

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Bruno Minervino Furtado

**USO RACIONAL DA ÁGUA E DRENAGEM URBANA EM
PORTO ALEGRE: ADEQUAÇÃO DE UM
EMPREENHIMENTO HABITACIONAL
ÀS EXIGÊNCIAS LEGAIS**

Porto Alegre
junho 2014

BRUNO MINERVINO FURTADO

**USO RACIONAL DA ÁGUA E DRENAGEM URBANA EM
PORTO ALEGRE: ADEQUAÇÃO DE UM
EMPREENDIMENTO HABITACIONAL
ÀS EXIGÊNCIAS LEGAIS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Dieter Wartchow

Porto Alegre
junho 2014

BRUNO MINERVINO FURTADO

**USO RACIONAL DA ÁGUA E DRENAGEM URBANA EM
PORTO ALEGRE: ADEQUAÇÃO DE UM
EMPREENHIMENTO HABITACIONAL
ÀS EXIGÊNCIAS LEGAIS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2014

Prof. Dieter Wartchow
Dr. pela Universidade Stuttgart
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)
Dr. pela Universidade Stuttgart

Eng. Daniela da Costa Bemfica (DEP/PMPA)
Me. pela UFRGS

Prof. Felipe Krüger Leal (UFRGS)
Me. pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Lúcio e Maria Filomena,
que sempre me apoiaram e especialmente durante o
período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu
lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dieter Wartchow, pelo acompanhamento e apoio fundamentais para o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt pelas críticas construtivas e pela dedicação durante toda a realização desta pesquisa.

Agradeço à Eng. Daniela Costa Bemfica pela presteza e pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço aos meus pais, Lúcio e Maria Filomena, ao meu irmão Giovanni e aos meus tios, Antônio e Adriane pela força e incentivo.

Agradeço a minha namorada Carolina pela ajuda e carinho dedicados.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.

Albert Einstein

RESUMO

O crescimento dos centros urbanos exige atuação preventiva dos órgãos governamentais para amenizar efeitos da urbanização ligados, por exemplo, à disponibilidade de água doce e ao escoamento superficial das águas pluviais. Nesse sentido, foram elaboradas normas e diretrizes para incentivar o uso racional e o reaproveitamento das águas, bem como para controlar e fiscalizar a ocupação dos solos. Essas medidas visam garantir a disponibilidade de água em quantidade suficiente para satisfazer às futuras gerações, além de prevenir problemas de ordem social, econômica e ambiental, ocasionados por enchentes e alagamentos. Considerando a importância do tema, este trabalho analisa a adequação de um empreendimento habitacional à regulamentação de drenagem urbana na fonte e de uso racional da água vigente no município de Porto Alegre. Além disso, deseja-se que esse estudo seja um incentivo para a adoção das práticas indicadas no Manual de Drenagem Urbana, do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre. A partir da revisão bibliográfica, foi elaborado um guia prático com as informações e instruções necessárias a serem cumpridas por novas edificações para atender às exigências legais. Posteriormente, foi efetuada a descrição do empreendimento habitacional estudado e no capítulo seguinte foram aplicados os fluxogramas contidos no guia. Isso permitiu verificar como o empreendimento habitacional empregou técnicas para adequação à regulamentação municipal de drenagem urbana na fonte e de uso racional da água. Por fim, foram apresentadas as considerações finais do trabalho desenvolvido.

Palavras-chave: Controle de Drenagem Urbana na Fonte. Uso Racional de Água em Edificações. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das fases do projeto de pesquisa	18
Figura 2 – Sistema de abastecimento de água e de tratamento de esgoto	22
Figura 3 – Ciclo hidrológico	24
Figura 4 – Subdivisão da Bacia Hidrográfica do Guaíba	26
Figura 5 – Hidrograma em F (à direita) após entrada dos loteamentos A, B, C e D (à esquerda)	29
Figura 6 – Efeito da urbanização sobre o hidrograma	31
Figura 7 – Reservatório de volume simples	36
Figura 8 – Reservatório de volume integrado ao paisagismo	37
Figura 9 – Enchente de 1941, centro de Porto Alegre	39
Figura 10 – Tipos de descarregadores	46
Figura 11 – Fluxograma para dimensionamento do reservatório de amortecimento das águas pluviais com dedução da área impermeável	58
Figura 12 – Fluxograma para dimensionamento do vertedor de segurança	61
Figura 13 – Fluxograma para adequação à regulamentação de uso racional da água	63
Figura 14 – Localização do empreendimento	64
Figura 15 – O empreendimento	65
Figura 16 – Soluções sustentáveis utilizadas no empreendimento	66
Figura 17 – Traçado das águas pluviais até as bacias	67
Figura 18 – Fluxograma para dimensionamento do reservatório de amortecimento das águas pluviais baseado na área contribuinte	73
Figura 19 – Bacia de amortecimento do empreendimento em fase de execução	76
Figura 20 – Reservatórios de incêndio e irrigação do empreendimento	78
Figura 21 – Planta baixa e cortes da bacia 02 do empreendimento	79
Figura 22 – Planta baixa e cortes da bacia 01 do empreendimento	80
Figura 23 – Torneiras com arejadores e equipamentos de medição de água individuais instalados no empreendimento	81
Figura 24 – Bacias sanitárias com volumes reduzidos de descarga instaladas no empreendimento	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações	31
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento em função do tipo de ocupação	27
Tabela 2 – Coeficiente de escoamento em função das superfícies de revestimento	28
Tabela 3 – Porcentagem de reduções da área impermeável	43
Tabela 4 – Diâmetro comercial de acordo com a seção transversal	47, 57
Tabela 5 – Descrição das áreas do empreendimento	68
Tabela 6 – Valores obtidos para cada reservatório	74
Tabela 7 – Dimensões das bacias de amortecimento	76

LISTA DE SIGLAS

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

CE-DEP – Caderno de Encargos do Departamento de Esgotos Pluviais

DEP – Departamento de Esgotos Pluviais

DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

IPH/UFRGS – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PDDrU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

PDDUA – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental

SPM – Secretaria de Planejamento Municipal de Porto Alegre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo Principal	16
2.2.2 Objetivo Secundário	16
2.3 PRESSUPOSTO	17
2.4 PREMISA	17
2.5 DELIMITAÇÕES	17
2.6 LIMITAÇÕES	17
2.7 DELINEAMENTO	18
3 ÁGUAS URBANAS	20
3.1 SISTEMAS HÍDRICOS URBANOS	21
3.2 DISPONIBILIDADE E SUSTENTABILIDADE DAS ÁGUAS	22
3.3 CICLO HIDROLÓGICO	24
3.4 BACIA HIDROGRÁFICA	25
4 DRENAGEM URBANA	29
4.1 IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO NA DRENAGEM	30
4.2 ALAGAMENTOS URBANOS	32
4.3 MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE	32
4.3.1 Infiltração	35
4.3.2 Armazenamento	36
5 LEGISLAÇÃO MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE	38
5.1 REGULAMENTAÇÃO PERTINENTE À DRENAGEM URBANA	38
5.1.1 Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental	39
5.1.2 Plano Diretor de Drenagem Urbana	41
5.1.2.1 Decreto Municipal n. 15.371/2006	42
5.1.2.2 Manual de Drenagem Urbana	43
5.1.2.2.1 Aspectos gerais	43
5.1.2.2.2 Metodologia para dimensionamento dos reservatórios de armazenamento	44
5.1.3 Caderno de Encargos do DEP	47
5.1.3.1 Aspectos gerais	47
5.1.3.2 Metodologia de cálculo	48

5.1.3.3 Projetos de reservatórios de amortecimento de águas pluviais	50
5.1.4 Decreto Municipal n. 18.611/2014	52
5.2 REGULAMENTAÇÃO PERTINENTE AO USO RACIONAL DA ÁGUA	53
5.2.1 Lei n. 10.506/2008	53
5.2.2 Decreto Municipal n. 16.305/2009	54
6 GUIA PRÁTICO PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO	55
6.1 GUIA PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO DE DRENAGEM URBANA NA FONTE	55
6.2 GUIA PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO DE USO RACIONAL DA ÁGUA	62
7 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO HABITACIONAL	64
8 APLICAÇÃO DO GUIA NO EMPREENDIMENTO HABITACIONAL	67
8.1 APLICAÇÃO DOS FLUXOGRAMAS PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO DE DRENAGEM URBANA NA FONTE	68
8.2 APLICAÇÃO DO FLUXOGRAMA PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO DE USO RACIONAL DA ÁGUA	70
9 ADEQUAÇÃO DO EMPREENDIMENTO À REGULAMENTAÇÃO MUNICIPAL	71
9.1 METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO BASEADO NA ÁREA CONTRIBUINTE	71
9.2 APLICAÇÃO DO FLUXOGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE AMORTECIMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS BASEADO NA ÁREA CONTRIBUINTE	74
9.3 ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO DO EMPREENDIMENTO À REGULAMENTAÇÃO MUNICIPAL	75
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil recebeu fortes investimentos do Estado na década de 1940, durante a Era Vargas. Nas décadas seguintes, a predominância dos investimentos privados e estatais, na área, alternou-se. Nos anos 50, o investimento privado foi superior e, por volta de 1970, durante o Governo Militar, voltou a crescer. Foi nesse período, também, que houve um grande crescimento dos centros urbanos devido à migração da população do campo para as cidades.

Os impactos, gerados pelo crescimento acelerado e não planejado das grandes cidades, exigem a análise de alternativas dos projetos hidráulicos a fim de amenizar os efeitos ligados à urbanização no que tange à disponibilidade de água doce e ao escoamento superficial das águas pluviais. O desenvolvimento urbano provoca alterações nas condições naturais das bacias hidrográficas, pois modifica a camada de vegetação existente na região, diminuindo a área permeável. Além disso, são construídas galerias e redes coletoras de esgotos que acarretam aumento da velocidade de escoamento da água.

A crescente impermeabilização dos solos gera inúmeros problemas de ordem social, econômica e ambiental. O aumento na frequência de enchentes e alagamentos é um dos principais transtornos que geram riscos à população, além de perdas materiais. Outra consequência, relacionada à redução da infiltração no solo, é a diminuição da qualidade da água devido ao aumento de resíduos sólidos e poluentes nos canais de drenagem, oriundos das lavagens de telhados, passeios e vias públicas.

Como tentativa de mitigar os problemas ocasionados pela intensificação do escoamento superficial, são elaboradas técnicas de controle de drenagem urbana. Porto et al. (2007, p. 805) definem drenagem urbana como o “[...] conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.”.

Nas grandes cidades, cresce gradativamente a preocupação por parte dos órgãos governamentais com a gestão dos recursos hídricos de forma integrada buscando soluções

preventivas para os problemas oriundos do desenvolvimento urbano, incluindo a criação de leis que incentivam o uso racional e o reaproveitamento da água, além da definição da ocupação do espaço urbano para preservar a infiltração e as condições naturais do ambiente. No entanto, Tucci (2000, p. 16) afirma que, no Brasil, em comparação com países desenvolvidos, as ações públicas atuais ainda podem ser consideradas insuficientes para antecipar parte dos problemas, estando mais direcionadas para obras de controle estruturais.

No município de Porto Alegre, foi elaborado o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) que visa incorporar dispositivos de controle do escoamento nos novos empreendimentos, tendo como pressuposto a não transferência dos impactos da urbanização para outras áreas e para as redes de drenagem da cidade (PORTO ALEGRE, 2005). Em 2014, foi sancionado o Decreto Municipal n. 18.611 que regulamenta o controle de drenagem urbana (PORTO ALEGRE, 2014). E, em relação à disponibilidade de água, foi instituída a Lei n. 10.506 que tem como objetivo a adoção de práticas de sustentabilidade nas novas edificações (PORTO ALEGRE, 2008a).

Desta forma, considerando os efeitos do desenvolvimento urbano e os inúmeros problemas ocasionados pela falta de planejamento e de controle do uso do solo, assim como os consequentes impactos nos sistemas de drenagem e na qualidade da água superficial e subterrânea, torna-se relevante adequar a conduta dos profissionais envolvidos na construção civil. Portanto, este trabalho analisa as normas técnicas e diretrizes municipais relacionadas com o uso racional da água e com a drenagem urbana impostas às novas edificações, bem como verifica a adequação a essas regras por um empreendimento de habitação localizado na zona sul de Porto Alegre. Trata-se de um condomínio vertical multifamiliar composto por duas edificações num total de quarenta e oito apartamentos por torre, que, atualmente, encontra-se em fase de conclusão. Além disso, deseja-se que este estudo seja um incentivo para a adoção das práticas indicadas no Manual de Drenagem Urbana, do PDDrU, a fim de diminuir os impactos ambientais e melhorar a qualidade de vida da população.

Assim, no capítulo a seguir são expostas as diretrizes do projeto e na sequência, nos capítulos três, quatro e cinco, são explanados os conceitos fundamentais para a elaboração do estudo. Tais informações são necessárias para facilitar a compreensão dos aspectos que envolvem drenagem urbana e uso racional da água, incluindo a regulamentação pertinente. No sexto

capítulo é apresentado um guia prático, o qual reúne as informações necessárias e os passos para novos empreendimentos obterem adequação à legislação municipal.

O capítulo sétimo aborda a descrição do empreendimento analisado. No capítulo oitavo são aplicados os fluxogramas contidos no guia para facilitar a comparação e a análise, realizada no capítulo nono, do referido empreendimento. E, por fim, são apresentadas as considerações finais do trabalho desenvolvido.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: como o empreendimento habitacional analisado empregou técnicas para atender à regulamentação de drenagem urbana e de uso racional da água do município de Porto Alegre?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação de como o empreendimento habitacional analisado se adequa à regulamentação de drenagem urbana e de uso racional da água do município de Porto Alegre.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é a elaboração de um guia prático com as informações e instruções necessárias a serem seguidas para adequação de novas edificações à regulamentação vigente no município de Porto Alegre no que tange ao uso racional da água e à drenagem urbana.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que para as novas edificações atenderem à regulamentação de drenagem urbana e de uso racional da água imposta pelo município de Porto Alegre, devem cumprir o indicado na Lei Complementar n. 434/1999, na Lei Ordinária n. 10.506/2008, no Plano Diretor de Drenagem Urbana e nos Decretos Municipais n. 18.611/2014, n. 14.786/2006 e n. 16.305/2009.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a exigência de implantação de técnicas de uso racional da água e de controle de drenagem nos novos empreendimentos, no município de Porto Alegre, é fundamental para evitar desperdício de água e impactos na rede de drenagem da cidade, além de problemas de ordem social, econômica e ambiental.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar uma edificação multifamiliar, localizada na zona sul de Porto Alegre, seguindo a legislação municipal pertinente ao controle de drenagem urbana na fonte e ao uso racional da água.

2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se à verificação das medidas de controle projetadas para o empreendimento habitacional quanto ao cumprimento das exigências legais relativas ao uso racional da água e ao controle de drenagem urbana na fonte, impostas pelo município de Porto Alegre, sem analisar em dados quantitativos o impacto do uso das técnicas empregadas nos volumes de água preservados e não lançados às redes públicas de drenagem.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração de um guia prático para adequação à regulamentação;
- c) descrição do empreendimento habitacional;
- d) aplicação do guia no empreendimento analisado;
- e) análise da adequação do empreendimento;
- f) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das fases do projeto de pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

A **pesquisa bibliográfica** foi realizada durante toda a execução do projeto visando obter informações que contribuem para aprimorar os conhecimentos pertinentes ao objeto de estudo. Nesta etapa do trabalho, foram coletados os dados sobre disponibilidade de água doce, ciclo hidrológico, bacia hidrográfica, efeitos da urbanização e drenagem urbana. Também foi

estudada a regulamentação relativa à drenagem urbana na fonte e ao uso racional da água imposta aos novos empreendimentos no município de Porto Alegre.

A etapa seguinte compreendeu a **elaboração de um guia** para orientar, de maneira prática, os profissionais envolvidos quanto às etapas necessárias a serem cumpridas para adequar as novas edificações à legislação relativa ao uso racional da água e aos controles de drenagem urbana na fonte estabelecida pelo município de Porto Alegre. Posteriormente, foi efetuada a **descrição do empreendimento habitacional** analisado, na qual foram expostas as características tais como: localização, área total, área construída, infraestrutura e população estimada da edificação. Com base nisso, foi efetuada a **aplicação do guia** prático elaborado no empreendimento estudado.

A seguir, foi realizada a **análise da adequação do empreendimento** à regulamentação de Porto Alegre, verificando como as técnicas de uso racional da água e drenagem urbana foram empregadas para atender às exigências legais. E, por fim, foram apresentadas as **considerações finais** do trabalho desenvolvido.

3 ÁGUAS URBANAS

A água é de importância vital para todos os seres vivos, para o desenvolvimento econômico e para o bem estar social. Contudo, o crescimento populacional e a intensificação das atividades agrícolas, urbanas e industriais afetam a disponibilidade desse recurso, pressionando os gestores públicos e os empreendedores a revisar as técnicas construtivas atualmente empregadas sob a ótica da sustentabilidade. A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei n. 9.433, define a água como um bem público, limitado e dotado de valor econômico. No artigo 31, a Lei também prevê “[...] a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos.” (BRASIL, 1997, p. 6).

Nas últimas décadas, o rápido desenvolvimento econômico do Brasil, aliado à redução da mortalidade infantil e à melhoria das condições sanitárias, causou um aumento exponencial da população nos centros urbanos. De acordo com o último censo divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011), no Brasil, 84,36% da população reside em áreas urbanas. Por conseguinte, há um aumento progressivo no consumo de água potável. Não bastasse isso, a disponibilidade de água ainda é afetada pela crescente poluição dos mananciais fazendo com que esse recurso natural diminua cada vez mais, ocasionando um cenário preocupante para futuras gerações caso alguns métodos não sejam repensados.

Nesse sentido, torna-se relevante a utilização de mecanismos de captação e reaproveitamento das águas das chuvas. Além de contribuir para a economia de água potável, essa conduta ainda impacta positivamente os sistemas de drenagem da cidade na ocorrência de grandes precipitações. Assim, considerando a importância de reflexão sobre o assunto, este capítulo trata dos principais sistemas relacionados com a água no meio urbano, da relevância da disponibilidade e sustentabilidade da mesma, bem como apresenta os conceitos de ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.

3.1 SISTEMAS HÍDRICOS URBANOS

Segundo Tucci (2007a, p. 55):

Os principais sistemas relacionados com a água no meio ambiente urbano são:

- a) mananciais de água;
- b) abastecimento de água;
- c) saneamento de efluentes sanitários;
- d) drenagem urbana;
- e) áreas ribeirinhas: rios, lagos e estuários.

O autor explica que os **mananciais** são todas as fontes de água – superficiais e subterrâneas – disponíveis para suprir as necessidades humanas, bem como de animais e de vegetais, e para serem utilizadas nas atividades industriais. A disponibilidade das águas superficiais (que englobam rios, lagos e açudes) varia sazonalmente ao longo dos anos. Dependendo da quantidade de água disponível e do volume consumido em determinada região, é importante armazenar esse recurso em reservatórios para garantir o abastecimento nos períodos de estiagem. Os mananciais subterrâneos compreendem todas as águas disponíveis para consumo que se encontram no subsolo, como é o caso dos lençóis freáticos, sendo necessário um conjunto motor bomba para retirar a água desses aquíferos.

A água captada dos mananciais, após ser tratada em uma estação de tratamento de água (ETA), é distribuída à população através de uma rede. Esse processo caracteriza o sistema de **abastecimento de água**.

Ainda, segundo o mesmo autor, o **saneamento de efluentes** de esgoto sanitário coleta os efluentes e os transporta até uma estação de tratamento de esgotos (ETE). Após o tratamento, a água volta a integrar o corpo hídrico. A figura 2 ilustra como o sistema de abastecimento de água e de tratamento dos efluentes sanitários, oriundos de residências, comércios e indústrias, se relacionam entre si.

Além disso, Tucci (2007a) esclarece que a **drenagem urbana** engloba a rede de coleta, tratamento e retorno aos rios do escoamento superficial gerado pelas precipitações sobre as superfícies urbanas. Devido à falta de planejamento e de controle do uso do solo, além da

falta de restrição quanto ao loteamento de áreas com risco de inundação, as **áreas ribeirinhas** – sem infraestrutura de urbanização – são ocupadas pela população. Nessas áreas, os rios, nos períodos chuvosos, saem do seu leito menor e ocupam o leito maior dentro de um processo natural, atingindo a população da região.

Figura 2 – Sistema de abastecimento de água e de tratamento de esgoto



(fonte: TUCCI, 2007a, p. 56)

3.2 DISPONIBILIDADE E SUSTENTABILIDADE DAS ÁGUAS

De acordo com Tucci (2007a, p. 57), desde a metade do século passado, o volume de água retirado dos mananciais aumentou nove vezes e o consumo humano duplicou nesse mesmo período. Em 2007, o volume disponível de água doce no Planeta, por pessoa, era de 7,3 mil m³, sendo que a previsão é de que esse valor reduza para 4,8 mil m³/pessoa em cerca de 20 anos.

Diversas atividades dos seres humanos requerem a utilização de água e o desenvolvimento econômico impacta consideravelmente o volume de água consumido. Benetti e Bidone (2007, p. 851) citam as principais aplicações que demandam o uso desse bem:

- a) abastecimento público;
- b) consumo industrial;

- c) matéria-prima para indústria;
- d) irrigação;
- e) recreação;
- f) dessedentação de animais;
- g) geração de energia elétrica;
- h) transporte;
- i) diluição de despejos;
- j) preservação da flora e fauna.

Projeções das Nações Unidas estimam que a população mundial chegará até o final desse século a mais de 10 bilhões de pessoas. Com uma pequena variação na taxa de fecundidade, esse mesmo estudo aponta que a população também pode chegar a 15 bilhões até 2100 (UNITED NATIONS POPULATION FUND, 2011, p. 5). Com o crescente aumento populacional, tendem a aumentar as práticas que consomem recursos hídricos e, conseqüentemente, ocorre redução na oferta de água.

A urbanização também provoca impactos na qualidade da água, pois há um aumento nos sedimentos e materiais sólidos que são transportados no escoamento, contaminando as águas pluviais. Ocorre também uma maior contaminação dos aquíferos urbanos no processo natural de infiltração da água precipitada devido ao aumento do lixo e à construção de aterros sanitários, muitas vezes em locais impróprios.

Cresce a preocupação com o uso sustentável da água para garantir a disponibilidade em condições que satisfaçam às futuras gerações. A Política Nacional de Recursos Hídricos engloba esse objetivo, incentivando a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, bem como a atuação na prevenção e defesa da ocorrência de eventos hidrológicos (BRASIL, 1997). Nesse contexto, o papel do governo é fundamental para direcionar as atitudes da população, fomentando o uso consciente e o não desperdício de água potável, e as atividades dos construtores, exigindo o uso de técnicas nas edificações a fim de incorporar nos projetos e obras mecanismos de reaproveitamento de água. No Brasil, foi elaborada a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) que normatiza os requisitos para o aproveitamento de água da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. E, em Porto Alegre, foi instituído o Programa de Conservação, Uso Racional e

Reaproveitamento das Águas pela Lei n. 10.506, a qual promove o uso de alternativas sustentáveis e a educação e conscientização da população sobre a importância desse recurso (PORTO ALEGRE, 2008a).

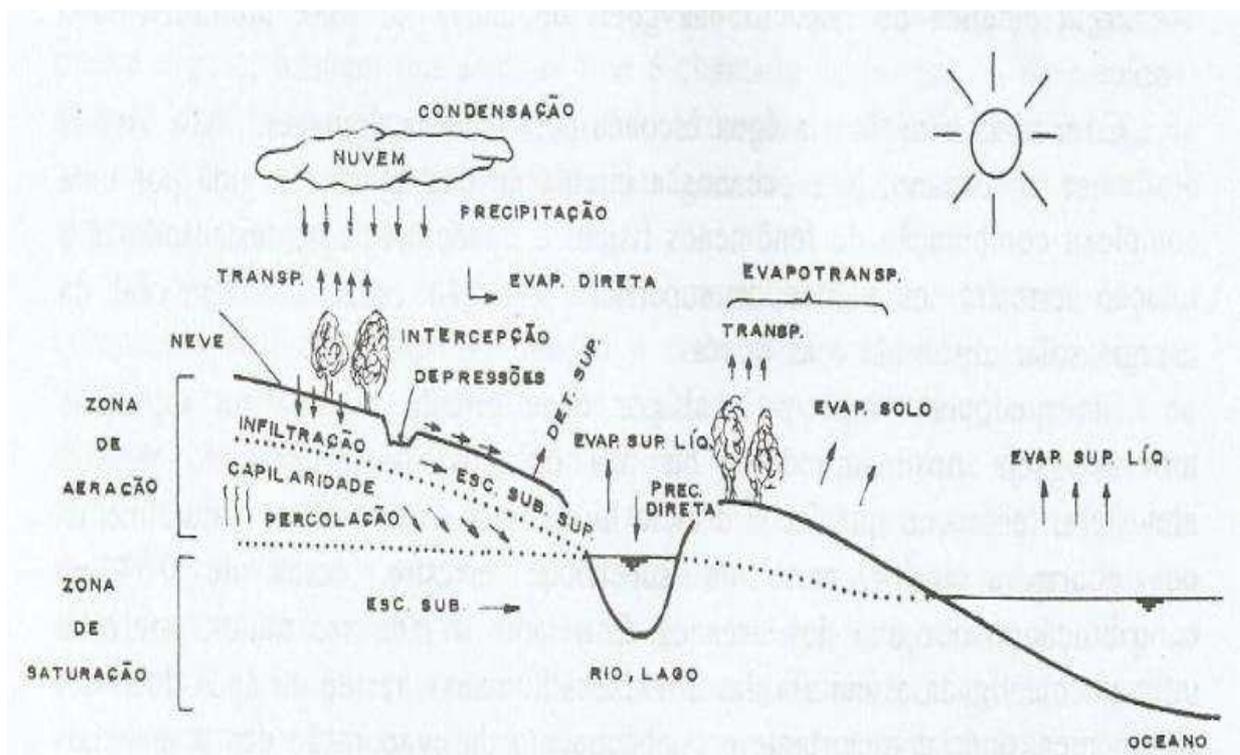
3.3 CICLO HIDROLÓGICO

Segundo Silveira (2007, p. 35), “O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.”. O autor também afirma que esse intercâmbio entre superfície e atmosfera pode ocorrer em dois sentidos:

- a) superfície-atmosfera, ocorrendo o fluxo na forma de vapor através dos fenômenos de evaporação e de transpiração;
- b) atmosfera-superfície, quando o fluxo de água ocorre em qualquer estado físico, sendo mais comuns, as precipitações de chuva e neve.

A figura 3 representa como ocorre esse fenômeno e seus componentes.

Figura 3 – Ciclo hidrológico



(fonte: SILVEIRA, 2007, p. 38)

O desenvolvimento urbano causa impactos no ciclo hidrológico, pois modifica a cobertura vegetal natural. Quando ocorrem as precipitações na forma de chuva, os efeitos nas redes de drenagem urbana são significativos, pois a água não infiltrada no solo provoca escoamento superficial. O nível da água infiltrada está cada vez menor porque a ocupação dos territórios urbanos substitui uma camada de vegetação existente por uma camada impermeável, o que provoca a saturação mais rápida dos solos e o conseqüente aumento no volume escoado e na vazão de pico. Muitas vezes, ocorre uma sobrecarga na rede de drenagem pluvial existente gerando conseqüências como o aumento na frequência de enchentes e de alagamentos.

3.4 BACIA HIDROGRÁFICA

Parte da água precipitada – que não evapora e não infiltra profundamente – escoar pela superfície das bacias hidrográficas que Silveira (2007, p. 41) define como “[...] uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório.”. O escoamento gerado nas vertentes, que compõem as bacias, é transportado pelo declive do solo até o exutório. Portanto, as bacias são formadas por afluentes que deságuam em seu rio principal, transformando chuva em vazão. A representação gráfica é o hidrograma, que representa a saída, e o hietograma, que representa a entrada.

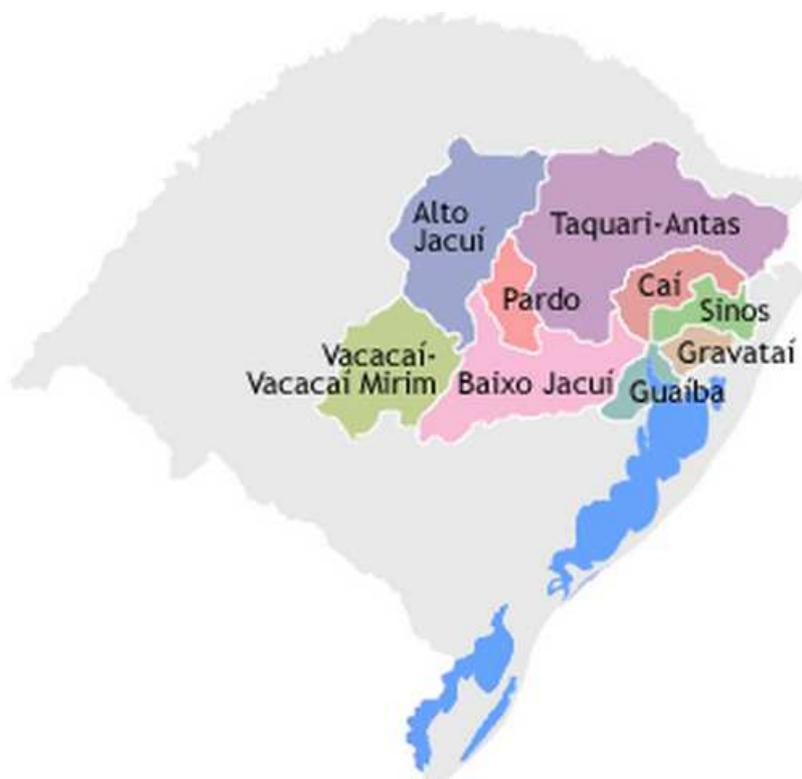
O hidrograma é influenciado por fatores, entre os quais Tucci (2007b, p. 393) destaca:

- a) relevo: a declividade, a forma e o tamanho das bacias influenciam o fluxo da vazão, podendo amortecer ou acelerar o escoamento;
- b) cobertura: a cobertura vegetal permite a infiltração da água no solo, além de possibilitar uma transferência maior da água para a atmosfera através da evapotranspiração. Em meios urbanos, nos quais a cobertura sofre alterações, aumentando as áreas impermeáveis, são construídas redes de drenagem para conduzir o escoamento superficial, o que também provoca um aumento no pico;
- c) modificações artificiais no rio: reservatórios e canalizações tendem a reduzir ou aumentar o pico fazendo com que o nível dos rios se altere;
- d) distribuição, duração e intensidade da precipitação: o local de concentração das chuvas na bacia, seja a montante ou a jusante, além do tempo e da intensidade, alteram o comportamento do hidrograma, influenciando nos picos e na capacidade de armazenamento;
- e) solo: quanto mais úmido o solo, menor a capacidade de infiltração e, conseqüentemente, maior é o escoamento.

As características das bacias, como a área e a densidade de ocupação do solo, influenciam o comportamento da vazão gerada pelas águas precipitadas, tanto no escoamento superficial como no subterrâneo. O hidrograma relaciona-se, ainda, com o tempo de concentração das águas na bacia, o qual Tucci (2007b, p. 394) conceitua como “[...] o tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante na bacia, deslocar-se até a seção principal. Esse tempo é definido também como o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma.”.

O Brasil possui doze bacias hidrográficas, sendo que o Rio Grande do Sul divide-se entre as bacias do Uruguai e do Atlântico Sul. Esta última é subdividida em região hidrográfica do Litoral e do Guaíba, a qual é formada por nove bacias (figura 4), incluindo a Bacia do Lago Guaíba e a do Rio Gravataí, nas quais situa-se a cidade de Porto Alegre (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO E REGIONAL, 2013).

Figura 4 – Subdivisão da Bacia Hidrográfica do Guaíba



(fonte: FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER, 2014)

Ainda, considerando a transformação da chuva em vazão, é importante destacar o conceito de coeficiente de escoamento, o qual relaciona o total de água escoado com o total precipitado,

que é utilizado nos cálculos de vazões e varia conforme o tipo de solo e a urbanização da bacia. O PDDrU (PORTO ALEGRE, 2005) apresenta duas tabelas para determinação do coeficiente de escoamento, uma variando de acordo com o tipo de ocupação (tabela 1) e outra com as superfícies de revestimento (tabela 2).

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento em função do tipo de ocupação

Descrição da área	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	0,35 - 0,50
unidades múltiplas (separadas); partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,50 - 0,60
unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 - 0,75
lotes com > 2.000 m ²	0,30 - 0,45
áreas com apartamentos	0,50 - 0,70
Área industrial:	
indústrias leves	0,50 - 0,80
indústrias pesadas	0,60 - 0,90
Outros:	
matas, parques e campos de esporte, partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas e parques ajardinados	0,05 - 0,20
parques, cemitérios; subúrbio com pequena densidade de construção	0,10 - 0,25
<i>playgrounds</i>	0,20 - 0,35
pátios ferroviários	0,20 - 0,40
áreas sem melhoramentos	0,10 - 0,30

(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 86)

Tabela 2 – Coeficiente de escoamento em função das superfícies de revestimento

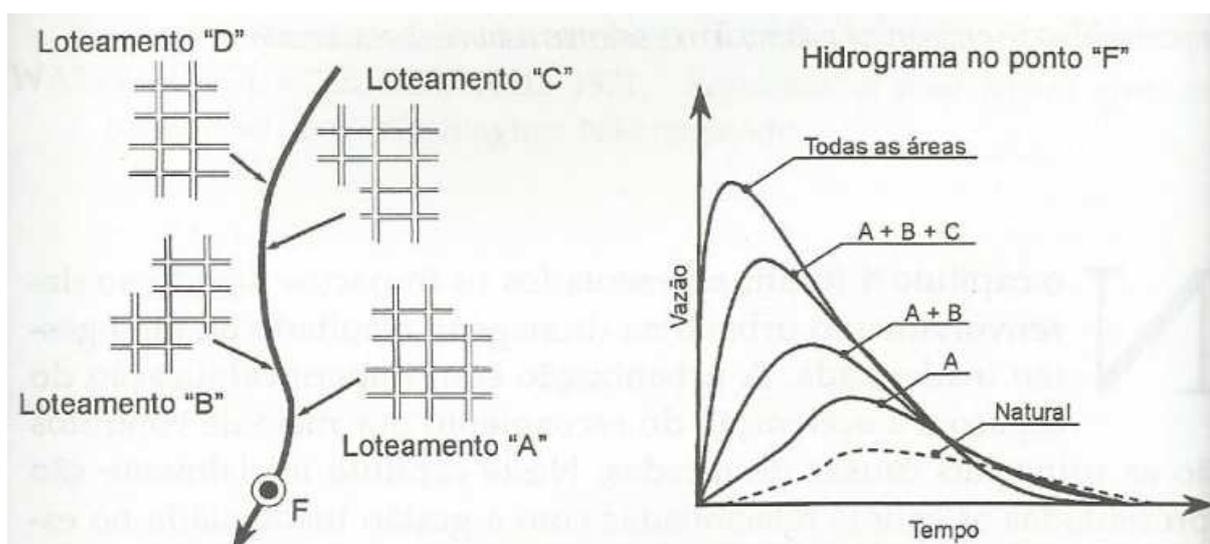
Superfície	c
Pavimento:	
asfalto	0,70 - 0,95
concreto	0,80 - 0,95
calçadas	0,75 - 0,85
telhado	0,75 - 0,95
Cobertura: grama/areia	
plano (declividade 2%)	0,05 - 0,10
médio (declividade de 2 a 7%)	0,10 - 0,15
alta (declividade 7%)	0,15 - 0,20
Gramma, solo pesado:	
plano (declividade 2%)	0,13 - 0,17
médio (declividade de 2 a 7%)	0,18 - 0,22
alta (declividade 7%)	0,25 - 0,35

(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 87)

4 DRENAGEM URBANA

De acordo com Porto et al. (2007, p. 805), “Durante muito tempo o objetivo principal da drenagem urbana foi remover as águas pluviais em excesso da forma mais eficiente possível para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações.”. Essa prática é insustentável, ainda mais com a crescente verticalização dos centros urbanos. Cada novo empreendimento aumenta em várias vezes a vazão natural (pré-desenvolvimento) de águas pluviais. As consequências desse efeito são alagamentos em diversos pontos da rede de drenagem. Na figura 5, é mostrado o aumento da vazão com a execução de novos loteamentos.

Figura 5 – Hidrograma em F (à direita) após a entrada dos loteamentos A, B, C e D (à esquerda)



(fonte: TUCCI, 2007a, p. 186)

Os sistemas de drenagem são classificados como na fonte (ou distribuída), microdrenagem e macrodrenagem. O PDDrU (PORTO ALEGRE, 2005, p. 15), define drenagem na fonte como o escoamento oriundo de condomínio ou empreendimentos individuais, praças, passeios e estacionamentos. A microdrenagem são os condutos pluviais ou canais que agem sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos, sendo definida pelo traçado das ruas e projetada para atender à drenagem de precipitações com risco moderado. A macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem, equivalendo ao

controle sobre os principais riachos urbanos. Além disso, as áreas envolvidas são de, pelo menos, 2 km² ou 200 ha e o sistema precisa ser projetado com capacidade superior ao de microdrenagem, com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais.

O conceito de drenagem urbana é de grande complexidade, tanto que extravasou o campo da engenharia tornando-se um problema gerencial, com componentes políticos e sociológicos. Nos itens seguintes deste capítulo, são abordados os impactos da urbanização no sistema de drenagem, os alagamentos nos centros urbanos devido às alterações no escoamento superficial causado pelo crescimento demográfico e as medidas de controle do escoamento.

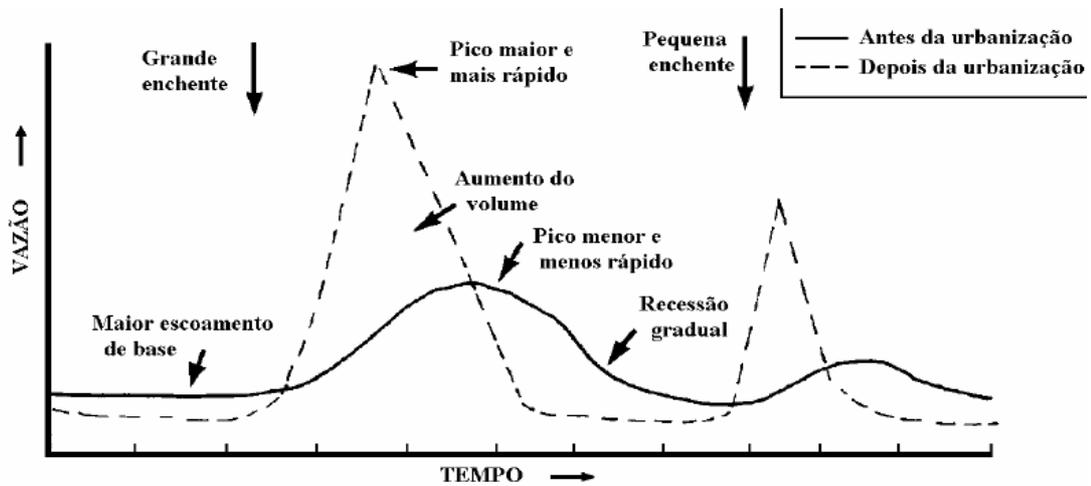
4.1 IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO NA DRENAGEM

Nas últimas décadas, o crescente aumento populacional tem impactado significativamente nas grandes cidades brasileiras, incluindo Porto Alegre, desencadeando uma urgente preocupação com os níveis de ocupação do solo urbano que causam diversos efeitos sobre a infraestrutura dos recursos hídricos. Assim, à medida que a urbanização cresce, Panizzi (2000, p. 9) afirma que:

[...] vemos as indústrias lançando rejeitos nos mananciais que abastecem as cidades; vemos os moradores usando as águas para suas necessidades e largando esgotos, resíduos e lixo nas fontes naturais de água doce; a pavimentação e a construção das cidades tornando menor a possibilidade de infiltração das águas das chuvas no solo, dificultando a formação do ciclo das águas; vemos a saturação de canalizações e esgotos; a drenagem das áreas que poderiam representar bacias de captação; vemos encostas de morros e dos rios tomadas por habitações precárias, produzindo erosão e assoreamento.

A urbanização de grandes centros urbanos impactou negativamente o sistema de drenagem, sendo a impermeabilização do espaço e a aceleração do escoamento por meio de condutos as principais causas. Porto et al. (2007, p. 806) enfatizam que “[...] o pico da cheia numa bacia urbanizada pode chegar a ser 6 vezes maior do que o pico desta mesma bacia em condições naturais.”. A consequência disso pode ser vista na figura 6, que mostra os hidrogramas resultantes de pré e pós-desenvolvimento. A diferença entre os hidrogramas mostra o volume necessário a ser armazenado para manter a situação natural do escoamento.

Figura 6 – Efeito da urbanização sobre o hidrograma



(fonte: TUCCI, 2007a, p. 102)

Os efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas podem ser vistos como uma relação de causas e efeitos (quadro 1), segundo Porto et al. (2007, p. 807).

Quadro 1 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Maiores picos e vazões
Redes de drenagem	Maiores picos a jusante
Lixo	Degradação da qualidade da água
	Entupimentos de bueiros e galerias
Redes de esgotos deficientes	Degradação da qualidade da água
	Moléstias de veiculação hídrica
	Inundações: consequências mais sérias
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes
	Mais erosão
	Assoreamento em canais e galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos
	Maiores picos
	Maiores custos de utilidades públicas

(fonte: PORTO et al., 2007, p. 807)

Portanto, o desenvolvimento urbano causa efeitos hidrológicos significativos na drenagem urbana. Esse fato torna-se mais evidente ao considerar as condições brasileiras das últimas décadas, marcadas pela ausência de um planejamento urbano e pelo crescimento acelerado e desordenado das populações urbanas.

4.2 ALAGAMENTOS URBANOS

Do final dos anos 1960 até o final dos anos 1990, ocorreu um grande desenvolvimento urbano no Brasil. A urbanização acarreta uma maior concentração espacial das demandas sobre os recursos hídricos e traz como consequência a impermeabilização do solo, causando agravamento das enchentes urbanas.

Nos últimos anos, o crescimento urbano vem acontecendo principalmente na periferia das metrópoles. Segundo Tucci (2000, p. 16), “O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido um aumento caótico na frequência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água.”. Tucci (2007c, p. 621) afirma que “Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem as inundações.”.

A ocupação dessas áreas de risco pode trazer como consequência prejuízos humanos e materiais de grande intensidade à população carente, a qual tende a ocupar áreas de alto risco de inundação e de desmoronamento, ao contrário da população de maior poder aquisitivo, que ocupa os locais mais seguros. O risco é desprezado e a população ganha confiança em ocupar áreas urbanas impróprias quando a ocorrência de inundações é baixa, ficando, assim, sujeita a enchentes que atingem essas regiões. Tucci (2007c, p. 621) sugere que a ocupação dessas áreas pode ser desestimulada com a formulação de Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano das cidades de modo a estabelecer o planejamento dos níveis de ocupação do solo.

Por conseguinte, devido à falta de planejamento na ocupação dos solos urbanos, aliada ao crescimento significativo da população, há um aumento das superfícies impermeáveis. Como consequência, há um acréscimo nas vazões máximas, redução do tempo de concentração e aumento do volume escoado, ocasionando transtornos e prejuízos resultantes do aumento da frequência de enchentes.

4.3 MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE

As medidas de controle do escoamento podem ser realizadas em diferentes estágios do desenvolvimento urbano. Em áreas já desenvolvidas, o principal objetivo é de corrigir os problemas existentes na drenagem ou tornar o ambiente do escoamento o mais natural

possível. Quando o cenário é de desenvolvimento de uma nova urbanização, é possível amenizar os impactos desde o início, garantindo manutenção dos caminhos naturais do escoamento, infiltração do escoamento excedente das áreas impermeáveis e desenvolvendo áreas de proteção através do planejamento das bacias.

As principais medidas de controle em áreas já desenvolvidas englobam a infiltração e a percolação (movimento das águas infiltradas através do solo). Esse tipo de recurso transfere o fluxo da superfície para o interior do solo, entretanto, em áreas nas quais a contaminação da água pluvial é alta ou o nível do lençol freático é muito alto, não se deve usar essa medida. Outra alternativa importante é a construção de reservatórios usados para armazenar parte do volume escoado, distribuindo a vazão no tempo. Medidas como aumento da eficiência do escoamento, diques e estações de bombeamento são soluções que tendem a transferir enchentes de uma área para outra, pois seus objetivos são acelerar o escoamento e proteger as áreas de risco contra o extravasamento.

Tucci (2007a, p. 191) define que “Os princípios básicos do controle do escoamento pluvial tanto devido às enchentes naturais da várzea como à urbanização são [...]” os mencionados a seguir:

- a) a bacia como sistema;
- b) as medidas de controle no conjunto da bacia;
- c) os meios;
- d) o horizonte de expansão;
- e) critérios sustentáveis;
- f) o controle permanente;
- g) a educação;
- h) a administração.

O autor explica que a bacia como sistema deve fazer parte do plano de controle de águas pluviais da cidade. A prática atual de projetos de drenagem pluvial é o de transportar para jusante todo o excesso de água gerado pela impermeabilização. Assim, à medida que aumenta a urbanização, aumentam os volumes escoados e as vazões máximas. O controle tem sido em canalizar o escoamento, entretanto, as medidas não devem reduzir o impacto de uma área em razão de outra, isto é, os impactos devem ser controlados considerando o conjunto da bacia, evitando a transferência para jusante de seus efeitos.

As medidas de controle no conjunto da bacia podem ser do tipo estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais são obras de engenharia construídas para reduzir o risco de enchentes e envolvem altos custos. Logo, devem ser minimizadas. Enquanto que as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes.

Os meios de controle são o Plano Diretor Urbano e as exigências legais. No caso de Porto Alegre, também foi elaborado o Manual de Drenagem. O horizonte de expansão compreende a gestão pública, a qual deve atuar preventivamente nos novos empreendimentos e edificações, além de controlar a densificação das áreas já desenvolvidas.

Os critérios sustentáveis definem que cada usuário urbano não deve ampliar a cheia natural. A ocupação do espaço urbano e a drenagem das águas pluviais devem garantir que ocorra a infiltração, mantendo a permeabilidade natural.

O controle permanente é a fiscalização rigorosa e constante para que as leis sejam cumpridas e, também, a fiscalização da ocupação das áreas impróprias. A educação de todos os profissionais envolvidos deve compreender a relevância desse assunto para que sejam tomadas as decisões certas. A administração é um processo local e a aprovação dos projetos é competência dos órgãos municipais.

Para evitar que as consequências da urbanização sejam transferidas para a jusante, é fundamental o seu controle na fonte. Segundo Tucci (2007a, p. 195):

As principais medidas de controle localizadas no lote [...] são as seguintes:

- a) aumento de áreas de infiltração e percolação; e
- b) armazenamento temporário em reservatórios residenciais ou telhados.

Araújo et al. (2000, p. 351) acrescentam que:

A tendência moderna na área de drenagem urbana, atualmente, é a busca da manutenção das condições de pré-desenvolvimento dos escoamentos em bacias urbanas, surgindo, assim, como uma solução desses problemas, a utilização de dispositivos de acréscimo de infiltração e de aumento de retardo do escoamento.

4.3.1 Infiltração

A infiltração é a passagem do fluxo de água da superfície para as camadas internas do solo. A capacidade de infiltração depende do tipo do solo e do estado inicial de umidade. Solos arenosos permitem maior infiltração em comparação com os argilosos, os quais tendem a saturar com maior rapidez inviabilizando uma redução considerável do escoamento superficial. Deste modo, solos arenosos são os mais eficazes, pois retêm por mais tempo o fluxo subterrâneo, reduzindo assim o volume final do hidrograma e os efeitos a jusante.

Entre os dispositivos que aumentam a infiltração, Tucci (2007a, p. 197) indica os seguintes:

- a) planos de infiltração: são espaços permeáveis do lote (geralmente gramados), com a função de captar as águas precipitadas das áreas construídas (edifícios e residências) a fim de drenar o fluxo pluvial. Esse método é considerado mais eficiente quando a declividade do terreno é inferior a 5%, para evitar a concentração do fluxo;
- b) valos de infiltração: são canais construídos nas áreas laterais do lote, destinados a coletar as águas das áreas vizinhas, possibilitando a infiltração ao longo do seu comprimento;
- c) trincheiras: é o método que consiste na escavação do solo, substituindo a terra removida por cascalhos, o que possibilita a percolação e o armazenamento das águas provenientes das superfícies impermeáveis, como, por exemplo, telhados;
- d) pavimentos permeáveis: são dispositivos que garantem a infiltração através de superfícies permeáveis que permitem que o fluxo seja direcionado para reservatórios de pedras construídas sob a superfície. São indicados para áreas de pouco tráfego, tais como estacionamentos e passeios. Há basicamente três tipos: bloco vazado, concreto poroso e asfalto poroso.

A escolha e a combinação das alternativas mais adequadas a serem utilizadas entre esses dispositivos dependem de fatores como situação atual do terreno, condições de escavação existente, tipo do solo e do projeto a ser construído. Araújo et al. (2000, p. 351) enfatizam que o pavimento permeável “[...] é capaz de reduzir volumes de escoamento superficial e vazões de pico em níveis iguais ou até inferiores aos observados antes da urbanização.”.

4.3.2 Armazenamento

Os dispositivos de armazenamento detêm as águas pluviais em reservatórios, amortecendo o volume lançado nas redes de drenagem públicas, na medida em que diminui a vazão de saída do lote. A água retida pode servir, posteriormente, para irrigação de jardins e lavagem de calçadas.

Cruz et al. (2000, p. 364) apontam como vantagens do armazenamento na fonte, entre outras, os seguintes aspectos: atuação de controle diretamente na origem, recuperação do amortecimento natural, minimização dos efeitos a jusante devido à impermeabilização, atribuição de responsabilidade ao agente causador da impermeabilização da área. Os reservatórios podem ser construídos como um volume simples (figura 7) ou integrados ao projeto de paisagismo dos empreendimentos (figura 8). Geralmente, o volume de armazenamento necessário é definido pela regulamentação vigente nos municípios, que limita a vazão transferida para os condutos pluviais.

Figura 7 – Reservatório de volume simples



(fonte: TUCCI, 2007a, p. 209)

Figura 8 – Reservatório de volume integrado ao paisagismo



(fonte: adaptada de TUCCI, 2007a, p. 210)

5 LEGISLAÇÃO MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE

Considerando a crescente urbanização que acarreta uma elevação no consumo de água potável e um aumento na frequência de enchentes e de alagamentos, foi necessário estabelecer exigências legais para a utilização de mecanismos de controle nos novos empreendimentos. Essa prática visa garantir um melhor aproveitamento da água e um melhor controle do escoamento superficial.

Tucci (2007a, p. 29-30) destaca que “[...] a pressão imobiliária procura maximizar o lucro da exploração do uso do solo, como a verticalização e o aumento da impermeabilização. Cabe à gestão pública a regulamentação da ocupação do solo, sua integração à infraestrutura e a conservação do ambiente urbano [...]”.

Neste capítulo, são analisadas as exigências legais impostas pelo município de Porto Alegre no que tange às leis criadas para amenizar os impactos da urbanização acima citados. Vale salientar que o Decreto n. 15.371/2006 e os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do Decreto n. 14.786/2004, recentemente revogados pela publicação do Decreto n. 18.611 em 9 de abril de 2014, estão aqui apresentados para fins de análise da adequação do empreendimento em estudo.

5.1 REGULAMENTAÇÃO PERTINENTE À DRENAGEM URBANA

Na década de 1960, no município de Porto Alegre, o extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) realizou um estudo na cidade devido à ocorrência de uma série de graves enchentes, das quais se destaca a de maio de 1941. Nessa ocasião, o lago Guaíba atingiu a cota de 4,75 metros, afetando mais de 70 mil pessoas e inundando o centro da cidade, conforme mostra a figura 9 (PORTO ALEGRE, 2008b).

Porto Alegre, como outras metrópoles, vem sofrendo um aumento constante na urbanização. Áreas exclusivamente rurais estão se transformando em grandes centros residenciais. Assim, Bemfica (2001, p. 479) afirma que “Essa urbanização acelerada aumenta consideravelmente a vazão pluvial, comprometendo seriamente o sistema de drenagem estabelecido na cidade.”.

Neste sentido, o Governo Municipal impõe exigências legais relacionadas à drenagem urbana, as quais são descritas a seguir.

Figura 9 – Enchente de 1941, centro de Porto Alegre



(fonte: PORTO ALEGRE, 2008b)

5.1.1 Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (PDDUA) dispõe sobre a ocupação e uso do solo urbano, incorporando também um enfoque ambiental na definição dos projetos, visando à sustentabilidade econômica, social e ambiental. O atual PDDUA foi instituído pela Lei Complementar n. 434, de 1 de dezembro de 1999, passando a vigorar a partir de março do ano de 2000. Houve muitas alterações em relação ao PDDUA anterior, de 1979, incluindo o controle do escoamento, com a introdução de dois artigos relativos à drenagem urbana.

O PDDUA é dividido em quatro partes, quais sejam:

- a) do Desenvolvimento Urbano e Ambiental;
- b) do Sistema de Planejamento;
- c) do Plano Regulador;
- d) das Disposições Finais e Transitórias.

O Plano Diretor ainda é composto por sete estratégias que definem programas e projetos a serem executados para que a cidade atinja os objetivos de desenvolvimento. As sete estratégias são as seguintes:

- a) de Estruturação Urbana;
- b) de Mobilidade Urbana;
- c) de Uso do Solo Privado;
- d) de Qualificação Ambiental;
- e) de Promoção Econômica;
- f) de Produção da Cidade;
- g) do Sistema de Planejamento.

A estratégia de Uso do Solo Privado regula e ordena a ocupação do solo, incluindo o Programa de Gerenciamento do Plano Regulador, que define os dispositivos que regulam a paisagem da cidade, edificada ou não. Nessa parte do PDDUA é que estão incluídos os novos artigos referentes à drenagem urbana.

O artigo 97 estabelece que “Nas zonas identificadas como problemáticas quanto à drenagem urbana, a critério do órgão técnico competente, deverão ser construídos, nos lotes edificados, reservatórios de retenção de águas pluviais.” (PORTO ALEGRE, 1999, p. 50). O parágrafo único do referido artigo define que o zoneamento, as dimensões e a vazão do reservatório de águas pluviais são definidos no Decreto n. 15.371/2006, como também é disposto no inciso X do artigo 163, o qual destaca a necessidade de estabelecer padrões de dimensionamento e vazão dos reservatórios de águas pluviais.

Em relação ao parcelamento do solo, o § 3º, do artigo 135, garante a reserva de faixa não-edificável em determinados lotes destinada à utilização de equipamentos públicos urbanos, compostos pelas redes de abastecimento de água, serviços de esgoto cloacal e pluvial, de energia elétrica, comunicação, iluminação pública e gás. O § 6º do mesmo artigo determina, aos novos empreendimentos, a manutenção das condições hidrológicas da bacia: “Os empreendimentos de parcelamento do solo, na parcela que lhes compete, devem ter, na sua concepção, a permanência das condições hidrológicas originais da bacia, através de alternativas de amortecimento da vazão pluvial, respeitando as diretrizes determinadas pelo macroplano de saneamento e drenagem do município, a ser elaborado pelo Poder Executivo.” (PORTO ALEGRE, 1999, p. 64).

Como se pode perceber, os referidos artigos exigem a implantação de medidas de controle diretamente na fonte e na microdrenagem, como a construção de reservatórios e bacias de amortecimento em lotes e loteamentos. Esses dispositivos visam à detenção do escoamento superficial nas áreas críticas, além de exigir que as vazões pré-existentes sejam mantidas em todos os projetos de novos empreendimentos.

5.1.2 Plano Diretor de Drenagem Urbana

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) foi elaborado pelo Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) em conjunto com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) para apontar soluções aos problemas de drenagem da cidade de Porto Alegre, com base na análise das 27 bacias hidrográficas do município. O estudo envolve a simulação de cenários com diferentes níveis de ocupação do solo permitindo, assim, a detecção de pontos críticos de alagamentos. O objetivo é obter um panorama do sistema de drenagem da cidade, facilitando a identificação das falhas e a proposição de alternativas de melhorias.

O objetivo do PDDrU é (PORTO ALEGRE, 2005, p. 2):

[...] criar os mecanismos de gestão da infraestrutura urbana, relacionados com o escoamento das águas pluviais, dos rios e arroios em áreas urbanas. Este planejamento visa evitar perdas econômicas, melhorar as condições de saneamento e qualidade do meio ambiente da cidade, dentro de princípios econômicos, sociais e ambientais definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental.

O PDDrU tem como produtos (PORTO ALEGRE, 2005, p. 2):

- a) regulamentação para os novos empreendimentos, estabelecida pelo Decreto n. 15.371/2006 e pelo PDDUA;
- b) planos de controle estrutural e não estrutural para os impactos existentes em cada bacia da cidade, propondo alternativas de controle que reduzam as frequências de inundação;
- c) Manual de Drenagem Urbana, contendo orientações a serem empregadas nos projetos de drenagem do município.

5.1.2.1 Decreto Municipal n. 15.371/2006

O Decreto Municipal n. 15.371, de 17 de novembro de 2006 – substituído pelo Decreto n. 18.611/2014, o qual mantém praticamente o mesmo teor – regulamenta o controle de drenagem urbana proposto nos artigos 97 e 135 do PDDUA. O Decreto destaca a responsabilidade do poder público de evitar o aumento das inundações ocasionadas pela impermeabilização do solo, que afeta a qualidade da água, e pela canalização dos arroios naturais. E destaca, também, a responsabilidade dos empreendedores pela manutenção das condições iniciais da bacia a fim de prevenir transtornos à jusante (PORTO ALEGRE, 2006).

O artigo 1º estabelece que toda nova edificação, que gere área impermeável, deve manter a vazão máxima de saída para a rede pública de drenagem igual ou inferior à vazão natural de pré-desenvolvimento, definida em 20,8 L/(s.ha). Essa exigência pode ser dispensada para terrenos inferiores a 600 m² e para habitações unifamiliares. A água precipitada sobre o lote não pode ser lançada diretamente nos dispositivos externos de drenagem como ruas, sarjetas e condutos pluviais (com exceção das áreas de recuo mantidas como áreas verdes).

O artigo 3º prevê a comprovação, ao DEP, da vazão de saída do lote. Estabelece ainda no § 1º que, quando o projeto for inferior a 100 ha, a capacidade necessária do reservatório é obtida pela fórmula 1:

$$V = 4,25 \times A \times A_I \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

V = volume (m³);

A = área do lote (hectare);

A_I = área impermeável (porcentagem da área total).

Para áreas superiores a 100 ha, o DEP exige um estudo hidrológico específico para determinar o volume do reservatório. A área utilizada no cálculo do reservatório pode ser reduzida por meios de mecanismos de controle na fonte como a utilização de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso), desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis com e sem drenagem e aplicação de trincheiras de infiltração. É considerada área impermeável toda superfície que

impede a infiltração de água para o subsolo. O PDDrU apresenta a tabela 3 com os percentuais de redução da área impermeável no cálculo do volume do reservatório.

Tabela 3 – Porcentagem de reduções da área impermeável

Tipo de medida: drenagem de 100% de superfície impermeável	Redução da área impermeável em %
para uma área de infiltração com drenagem	40
para uma área de infiltração sem drenagem	80
para pavimento permeável	50
para trincheira de infiltração	80

(fonte: adaptada de PORTO ALEGRE, 2005, p. 30)

De acordo com o artigo 4º, é vedada a impermeabilização de outras áreas do terreno após a aprovação do DEP. Caso isso ocorra, deve ser realizado um novo cálculo para retenção do volume adicional gerado.

5.1.2.2 Manual de Drenagem Urbana

O Manual de Drenagem Urbana é parte do PDDrU e foi desenvolvido com base na política de controle da drenagem urbana. O objetivo é orientar a conduta dos profissionais envolvidos na área, sem, no entanto, impor qualquer obrigação legal, com exceção do Decreto Municipal n. 15.371/2006 e da LC n. 434/1999 que são tratados no Manual.

5.1.2.2.1 Aspectos gerais

O Manual considera como agravante dos problemas de drenagem da cidade o aumento da vazão máxima ocasionada pela prática comum de escoar as águas pluviais rapidamente para jusante, além da ocupação irregular das áreas ribeirinhas. Dessa forma, para controlar as inundações e melhorar a qualidade ambiental, o Manual apresenta como princípios (PORTO ALEGRE, 2005, p. 1):

- a) o aumento de vazão devido à urbanização não deve ser transferido para jusante;
- b) deve-se priorizar a recuperação da infiltração natural da bacia, visando à redução dos impactos ambientais;

- c) a bacia hidrográfica deve ser o domínio físico de avaliação dos impactos resultantes de novos empreendimentos, visto que a água não respeita limites políticos;
- d) o horizonte de avaliação deve contemplar futuras ocupações urbanas;
- e) as áreas ribeirinhas somente poderão ser ocupadas a partir de um zoneamento que contemple as condições de enchentes;
- f) as medidas de controle devem ser não-estruturais.

O Manual aborda conceitos fundamentais relacionados com a drenagem urbana, bem como apresenta os impactos causados pela urbanização, os quais já foram expostos nos capítulos anteriores deste trabalho, propondo medidas de controle. Contudo, é importante ressaltar algumas limitações, citadas no Manual, quanto às técnicas de controle utilizadas frequentemente no Brasil. No que se refere à drenagem urbana, o Manual salienta que a simples construção de condutos para a canalização do escoamento apenas amplia a vazão máxima e dobra o prejuízo, na medida em que os custos de construção são elevados e não resolvem os problemas, apenas os transferem, causando mais prejuízos à jusante. Em relação às áreas ribeirinhas, o Manual afirma que os gastos públicos também são elevados, pois o controle está baseado na construção de obras de contenção de cheias e, quando ocorrem alagamentos em áreas ainda desprotegidas, a solução é o fornecimento de recursos – em caráter emergencial – aos atingidos pelas inundações.

5.1.2.2.2 Metodologia para dimensionamento dos reservatórios de armazenamento

Complementando as exigências contidas no Decreto n. 15.371/2006, o Manual apresenta uma metodologia para determinação das estruturas de armazenamento para a cidade de Porto Alegre, visto que a determinação do volume necessário, obtido a partir do referido Decreto, não garante o correto funcionamento hidráulico do dispositivo de armazenamento. O dimensionamento é composto pelas etapas descritas a seguir, ou seja, determinação:

- a) da vazão de pré-desenvolvimento do lote;
- b) do volume de armazenamento;
- c) da altura disponível para armazenamento;
- d) da seção do descarregador de fundo.

A **determinação da vazão de pré-desenvolvimento do lote** (Q_{pd}) é obtida na fórmula 2:

$$Q_{pd} = 20,8 \times A \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

Q_{pd} = vazão de pré-desenvolvimento (L/s);

A = área do lote (ha).

A **determinação do volume de armazenamento** é estabelecida, conforme o Decreto n. 15.371/2006, pela fórmula 1, já descrita no item 5.1.2.1 deste trabalho:

$$V = 4,25 \times A \times A_I \quad (\text{fórmula 1})$$

Para **determinação da altura disponível para armazenamento**, há que se considerar que a saída do reservatório deve ficar acima da conexão com a rede de drenagem pública, a fim de evitar que a água da rede pluvial entre no reservatório. Para tanto, é necessário projetar a cota de fundo do reservatório. Calculando a diferença entre a cota de topo e de fundo, obtém-se a altura da estrutura. Logo, conhecendo a área disponível para a construção do reservatório, determina-se a altura disponível pela fórmula 3:

$$H = V / A_p \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

H = altura do reservatório (m);

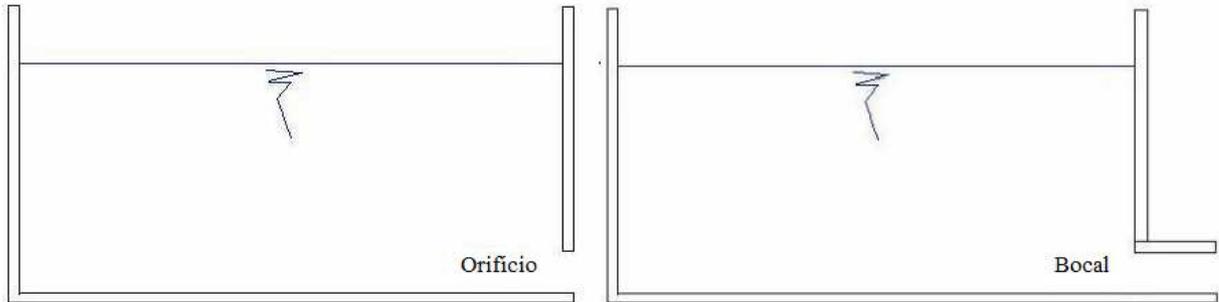
V = volume do armazenamento necessário (m^3);

A_p = área em planta do reservatório (m^2).

A **determinação da seção do descarregador de fundo** depende do tipo de descarregador (figura 10), que pode ser de orifício (simples abertura na parede lateral do reservatório) ou de bocal (colocação de tubo no fundo do reservatório que drena o fluxo para o exterior). O

descarregador de fundo possibilita que a água armazenada seja lançada gradualmente para a rede de drenagem pública.

Figura 10 – Tipos de descarregadores



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 69)

A área da seção transversal do descarregador de fundo do tipo orifício é determinada pela fórmula 4:

$$A_c = (0,37 \times Q_{pd}) / \sqrt{hc} \quad (\text{fórmula 4})$$

Já para descarregador do tipo bocal, a área é definida conforme a fórmula 5:

$$A_c = (0,45 \times Q_{pd}) / \sqrt{hc} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

A_c = área da seção transversal do descarregador (m²);

Q_{pd} = vazão de pré-desenvolvimento (m³/s);

hc = diferença entre o nível máximo da água e o ponto médio do descarregador (m).

No caso de descarregadores circulares, após a determinação da área da seção transversal, o diâmetro comercial é dado na tabela 4.

Tabela 4 – Diâmetro comercial de acordo com a seção transversal

Área (m ²)	Diâmetro comercial (mm)
0,0013	40
0,0020	50
0,0044	75
0,0079	100
0,0177	150
0,0314	200

(fonte: elaborada pelo autor)

5.1.3 Caderno de Encargos do DEP

O Caderno de Encargos do DEP (CE-DEP) foi instituído pelo Decreto Municipal n. 14.786, de 30 de dezembro de 2004. O CE-DEP fixa as normas e diretrizes a serem aplicadas a todos os projetos públicos e privados que modifiquem as redes de drenagem da cidade, submetendo-os à fiscalização e à aprovação pelo DEP. Engloba, ainda, os critérios para manutenção e conservação das casas de bombas e do sistema de proteção contra as cheias do município de Porto Alegre.

5.1.3.1 Aspectos gerais

O CE-DEP prevê que qualquer alteração na rede pluvial originada por novos empreendimentos deve ser autorizada pela Divisão de Obras e Projetos do DEP: “Todo e qualquer projeto elaborado no município de Porto Alegre que possa vir a alterar a configuração de bacias hidrográficas e/ou modificar redes pluviais públicas, talvegues e cursos d’água deve ser submetido à análise e aprovação do DEP.” (PORTO ALEGRE, 2004, p. 7).

Além disso, o CE-DEP estabelece que, para novos loteamentos, conjuntos residenciais e condomínios, é obrigatória a implantação de um sistema de drenagem, sendo que os custos decorrentes são de inteira responsabilidade do empreendedor e, também, reforça a exigência contida na LC 434/99, § 6º do artigo 135, de que devem ser mantidas as condições hidrológicas do pré-desenvolvimento. O CE-DEP determina que os reservatórios de retenção

de águas pluviais, exigidos no artigo 97 da mesma Lei, também devem ter seus projetos aprovados pelo DEP – após a aprovação do estudo de viabilidade do empreendimento pela Secretaria de Planejamento Municipal (SPM) – e aponta os documentos necessários para dar andamento ao processo administrativo de aprovação do projeto de redes pluviais a ser implantado no lote. Após aprovado, o projeto deve ser iniciado no prazo de dois anos. Caso contrário, deve ser aberto novo processo de aprovação.

5.1.3.2 Metodologia de cálculo

Conforme diretrizes do DEP, a intensidade máxima da chuva deve ser calculada considerando a localização do projeto, podendo ser Posto Aeroporto (fórmula 6), Posto 8º DISME (fórmula 7), Posto IPH (fórmula 8) e Posto Redenção (fórmula 9):

$$i_{\text{máx}} = (826,8 \times \text{Tr}^{0,143}) / (\text{td} + 13,3)^{0,79} \quad (\text{fórmula 6})$$

$$i_{\text{máx}} = (1297,9 \times \text{Tr}^{0,171}) / (\text{td} + 11,6)^{0,85} \quad (\text{fórmula 7})$$

$$i_{\text{máx}} = (509,859 \times \text{Tr}^{0,196}) / (\text{td} + 10)^{0,72} \quad (\text{fórmula 8})$$

$$i_{\text{máx}} = (1265,67 \times \text{Tr}^{0,052}) / (\text{td} + 12)^{0,88/\text{Tr}^{0,05}} \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

$i_{\text{máx}}$ = intensidade máxima de chuva (mm/h);

Tr = período de retorno (anos);

td = tempo de duração da chuva, que deve ser igual ao tempo de concentração da bacia contribuinte (minutos).

O CE-DEP define período de retorno (T_r) como “[...] número médio de anos no qual espera-se que o evento analisado (precipitação ou vazão) seja igualado ou superado.” (PORTO ALEGRE, 2004, p. 5). Essa variável é estipulada pelo DEP quando do fornecimento das diretrizes do projeto, sendo comumente utilizado o período de 5 anos para microdrenagem e de 10 anos para macrodrenagem e para os volumes dos reservatórios. Conforme determinado no CE-DEP, o tempo de duração da chuva (t_d) a ser adotado deve ser de 5 minutos para áreas contribuintes menores a 1 ha e com declividade média menor ou igual a 0,2 m/m. Para áreas maiores e com declividade superior, o tempo de concentração da bacia deve ser calculado pela fórmula 10:

$$t_c = 0,01947 \times (L^{0,77} / I^{0,385}) \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

t_c = tempo de concentração da bacia contribuinte (minutos);

L = comprimento do talvegue ou rede contribuinte (m);

I = declividade média (m/m).

A vazão contribuinte deve ser determinada pelo Método Racional quando a área for inferior a 200 ha. Já para áreas maiores, o método utilizado deve ser o Método do Hidrograma Unitário do *Soil Conservation Service*. Esse último método aplica-se às redes de drenagem da cidade e sua metodologia é descrita nos itens 4.6.9 a 4.6.21 do CE-DEP.

Para a transformação de chuva em vazão, nos sistemas de controle de drenagem na fonte, utiliza-se o Método Racional. Para área inferior ou igual a 30 ha, a vazão contribuinte é dada pela fórmula 11. Para áreas entre 30 e 50 ha, emprega-se a fórmula 12. Já para áreas superiores a 50 ha e inferiores a 200 ha, aplica-se a fórmula 13:

$$Q_p = 2,78 \times c \times i_{\text{máx}} \times A_T \quad (\text{fórmula 11})$$

$$Q_p = 2,78 \times c \times i_{\text{máx}} \times A_T^{0,95} \quad (\text{fórmula 12})$$

$$Q_p = 2,78 \times c \times i_{\text{máx}} \times A_T^{0,90} \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

Q_p = vazão contribuinte (L/s);

c = coeficiente de escoamento superficial (estipulado pelo DEP quando do fornecimento das diretrizes do projeto, com base nas tabelas 1 e 2);

$i_{\text{máx}}$ = intensidade máxima de chuva (mm/h);

A_T = área total contribuinte ao reservatório (ha).

5.1.3.3 Projetos de reservatórios de amortecimento de águas pluviais

De acordo com o CE-DEP, “O projeto deve contemplar a implantação de um ou mais reservatórios que recebam todas as águas pluviais geradas pelo imóvel, retornando as vazões de pico, ampliadas pela impermeabilização de superfícies, à condição hidrológica natural do solo.” (PORTO ALEGRE, 2004, p. 18). O projeto a ser apresentado para aprovação do DEP deve conter:

- a) memorial descritivo, incluindo a localização do empreendimento, a metodologia de cálculo adotada e a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART);
- b) planta baixa do loteamento na escala 1:1000 ou 1:2000;
- c) planta detalhe das bacias de amortecimento nas escalas horizontal 1:500 e vertical 1:50.

Até a publicação do Decreto n. 18.611, em 9 de abril, de 2014, era permitido ao projetista escolher a fórmula 14 ou a fórmula 15 para calcular o volume do reservatório de retenção, considerando a disponibilidade hidráulica de 1,0 m de profundidade:

$$V = 0,02 \times A_T \quad (\text{fórmula 14})$$

$$V = 0,04 \times A_I \quad (\text{fórmula 15})$$

Onde:

V = volume do reservatório (m^3 x 1,0 m);

A_T = área total contribuinte ao reservatório (m^2);

A_I = área impermeável contribuinte ao reservatório (m^2).

Caso o projetista optasse pela utilização da fórmula 15, deveria apresentar planilha descritiva de somatório das áreas impermeáveis, podendo descontar, no cálculo, 50% dessas áreas se houvesse utilização de pavimentos que permitem perdas por infiltração ao solo (por exemplo, utilização de pisograma). Além disso, caso não se dispunha de 1,0 m de profundidade para construção do reservatório, o projeto deveria ser adequado à profundidade disponível, mantendo-se o volume calculado. Atualmente, o volume do reservatório deve ser obtido, obrigatoriamente, conforme estabelecido no Decreto n. 18.611/2014, impedindo contradições entre o que estava previsto no Decreto n. 15.371/2006 com o mencionado no CE-DEP.

A saída das águas do reservatório deve se dar por gravidade e o dimensionamento do descarregador de fundo do tipo orifício é obtido pela fórmula 16:

$$A_c = Q_{pd} / (C_2 \times \sqrt{2 \cdot g \cdot H}) \quad (\text{fórmula 16})$$

Onde:

A_c = área da seção transversal do descarregador (m^2);

Q_{pd} = vazão de pré-desenvolvimento (m^3/s);

C_2 = coeficiente de descarga do orifício;

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

H = altura do reservatório (m).

Na ocorrência de chuvas com intensidade superior à projetada, quando o extravasamento do reservatório possa causar danos à propriedade, é recomendada a utilização de um vertedor de segurança, o qual tem a finalidade de permitir a passagem do excesso de água do reservatório para as redes de drenagem da cidade. A lâmina máxima de água sobre a crista do vertedor deve ser de 0,20 m. Além disso, o CE-DEP determina, ainda, um *free-board* de 10 cm sobre a crista. A largura do vertedor é dada pela fórmula 17:

$$B = Q_p / C_1 \times (z - z_k)^{1,5} \quad (\text{fórmula 17})$$

Onde:

B = largura do vertedor (m);

Q_p = vazão contribuinte (m³/s);

C_1 = coeficiente de descarga do vertedor;

z = cota da linha de água (m);

z_k = cota da crista do vertedor (m).

Conforme o CE-DEP, os coeficientes a serem utilizados nas duas fórmulas anteriores devem ser obtidos de bibliografias tradicionais de hidráulica. Tucci e Genz (1995, p. 322) afirmam que comumente são utilizados valores entre 0,6 e 0,7 para coeficientes de descarga do orifício (C_2) e valores entre 1,47 e 1,68 – sendo mais frequente 1,66 – para coeficientes de descarga do vertedor (C_1).

5.1.4 Decreto Municipal n. 18.611/2014

O Decreto Municipal n. 18.611, publicado em 9 de abril de 2014, revoga o Decreto n. 15.371/2006, mas mantém praticamente o mesmo teor. Além disso, revoga os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do CE-DEP que permitiam ao projetista mensurar o volume do reservatório apenas considerando a área contribuinte. Na maioria das vezes, os projetistas aproveitavam-se da livre escolha e da contradição da lei, para dimensionar os reservatórios pela fórmula que resultava no menor volume de armazenamento, beneficiando o empreendedor.

5.2 REGULAMENTAÇÃO PERTINENTE AO USO RACIONAL DA ÁGUA

A regulamentação municipal de Porto Alegre relacionada ao uso racional da água compreende a Lei n. 10.506/2008 e o Decreto n. 16.305/2009, descritos a seguir.

5.2.1 Lei n. 10.506/2008

A Lei n. 10.506, de 5 de agosto de 2008, institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. No seu artigo 1º, parágrafo único, estabelece como objetivo: “[...] a promoção de medidas necessárias à conservação, à redução do desperdício e à utilização de fontes alternativas para a captação e o aproveitamento da água nas edificações, bem como à conscientização dos usuários sobre a sua importância para a vida.” (PORTO ALEGRE, 2008a).

Para evitar o desperdício de água nas edificações, o artigo 5º da Lei determina que sejam utilizadas torneiras com arejadores e utilizados volumes reduzidos e fixos de descarga nas bacias sanitárias e nos chuveiros/lavatórios, respectivamente. No parágrafo único do referido artigo, também é acrescentada a necessidade de utilizar equipamentos individuais para medição da água consumida.

A captação das águas pluviais para reaproveitamento deve ocorrer na cobertura das edificações, sendo que a água captada deve ser transferida para reservatórios de armazenamento, conforme o artigo 9º da Lei. No entanto, a descrição das edificações que se enquadram nessa exigência é definida apenas no Decreto Municipal n. 16.305/2009, que entrou em vigor no ano seguinte. O artigo seguinte estabelece ainda que a água já utilizada – oriunda de tanques, pias, máquinas de lavar, entre outros equipamentos – também deve ser transferida para reservatórios e, posteriormente, reutilizada em descarga de vasos sanitários.

Corroborando o que foi abordado anteriormente neste trabalho quanto à adoção de técnicas estruturadas e práticas sustentáveis por parte dos órgãos públicos e privados, cabe ressaltar o que diz o artigo 7º da Lei: “O reaproveitamento das águas destina-se a diminuir a demanda de água, aumentando as condições de atendimento e reduzindo a possibilidade de inundações.” (PORTO ALEGRE, 2008a).

5.2.2 Decreto Municipal n. 16.305/2009

O Decreto Municipal n. 16.305, de 26 de maio de 2009, regulamenta a Lei n. 10.506/2008. O Decreto tem o intuito de definir regras claras que possibilitem a efetividade das determinações constantes na referida Lei.

O artigo 4º do Decreto dispensa o uso de chuveiros e lavatórios de volumes fixos de descarga (mencionado no artigo 5º da Lei n. 10.506/2008) nas edificações de uso residencial, em locais nos quais é comprovada a inviabilidade técnica para a implantação do sistema hidráulico e em locais onde são tratadas pessoas que merecem cuidados especiais. De acordo com o previsto na Lei n. 10.506/2008, no artigo 4º do Decreto, § 2º, consta a determinação das edificações para as quais é exigido o emprego de mecanismos de captação e reaproveitamento de águas pluviais: “O reaproveitamento das águas das chuvas, para fins de uso não potável, será exigido nas edificações industriais e comerciais que apresentarem individualmente área de cobertura ou telhado igual ou superior a 500 m² [...]” (PORTO ALEGRE, 2009, p. 2).

Por fim, com relação à medição individualizada de consumo de água, é reafirmada, no artigo 7º do Decreto, a necessidade de instalação de hidrômetros individuais nas novas edificações, em conformidade com o previsto no artigo 5º da Lei n. 10.506/2008. É importante destacar, também, o que está estabelecido no artigo 5º do Decreto, o qual determina que qualquer projeto de reaproveitamento de água deve atender às normas técnicas brasileiras e legislações sanitárias e ambientais vigentes, para garantir a qualidade da água a ser reutilizada.

6 GUIA PRÁTICO PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO

Este capítulo apresenta as etapas necessárias a serem executadas para adequação de novas edificações à regulamentação vigente no município de Porto Alegre no que tange à drenagem urbana na fonte e ao uso racional da água. Como trata-se de um guia prático, as fórmulas e tabelas aqui citadas já foram explicadas nos capítulos anteriores e, portanto, apresentam a mesma identificação.

6.1 GUIA PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO DE DRENAGEM URBANA NA FONTE

Para deter o escoamento superficial e manter as vazões pré-existentes, a água precipitada não pode ser lançada diretamente à rede pública da cidade, com exceção das áreas de recuo mantidas como áreas verdes. A vazão máxima de saída do lote deve ser igual ou inferior a 20,8 L/(s.ha). Essa exigência fica dispensada para projetos com área de terreno menor que 600 m² e para habitações unifamiliares.

Quando o controle de drenagem adotado no empreendimento for reservatório de retenção, para projetos com área superior a 100 ha, o DEP exige um estudo hidrológico específico para determinar o volume do reservatório. Já para projetos com área inferior a 100 ha, o volume do reservatório deve ser dimensionado considerando deduções das áreas impermeáveis do projeto (fórmula 18):

$$V = 4,25 \times A \times A_1 \times 10^{-4} \quad (\text{fórmula 18})$$

Onde:

V = volume (m³);

A = área do lote (m²);

A₁ = área impermeável (porcentagem da área total).

É importante salientar que cabe ao projetista definir a necessidade da construção de um ou mais reservatórios de acordo com o projeto arquitetônico. A partir disso, definem-se os pontos de contribuição para cada bacia, pois, por exemplo, se as bacias captarem o mesmo volume de água pluvial, devem ter o mesmo volume de armazenamento. Caso contrário, cada bacia tem seu volume específico.

A área impermeável utilizada no cálculo do volume do reservatório pode ser reduzida se forem aplicados alguns mecanismos de controle na fonte:

- a) redução de 50% quando a superfície for revestida com pavimentos permeáveis;
- b) redução de 40% quando a água oriunda de superfícies impermeáveis for lançada para uma área de infiltração com drenagem;
- c) redução de 80% quando a água oriunda de superfícies impermeáveis for lançada para uma área de infiltração sem drenagem;
- d) redução de 80% quando a água oriunda de superfícies impermeáveis for lançada para trincheiras de infiltração.

A determinação do volume do reservatório, por si só, não garante que seja mantida a vazão natural de pré-desenvolvimento (fórmula 19). Portanto, é necessário determinar a altura disponível para construção do reservatório obtida a partir da altura ou da área disponível para armazenamento (fórmula 3), além de determinar a seção do descarregador de fundo, o qual pode ser de orifício (fórmula 4) ou bocal (fórmula 5). Assim, é possível determinar o diâmetro comercial do descarregador (tabela 4). Os projetos de retenção das águas pluviais, após a aprovação pelo DEP, devem iniciar no prazo de dois anos:

$$Q_{pd} = 20,8 \times A \times 10^{-7} \quad (\text{fórmula 19})$$

$$H = V / A_p \quad (\text{fórmula 3})$$

$$A_c = (0,37 \times Q_{pd}) / \sqrt{hc} \quad (\text{fórmula 4})$$

$$A_c = (0,45 \times Q_{pd}) / \sqrt{hc} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

Q_{pd} = vazão de pré-desenvolvimento (m^3/s);

A = área do lote (m^2);

H = altura do reservatório (m);

V = volume do armazenamento necessário (m^3);

A_p = área em planta do reservatório (m^2);

A_c = área da seção transversal do descarregador (m^2);

hc = diferença entre o nível máximo da água e o ponto médio do descarregador (m).

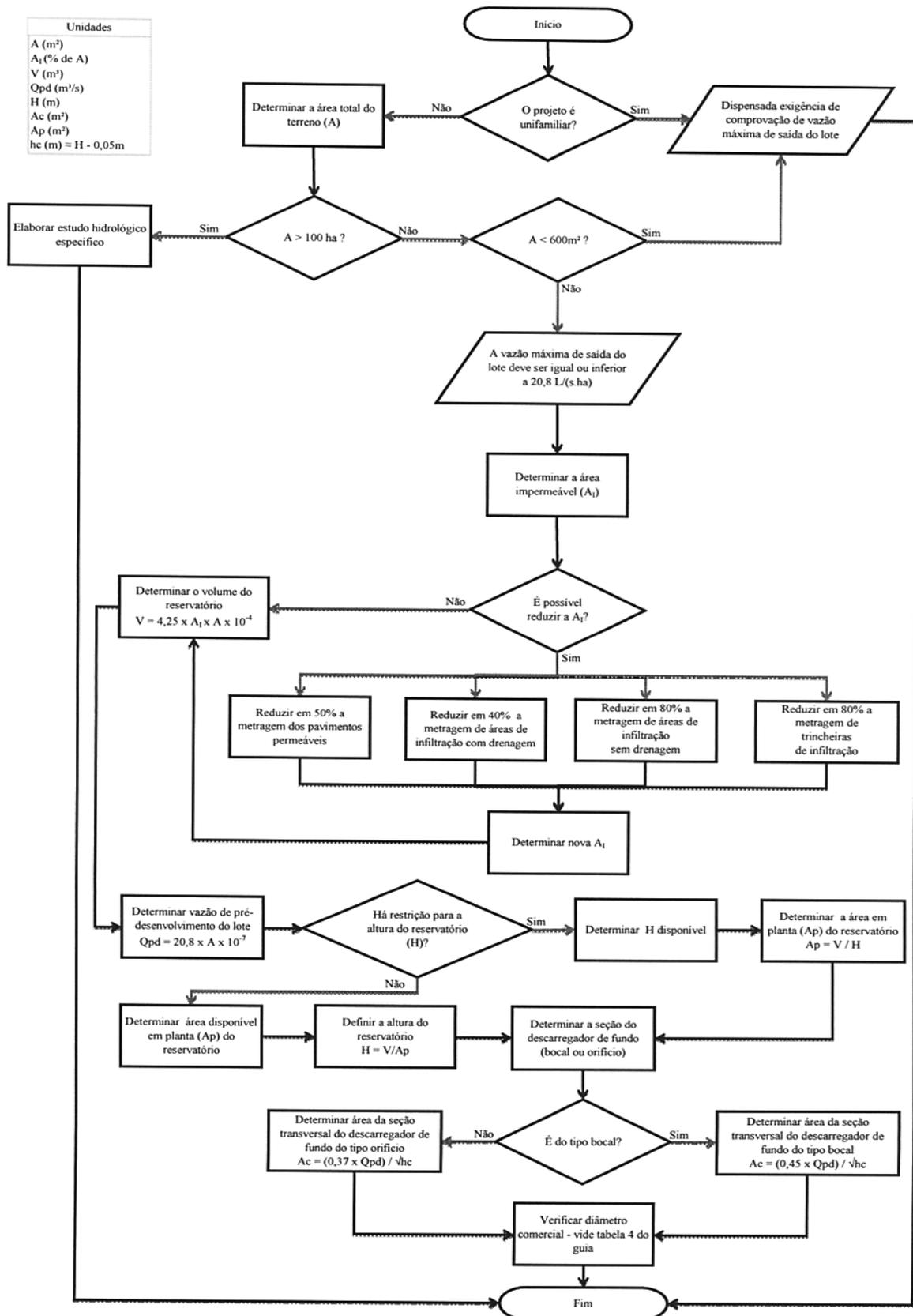
Tabela 4 – Diâmetro comercial de acordo com a seção transversal

Área (m^2)	Diâmetro comercial (mm)
0,0013	40
0,0020	50
0,0044	75
0,0079	100
0,0177	150
0,0314	200

(fonte: elaborada pelo autor)

A figura 11 descreve a sequência das etapas a serem executadas para o dimensionamento do reservatório, de acordo com a legislação de Porto Alegre.

Figura 11 – Fluxograma para dimensionamento do reservatório de amortecimento das águas pluviais com dedução da área impermeável



(fonte: elaborada pelo autor)

Para o dimensionamento do vertedor de segurança, é necessário, primeiramente, definir a intensidade máxima de chuva por uma das seguintes fórmulas a ser indicada pelo DEP, de acordo com a localização do projeto: Posto Aeroporto (fórmula 6), Posto 8° DISME (fórmula 7), Posto IPH (fórmula 8) e Posto Redenção (fórmula 9):

$$i_{\text{máx}} = (826,8 \times \text{Tr}^{0,143}) / (\text{td} + 13,3)^{0,79} \quad (\text{fórmula 6})$$

$$i_{\text{máx}} = (1297,9 \times \text{Tr}^{0,171}) / (\text{td} + 11,6)^{0,85} \quad (\text{fórmula 7})$$

$$i_{\text{máx}} = (509,859 \times \text{Tr}^{0,196}) / (\text{td} + 10)^{0,72} \quad (\text{fórmula 8})$$

$$i_{\text{máx}} = (1265,67 \times \text{Tr}^{0,052}) / (\text{td} + 12)^{0,88/\text{Tr}^{0,05}} \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

$i_{\text{máx}}$ = intensidade máxima de chuva (mm/h);

Tr = período de retorno (anos);

td = tempo de duração da chuva, que deve ser igual ao tempo de concentração da bacia contribuinte (minutos).

Assim, é possível determinar a vazão contribuinte (Q_p), a qual depende da área total do lote ou da área total contribuinte ao reservatório (A_T). Para áreas superiores a 200 ha, a vazão contribuinte é obtida pelo Método do Hidrograma Unitário do *Soil Conservation Service*. Para área inferior ou igual a 30 ha, a vazão contribuinte é dada pela fórmula 20. Para áreas entre 30 e 50 ha, emprega-se a fórmula 21. Já para áreas superiores a 50 ha e inferiores a 200 ha, aplica-se a fórmula 22:

$$Q_p = 2,78 \times c \times i_{\text{máx}} \times A_T \times 10^{-7} \quad (\text{fórmula 20})$$

$$Q_p = 2,78 \times c \times i_{\text{máx}} \times A_T^{0,95} \times 10^{-7} \quad (\text{fórmula 21})$$

$$Q_p = 2,78 \times c \times i_{\text{máx}} \times A_T^{0,90} \times 10^{-7} \quad (\text{fórmula 22})$$

Onde:

Q_p = vazão contribuinte (m^3/s);

c = coeficiente de escoamento superficial;

$i_{\text{máx}}$ = intensidade máxima de chuva (mm/h);

A_T = área total do lote ou área total contribuinte ao reservatório (m^2).

O coeficiente de escoamento superficial é estipulado pelo DEP quando do fornecimento das diretrizes do projeto. A largura do vertedor de segurança do reservatório é calculada pela fórmula 17, considerando uma lâmina máxima de água sobre a crista do vertedor de, no máximo, 20 cm. Além disso, o CE-DEP determina um *free-board* de 10 cm sobre a crista e recomenda, ainda, adotar um valor entre 1,47 e 1,68, sendo mais frequente empregar 1,66, para o coeficiente de descarga do vertedor:

$$B = Q_p / C_1 \times (z - z_k)^{1,5} \quad (\text{fórmula 17})$$

Onde:

B = largura do vertedor (m);

Q_p = vazão contribuinte (m^3/s);

C_1 = coeficiente de descarga do vertedor;

z = cota da linha de água (m);

z_k = cota da crista do vertedor (m).

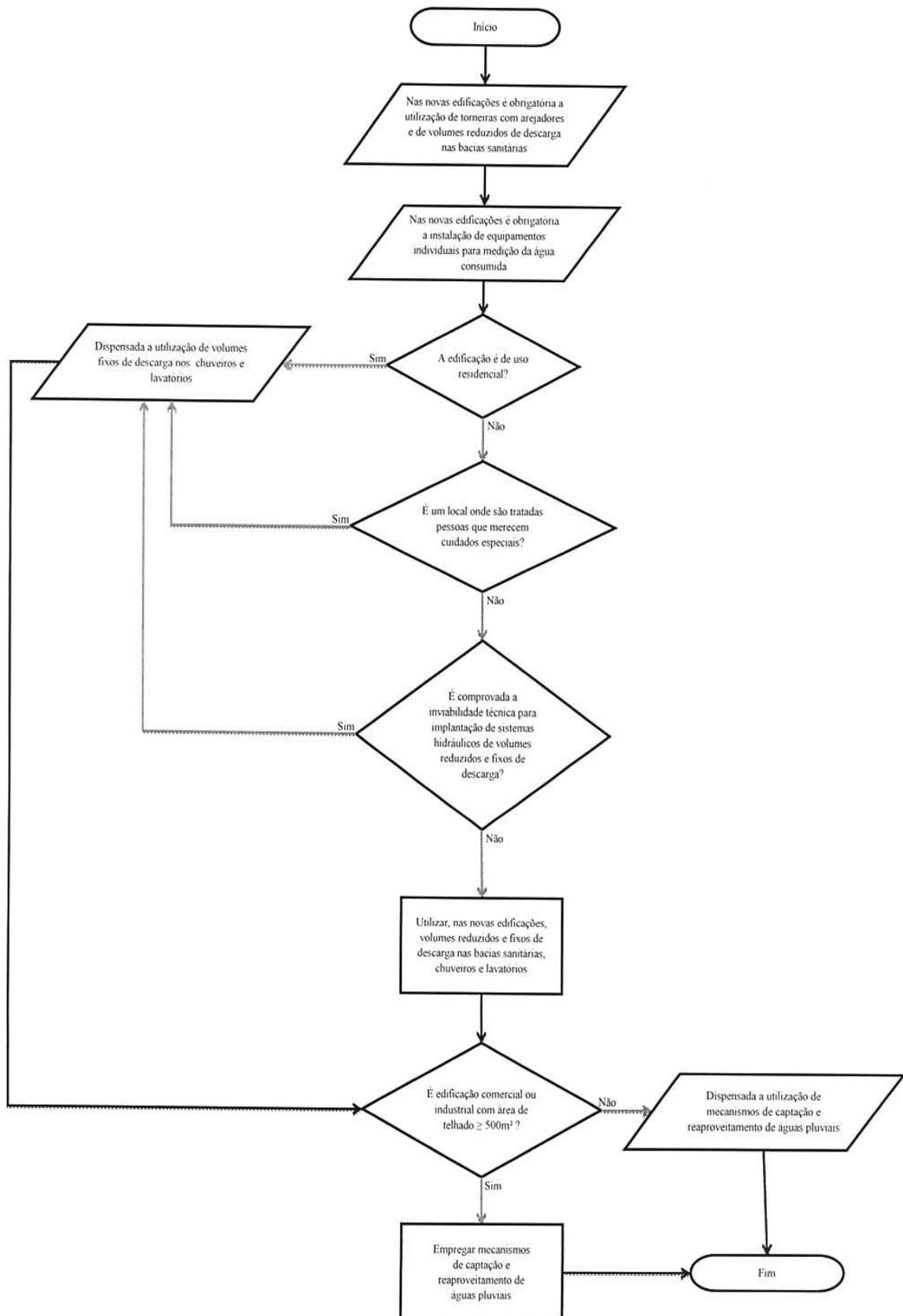
6.2 GUIA PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO DE USO RACIONAL DA ÁGUA

Em relação à regulamentação de uso racional de água, nas novas edificações é obrigatória a utilização de torneiras com arejadores e volumes reduzidos de descarga nas bacias sanitárias, bem como a instalação de equipamentos individuais para medição da água consumida. A utilização de volumes fixos de descarga nos chuveiros e lavatórios não é exigida nas edificações de uso residencial, em locais nos quais é comprovada a inviabilidade técnica para implantação do sistema hidráulico e em locais onde são tratadas pessoas que merecem cuidados especiais.

Para edificações industriais e comerciais com área de cobertura ou telhado igual ou superior a 500 m² é necessário empregar mecanismos de captação e reaproveitamento das águas pluviais. A água deve ser captada na cobertura da edificação e transferida para reservatórios de armazenamento. Nessas edificações, as águas já utilizadas oriundas de tanques, pias, entre outros equipamentos, também devem ser transferidas para reservatórios e, posteriormente, utilizadas em descargas de vasos sanitários.

A figura 13 apresenta as instruções a serem seguidas, de acordo com a legislação de Porto Alegre, para adequação à regulamentação de uso racional da água.

Figura 13 – Fluxograma para adequação à regulamentação de uso racional da água

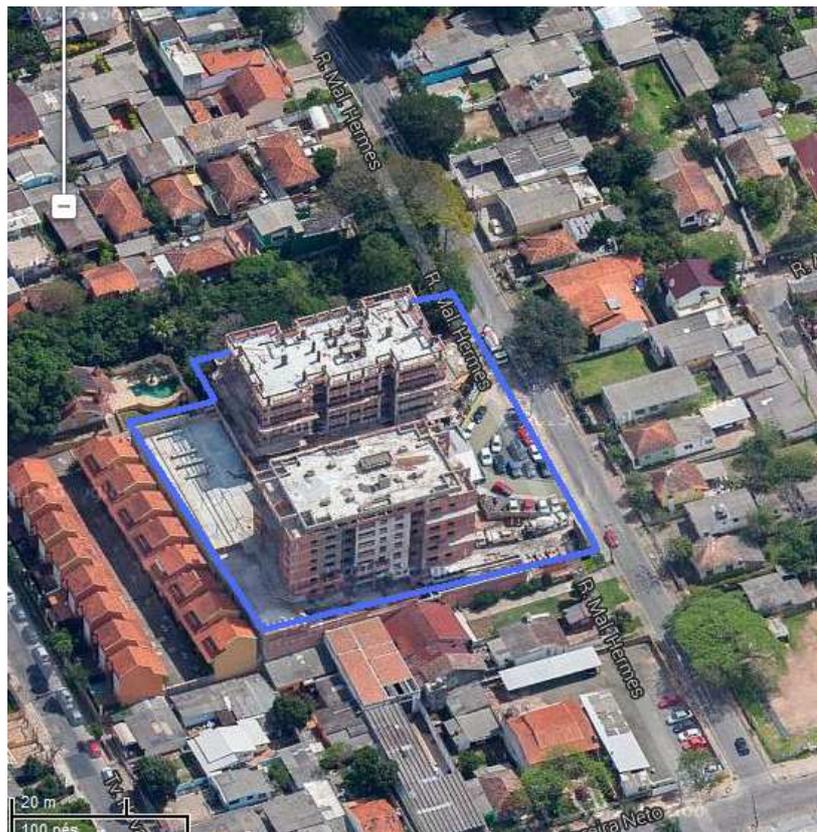


(fonte: elaborada pelo autor)

7 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO HABITACIONAL

A edificação analisada (figura 14) situa-se na zona sul de Porto Alegre, na bacia do Arroio Cavalhada. Essa bacia apresenta baixa capacidade de drenagem na região plana, agravada pela alta velocidade do escoamento oriundo das regiões da cabeceira. Outra característica da região é a ocupação indevida das margens dos arroios pela população. No estudo do PDDrU, simulando cenários futuros com diferentes níveis de ocupação da bacia, a situação torna-se preocupante e uma solução apontada é a implantação de reservatórios de retenção das águas pluviais (ALLASIA et al., 2003).

Figura 14 – Localização do empreendimento



(fonte: adaptada de GOOGLE MAPS, 2014)

O empreendimento estudado é um condomínio residencial (figura 15). O projeto apresenta soluções ecologicamente corretas e economicamente viáveis, principalmente no que se refere ao uso racional da água. Tais técnicas estão alinhadas às atuais necessidades de atitudes

conscientes, contribuindo para o avanço da engenharia na cidade e para o desenvolvimento sustentável.

Figura 15 – O empreendimento



(fonte: elaborada pelo autor)

Conforme pode ser observado na figura 16, o projeto contempla o uso de telhados verdes em partes da cobertura da garagem. No acesso aos estacionamentos foi utilizado pavimento permeável (pisograma). Além disso, as águas pluviais coletadas dos telhados e dos terraços são destinadas para reservatórios de incêndio e de irrigação.

Figura 16 – Soluções sustentáveis utilizadas no empreendimento



(fonte: elaborada pelo autor)

O condomínio ocupa um lote de 3.574,32 m² e tem 12.620,52 m² de área total construída. São duas torres com 96 unidades residenciais, sendo que cada torre possui:

- a) 4 coberturas, com 3 dormitórios;
- b) 14 apartamentos, com 2 dormitórios;
- c) 30 apartamentos, com 3 dormitórios.

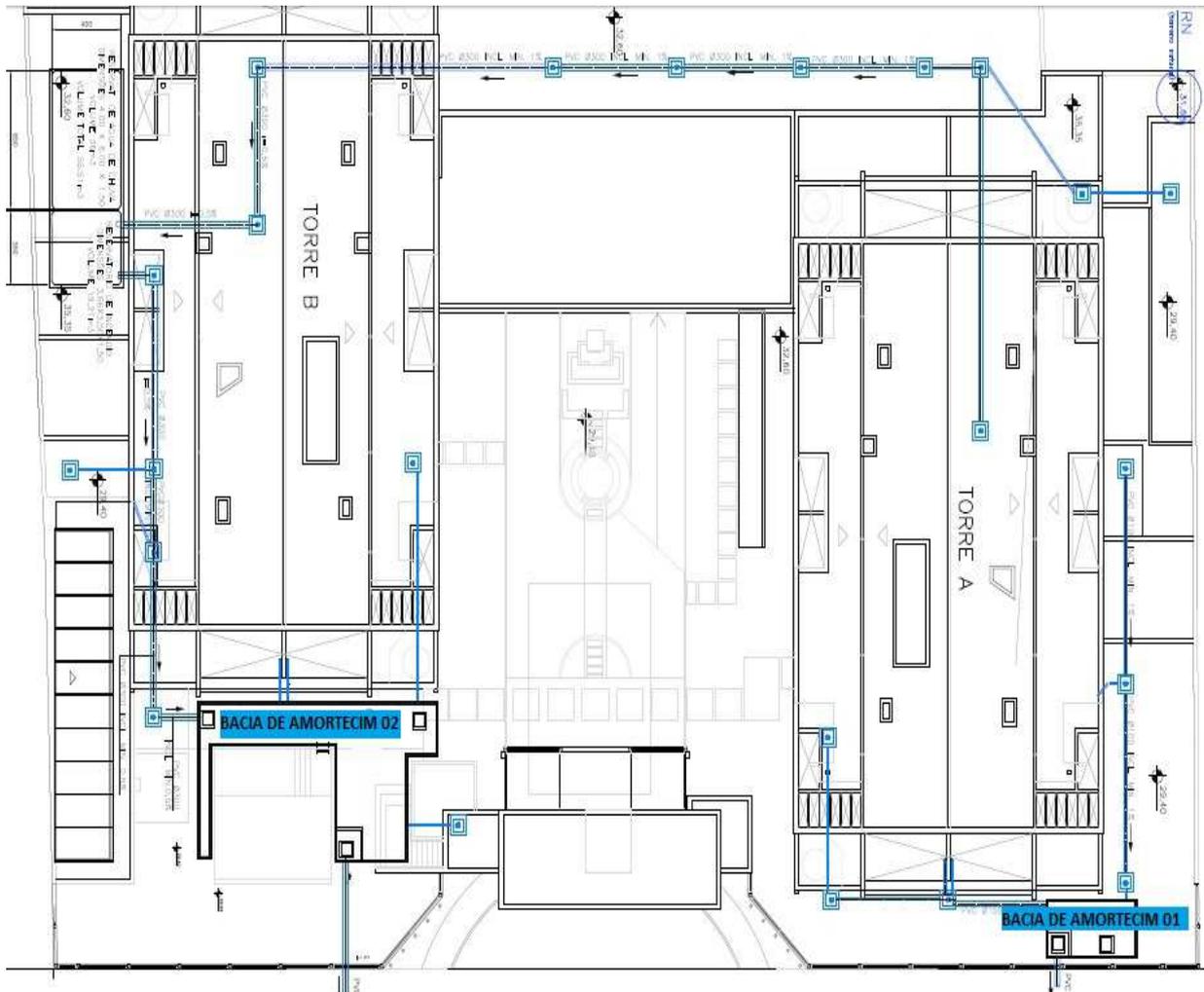
O estacionamento abrange uma área de 3.202,73 m². E a infraestrutura compreende, numa área comum de 751,18 m²: piscinas adulta e infantil, piscina térmica, brinquedoteca, espaço *gourmet*, *solarium*, salão de festas, portaria, academia, *pet care*, espaço mães e fraldário.

De acordo com o artigo 44 do Decreto n. 9.369, o número de habitantes de uma residência ou apartamento deve ser estimado considerando a metragem dos dormitórios. Para quartos com área acima de 12 m², calcula-se 3 pessoas por dormitório. Já para quartos com menos de 12 m², calcula-se 2 pessoas por dormitório (PORTO ALEGRE, 1988). Portanto, a população estimada do condomínio analisado é de 556 habitantes.

8 APLICAÇÃO DO GUIA NO EMPREENDIMENTO HABITACIONAL

A aplicação do guia prático para adequação à regulamentação de drenagem urbana e uso racional da água de Porto Alegre é feita a partir das plantas arquitetônicas do empreendimento. Tendo em vista que o projeto analisado é composto por duas torres (A e B), é necessária a construção de duas bacias de amortecimento. A figura 17 mostra o traçado das águas pluviais coletadas até as bacias. Este capítulo apresenta, em sequência, a aplicação dos fluxogramas contidos no guia proposto no capítulo seis, para posterior análise do empreendimento.

Figura 17 – Traçado das águas pluviais até as bacias



(fonte: elaborada pelo autor)

8.1 APLICAÇÃO DOS FLUXOGRAMAS PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO DE DRENAGEM URBANA NA FONTE

Considerando que o empreendimento habitacional analisado não é um projeto unifamiliar e possui área total de 3.574,32 m², deve ser comprovada a vazão de saída do lote de, no máximo, 20,8 L/(s.ha). Deste modo, o volume de armazenamento do reservatório (ou bacia de amortecimento) é dado em função da área impermeável, a qual sofre deduções dependendo dos mecanismos de controle de drenagem utilizados na edificação. A tabela 5 apresenta a descrição das áreas do empreendimento, sua correspondente classificação como área permeável ou impermeável, bem como, o percentual a ser abatido para determinação da nova área impermeável a ser utilizada no cálculo do volume de cada reservatório.

Tabela 5 – Descrição das áreas do empreendimento

Descrição	Área permeável em m ² (a)	Área impermeável em m ² (b)	Redução da área impermeável	Nova área impermeável em m ² (c)
1. Torre A - Telhado	-	440,20	40%	264,12
2. Torre A - Sacadas 10º pav.	-	154,58	40%	92,75
3. Torre A - Terraço 3º pav.	-	91,10	40%	54,66
4. Torre A - Telhados verdes 3º pav.	-	38,56	40%	23,14
5. Torre A - Jardim	254,07	-	-	-
6. Torre A - Playground	102,22	-	-	-
Nova área impermeável - Reservatório 01				434,66
7. Telhado piscina coberta	-	76,30	40%	45,78
8. Jardim Fitness	13,6	-	-	-
9. Torre B - Telhado	-	440,20	40%	264,12
10. Torre B - Sacadas 10º pav.	-	154,58	40%	92,75
11. Torre B - Terraço 3º pav.	-	123,22	40%	73,93
12. Torre B - Telhados verdes 3º pav.	-	81,96	40%	49,18
13. Piso garagem 2º pav.	-	326,27	40%	195,76
14. Cobertura estacionamento 2º pav.	-	347,94	40%	208,76
15. Garagem telhados verdes 2º pav.	-	234,93	40%	140,96
16. Piscinas descobertas	-	180,09	-	180,09
17. Solarium	-	70,60	-	70,60
18. Solarium - Jardim	32,25	-	-	-
19. Cobertura transformadores	-	10,24	80%	2,05
20. Pisograma térreo	-	125,76	50%	62,88
21. Rampa estacionamento	-	29,55	-	29,55
22. Fonte jardim térreo	49,2	-	-	-
23. Cobertura central de gás	-	16,71	80%	3,34
24. Entrada condomínio	-	25,00	50%	12,50
24. Entrada condomínio - jardim	155,06	-	-	-
Nova área impermeável - Reservatório 02				1432,25
ÁREA PERMEÁVEL (Σa)				606,40
ÁREA IMPERMEÁVEL (Σb)				2967,79
ÁREA TOTAL DO EMPREENDIMENTO				3574,19

(fonte: elaborada pelo autor)

Com as deduções, a área impermeável a ser considerada para determinação do volume do reservatório 01 é de 434,66 m², correspondendo a 12,16% da área total do empreendimento. Portanto, o volume do referido reservatório deve ser de 18,47 m³. Para o reservatório 02, a área impermeável de 1.432,25 m² corresponde a 40,07% da área total do empreendimento, logo o volume desse reservatório deve ser de 60,86 m³. Assim, o volume total armazenado será de 79,33 m³.

Seguindo o fluxograma, a vazão de pré-desenvolvimento do lote (Q_{pd}) é de 0,0074 m³/s. Visto que a cota da rede pública limita a escavação, há restrição de altura para construção dos reservatórios. Para a primeira bacia de amortecimento, a altura disponível é de 0,75 m e, para a segunda, é de 0,80 m. Sendo assim, a área disponível em planta é de 24,62 m² e de 76,07 m², respectivamente, para cada reservatório.

Os descarregadores de fundo são do tipo orifício, portanto, considerando a diferença entre o nível máximo da água e o ponto médio do descarregador (h_c) de 0,70 m para o reservatório 01 e de 0,75 m para o reservatório 02, a área dos descarregadores são, de modo respectivo, 0,0033 m² e 0,0032 m². Logo, o diâmetro comercial adotado deve ser de 75 mm para ambos.

Considerando que o empreendimento localiza-se na área de abrangência do Posto 8° DISME e, adotando tempo de retorno (T_r) igual a 15 anos e tempo de duração de chuva (t_d) de 5 minutos, a intensidade máxima da chuva ($i_{máx}$) é de 189,34 mm/h. A área drenada para o reservatório 01 (A_T) soma 724,44 m² e, para o reservatório 02, totaliza 2.243,35 m². Assim, aplicando-se coeficiente de escoamento superficial (c) de 0,95, a vazão contribuinte (Q_p) é de 0,0362 m³/s para o reservatório 01 e de 0,1122 m³/s.

Para determinar a largura do vertedor de ambos os reservatórios, foi adotado 1,66 como coeficiente de descarga (C_1). A diferença entre a cota da linha da água (z) e a cota da crista do vertedor (z_k) foi estimada em 5 cm para o reservatório 01 e em 10 cm para o reservatório 02. Dessa forma, a largura do vertedor (B) de cada reservatório será de 1,95 m e 2,14 m, respectivamente.

8.2 APLICAÇÃO DO FLUXOGRAMA PARA ADEQUAÇÃO À REGULAMENTAÇÃO DE USO RACIONAL DA ÁGUA

A edificação analisada deve utilizar torneiras com arejadores e volumes reduzidos de descarga nas bacias sanitárias, além de instalar equipamentos individuais para a medição da água consumida. Como trata-se de um empreendimento residencial, é dispensada a utilização de volumes fixos de descarga nos chuveiros e lavatórios, e também não é necessária a utilização de mecanismos de captação e reaproveitamento de águas pluviais.

9 ADEQUAÇÃO DO EMPREENDIMENTO À REGULAMENTAÇÃO MUNICIPAL

Para facilitar a análise do empreendimento, foi elaborado um fluxograma para calcular o volume do reservatório de amortecimento sem dedução da área impermeável, pois a regulamentação vigente à época de sua adequação permitia ao projetista dimensionar o reservatório apenas considerando a área de contribuição, tendo sido esse o método utilizado no empreendimento em questão. Este capítulo apresenta essa metodologia aplicada ao empreendimento e compara com os executados pela construtora, além de analisar a adequação à regulamentação de uso racional da água.

9.1 METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO BASEADO NA ÁREA CONTRIBUINTE

Para mensurar o volume do reservatório, considera-se a área do lote como área total contribuinte e aplica-se a fórmula 14:

$$V = 0,02 \times A_T \quad (\text{fórmula 14})$$

Onde:

V = volume do reservatório (m³);

A_T = área total contribuinte por reservatório (m²).

A saída das águas do reservatório deve se dar por gravidade e o dimensionamento do descarregador de fundo do tipo orifício é obtido pela fórmula 16. O valor adotado para o coeficiente de descarga do orifício deve ser entre 0,6 e 0,7:

$$A_c = Q_{pd} / (C_2 \times \sqrt{2 \cdot g \cdot H}) \quad (\text{fórmula 16})$$

Onde:

A_c = área da seção transversal do descarregador (m^2);

Q_{pd} = vazão de pré-desenvolvimento (m^3/s);

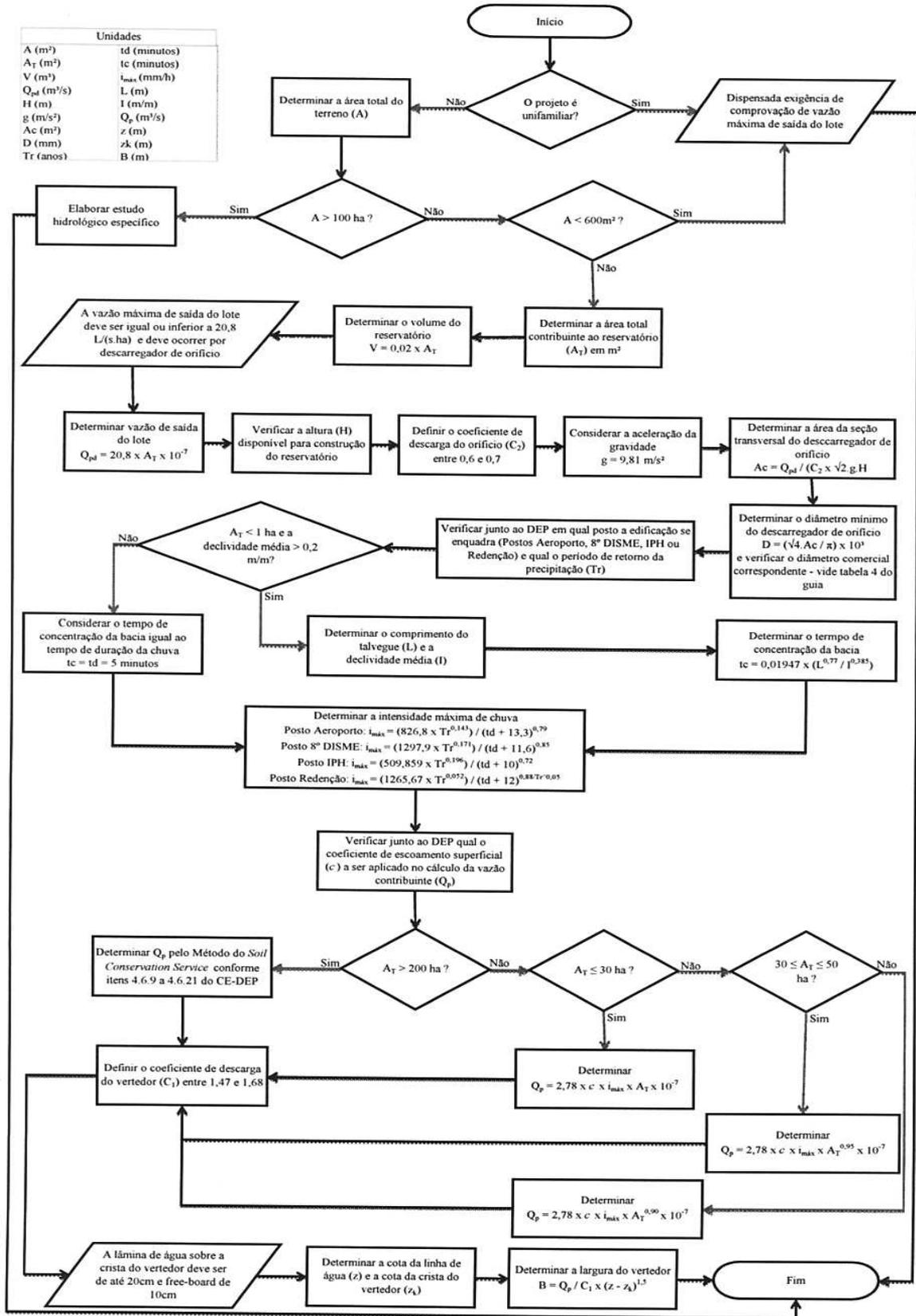
C_2 = coeficiente de descarga do orifício;

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

H = altura do reservatório (m).

A figura 18 apresenta os passos para dimensionar o volume do reservatório, considerando apenas a área total do lote, e a largura do seu respectivo vertedor.

Figura 18 – Fluxograma para dimensionamento do reservatório de amortecimento das águas pluviais baseado na área contribuinte



(fonte: elaborada pelo autor)

9.2 APLICAÇÃO DO FLUXOGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE AMORTECIMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS BASEADO NA ÁREA CONTRIBUINTE

Como trata-se de uma edificação multifamiliar com 3.574,32 m², deve-se determinar a área contribuinte (A_T) para cada reservatório. Para posterior análise da adequação do empreendimento, as bacias serão dimensionadas com as mesmas áreas de contribuição adotadas pelo responsável técnico que projetou essas estruturas. Portanto, a primeira bacia foi dimensionada com área de contribuição de 500 m², enquanto que, a segunda, com 3.074,32 m² de área contribuinte. Com base no fluxograma, a tabela 6 apresenta os valores obtidos para cada reservatório, considerando que a edificação localiza-se no Posto 8º DISME e adotando os seguintes valores:

- a) coeficiente de descarga do orifício (C_2) de 0,62;
- b) tempo de retorno da precipitação (Tr) de 15 anos (mesmo período adotado pelo projetista);
- c) tempo de duração de chuva (td) de 5 minutos;
- d) coeficiente de escoamento superficial (c) de 0,95;
- e) coeficiente de descarga do vertedor (C_1) de 1,66.

Tabela 6 – Valores obtidos para cada reservatório

Grandezas	Reservatório 01	Reservatório 02
A_T (m ²)	500	3074,32
V (m ³)	10	61,487
Q_{pd} (m ³ /s)	0,001	0,0064
H (m)	0,75	0,80
A_c (m ²)	0,0004	0,0026
$D_{\text{mínimo}}$ (mm)	22,56	57,54
$D_{\text{comercial}}$ (mm)	40	75
$i_{\text{máx}}$ (mm/h)	189,34	189,34
Q_p (m ³ /s)	0,025	0,154
$z - z_k$ (m)	0,05	0,1
B (m)	1,35	2,93

(fonte: elaborada pelo autor)

9.3 ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO DO EMPREENDIMENTO À REGULAMENTAÇÃO MUNICIPAL

Considerando a intenção da incorporadora que concebeu e executou o projeto de otimizar a área disponível, com a construção de aproximadamente cem unidades autônomas, e, ao mesmo tempo, oferecer diferenciais para atrair compradores, seria inviável manter a vazão de pré-desenvolvimento do lote apenas mantendo áreas para infiltração e percolação. Portanto, para atender à regulamentação de drenagem urbana vigente em Porto Alegre, foi adotada uma medida de controle estrutural através da construção de bacias de amortecimento das águas pluviais.

A metodologia utilizada para determinação do volume dos reservatórios foi baseada na área total contribuinte, conforme previa os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do CE-DEP, os quais foram revogados pelo Decreto n. 18.611/2014. Essa metodologia além de ser mais simples, também resultava em volumes totais de armazenamento menores do que se fosse utilizado o método com deduções da área impermeável. No caso em questão, empregando-se o método com dedução da área impermeável, o volume total armazenado seria de 79,33 m³, enquanto que no método baseado na área contribuinte o volume passou a ser de 71,48 m³.

De acordo com informações obtidas junto ao responsável técnico que projetou os reservatórios de amortecimento, foi necessária a construção de duas bacias devido ao porte do empreendimento para facilitar a condução das águas pluviais oriundas de cada torre. As bacias foram executadas no pavimento térreo em paredes frente e fundo de concreto armado. A figura 19 mostra a bacia de volume maior em fase de execução, na qual se percebe que foi construída contornando a piscina. É possível observar também a tubulação de entrada das águas na bacia.

Figura 19 – Bacia de amortecimento do empreendimento em fase de execução



(fonte: elaborada pelo autor)

A tabela 7 compara os valores calculados a partir da aplicação do fluxograma sem dedução da área impermeável com as dimensões das bacias de amortecimento construídas.

Tabela 7 – Dimensões das bacias de amortecimento

Grandezas	Reservatório 01		Reservatório 02	
	Esperado	Executado	Esperado	Executado
A_T (m ²)	500	500	3074,32	3074,32
V (m ³)	10	8,3625	61,487	41,52
Q_{pd} (m ³ /s)	0,001	0,001	0,0064	0,0064
H (m)	0,75	0,75	0,80	0,80
A_c (m ²)	0,0004	0,0004	0,0026	0,0026
$D_{\text{mínimo}}$ (mm)	22,56	22,56	57,54	57,54
$D_{\text{comercial}}$ (mm)	40	50	75	75
$i_{\text{máx}}$ (mm/h)	189,34	189,34	189,34	189,34
Q_p (m ³ /s)	0,025	0,025	0,154	0,154
$z - z_k$ (m)	0,05	0,05	0,1	0,1
B (m)	1,35	2,32	2,93	3

(fonte: elaborada pelo autor)

Nota-se que o volume dos reservatórios (V), o diâmetro do descarregador de orifício (D) e a largura linear do vertedor (B) do reservatório 01 não foram executados conforme o previsto na metodologia de cálculo. Apesar disso, o DEP aprovou o projeto das bacias, pois de acordo com o responsável técnico do projeto, foram apresentadas justificativas para o volume menor de armazenamento, em razão da topografia da área que não permite que todo o escoamento se dê por gravidade, restringindo a escavação e, conseqüentemente, as dimensões dos reservatórios. Além disso, o projetista argumentou, junto ao DEP, que os dados pluviométricos – como tempo de retorno igual a 15 anos e intensidade máxima de chuva – utilizados nos cálculos são superestimados.

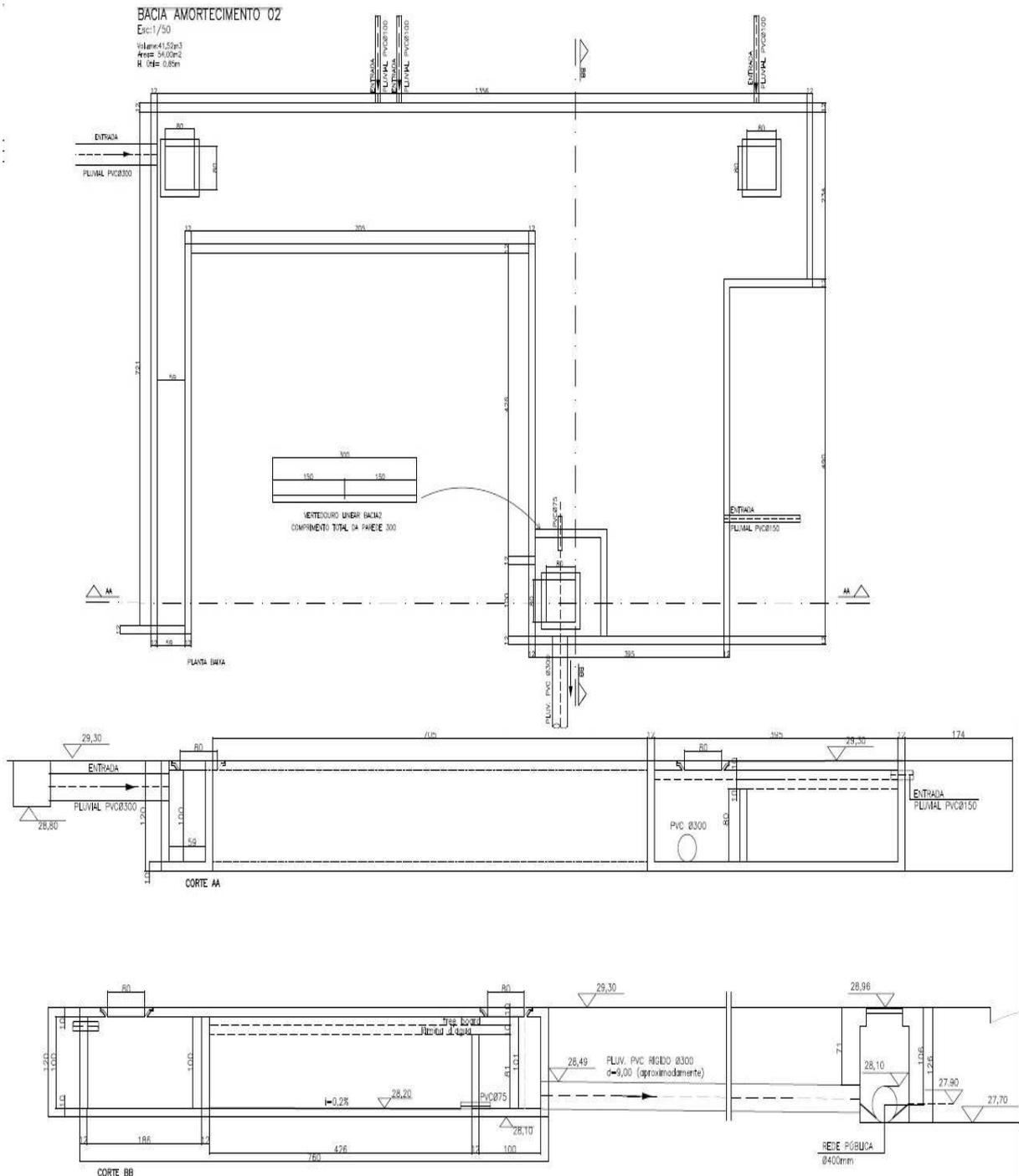
Ainda que conste no Manual de Drenagem Urbana a indicação para utilização de diâmetro mínimo do descarregador de orifício de 40 mm, em obras de infraestruturas hidráulicas, usualmente, utiliza-se diâmetro mínimo de 50 mm. A largura do vertedor (B) do reservatório 01 foi executada no tamanho mínimo para permitir a entrada de um técnico para realizar manutenção quando necessário.

Embora não esteja prevista na legislação vigente qualquer medida compensatória na aplicação dessa metodologia, consta no memorial de cálculo do projeto enviado ao DEP a utilização de mais dois reservatórios de reaproveitamento da água da chuva para incêndio e para irrigação de jardins. No entanto, essa justificativa não foi confirmada pelo DEP como válida para fins de aprovação de projetos. A figura 20 ilustra esses reservatórios que totalizam 54,89 m³.

O fato é que o projeto foi considerado adequado quanto à regulamentação vigente de drenagem urbana, tendo sido aprovado pelo DEP e executado conforme demonstrado nas figuras 21 e 22. Cabe ressaltar que as normas foram flexibilizadas na aprovação desse projeto, o que pode evidenciar certa fragilidade do sistema, afetando a confiança e credibilidade dos órgãos competentes, além de aumentar os riscos de alagamentos.

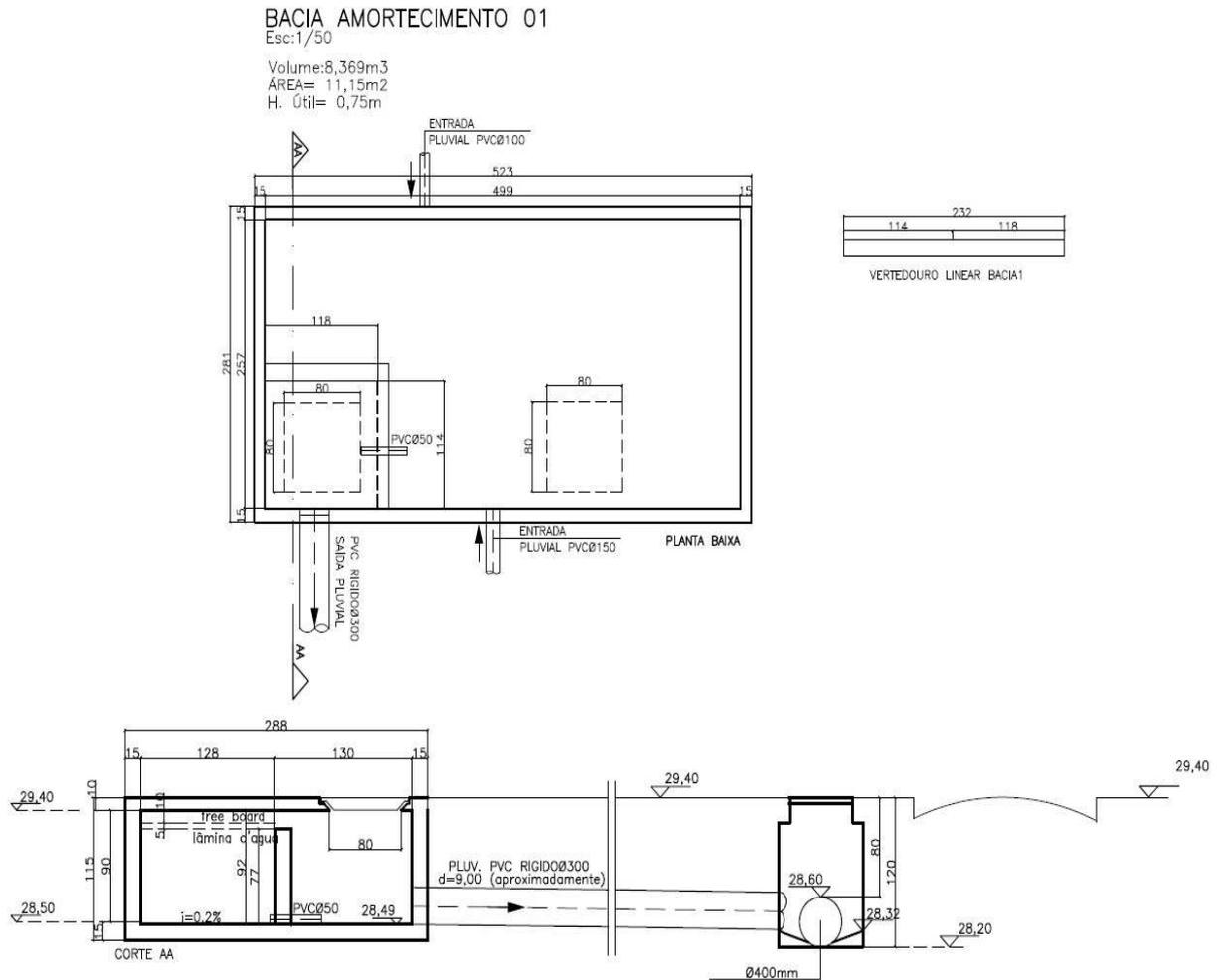
Figura 20 – Reservatórios de incêndio e irrigação do empreendimento

Figura 21 – Planta baixa e cortes da bacia 02 do empreendimento



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 22 – Planta baixa e cortes da bacia 01 do empreendimento



(fonte: elaborada pelo autor)

O empreendimento também se adequou à regulamentação de uso racional de água com a utilização de torneiras com arejadores e com a instalação de equipamentos individuais para medição do consumo de água (figura 23). Também foram utilizadas bacias sanitárias com volumes reduzidos de descarga (figura 24). Para promover economia de água potável, mesmo não sendo obrigatório, foi construído um reservatório de 35,68 m³ para reaproveitamento das águas pluviais destinadas à irrigação de jardins.

Figura 23 – Torneiras com arejadores e equipamentos de medição de água individuais instalados no empreendimento



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 24 – Bacias sanitárias com volumes reduzidos de descarga instaladas no empreendimento



(fonte: elaborada pelo autor)

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas últimas décadas, o crescimento dos centros urbanos associado à ineficiência do poder público em controlar a ocupação das áreas e ao uso de medidas de controle ultrapassadas agravaram o problema das enchentes e alagamentos, afetando a qualidade da água sobretudo nas grandes cidades brasileiras. A intensificação do escoamento superficial carrega lixos e resíduos sólidos até os mananciais. A poluição também pode afetar os lençóis freáticos, pois o risco de contaminação das águas infiltradas por elementos químicos e organismos patogênicos é mais elevado.

O conceito – abandonado há mais de 40 anos por países desenvolvidos e ainda em prática no Brasil – de escoar a água precipitada o mais rápido possível, através da ampliação dos condutos e canais de drenagem, além de possuir custos extremamente elevados também aumenta os prejuízos causados na ocorrência de precipitações. Os problemas são mais graves, com perdas humanas e materiais, obviamente, nos episódios de chuvas de maior intensidade. No entanto, está se tornando cada vez mais comum, chuvas de baixa intensidade e pouca duração provocarem grandes transtornos à população.

Embora esses efeitos já sejam percebidos há bastante tempo, a preocupação dos órgãos públicos é recente. Com a elaboração deste estudo, foi possível concluir – em relação à drenagem urbana – que as regras atuais impostas aos novos empreendimentos previnem os impactos do desenvolvimento urbano. Gradativamente, em Porto Alegre, estão sendo introduzidas na legislação medidas de controle que obrigam empreendedores a adotarem técnicas sustentáveis de controle na fonte, como a manutenção de áreas de infiltração para recuperar a capacidade natural da bacia ou a construção de reservatórios de detenção das águas pluviais para amortecer a vazão em função da impermeabilização do solo.

A publicação do Decreto n. 18.611/2014 propicia uma segurança maior ao sistema de drenagem da cidade, visto que o dimensionamento dos reservatórios nos novos empreendimentos, obrigatoriamente, deve considerar a área impermeável, não sendo mais possível adotar a opção simplista baseada na área contribuinte conforme previa o CE-DEP. Essa alteração resulta na construção de reservatórios com maior capacidade de armazenamento e condizentes com a impermeabilização dos solos gerada pelas novas

edificações. Isso beneficia as redes de drenagem da cidade, aliviando áreas à jusante, as quais são sobrecarregadas pelo aumento do escoamento oriundo, ora de edificações que não realizam nenhum tipo de controle na fonte, ora de edificações com volume de armazenamento não apropriados à real necessidade.

No entanto, ainda se sofre o ônus da imposição tardia desses mecanismos de controle, sendo necessário aumentar os investimentos na microdrenagem, com a construção de reservatórios de armazenamento em pontos estratégicos integrados ao paisagismo da cidade. Essa alternativa só produz efeitos significativos se, simultaneamente, houver investimentos em educação e conscientização da população, pois a maior dificuldade seria a quantidade de lixo transportada pelas redes de drenagem que pode provocar a obstrução da entrada da água nos reservatórios. Nesse sentido, em Porto Alegre, um passo importante foi a introdução, no Novo Código de Limpeza Urbana, de medida punitiva para quem jogar lixo nas ruas. Essa determinação não pretende mudar imediatamente a imagem da cidade, mas principalmente estimular a melhoria no comportamento da população.

A utilização de mecanismos de controle de drenagem na fonte contribui também para manter a qualidade da água. O uso desse recurso de importância vital exige de todos nós um consumo consciente. No entanto, apenas isso não garante a disponibilidade às futuras gerações. Uma medida para diminuir o consumo de água potável é exigir o emprego de estruturas para captação e reaproveitamento das águas pluviais também em edificações de uso residenciais, não apenas em edificações comerciais.

Certamente, a atuação mais rigorosa dos órgãos competentes contribuiria para disseminar uma cultura de prevenção e mitigação de riscos, favorecendo o desenvolvimento de processos sustentáveis e a conscientização dos profissionais envolvidos. Espera-se que esse trabalho contribua para demonstrar a relevância do tema e estimular a utilização de mecanismos de controle sustentáveis, a fim de diminuir os impactos ambientais, diminuindo a frequência de enchentes e alagamentos e assegurando a disponibilidade futura de água. Para evidenciar os benefícios obtidos, também seria oportuno analisar, através de dados quantitativos, o impacto do uso das técnicas empregadas pelo empreendimento nos volumes de água preservados e não lançados às redes públicas de drenagem.

REFERÊNCIAS

- ALLASIA, D. G.; TASSI, R.; NEVES, M. G. F. P.; VILLANUEVA, A. O. N.; TUCCI, C. E. M.; CRUZ, M. A. S. **Estudo de caso: Plano Diretor de Drenagem Urbana em Porto Alegre/RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. Porto Alegre: ABRH; RHAMA, 2003. Disponível em: <<http://www.rhama.net/download/artigos/artigo62.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2014.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. p. 351-362.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527: água da chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.
- BEMFICA, D. da C. Legislação aplicada ao planejamento da drenagem urbana: o caso de Porto Alegre. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2001. p. 479-485. v. 2.
- BENETTI, A.; BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2007. p. 849-875.
- BRASIL. Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm>. Acesso em: 11 out. 2013.
- CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. Controle do escoamento em lotes urbanos com retenção. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. p. 363-382.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO E REGIONAL. **Bacias hidrográficas**. Porto Alegre, RS, 2013. Disponível em: <<http://metroplanrs.wordpress.com/bacias-hidrograficas/>>. Acesso em: 2 abr. 2014.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Região hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre, RS, 2014. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>>. Acesso em: 2 abr. 2014.
- GOOGLE MAPS. Mountain View, 2014. **Apresenta mapas virtuais**. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 4 abr. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**: população nos censos demográficos, segundo as grandes regiões, as unidades da federação e a situação do domicílio - 1960/2010. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8&uf=00>>. Acesso em: 10 out. 2013.

PANIZZI, W. M. Prefácio. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. p. 9-10.

PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Decreto n. 9.369**, de 29 de dezembro de 1988. Regulamenta a Lei Complementar n. 170, de 31 de dezembro de 1987, alterada pela Lei Complementar n. 180, de 18 de agosto de 1988, que estabelece normas para instalações hidrossanitárias e serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos. Porto Alegre, 1988. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/cip9369-decreto.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2014.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. **Lei Complementar n. 434**, de 27 de março de 1999. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Porto Alegre, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre e dá outras providências. Porto Alegre, 1999. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/lei_434_com_alt_de_2009.pdf>. Acesso em: 19 set. 2013.

_____. Departamento de Esgotos Pluviais. **Caderno de Encargos do DEP**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=77>. Acesso em: 30 ago. 2013.

_____. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**: manual de drenagem urbana. Porto Alegre, 2005. v. VI. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manualdedrenagem.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2013.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. **Decreto n. 15.371**, de 17 de novembro de 2006. Regulamenta o controle de drenagem urbana. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000028692.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 7 set. 2013.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. **Lei n. 10.506**, de 05 de agosto de 2008. Institui o programa de conservação, uso racional e reaproveitamento de águas. Porto Alegre, 2008a. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000029949.DOCN.&l=20&u=%2Fnetahtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 15 out. 2013.

_____. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Histórico de enchentes em Porto Alegre**. Porto Alegre, 2008b. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/default.php?reg=7&p_secao=12>. Acesso em: 06 nov. 2013.

_____. Secretaria do Planejamento Municipal. **Decreto n. 16.305**, de 26 de maio de 2009. Regulamenta a Lei n. 10.506, de 5 de agosto de 2008, que institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Porto Alegre, 2009. Disponível em: < <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000030452.DOCN.&l=20&u=%2Fnetahtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 15 out. 2013.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. **Decreto n. 18.611**, de 9 de abril de 2014. Regulamenta o controle de drenagem urbana e revoga os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do Decreto n. 14.786, de 30 de dezembro de 2004 – Caderno de Encargos do DEP – e o Decreto n. 15.371, de 17 de novembro de 2006. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YrdQhxz9l2QJ:www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs%3Fs1%3D000033997.DOCN.%26l%3D20%26u%3D%252Fnetahtml%252Fsirel%252Fsimples.html%26p%3D1%26r%3D1%26f%3DG%26d%3Datos%26SECT1%3DTEXT+%&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 23 abr. 2014.

PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2007. p. 805-847.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2007. p. 35-51.

TUCCI, C. E. M. Avaliação e controle dos impactos ambientais decorrentes da urbanização: apresentação do projeto. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. p. 15-21.

_____. **Inundações urbanas**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH; RHAMA, 2007a.

_____. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2007b. p. 391-441.

_____. Controle de enchentes. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2007c. p. 621-658.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. de. (Org.). **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 1995. p. 277-347.

UNITED NATIONS POPULATIONS FUND. New York, 2011. **Relatório sobre a situação da população mundial 2011**: pessoas e possibilidades em um mundo de 7 bilhões.

Disponível em:

<<http://www.oi.acidi.gov.pt/docs/jpg/ONU%20Situacao%20da%20Populacao%20Mundia%202011.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013.