para fins de cálculo do coeficiente de escoamento superficial”.

Conforme o mesmo documento, essa avaliação deverá ser feita levantando-se, em imagens aéreas recentes, “no mínimo, o somatório das áreas dos seguintes tipos e uso de solo deverão ser apresentadas”:

- Vias e estacionamentos pavimentados
- Vias não pavimentadas
- Telhados de edificações
- Áreas de solo exposto
- Áreas gramadas
- Áreas verdes naturais tais como pastagens e matas

A partir desse levantamento, os coeficientes de escoamento superficiais são determinados pela Tabela 29.

Tabela 29 Coeficientes de Escoamento Superficial recomendados no TR da Novacap (2012)

Uso do solo	C
Áreas calçadas ou impermeabilizadas	0,90
Áreas com bloco intertravado maciço	0,78
Áreas intensamente urbanizadas e com áreas verdes	0,70
Áreas residenciais com áreas ajardinadas	0,40
Áreas de solo natural com recobrimento de brita	0,30
Áreas com inclinação superior a 5% integralmente gramadas ou com jardins ou vegetação natural	0,20
Áreas com inclinação inferior a 5% integralmente gramadas ou com jardins ou vegetação natural	0,15

19.2.3 Tempo de Concentração

O tempo de concentração (t_c) é o tempo necessário para que o escoamento superficial da totalidade da área da bacia contribua para sua seção de saída. Equivale ao tempo de percurso da água, desde o ponto mais distante, até a seção da saída.

Na literatura - por exemplo, no *Manual de Rodovias do DNIT* (Brasil, 2006), existem inúmeras fórmulas empíricas utilizadas para o cálculo do tempo de concentração, a maioria delas estabelecidas para bacias em zonas rurais.

Para áreas urbanas, recomenda-se calcular o tempo de concentração pelo método cinemático. Por esse método, calcula-se o t_c a partir das velocidades médias de escoamento em cada trecho do sistema de drenagem e de um tempo inicial de entrada:

$$t_c = t_e + \sum \frac{L_i}{V_i}$$

Onde:

t_e = tempo de entrada no sistema de drenagem (tempo de percurso do escoamento, desde o limite da bacia até a primeira captação do sistema de drenagem) (s);

L_i = comprimento do trecho i (m);

V_i = velocidade média de escoamento no trecho i (m/s)

De acordo com o Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial no Distrito Federal (Novacap, 2019), o tempo de entrada (t_e) deve ser definido entre 10 e 15 minutos com a fiscalização da Novacap, em função das características da área de projeto.

Para áreas urbanas, o Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF (Distrito Federal, 2009) indica a estimativa do tempo de concentração por Mc Cuen, sendo:

$$tc = 135 \cdot i^{-0,7164} \cdot L^{0,5552} \cdot S^{-0,2070}$$

Onde:

tc = tempo de concentração da chuva em min;

i = intensidade de chuva equivalente a 35 mm/h;

L = comprimento do trecho (km);

S = declividade do trecho (m/m).

19.3 Cálculo da Vazão Específica de Pré-Desenvolvimento

Para o cálculo da vazão de pré-desenvolvimento adotada como limite para novos empreendimentos, conforme a Resolução Adasa nº 26/2023 (2023), foram adotadas as seguintes premissas:

- Curva de Precipitação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de Brasília (GDF, 2009);

$$i = \frac{1.574,7 \cdot TR^{0,207}}{(td + 11)^{0,884}}$$

Onde:

i = intensidade da chuva em mm/h;

TR = tempo de recorrência em anos;

td = tempo de duração da chuva em min.

- Coeficiente de deflúvio (ou de escoamento superficial) no cenário de pré-desenvolvimento: $C = 0,15$;
- Área de 100 ha (1.414 m x 707 m);
- Velocidade de escoamento superficial no terreno natural de 0,4 m/s, que em 1.414 m resulta em tempo de concentração de 0,98 h, adotado $td = 60$ min;
- Tempo de recorrência da precipitação $TR = 10$ anos.

Considerando-se $TR = 10$ anos e $td = 60$ min, resulta: $i = 58,57$ mm/h.

A vazão específica é calculada então pelo Método Racional, através da seguinte expressão:

$$Q = 2,78 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Onde:

Q = vazão (L/s);

C = coeficiente de deflúvio;

i - intensidade da chuva (mm/h); e

A = área de contribuição em ha.

Considerando-se $C = 0,15$; $i = 58,57$ mm/h e $A = 100$ ha, resulta:

$$Q = 2.442,4 \text{ L/s}$$

$$Q / A = 24,4 \text{ L/s x ha}$$

19.4 Uso do Método Racional e Modelos Hidrológicos

De acordo com a fonte, no Distrito Federal, os critérios para o uso do Método Racional e equações lineares para o cálculo de volumes de reservatórios são diferentes, conforme mostra a Tabela 30.

Tabela 30 Limites de uso de Equações Lineares para o Cálculo de Volumes de Reservatórios de Amortecimento

Fonte	Limite
Manual de Drenagem original do PDDU-DF/2009	100 ha
Resolução Adasa nº 26/2023	200 ha
Norma Novacap publicada no DODF nº 26 de 06/02/2017	200 ha
Critério proposto neste Manual*	100 ha

*Conforme justificativas apresentadas neste capítulo.

Com o objetivo de regulamentar a metodologia para o cálculo de vazões críticas e volumes de reservatórios, este Manual, atualizado em 2023, propõe um critério objetivo para o uso do Método Racional.

As equações lineares utilizadas para o cálculo de volumes de reservatórios de amortecimento são derivadas do Método Racional e, portanto, o critério que estabelece as áreas máximas de contribuição para o uso dessas equações deve ser o mesmo critério utilizado para o cálculo de vazões em galerias e canais.

Na bibliografia especializada, não existe um consenso sobre a área de contribuição máxima em que o Método Racional possa ser aplicado com precisão aceitável. No Manual de Denver (Urban Drainage and Flood Control District, 2008), essa área é limitada a 65 ha; no Manual da Cidade de Portland (City of Portland, 2004), o limite é de 40 ha; as instruções técnicas para projetos de drenagem da cidade do Rio de Janeiro limitam a aplicação do Método Racional a bacias de até 100 ha (Rio de Janeiro, 2010).

A experiência mostra que vazões calculadas pelo Método Racional para áreas maiores que 100 ha tendem a ser superestimadas. A literatura técnica, no entanto, admite a aplicação desse método para áreas maiores, desde que o coeficiente de escoamento superficial e o tempo de concentração sejam calibrados com parâmetros obtidos através do monitoramento hidrológico na mesma região ou região de características físicas similares.

Para responder melhor essa questão, foram efetuados alguns testes em que foram calculadas as vazões críticas em bacias hipotéticas com áreas de 100 a 300 ha, utilizando-se o Método Racional e o Método do Hidrograma Unitário do *Soil Conservation Service* (SCS).

Os cálculos pelo Método Racional foram feitos de acordo com a metodologia proposta no Manual de Drenagem Original, calculando-se o coeficiente de escoamento superficial com a formulação que o relaciona com a precipitação e o Curve Number (CN) da bacia:

$$C = Cp + (Ci - Cp) \cdot ai$$

$$ai = \frac{Ai}{At}$$

$$p = \left[\frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \right] \cdot \frac{1}{P}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$P = I \cdot td = I \cdot \frac{t}{60}$$

$$i = \frac{1.574,7 \cdot TR^{0,207}}{(td + 11)^{0,884}}$$

Onde:

P = precipitação total (mm);

I = intensidade (mm/h);

td = tempo de duração da chuva (h);

t = tempo de duração da chuva (min);

T = tempo de retorno (anos);

C = coeficiente de escoamento global;

Ai = área impermeável (ha);

At = área total (ha);

S = coeficiente de armazenamento;

CN = "Curve Number" da área permeável;

Cp = coeficiente de escoamento superficial da área permeável; e

Ci = coeficiente de escoamento superficial da área impermeável.

Os cálculos pelo método do Hidrograma Unitário do SCS foram feitos com a utilização do modelo computacional ABC 6 (Labsid, 2016), adotando-se:

- Área impermeável diretamente conectada = 50% da área impermeável total;
- Tempo de duração da chuva = tempo de concentração;
- Fator de ponderação de Muskingum = 0,25;
- Distribuição temporal da chuva pelo método dos blocos alternados (*default* do modelo);
- Coeficiente de distribuição espacial *default* do modelo.

A bacia hipotética, para a qual foram calculadas as vazões, foi criada com as seguintes características (Figura 150):

- Forma retangular, conforme croquis abaixo, onde a área verde representa a área permeável, e a cinza a parcela impermeável.

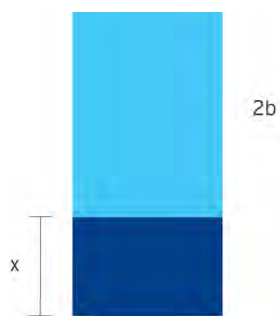


Figura 150 Bacia hipotética para comparação de métodos de cálculo de vazões.

- Tempo de concentração (t_c):

$$t_c = \frac{(2 \cdot b - x)}{V_{ap}} + \frac{x}{V_{ai}}$$

Com:

V_{ap} = velocidade média do escoamento na área verde = 0,4 m/s;

V_{ai} = velocidade média na área impermeável = 1,0 m/s;

Considerou-se, ainda, em ambos os métodos de cálculo:

- CN da área permeável = 70;
- C_i = coeficiente de escoamento superficial da área impermeável = 0,95;
- Duração da chuva (t) = tempo de concentração (t_c), conforme estabelece o Método Racional;

- Período de retorno da precipitação = 10 anos;
- Cálculo das chuvas críticas pela equação do DF proposta neste Manual;
- Áreas de bacia (A_t) de 100, 200 e 300 ha.

Os resultados das simulações são apresentados no gráfico da Figura 151 e mostram que:

- Para a bacia não impermeabilizada, as vazões calculadas pelos dois métodos são muito próximas, sendo que a maior diferença, 4%, foi encontrada para $A_t = 300$ ha.
- Para bacias com impermeabilização de 50 e 70%, as vazões calculadas pelo Método Racional foram entre 19 e 29% maiores que as calculadas pelo ABC 6.
- Em todos os casos, quanto menor a área, os resultados dos dois métodos aproximam-se.

Esses resultados sugerem que o Método Racional tende a superestimar as vazões de bacias urbanas com áreas acima de 100 ha, como mencionado nas diversas fontes bibliográficas citadas acima.

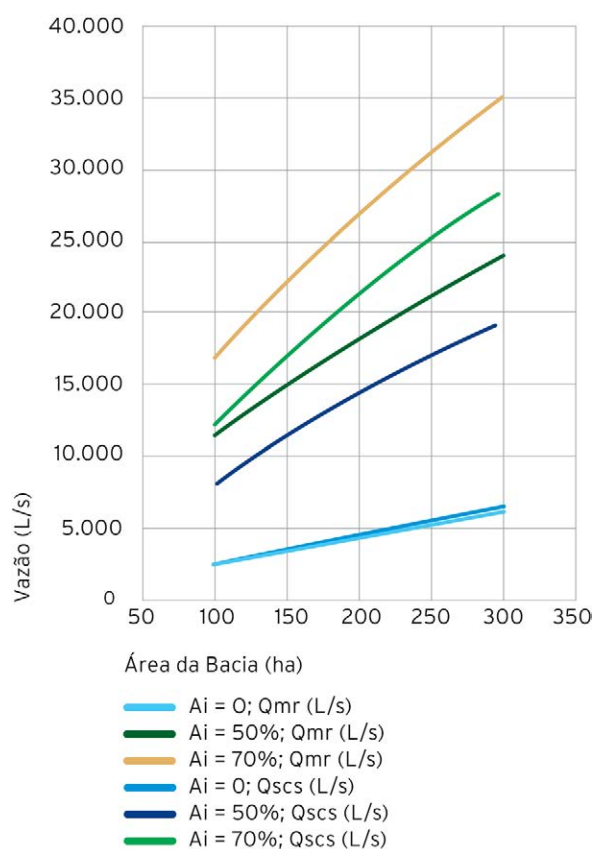


Figura 151 Vazões calculadas pelo Método Racional (Q_{mr}) e pelo método do *Soil Conservation Service* (Q_{scs}) para bacias hipotéticas com áreas de 100 a 300 ha.

Em vista do exposto, o uso do Método Racional fica limitado para bacias de até 100 ha. Para bacias maiores, deverão ser utilizados métodos de cálculo hidrológico que possibilitem a construção de hidrogramas a partir da desagregação temporal da precipitação, a distribuição espacial da chuva com a aplicação de coeficientes redutores e o amortecimento da onda de cheias, como o aqui utilizado.

É importante frisar que não existe um método de cálculo hidrológico ideal. Todos têm suas limitações. Para que haja consistência nos resultados, é essencial que os modelos sejam calibrados e validados com dados observados. Por isso, para que os projetos de drenagem do DF sejam aprimorados, é recomendável a ampliação do monitoramento hidrológico e fluviométrico, pelo menos das bacias mais críticas.

19.5 Considerações sobre o Controle de Qualidade da Água

Conforme já mencionado neste Manual, o controle da qualidade da água de corpos hídricos urbanos exige que a gestão e o planejamento dos serviços de saneamento básico, principalmente dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas e esgotos sanitários, sejam integrados (ver considerações sobre a qualidade da água pluvial no Item 3.2.1 - Efeitos da Urbanização sobre os Corpos Hídricos, deste Manual).

A primeira questão que se coloca quando se trabalha na concepção integrada dos sistemas de águas pluviais e de esgotos é sobre qual o sistema ideal para o caso em estudo: separador, unitário ou misto.

São muitos os exemplos de cidades que obtiveram bons resultados no controle da poluição hídrica cujos sistemas são unitários, como Londres, Paris e Milão. Em contraposição, cidades brasileiras importantes, como Brasília, São Paulo e Rio de Janeiro, dotadas de sistemas separadores, não têm atingido as metas de qualidade de seus corpos hídricos, apesar dos investimentos que têm sido feitos. Uma das razões para isso é que os sistemas de esgotos e águas pluviais dessas cidades, embora operados como separadores absolutos, são, na realidade, sistemas mistos. Isso porque possuem, nas mesmas bacias, partes separadas e partes unitárias, sendo importante destacar que no DF essas situações somente ocorrem em função de lançamentos clandestinos.

Para solucionar o problema da mistura não planejada das águas pluviais com os esgotos, procura-se executar programas de separação das redes, o que tem se mostrado muito oneroso e pouco eficaz, especialmente nas áreas de ocupação informal, em que a urbanização se desenvolve sem planejamento. É importante destacar que essa situação no DF não pode ser considerada como significativa, ocorrendo pontualmente, e como dito anteriormente, caracterizando-se como lançamentos clandestinos.

Como consequência, a qualidade das águas lançadas nos corpos hídricos pelos sistemas de águas pluviais das cidades citadas, excetuando-se o DF, é muito próxima à do esgoto sanitário e, sob certas condições, até pior. Em tempo seco, grande parte da vazão veiculada pelos sistemas de drenagem é composta por esgotos não coletados (ver Figura 3). Em tempo de chuvas, especialmente no início das precipitações, além dos esgotos não coletados, os sistemas de drenagem despejam a poluição difusa proveniente da lavagem da atmosfera, da superfície da bacia e da própria rede de drenagem.

Segundo Papiri e Paoletti (2003), "o sistema unitário, se dotado de extravasor de cheias e reservatório de primeira chuva corretamente projetados, produz um impacto ambiental

sobre os corpos hídricos receptores análogo àquele produzido por um sistema separador bem projetado, isto é: quando a rede de águas pluviais é munida de extravasor e reservatório de primeira chuva, com destinação dessas águas para tratamento. O sistema unitário é normalmente muito mais econômico que o sistema separador em termos de custo de investimento e, mais ainda, em termos de custos de operação”.

Mesmo que um dos tipos de sistema se mostre aparentemente vantajoso, a escolha de um ou outro deve partir de análise técnica, econômica e ambiental integrada, considerando-se a situação real do local a ser atendido: tipo e localização dos corpos receptores, nível de tratamento necessário (função da Classe de enquadramento e padrões de emissão), possibilidade de aproveitamento da rede existente; bem como padrão de urbanização, traçado do sistema viário, relevo, interferências, entre outros fatores.

Uma questão fundamental para ser avaliada é que quando os sistemas de drenagem usam tubulações em concreto armado, essas tubulações são fabricadas por meio de processos que utilizam a vibração do concreto, muito diferente dos processos de fabricação de tubos de concreto para esgotos, que utilizam a centrifugação. O processo de vibração não possibilita a impermeabilização adequada das paredes das tubulações, enquanto as tubulações que utilizam o processo de centrifugação conseguem resultados muito superiores. Assim, quando se utilizam tubulações centrifugadas para escoamento de esgotos sanitários, suas vidas úteis se reduzem significativamente, podendo chegar a menos da metade do que se esperava inicialmente.

É importante destacar que os custos de tubulações centrifugadas são muito superiores aos custos de tubulações vibradas, tanto pela diferença de tecnologia do processo de fabricação quanto pelos quantitativos de materiais e composição do concreto. Outro fato que faz com que os custos desses materiais sejam muito discrepantes está no local de fabricação. As tubulações vibradas podem ser produzidas em fábricas móveis, deslocadas para próximo ao local de suas utilizações, reduzindo os custos com fretes. O mesmo não se pode verificar para as tubulações centrifugadas, haja vista que suas fábricas são fixas. Assim, como o concreto armado apresenta peso específico elevado e as paredes das tubulações são muito superiores se comparadas com outros materiais, têm-se custos elevados de transporte.

Para se chegar à solução mais adequada, e que atenda de forma segura as condições acima, no planejamento dos sistemas de águas pluviais e esgotos devem-se avaliar as configurações esquematizadas na Figura 152 - Configurações de sistemas unitários e separadores de águas pluviais e esgotos sanitários, e descritas abaixo:

- a.** Sistema separador absoluto convencional em que as águas pluviais são coletadas e lançadas diretamente no curso d'água. Os esgotos são coletados, transportados em uma rede separada e encaminhados para uma estação de tratamento. É o sistema utilizado normalmente no Brasil.
- b.** Sistema separador convencional com sistema de repartição de águas pluviais. Nesse tipo de configuração, a vazão de base e uma parcela das águas de chuva que escoam pelas galerias de águas pluviais são também encaminhadas para o tratamento. É utilizado, por exemplo, quando a poluição difusa transportada pelas galerias de AP é alta por causa da presença de lançamentos não identificados de esgotos.
- c.** Sistema separador convencional com sistema de repartição e reservatório de águas pluviais. É um sistema similar ao da Figura 152 C, com a

diferença de que uma parcela das águas pluviais é armazenada temporariamente para posterior lançamento na ETE. Com esse sistema, pode-se tratar, antes do lançamento no corpo de água, um volume maior de águas pluviais, sem a necessidade de aumentar muito a capacidade do sistema de tratamento. Essa configuração permite que tanto a vazão de base como as águas poluídas de primeira chuva (*first flush*) sejam tratadas antes do lançamento nos corpos hídricos receptores.

- d. Sistema unitário em que esgotos e águas pluviais são coletados e transportados pelos mesmos condutos. Extravasores posicionados em pontos estratégicos permitem o alívio da rede coletora em ocasiões de chuvas intensas. O dimensionamento desses dispositivos deve ser tal, que a extravasão somente ocorra quando houver uma diluição dos efluentes compatível com a capacidade de depuração do corpo hídrico.
- e. Rede coletora unitária com reservatórios de acumulação das águas de primeira chuva, cujo funcionamento segue o mesmo princípio do tipo descrito no elemento C da Figura 152.
- f. Sistema separador com tratamento das águas pluviais. Utilizado para a redução da poluição hídrica produzida pelos esgotos e pelas águas pluviais em sistemas separadores.

A separação completa e efetiva dos esgotos das águas pluviais nas redes existentes, planejadas como separadoras, mas que operam de fato como unitárias, envolve custos demasiadamente altos, além de dificuldades técnicas e administrativas de difícil solução. A decisão de separar redes unitárias deveria então ser tomada somente em caso de vantagens decisivas ou diante de situações em que esta solução seja imprescindível, o que é raro acontecer.

A adoção do sistema separador é normalmente mais indicada para grandes áreas de expansão urbana nas quais a urbanização pode ser planejada em conjunto com a infraestrutura de saneamento, como se verifica no Distrito Federal.

Do ponto de vista da prestação de serviços de saneamento, quando não se têm recursos financeiros suficientes para se garantir a universalização da prestação dos serviços e quando as ocupações ocorrem sem controle do poder público, a prática tem indicado que a operação integrada de sistemas de esgotos e sistemas de águas pluviais pode se apresentar eficiente e econômica.

Quando a operação é realizada por entidades diferentes, a soma dos custos operacionais do sistema de drenagem com os custos operacionais dos sistemas de esgotos é maior, se comparada com os custos de uma operação integrada; entretanto, os resultados para o meio ambiente também tendem a ser mais apropriados, reduzindo-se os impactos ambientais negativos.

No Brasil, a gestão integrada de serviços de drenagem e esgotos praticamente não existe em grandes cidades. Ao analisar as informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, observa-se ser uma solução utilizada com uma certa frequência em pequenas cidades, principalmente no Sul do País.

Na Europa, em geral, os serviços de coleta de esgotos e drenagem são integrados e exercidos por um único prestador de serviços. Na maioria dos países europeus, não existe a

possibilidade de se planejar, projetar, implantar e operar a drenagem separadamente dos esgotos, seja com sistemas unitários, seja com sistemas separadores. Esta foi a melhor forma encontrada de se atenderem as rigorosas diretrizes ambientais da União Europeia, cuja meta é a restauração dos ecossistemas hídricos até 2016. É importante destacar, também, que muitos desses sistemas foram planejados e implantados há muito tempo atrás, quando não se tinham os conhecimentos e as tecnologias atuais.

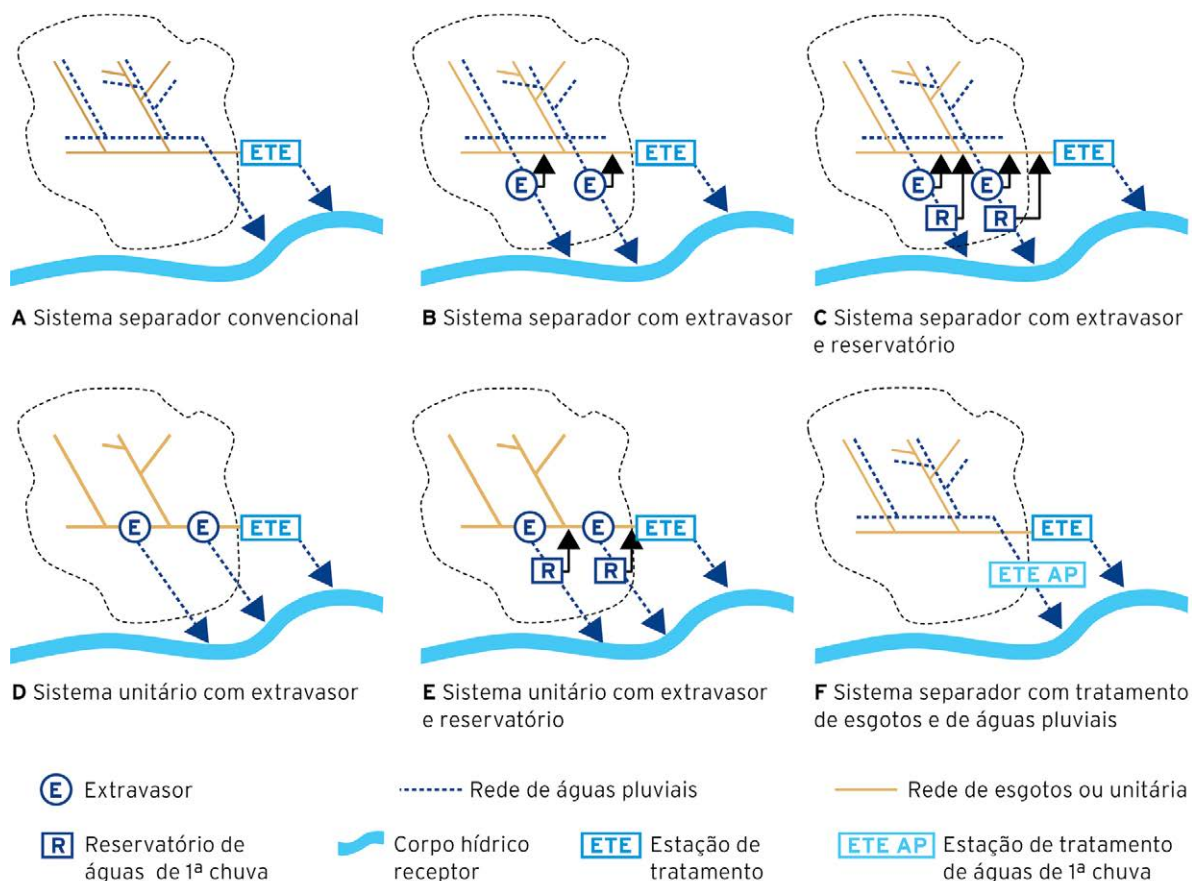


Figura 152 Configurações de sistemas unitários e separadores de águas pluviais e esgotos sanitários.

Controle da carga poluidora da água de primeira chuva e da vazão de tempo seco

As normas europeias, embasadas em pesquisas de campo, estabelecem que deve ser conduzido para tratamento um volume correspondente aos primeiros 5 a 10 mm de precipitação sobre a área impermeável da bacia.

Existem inúmeras técnicas de tratamento, que pode ser *in situ* ou tratamento conjunto com os esgotos sanitários em estações depuradoras convencionais. No primeiro caso, podem-se citar os reservatórios de detenção estendida como os propostos na Resolução nº 26/2023 da Adasa, bem como os sistemas que promovem a filtração da água, como jardins de chuva, poços de infiltração etc. O segundo caso, além de ser mais seguro por permitir um controle mais eficiente do efluente tratado, é mais apropriado para regiões de urbanização consolidada, onde são poucos os espaços livres disponíveis.

A Figura 153 e a Figura 154 mostram esquematicamente como é feita a separação das águas de primeira chuva em sistemas separadores e unitários.

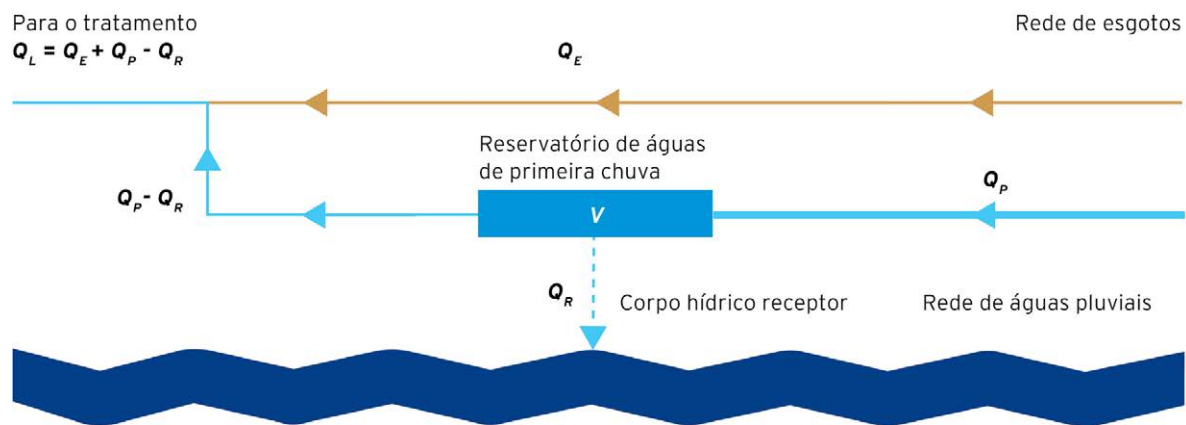


Figura 153 Sistema de partição das águas de primeira chuva em sistemas separadores.

Q_R = vazão correspondente à carga máxima admissível para o lançamento
 Q_L = capacidade do sistema a jusante
 Volume do reservatório $V = f(Q_R, Q_L)$

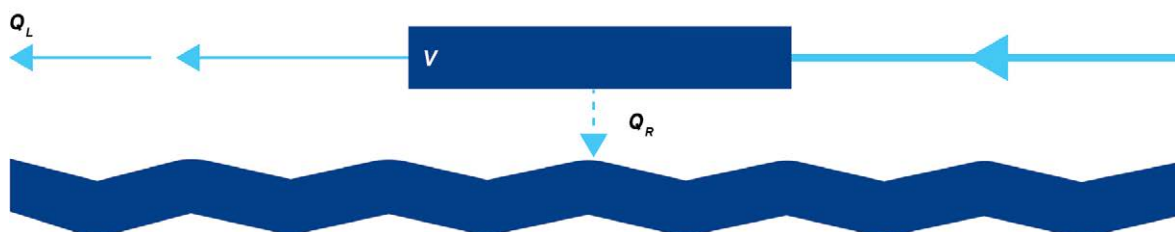
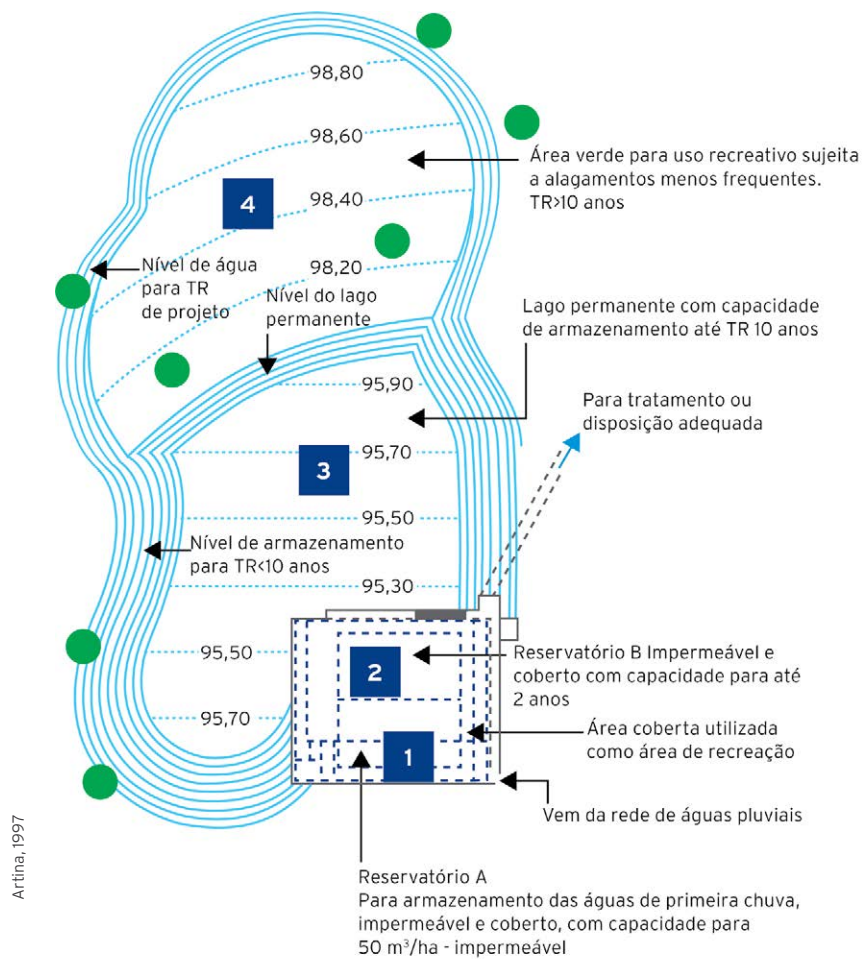


Figura 154 Sistema de partição das águas de primeira chuva em sistemas unitários.

As águas de primeira chuva são armazenadas em reservatórios cujos volumes (V) são calculados em função da carga máxima de poluição admissível no corpo receptor, determinada a partir da meta de qualidade preestabelecida para esse corpo receptor (por exemplo, sua classe de enquadramento). A partir dessa carga e do volume, são calculadas as vazões descartadas (Q_R) e as vazões adicionais que serão encaminhadas para a estação de tratamento (Q_L).

A Figura 155 apresenta uma aplicação prática do conceito acima.



6. Os primeiros 5 mm são conservados em um reservatório fechado e encaminhados para estação de tratamento.
7. O volume correspondente a TR 2 anos é armazenado em reservatório fechado suplementar.
8. O volume para TR até 10 anos ocupa uma parte aberta onde há uma lagoa permanente.
9. Volume maior que TR 10 anos até TR 50 anos ocupa uma área verde, normalmente utilizada como área de lazer e paisagismo

Figura 155 Reservatório de amortecimento como controle das águas de primeira chuva.

Caso particular dos reservatórios de detenção estendida

A regulamentação aplicada ao Distrito Federal baseia-se no princípio de que grande parte dos poluentes presentes nas águas pluviais está agregada aos sedimentos e que, portanto, reduzindo-se os sedimentos, é possível reduzir os poluentes pluviais. Considera também que a maior parcela da poluição pluvial acontece no início da chuva.

O dimensionamento dos reservatórios de controle de qualidade da água propostos na Resolução nº 26/2023 da Adasa considera que devem ser tratados os primeiros 12,5 mm a 40 mm de chuva, dependendo das condições e frequência, e que o importante é o número de eventos por ano e a quantidade de volume em cada evento (parte inicial da chuva) encaminhado para o reservatório de qualidade. Retendo este volume, os sedimentos e poluentes depositam-se e reduzem a carga poluidora presente na água que é lançada no reservatório de quantidade. Portanto, existem dois fatores relacionados com este problema: o volume de água retido, relacionado com a chuva inicial, e o tempo que este volume deverá ficar na retenção.

A prática da agência ambiental americana (EPA) mostrou que tratando uma parcela dos sólidos suspensos do escoamento pluvial, o objetivo de reduzir a carga de poluentes em 80% no escoamento pluvial é atingido (USEPA, 1993). Isto pode ser realizado retendo-se a parcela da chuva inicial do maior número de eventos do ano, considerando-se um valor específico de chuva (representativo do maior número de eventos) ou um valor relacionado com um determinado risco.

Para atingir essa meta, a regulação adotada pela EPA recomenda o tratamento do escoamento pluvial gerado pela precipitação de TR 2 anos e duração de 24 horas.

Analisando-se os padrões das chuvas de Brasília, estimou-se que as precipitações são menores ou iguais a 22,5 mm em 95% do tempo, considerado todo o ano, e 90% no período chuvoso.

Com esse critério, o volume de controle da qualidade da água pode ser calculado pela fórmula:

$$V_{qa} = 33,8 + 180.Ai$$

Sendo:

V_{qa} = volume em m³/ha; e

Ai = proporção de área impermeável entre 0 e 1.

Esta equação mostra que mesmo com uma área impermeável nula, é necessário um pequeno volume (33,8 m³/ha) correspondente ao escoamento superficial resultante do balanço da infiltração da área. Para uma área totalmente impermeável, o volume sobe para 213,8 m³/ha.

Para que esse volume seja drenado em 24 horas, a vazão de saída do reservatório de qualidade é calculada pela expressão:

$$Q = v_{qa}.A_d/8,64$$

Onde:

Q = Vazão em m³/s;

A_d = área de drenagem (ha).

19.6 Modelos Computacionais

Existe uma ampla variedade de modelos computacionais utilizados na engenharia de drenagem urbana para planejamento, projeto, operação, manutenção, monitoramento e alerta.

A escolha do modelo é uma atribuição do projetista que deve levar em consideração sua praticidade, acurácia, documentação disponível, custo, conhecimento prévio, entre outros fatores, acrescido da capacitação do prestador de serviços para receber, analisar, fiscalizar e emitir pareceres técnicos referentes aos produtos entregues.

Quando se trabalha com modelagem computacional, é importante ressaltar que:

- Nenhum modelo suprime a necessidade de um conhecimento profundo de hidrologia e hidráulica por parte de quem o utiliza;
- A confiabilidade dos resultados depende da exatidão dos dados de entrada. Por mais sofisticado que seja, nenhum modelo gera resultados confiáveis sem dados de entrada também confiáveis. A precisão e a confiabilidade dos resultados são sempre menores que a precisão e a confiabilidade dos dados de entrada.
- O “melhor” modelo é aquele em que o modelador tem o melhor domínio sobre suas funcionalidades, capacidades, limitações, critérios e métodos de cálculo etc. Um modelo simples, operado por um modelador que o conhece profundamente, pode apresentar resultados mais confiáveis que um modelo complexo pouco conhecido.
- A calibração e a validação da modelagem são imprescindíveis, principalmente em projetos que envolvam grandes riscos ou grandes investimentos. Os custos do monitoramento hidrológico e hidráulico, necessário à calibração, são ínfimos se comparados à segurança da obra e à economia global que se obtém com projetos embasados em modelagens confiáveis.
- Para estudos em nível de planejamento e de concepção, a calibração também é importante, mas nem sempre existem dados objetivos para isso. Nesses casos admite-se um processo de validação a partir de observações qualitativas de campo.

Apresentam-se, a seguir, alguns dos principais modelos computacionais utilizados na engenharia de drenagem urbana moderna, com os endereços da internet onde poderão ser obtidas informações detalhadas.

Os modelos hidrológicos relacionados abaixo destinam-se ao cálculo de hidrogramas gerados por chuvas críticas, considerando a propagação das ondas de cheias em canais, podendo também simular o efeito de reservatórios de amortecimento no abatimento desses hidrogramas.

Os modelos hidráulicos são utilizados para a simulação do escoamento em canais no regime transitório, sob pressão atmosférica, podendo simular canais (ou galerias) com seções variáveis e singularidades. Esses modelos também consideram o escoamento em várzeas e geram linhas de inundação sobre bases georreferenciadas. Podem também simular a qualidade da água representada por diversos indicadores ao longo do sistema de águas

pluviais e dos corpos hídricos, tais como oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo (P), nitrogênio (N), entre outros.

Os modelos integrados possuem capacidade para simular vazões e o escoamento em redes de drenagem, galerias e canais. Possuem também recursos que permitem simular o escoamento sob pressão em redes subterrâneas simultaneamente e integrados ao escoamento superficial. Assim como os modelos hidráulicos, podem também gerar linhas de inundação sobre um modelo digital do terreno e simular a qualidade da água ao longo do sistema de drenagem.

c. Modelos hidrológicos de uso livre

- LABSID/Escola Politécnica da USP - ABC 6
<http://www.labsid.eng.br/Software.aspx>
- US Army Corps of Engineers - HEC-HMS
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

d. Modelo hidráulico de uso livre

- US Army Corps of Engineers - HEC-RAS
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

e. Modelo integrado de uso livre

- US Environmental Protection Agency - Storm Water Management Model, SWMM
<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

f. Modelos comerciais integrados

- Bentley - Drainage Design and Analysis Solution
<https://www.bentley.com/en/solutions/drainage-design-and-analysis>
- Innovyze - InfoWorks ICM (Integrated Catchment Modeling)
http://www.innovyze.com/products/infoworks_icm/
- Deltares - SOBEK Suite
<https://www.deltares.nl/en/software/sobek/>
- DHI - MIKE11 e MIKE FLOOD
<https://www.mikepoweredbydhi.com/>
- CHI Water - PC-SWMM
<http://www.chiwater.com/>

19.7 Ferramentas de Auxílio à Decisão: Análise Multicritérios e Modelos Computacionais

O estudo de concepção de sistemas de drenagem é fundamentado na avaliação de alternativas de solução considerando os cenários futuros de urbanização e impermeabilização da bacia.

A escolha da alternativa a ser adotada deve ser efetuada por meio de análise multicritérios em que são atribuídos pesos aos critérios e subcritérios preestabelecidos em consenso com os agentes beneficiados ou afetados pelas obras.

Para cada alternativa, cada subcritério recebe uma pontuação que é ponderada, segundo seu peso relativo. A soma da pontuação de cada subcritério (S) multiplicada por seu peso relativo (Pr) resulta na nota global (Ng) da alternativa.

$$Ng = \sum S.Pr$$

A alternativa que obtiver a maior nota global é então considerada como a mais adequada.

Na literatura especializada, encontram-se várias metodologias de análises multicritérios, todas baseadas nos princípios acima (ver, por exemplo, Baptista *et al.*, 2009).

A escolha da metodologia mais apropriada é atribuição do projetista, em consenso com o órgão contratante, e dependerá das especificidades do caso em estudo.

Um exemplo de critérios e subcritérios de análise é apresentado na Tabela 31, abaixo:

Tabela 31 Exemplo de critérios e subcritérios para comparação de soluções alternativas de sistemas de drenagem

Critério	Subcritério
Eficiência da Solução	Extensão das áreas inundáveis
	Periculosidade
	Tempo de permanência das cheias
	Vulnerabilidade
	Resiliência
	Complexidade operacional
Danos Evitados	Redução da mobilidade urbana
	Prejuízos sobre o patrimônio (prejuízos materiais)
	Perdas de produtividade
	Desvalorização imobiliária
	Risco de mortes (durante o evento)
	Riscos à saúde pública

Critério	Subcritério
Impactos ambientais permanentes	Sobre paisagem e meio ambiente
	Sobre as cheias a jusante
	Sobre a qualidade da água
Impactos ambientais temporários (durante as obras)	Impactos sobre a mobilidade urbana
	Impactos sobre atividades produtivas
	Remanejamento de interferências
	Transtornos à população residente
Custos	Custo de implantação
	Custo de manutenção e operação
	Possibilidade de implantação em etapas
Repercussão Pública	Nível de aceitação pela população
	Nível de repercussão na Mídia (positivo ou negativo)
	Nível de consenso entre formadores de opinião

Quanto mais objetiva for a análise multicritérios, menos contestáveis serão seus resultados. Modelos computacionais são importantes ferramentas de suporte a decisão em análises multicritérios, ao fornecerem dados objetivos, mensuráveis, que facilitam a avaliação dos critérios de análise, mesmo daqueles que envolvem certo grau de subjetividade.

Por exemplo: através da modelagem matemática é possível medir, para uma determinada solução, as áreas inundáveis decorrentes de uma precipitação crítica. Este dado, em conjunto com os custos das obras e os impactos ambientais, poderá ajudar a avaliar o nível de aceitação, dessa alternativa, pela população.

A seguir são apresentadas algumas informações que podem ser geradas pelos modelos computacionais para subsidiar as tomadas de decisão.

g. Áreas inundáveis

Modelos hidráulicos integrados a sistemas de geoprocessamento são capazes de gerar linhas de inundação para diferentes cenários de chuvas críticas, ocupação urbana e intervenções. O simples exame visual dessas linhas permite aos tomadores de decisão avaliar os efeitos de intervenções alternativas, sem a necessidade de análises técnicas aprofundadas. Permite também informar a população e os gestores públicos sobre a localização de áreas de risco, alertando-os sobre a possibilidade de inundação diante de eventos críticos.

As imagens da Figura 156 apresentam alguns exemplos de linhas de inundação geradas sobre imagens aéreas com o uso do modelo PCSWMM.



Figura 156 Linhas de inundação sobre imagem do Google Earth, com a identificação de edificações vulneráveis.

h. Periculosidade

Os danos causados por uma inundação decorrem não somente da elevação do nível de água, mas também da velocidade de escoamento. São muitos os registros de mortes de pessoas levadas pela água durante uma tormenta ao tentarem atravessar uma rua de alta declividade, mesmo com nível de água baixo.

A engenharia de drenagem urbana procura solucionar esse problema controlando a periculosidade das cheias, que é um indicador que combina a profundidade da inundação com a sua velocidade.

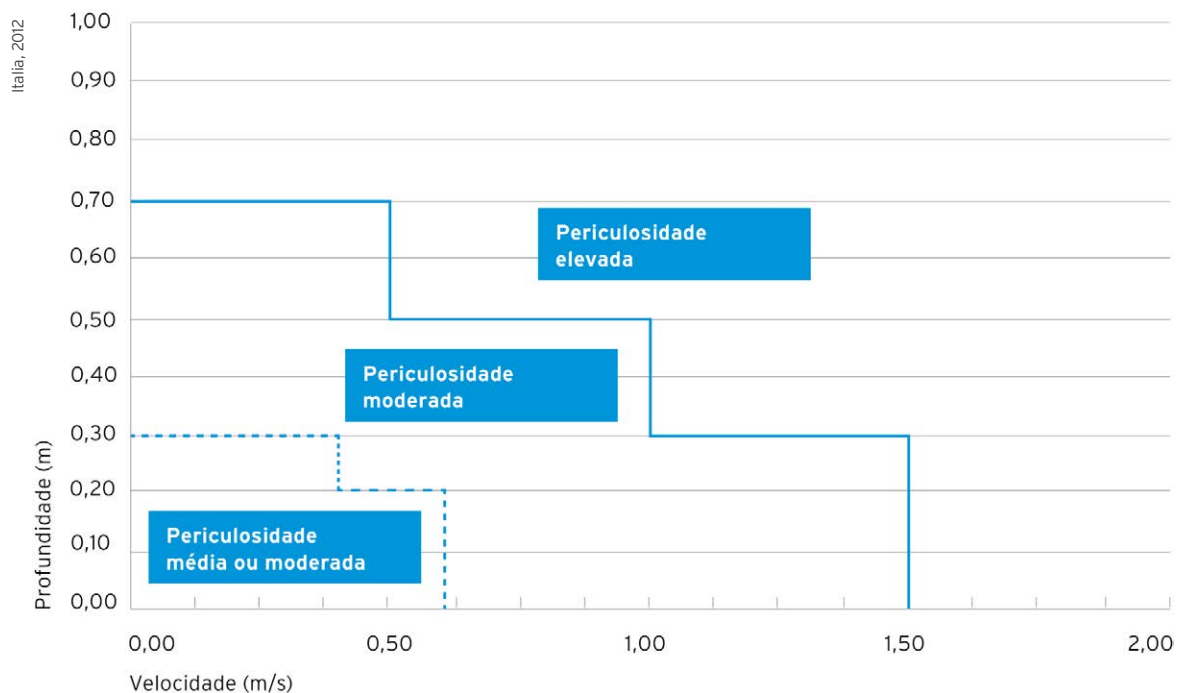


Figura 157 Faixas de classificação de níveis de periculosidade.

A Norma da Região da Lombardia, na Itália, por exemplo, classifica o nível de periculosidade em três faixas, como mostra o gráfico da Figura 157 (Italia, 2012).

Os mapas da Figura 158 mostram um exemplo de aplicação do conceito de periculosidade em uma bacia urbana, considerando dois cenários diferentes. As figuras foram geradas a partir de modelagem computacional com o modelo PCSWMM, cruzando-se os resultados

de velocidades de escoamento e níveis de água. Nessas figuras, é possível visualizar que no Cenário A, a extensão de vias de alta periculosidade é muito maior que no Cenário B.

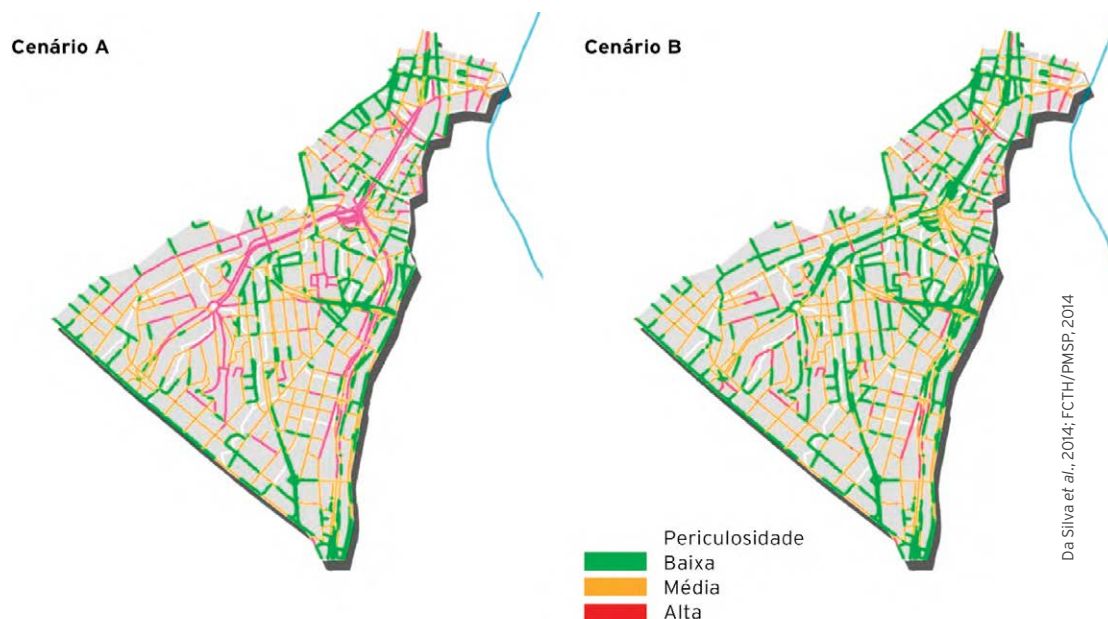


Figura 158 Níveis de periculosidade no sistema viário considerando dois cenários em uma bacia urbana.

i. Tempo de permanência

Outra informação importante que pode ser obtida através de simulações computacionais é o tempo de permanência da cheia em pontos estratégicos da bacia. Quanto maior esse tempo, maior o impacto da cheia sobre a população. O gráfico mostrado na Figura 159, gerado para uma bacia urbana pelo modelo PCSWMM, representa os cotagramas de cheias para quatro diferentes cenários hipotéticos e a cota máxima de inundação (também hipotética) admissível.

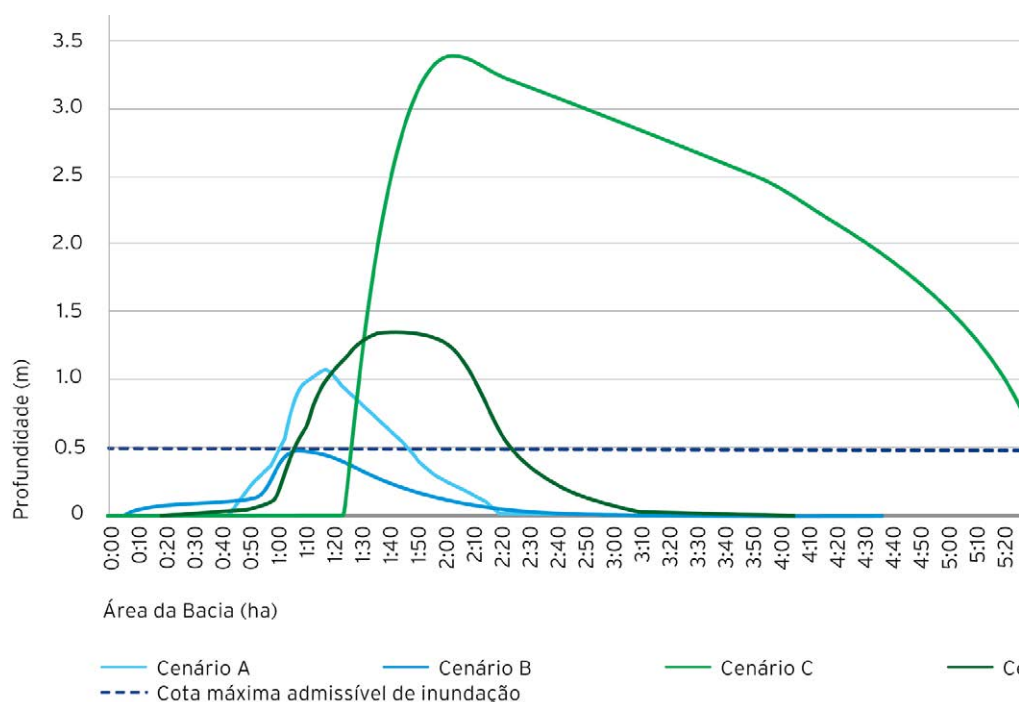


Figura 159 Cotagramas de uma cheia em um ponto estratégico de uma bacia urbana

O gráfico mostra que nas condições do Cenário C, o tempo de permanência da cheia acima do nível 0,5 m, é de mais de 5 h. Para o Cenário D, esse tempo cai para 1h05; para o Cenário A, o tempo se reduz para cerca de 50 min; e no cenário B, o nível de água não chega a ultrapassar os 0,5 m.

j. Vulnerabilidade

A vulnerabilidade de um sistema de drenagem refere-se às possibilidades de falhas em seu funcionamento e suas consequências. Este conceito é importante na escolha de alternativas, pois um sistema pode ser muito eficiente sob condições normais de operação, mas provocar grandes impactos negativos no caso de falha.

Modelos matemáticos podem simular essas falhas e ser uma eficiente ferramenta para sua prevenção, fornecendo, por exemplo, informações que auxiliem o planejamento de rotinas de operação e manutenção.

A Figura 160 mostra os níveis de inundação em uma área urbana sob diferentes condições de funcionamento das captações do sistema de drenagem, quando submetida à mesma precipitação intensa. As simulações foram feitas com um modelo matemático acadêmico integrado a um sistema de geoprocessamento (Palla *et al.*, 2012).

Os resultados mostram como as inundações se comportam quando parte das bocas de lobo (BLs) é bloqueada por detritos.

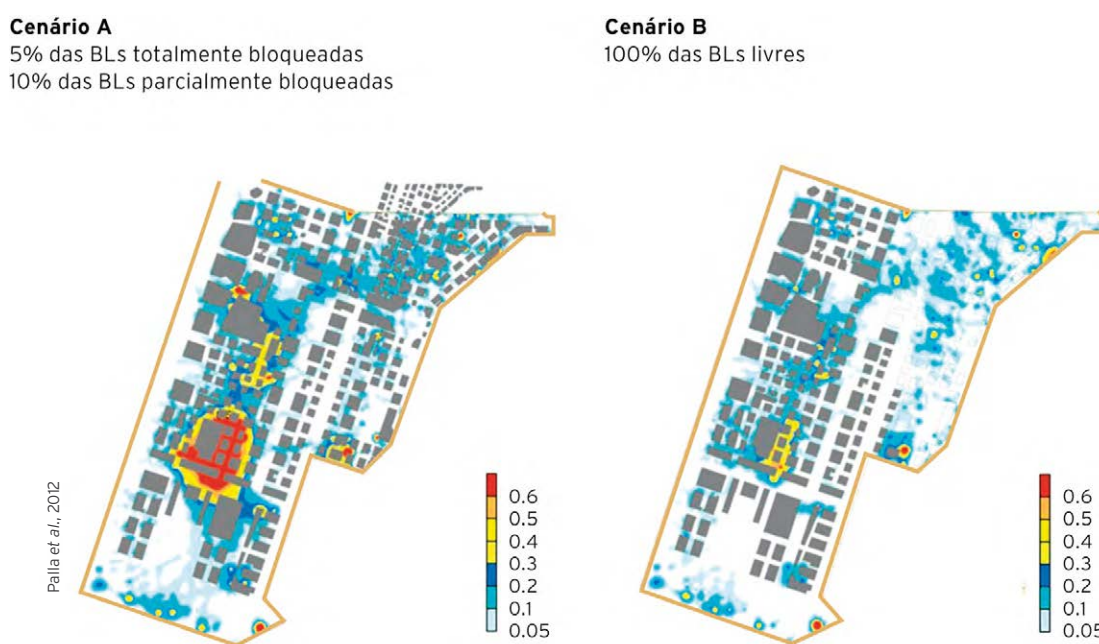


Figura 160 Linhas de inundação e profundidades (m) geradas por modelo computacional integrado, para análise da vulnerabilidade de um sistema de drenagem quanto à manutenção das bocas de lobo.

k. Qualidade da água

A maioria dos modelos hidráulicos ou integrados citados tem capacidade para simular a qualidade da água ao longo do sistema de drenagem, até o ponto de lançamento. Com

isso, é possível projetar medidas de controle de qualidade de uma bacia, de modo a atenderem aos padrões previstos na legislação. Bacias urbanizadas que contribuem para mananciais, como os lagos Paranoá e Descoberto, no DF, devem ser dotadas de sistemas de controle da poluição veiculada pela rede de drenagem, evitando-se o despejo da carga difusa, sedimentos e esgotos não coletados.

O fluxograma da Figura 161 mostra um dos esquemas de controle, utilizado em muitos países, e que pode ser simulado em modelos computacionais.

Na figura:

- CF = concentração máxima de poluentes admitida pela classe de enquadramento do corpo hídrico receptor;
- CP = concentração de poluentes presentes nas águas pluviais que equivale à composição das concentrações CRi , Cv e $C2i$;
- CRi = Concentração de poluentes na saída do lote privado, após passar pela Medida de Controle - MC;
- $C1i$ e $C2i$ = Concentração de poluentes na saída das áreas impermeáveis;
- Cv = concentração de poluentes gerados nas áreas permeáveis (áreas verdes);
- *Partição das Águas de 1ª Chuva* = sistema projetado para separar as águas de 1ª chuva. A parcela inicial, constituída pelos primeiros 5 a 10 mm de precipitação nas áreas impermeáveis, e as vazões de tempo seco são encaminhadas para uma estação de tratamento. O volume excedente, com uma concentração menor, é lançado no corpo hídrico receptor.

Nesse esquema, os dispositivos de partição das águas de primeira chuva podem ser instalados a montante dos reservatórios de controle de qualidade da água previstos na Resolução Adasa nº 26/2023, os quais contribuirão para um tratamento adicional da parcela das águas pluviais não destinadas à estação de tratamento.

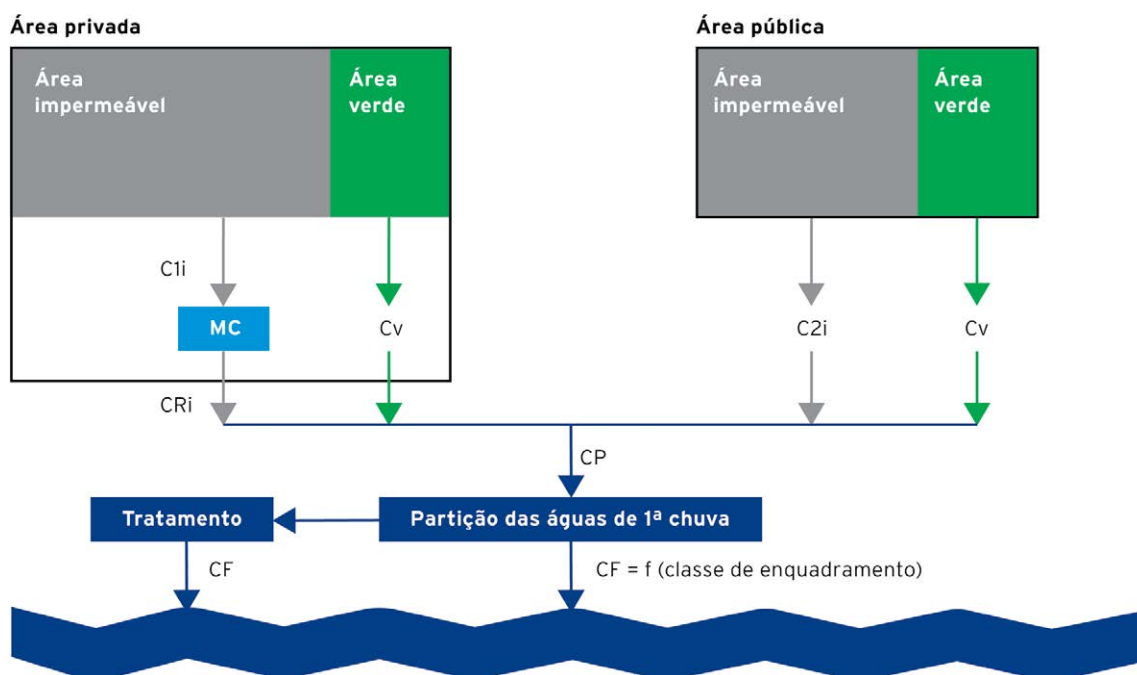


Figura 161 Fluxograma de um sistema de drenagem com controle de qualidade da água.

