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

Karin Kinzel

MEDIDAS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO NA FONTE: ESTUDO DE CASO DE RESERVAÇÃO SOB PISO ELEVADO

Porto Alegre

julho 2015

KARIN KINZEL

MEDIDAS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO NA FONTE: ESTUDO DE CASO DE RESERVAÇÃO SOB PISO ELEVADO

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: Juan Martín Bravo

Porto Alegre

julho 2015

KARIN KINZEL

MEDIDAS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO NA FONTE: ESTUDO DE CASO DE RESERVAÇÃO SOB PISO ELEVADO

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, 09 de julho de 2015

Prof. Juan Martín Bravo
Dr. pelo PPGRHSA/UFRGS
Orientador

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

Prof. Jean Marie Désir
Dr. pelo COPPE/UFRJ
Coordenador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dieter Wartchow (IPH-UFRGS)
Dr. pela Universidade de Stuttgart

Profa. Daniela Guzzon Sanagiotto (IPH-UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande Sul

Prof. Paulo Rógenes Monteiro Pontes (IPH-UFRGS)
Me. pela Universidade Federal o Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha família, pela educação,
estímulo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Juan Martin Bravo, orientador deste trabalho, pela sua atenção e disponibilidade para a realização deste trabalho, e pela oportunidade de tamanho aprendizado.

Agradeço à Professora Carin Schmitt pelos ensinamentos e dedicação, sem o qual o resultado deste trabalho não atingiria a qualidade esperada de um trabalho de conclusão.

Agradeço a meu pai César, que sempre demonstrou seu amor com palavras de incentivo e força para vencer desafios em busca do melhor. Seu empenho em minha criação, insistência incansável no estímulo aos estudos e sua confiança a mim depositada se traduzem hoje no orgulho de desenvolver este trabalho e ter a convicção de dever cumprido.

Agradeço à minha mãe Mônica, que sempre esteve ao meu lado, me confortando nos momentos difíceis e me apoiando em minhas decisões. Sua sábias palavras me fazem erguer a cabeça e continuar na luta diária pelo meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço à minha irmã Tatiana pelo companheirismo e amizade, e por me inspirar em toda minha vida.

Agradeço ao meu irmão Guilherme por sua alegria e pelos momentos de descontração.

Agradeço à minha colega e amiga Raquel pelo carinho, amizade e companheirismo. Sua parceria durante a graduação me ensinou a importância da dedicação e perfeccionismo. Seu conhecimento comigo compartilhado teve imensa influência em minha formação e seu incentivo em me levar a desbravar o mundo me transformou em outra pessoa.

Agradeço a meus amigos pela compreensão em tantas ausências e pelo apoio e amizade de meus colegas ao longo de todo o curso de graduação.

"Quer? Então faça acontecer, porque a única coisa que cai
do céu é a chuva"

Vinicius de Moraes

RESUMO

A impermeabilização do solo, devido a construções e pavimentações, aliada a ocupação de áreas impróprias, resulta na sobrecarga dos sistemas pluviais. O projeto de bacias de detenção e retenção de águas pluviais tem se tornado uma alternativa para mitigar problemas causados por alagamentos. Este trabalho tem por objetivo estudar medidas que auxiliem no controle das águas pluviais em um lote através de diferentes soluções de projeto. Foram analisadas três alternativas: reservatório convencional, reservatório laminar sob piso elevado e reservatório convencional aliado ao piso elevado como dispositivo para aumentar o volume infiltrado. O dimensionamento do sistema foi baseado no Manual de Drenagem do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, considerando também normativas e decretos vigentes. O volume de detenção necessário é função da área impermeável do lote e depende das dimensões do terreno, levando muitas vezes os sistemas de armazenamento de água a ter grandes proporções. Em alguns locais, em função da superficialidade da rede de microdrenagem os reservatórios devem ser pouco profundos. A análise realizada neste trabalho mostrou que o reservatório convencional quando bem dimensionado, atende às especificações e permite a ligação com a rede pública. O sistema de piso elevado trabalha com placas apoiadas em pilares plásticos permitindo o armazenamento de águas pluviais sob o passeio. Verificou-se que este sistema pode ser utilizado como alternativa para redução da altura útil de reservação, assim como da profundidade do reservatório, facilitando a ligação com a rede pública para a saída da água armazenada e reduzindo o volume de escavação e problemas com terrenos rochosos. Além disso, o sistema de piso elevado, quando usado como cisternas para irrigação permite a redução do volume de detenção. Constatou-se a redução de material utilizado, bem como a diminuição de suas proporções.

Palavras-chave: Medidas de Controle na Fonte. Reservatório de Detenção Pluvial. Piso Elevado. Dispositivos de Infiltração.

ABSTRACT

The soil sealing due to the constructions and pavements, allied to the ocuppation of inappropriate areas results in rainwater drainage system overload. The project of rainwater contention and retention basin is an alternative to mitigate problems caused by inundations. This work aimed at analyzing control measures of rainwater at a plot by different project solutions. Tree alternatives were analysed: regular reservior, plate reservior under raised floor and regular reservior allied to raised floor as mechanism to increase the infiltrate volume. The system sizing is based on the Drainage Manual of Porto Alegre Urban Draining Master Plan, tanking into account current standarts and decrees. The necessary detention amount depends on watertight area and land dimensions, what can result in huge rainwater detention system. In some places, on account of the surface microdrainage system the tanks must shallow. Analysis of this work showed, that the regular reservior when well measured meets the specifications and allow the connection to the public grid. The raised floor system consist of suspended plates supported by plastics columns allowing the rainwater storage under the false floor. It was noted that this system can be used as an alternative to reduce de high and the depth of the reservior, easing up the connetion to the public grid for the output of the stored water and reducing excavations and difficulties with stony terrain. Furthermore, the raised floor system, when used as cisterns for irrigation, allows the reduction in the detention volume. It was observed the material reduction, as well as dimensions decrease.

Key Words: Control Measures at Source. Rainwater Reservior. Raised Floor. Infiltration Devices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do delineamento da pesquisa..... 20
Figura 2 – Balanço hídrico para área natural e área urbanizada..... 23
Figura 3 – Área de inundação..... 24
Figura 4 – Piso drenante..... 28
Figura 5 – Pavimento poroso..... 29
Figura 6 – Pavimento permeável..... 29
Figura 7 – Bacia de infiltração..... 29
Figura 8 – Valo de infiltração..... 29
Figura 9 – Poço de infiltração convencional..... 30
Figura 10 – Poço de infiltração com revestimento rígido..... 30
Figura 11 – Bacia de percolação..... 30
Figura 12 – Trincheira de infiltração..... 30
Figura 13 – Bacia de retenção..... 32
Figura 14 – Bacia de detenção..... 32
Figura 15 – Piso elevado para áreas internas..... 36
Figura 16 – Piso elevado em escada..... 37
Figura 17 – Piso elevado em piscinas..... 37
Figura 18 – Piso elevado para áreas externas..... 37
Figura 19 – Encaixe entre pedestal e piso..... 38
Figura 20 – Alinhamento das placas..... 38
Figura 21 – Piso elevado para áreas externas para pequenos desníveis..... 38
Figura 22 – Piso elevado para áreas externas para grandes desníveis..... 38
Figura 23 – Piso elevado sob jardim..... 39
Figura 24 – Corte jardins autoirrigáveis..... 39
Figura 25 – Jardins autoirrigáveis..... 40
Figura 26 – Determinação do h_c em um reservatório..... 49
Figura 27 – Implantação geral e curvas de nível..... 53
Figura 28 – Roteiro do desenvolvimento de projeto..... 54
Figura 29 – Caimentos da cobertura torre comercial..... 58
Figura 30 – Caimentos da cobertura torre residencial 1..... 58
Figura 31 – Caimentos da cobertura torre residencial 2,3, e 4..... 59
Figura 32 – Detalhe das conexões da cobertura..... 59

Figura 33 – Instalações da cobertura torre comercial..... 60
Figura 34 – Instalações da cobertura torre residencial 1..... 60
Figura 35 – Instalações da cobertura torre residencial 2,3 e 4..... 60
Figura 36 – Rede pública..... 62
Figura 37 – Posicionamento do reservatório convencional e traçado das tubulações..... 63
Figura 38 – Corte esquemático do reservatório convencional..... 66
Figura 39 – Posicionamento do reservatório sob piso elevado e traçado das tubulações. 67
Figura 40 – Corte esquemático do reservatório sob piso elevado..... 70
Figura 41 – Posicionamento do reservatório convencional, áreas de piso elevado e traçado das tubulações..... 71
Figura 42 – Corte esquemático do reservatório convencional com piso elevado..... 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de escoamento por área de ocupação..... 43
Tabela 2 – Coeficientes de escoamento por superfície de revestimento..... 44
Tabela 3 – Diâmetros internos dos condutores horizontais de acordo com sua rugosidade e inclinação..... 47
Tabela 4 – Diâmetros dos condutores verticais de acordo com a área de contribuição.... 47
Tabela 5 – Coeficientes de rugosidade de Manning para diferentes superfícies..... 51
Tabela 6 – Coeficientes de escoamento por local..... 55
Tabela 7 – Coeficientes de escoamento por análise..... 55
Tabela 8 – Permeabilidade e dimensões das áreas de implantação..... 56
Tabela 9 – Área impermeável do lote, vazão de contribuição e volume de reservação.... 57
Tabela 10 – Dimensionamento dos condutores..... 61
Tabela 11 – Condutores horizontais do térreo para o reservatório convencional..... 64
Tabela 12 – Coletores das áreas externas do térreo para o reservatório convencional..... 65
Tabela 13 – Condutores horizontais do térreo para o reservatório sob piso elevado..... 68
Tabela 14 – Coletores das áreas externas do térreo para o reservatório sob piso elevado 69
Tabela 15 – Condutores horizontais do térreo para o reservatório convencional com piso elevado..... 72
Tabela 16 – Coletores das áreas externas do térreo para o reservatório convencional com piso elevado..... 73
Tabela 17 – Quadro comparativo entre análises..... 75

LISTA DE SIGLAS

DEP - Departamento de Esgotos Pluviais

DISME - Divisão de Supervisão em Meteorologia Legal

IDF - Intensidade-duração-frequência

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

NBR - Norma Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

V – volume (m^3)

AI – área impermeável do terreno (m^2)

I – intensidade da precipitação (mm/h)

TR – período de retorno (anos)

t – duração da chuva (minutos)

Q – vazão de projeto (m^3/s)

C – coeficiente de escoamento

A – área de contribuição do lote (ha)

Ct – coeficiente de escoamento do terreno

At – área total do terreno (m^2)

Ci – coeficiente de escoamento da área individual

Ai – parcela da área individual (m^2)

A_C – Área da seção transversal do descarregador (m^2)

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

h_C – diferença entre o nível máximo da água e o ponto médio da abertura da seção de saída (m)

D – diâmetro do descarregador (m)

tc – tempo de concentração (minutos)

n – coeficiente de rugosidade de Manning

L – comprimento do escoamento (m)

P24 – precipitação com 24 horas de duração (mm)

S – declividade (m/m)

L_V – comprimento da crista do vertedor (m)

Q_V – vazão de descarga do vertedor (m^3/s)

$h_{máx}$ – carga sobre o vertedor (m)

C_V – coeficiente de descarga do vertedor

Qs – vazão de descarga da tubulação de saída (m^3/s)

As – área da seção transversal da tubulação de saída (m^2)

RH – raio hidráulico (m)

i – inclinação da tubulação (%)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
2 DIRETRIZES DA PESQUISA..... 18
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA..... 18
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA..... 18
2.2.1 Objetivo Principal..... 18
2.2.2 Objetivos Secundários..... 18
2.3 PRESSUPOSTO..... 19
2.4 PREMISSA..... 19
2.5 DELIMITAÇÃO..... 19
2.6 LIMITAÇÕES..... 19
2.7 DELINEAMENTO..... 19
3 DRENAGEM URBANA..... 22
3.1 INUNDAÇÕES E ENCHENTES..... 24
3.2 MEDIDAS DE CONTROLE..... 25
3.2.1 Aumento do Volume Infiltrado..... 28
3.2.2 Armazenamento..... 31
3.2.2.1 Microdrenagem..... 31
3.2.2.2 Drenagem no lote..... 32
3.3 ÁGUA DE REUTILIZAÇÃO..... 34
3.4 PISO ELEVADO..... 36
4 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO..... 41
4.1 PARÂMETROS DE PROJETO..... 41
4.2 INSTALAÇÕES PREDIAIS..... 46
5 ESTUDO DE CASO..... 53
5.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO..... 53
5.2 PARÂMETROS DE PROJETO..... 54
5.3 ESTIMATIVA DO VOLUME DE RESERVAÇÃO..... 55
5.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA..... 57
5.4.1Tubulações da Cobertura ao Térreo..... 58
5.4.2 Análise 1: Reservatório Convencional..... 62
5.4.3 Análise 2: Reservatório sob Piso Elevado..... 67
5.4.4 Análise 3: Reservatório Convencional com Piso Elevado em Áreas Externas. 71

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS..... 75
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 78
REFERÊNCIAS..... 79
APÊNDICE A..... 81

1 INTRODUÇÃO

A industrialização provocou um rápido crescimento das cidades, resultando em grandes aglomerações habitacionais. A massiva construção de loteamentos e edificações e a pavimentação de vias reduzem a área permeável de solo e eliminam a vegetação. Com isso ocorre a diminuição da infiltração e da evapotranspiração, juntamente com o aumento do escoamento superficial e da vazão de pico durante eventos de precipitação, que solicitam maiores vazões de escoamento de efluentes drenados pelo sistema pluvial.

As medidas de controle devem regular o aumento da vazão e melhorar condições ambientais decorrentes da urbanização. Existem três tipos de medidas que podem ser adotadas a fim de controlar o escoamento pluvial:

a) sistemas que proporcionem o aumento da capacidade de escoamento da rede,
b) intervenções para armazenar parte do volume precipitado sem sobrecarregar a rede;
c) dispositivos que não reduzam a área permeável do solo garantindo a capacidade de infiltração.

O aumento da capacidade da rede pode ser feito com reservatórios. Entretanto, além de ter custos elevados, não soluciona o problema, pois apenas transfere o aumento da vazão para a jusante. A adoção de reservatórios ocorre em diversas escalas de projeto no escopo urbano e amortece vazões de pico. Pavimentos permeáveis e valas de infiltração são soluções que aumentam a infiltração, porém são utilizadas apenas como medidas de controle em áreas reduzidas (PORTO ALEGRE, 2005, p. 20-21).

Umas das soluções encontradas em casos de grandes áreas construídas é a utilização de reservatórios para a contenção de águas. O seu uso busca evitar a sobrecarga das redes públicas mitigando inundações, atenuando a vazão de pico e a velocidade do escoamento. Atualmente existem diversas práticas construtivas que permitem o armazenamento de água da chuva, desde reservatórios convencionais de contenção de águas pluviais, até sistemas complexos de armazenamento que, adicionalmente ao sistema de reservação, contemplam sistemas de irrigação e cisternas para abastecimento de águas de reuso. Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PORTO ALEGRE, 2005, p. 15), existem dois tipos de bacias

de contenção de águas pluviais utilizados como grandes reservatórios para armazenamento temporário das águas das chuvas em locais altamente urbanizados e de baixo custo, quais sejam, bacia de:

a) detenção – locais abertos ou subterrâneos com área destinada a ficar inundada em caso de elevadas precipitações que permanecem secos na maior parte do tempo, servindo durante os períodos de seca como áreas de lazer e esporte;

b) retenção – áreas permanentemente alagadas, de maior volume que as bacias de detenção, que funcionam como lagos. São uma alternativa paisagística e também de lazer.

O presente trabalho apresenta o estudo de caso hipotético de um loteamento em um terreno de Porto Alegre, para o qual foi projetado um sistema de reservatório de detenção de águas pluviais. O objetivo do trabalho é prever um sistema de armazenamento adaptando o modelo convencional a uma solução que lança mão do sistema de piso elevado. Este sistema possibilita a instalação de placas sustentadas por pedestais formando um vão para armazenamento de água sob o piso externo.

A instalação de reservatório de detenção sob piso elevado apresenta uma solução de controle de escoamento na fonte com retenção na origem para a redução do impacto das águas pluviais nas inundações e suas consequências e a redução do consumo de água potável porque viabiliza a utilização das águas pluviais para alimentação de áreas de jardins, quando integrado a um reservatório de irrigação ascensional. O sistema de piso elevado soluciona situações em que a instalação de reservatórios subterrâneos é complicada ou inviável, permitindo instalações mais superficiais e reduz o investimento no transporte das águas e o consumo de energia porque dispensa o uso de bombas.

Primeiramente, o segundo capítulo apresentará as diretrizes para o desenvolvimento do trabalho. O capítulo três contextualiza o trabalho com uma revisão bibliográfica sobre drenagem urbana e precipitações, além de apresentar medidas de controle e introduzir conhecimentos sobre o sistema de piso elevado. O quarto capítulo apresenta a metodologia de cálculo que foi utilizada. Na quinta parte são apresentados os três sistemas analisados, e na sequência são colocados os resultados obtidos. No sétimo capítulo estão as conclusões e são realizadas considerações finais.

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: considerando as características de um empreendimento residencial hipotético, qual projeto pode ser apresentado para a implantação de um reservatório laminar de detenção de águas pluviais sob piso elevado?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

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

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a elaboração de projeto de controle e reuso de águas pluviais através de reservatório de detenção laminar sob piso elevado para um empreendimento residencial hipotético em Porto Alegre.

2.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

a) elaboração de diretrizes para projeto de reservatório de detenção laminar sob piso elevado;
b) verificação da viabilidade técnica de construção de sistema de aproveitamento de água da chuva e consequente redução do consumo de água potável.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que os registros históricos pluviométricos fornecidos pelo Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre, apresentados na forma de curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência), são representativos das condições futuras de ocorrência de eventos de precipitação.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que em loteamentos urbanos o aumento do escoamento superficial deve ser controlado na fonte geradora de tal forma que suas consequências não sejam transferidas para a jusante.

2.5 DELIMITAÇÃO

O trabalho delimita-se a um loteamento urbanizado na cidade de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

a) utilização de curvas IDF de Porto Alegre;

b) uso de reservatório de detenção sob piso elevado para redução da vazão de pico e controle do volume escoado;

c) consideração de loteamento com alta taxa de impermeabilização com viabilidade de instalação de dispositivo de controle de escoamento;

d) especificação de diâmetros comerciais para todas as instalações necessárias.

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) revisão bibliográfica;

b) definição das diretrizes de projeto;

c) descrição do lote em estudo;

d) caracterização hidrológica e geológica local;

e) caracterização das variáveis a partir de condições hipotéticas;

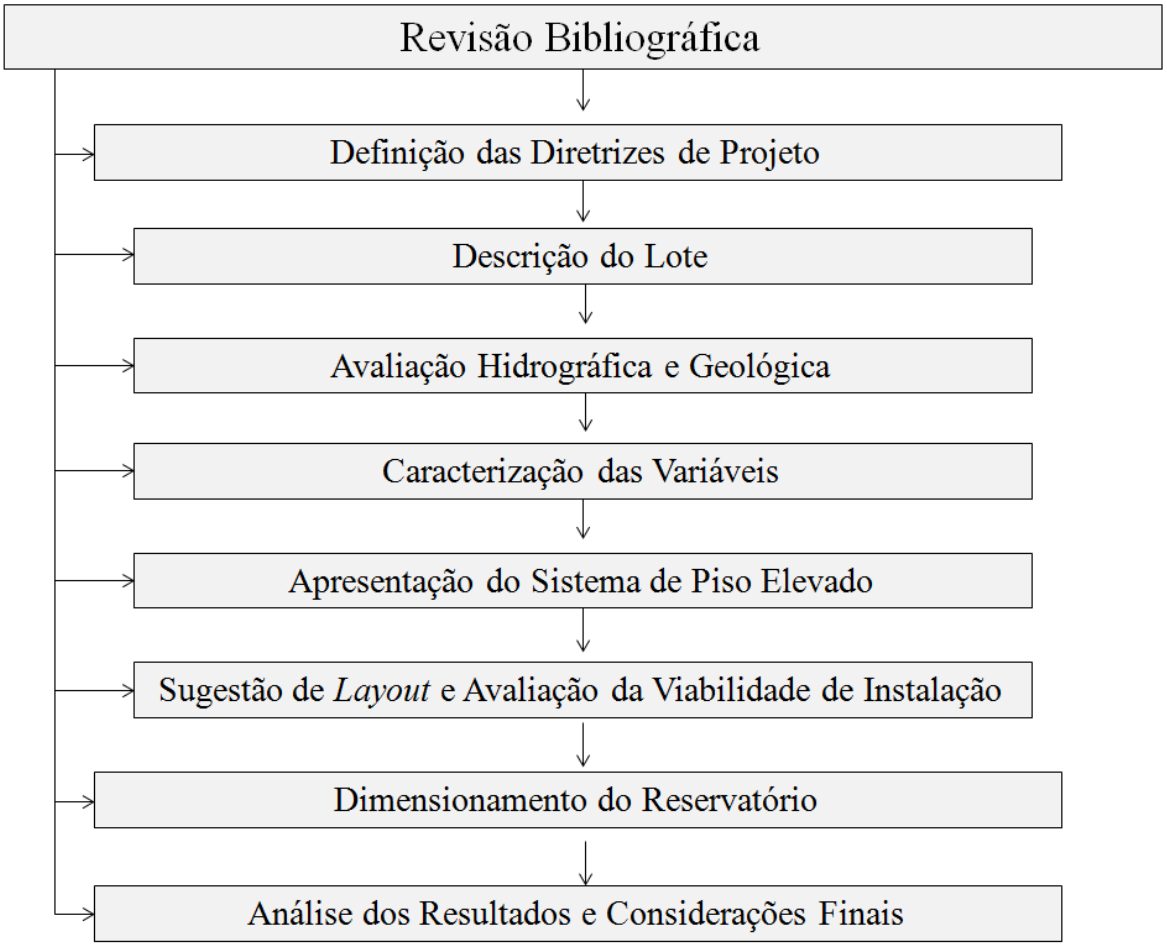
f) apresentação do sistema de piso elevado;

g) sugestão de *layout* de implantação e avaliação da viabilidade de instalação;

h) aplicação do modelo de cálculo para o dimensionamento do reservatório de detenção;

i) análise dos resultados e considerações finais.

Figura 1 – Representação esquemática do delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

Iniciou-se o trabalho pela revisão bibliográfica para obter informações que auxiliem no desenvolvimento da pesquisa. Foram abordados pontos chave: drenagem urbana, dispositivos de controle de escoamento na fonte, dimensionamento de reservatórios de detenção na fonte e o sistema de piso elevado. Essa etapa se desenvolveu durante todo o trabalho.

A segunda etapa do trabalho foi a definição do lote estudado. O terreno foi escolhido dentro da região norte de Porto Alegre, área sobre influência do pluviômetro do Aeroporto Salgado Filho, e foram determinadas suas características básicas como, por exemplo, o tipo de ocupação.

A terceira etapa envolveu a avaliação da região na qual terreno se localiza, definindo características hidrológicas, como a precipitação de projeto, vazão de pico, tempo de retorno; e características geológicas como o tipo de solo, coeficiente de escoamento e de infiltração.

Na quarta, quinta e sexta etapas foram identificadas variáveis a serem utilizadas, assim como o método de dimensionamento e calculados os volumes escoados e assim, a seguir, foi dimensionado o volume de armazenamento necessário.

O sistema de reservação sob piso elevado foi estudado e um layout para a implantação de um empreendimento sugerido explicitando como pode ser realizado o sistema de modo a reservar todo o volume solicitado na área externa à edificação.

Em uma última etapa foram feitas análises comparativas dos estudos realizados e considerações finais sobre a adoção do sistema.

3 DRENAGEM URBANA

Desde o século XVIII a industrialização vem impulsionando a urbanização e o êxodo rural. A era das máquinas expulsou muitos trabalhadores rurais das lavouras pela inserção de maquinários e fez com que muitos buscassem melhores empregos e condições de vida nas cidades. A superpopulação concentrada em grandes centros "[...] gera um cinturão de pobreza nas periferias das cidades e crescimento acelerado de população sem infraestrutura." (TUCCI, 2007, p. 31). O aumento no consumo de água potável e geração de grandes volumes de resíduos dificultam o tratamento de água, podendo afetar a qualidade do abastecimento. Além de haver risco de escassez de água, os leitos se tornam foco de doenças. Há também a deterioração dos mananciais e cobertura vegetal local em função da erosão e sedimentação. Além disso, "Estes bairros estão desprovidos de segurança, da infraestrutura tradicional de água, esgoto, drenagem, transporte e coleta de resíduos sólidos [...]" (TUCCI, 2007, p. 35).

De acordo com TUCCI (2007, p. 40), o desenvolvimento urbano:

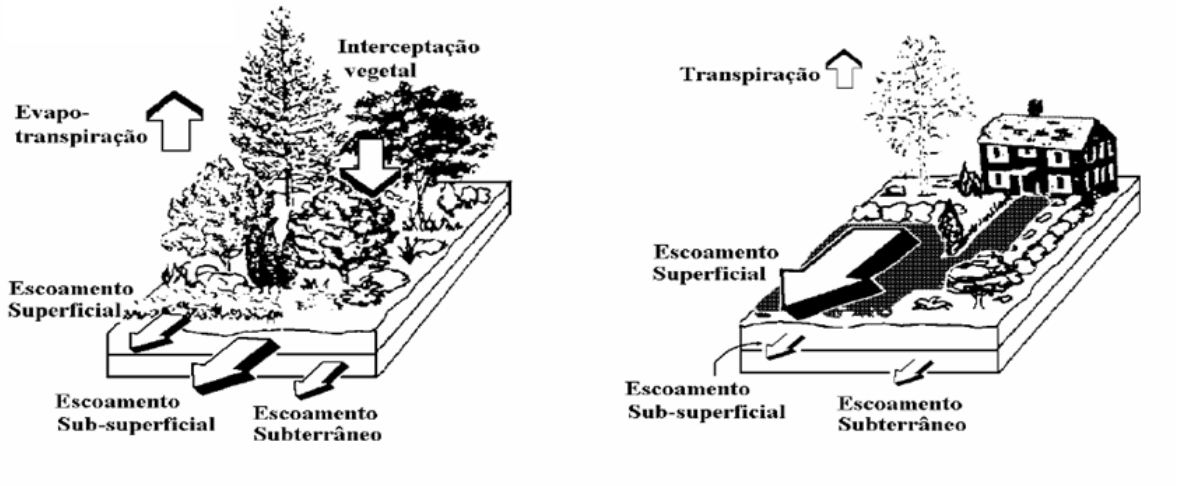
> [...] envolve a alteração da superfície da bacia hidrográfica pela urbanização e modificação dos sistemas de escoamento; uso de água superficial concentrada em pequeno espaço, contaminação da água devido ao esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduo sólido.

Os problemas decorrentes da urbanização acontecem por fatores como a incapacidade do município de prever o crescimento urbano e investir no planejamento do espaço seguro e adequado. A migração de população de baixa renda para áreas públicas ou precárias também aumenta o risco de inundação ou deslizamentos (TUCCI, 2007, p. 36). Somado a isso, a construção desenfreada de edificações e a pavimentação de ruas gera grande impermeabilização do solo, fazendo com que a chuva que antes era absorvida pelo solo exposto, agora escorra sobre telhados e pavimentos para sistemas de drenagem insuficientes. O rápido crescimento populacional não é acompanhado pela burocracia organizacional. Quando as redes de drenagem são instaladas, o dimensionamento já está obsoleto e suas capacidades de escoamento deveriam ser superiores, fazendo com que a vazão provocada pela chuva seja maior que a vazão máxima escoada pela tubulação, acarretando alagamentos e prejuízos para a população.

Segundo Tucci (1995, p. 15-16), “Na bacia hidrográfica rural, o fluxo é retido pela vegetação, infiltra-se no subsolo e, o que resta, escoa sobre a superfície de forma gradual, produzindo um hidrograma com variação lenta de vazão e com picos de enchentes moderados.”. O desenvolvimento urbano modifica a cobertura vegetal e altera componentes do ciclo hidrológico natural. Ocorre a troca da cobertura original da bacia por pavimentos impermeáveis e são incluídos condutos que modificam o ciclo. Conforme Porto Alegre (2005, p. 5-6) ocorre redução da infiltração no solo e consequente aumento do escoamento superficial, porque parte da água não infiltra e permanece na superfície. Como o escoamento em tubulações ocorre em maiores velocidades, o tempo de deslocamento é reduzido e com isso a ocorrência de picos de vazão é antecipada. A diminuição da infiltração reduz o nível do lençol freático e a substituição da cobertura vegetal por cobertura urbana elimina a evapotranspiração.

Enquanto em áreas de vegetação densa existe um grande volume infiltrado e evaporado, além da dificuldade de escoamento na superfície devido ao plantio, em cidades a situação se inverte. Percebe-se que em regiões mais urbanizadas há um maior escoamento superficial sobre as áreas desmatadas e pavimentadas, consequentemente, menor infiltração e evaporação. A figura 2 apresenta um esquema das duas situações.

Figura 2 – Balanço hídrico para área natural e área urbanizada



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 5)

Nos capítulos a seguir serão apresentadas definições que caracterizam precipitações e inundações, bem como medidas de controle para mitigar problemas decorrentes de

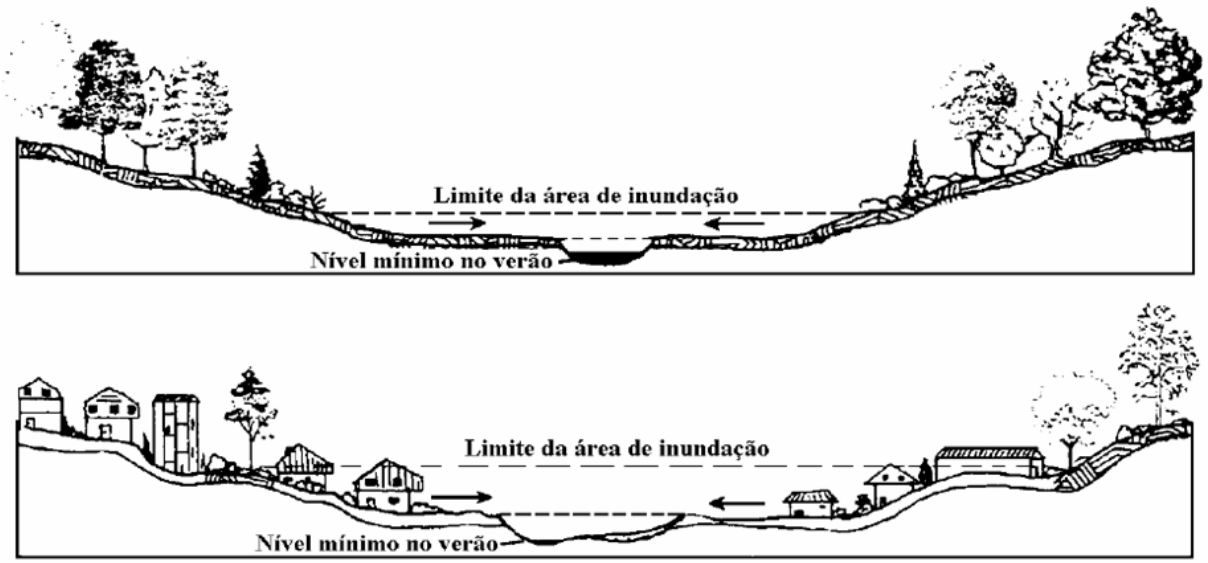
insuficiência das redes de drenagem. Serão destacados os usos de reservatório de detenção de águas pluviais para controle de escoamento no lote e uma análise sobre a qualidade dessas águas. Uma explanação sobre o sistema de piso elevado será apresentada a seguir.

3.1 INUNDAÇÕES E ENCHENTES

A precipitação é definida na hidrologia como qualquer forma de água proveniente do meio atmosférico (chuva, granizo, geada, neve). A determinação da sua intensidade, duração e distribuição temporal e espacial são fundamentais para controle de inundações e erosão do solo. As chuvas podem ser classificadas como convectivas - de grande intensidade e pequena duração em pequenas áreas podendo provocar inundações em pequenas bacias; orográficas – pequena intensidade e grande duração em pequenas áreas; ou frontais – de grande duração em grandes áreas com média intensidade acompanhadas de fortes ventos, podendo causar cheias em grandes bacias (BERTONI; TUCCI, 2009, p. 177-180).

As planícies são regiões propícias à ocupação por serem áreas planas e baixas. A redução da cobertura vegetal devido à urbanização e agricultura aumenta a recorrência de inundações das áreas ribeirinhas. O rio em situação normal corre em seu canal principal, ou leito menor, mas em eventos de precipitação eleva seu nível de água atingindo seu leito maior, ou planície de inundação, agora habitadas – evento ilustrado pela figura 3.

Figura 3 – Área de inundação



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 5)

Diversas são as situações em que canais são tampados ou tem sua seção reduzida para permitir a construção de ruas e acessos para beneficiar o tráfego de veículos e pessoas. Contudo, esta intervenção reduz a seção do canal, aumentando os riscos de extravasamento e enchentes, assim "o desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas; e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento." (TUCCI, 2007, p. 70). Porto Alegre (2005, p. 9) afirma que sendo a instalação de canalização de rios, condutos e galerias para drenagem secundária a melhor solução, o custo desta pode atingir o dobro do valor e em alguns casos até dez vezes mais do que soluções que controlam as cheias na fonte ao invés de transferi-las.

De acordo com Tucci (2007, p. 68), as inundações podem ocorrer por dois processos distintos:

a) devido à ocupação de áreas ribeirinhas – eventos naturais que ocorrem no leito maior do rio devido ao ciclo hidrológico das águas;
b) devido à urbanização – eventos causados pela impermeabilização do solo, canalização e/ou obstrução do escoamento.

O primeiro caso ocorre por falta de planejamento do uso do solo, atingindo as populações que ocupam o leito maior dos rios pelo seu extravasamento do canal principal. Já as enchentes por urbanização são efeitos da redução do volume infiltrado e retido em vegetações e consequente aumento do volume escoado superficialmente (TUCCI, 1995, p. 15-19). Segundo Porto Alegre (2005, p. 14) "O Código Florestal prevê [para ocupação] a distância de trinta metros da margem dos arroios, definida pela seção de leito menor. No desenvolvimento das cidades não se observa que este limite seja obedecido, o que dificulta o controle da infraestrutura da drenagem urbana.". A tendência é que as zonas sujeitas a alagamentos sejam ocupadas por uma parcela da população com menor renda, enquanto as faixas de maior poder aquisitivo habitam locais mais seguros, instigando problemas sociais que se repetem e crescem a cada evento de cheia. Os problemas gerados pelas inundações dependem do grau de ocupação da área adjacente ao rio e da frequência de ocorrência dos eventos (TUCCI, 2009, p. 621).

3.2 MEDIDAS DE CONTROLE

Os sistemas de drenagem são classificados de acordo com sua área de abrangência, podendo ser na fonte, de microdrenagem ou de macrodrenagem. A drenagem na fonte é característica de escoamentos que ocorrem no lote, sendo este um condomínio, empreendimentos

individualizados, estacionamentos, área comercial, parques e passeios. A microdrenagem é caracterizada por sistemas de condutos pluviais ou canais de rede primária urbana, projetados para atender a drenagem de precipitações com risco moderado. A macrodrenagem envolve os sistemas coletores da microdrenagem, abrangendo áreas de pelo menos 2 km² (ou 200 ha). Por isso, o sistema de macrodrenagem deve ser projetado com capacidade superior ao de microdrenagem, com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais (PORTO ALEGRE, 2005, p. 15).

As principais medidas de controle descritas por Porto Alegre (2005, p. 20-21) são:

a) aumento do volume infiltrado: permitido pelo uso de dispositivos como pavimentos permeáveis e valas de infiltração. Pode ser instalado para drenagem em lote reduzindo o volume escoado superficialmente;

b) armazenamento: reservatórios que amortecem o escoamento, reduzindo a vazão de pico na escala de lote, microdrenagem e macrodrenagem. Podem ser de detenção, quando mantido a seco para controle do volume; ou de retenção, quando mantido com lâmina de água que exige maior volume, mas controla também a qualidade da água quando a primeira parte do volume for mantida pelo menos 24 horas na detenção;

c) aumento da capacidade de escoamento: transfere para jusante o aumento da vazão, exigindo aumento da capacidade sistema.

Medidas de controle devem ser adotadas quando a instalação de um empreendimento resultar em uma vazão de saída superior a vazão de pré-desenvolvimento. Um terreno pode estar em situação de pré-desenvolvimento, quando a bacia se encontra em condição natural mantendo sua superfície permeável e escoamento em leito natural; ou em situação de implantação de empreendimento, momento em que a vazão máxima é estudada a fim de avaliar as medidas de controle necessárias para que seja mantida a vazão máxima da situação de pré-desenvolvimento original do terreno. Assim, as alternativas de controle são projetadas para evitar obras de ampliação das redes de drenagem existentes, de forma que sejam capazes de comportar o acréscimo de escoamento decorrente do crescimento urbano (PORTO ALEGRE, 2005, p. 18-19). Como o impacto da urbanização na drenagem urbana é transferido para jusante, geralmente quem produz o impacto não é o mesmo que sofre com ele. Portanto, é necessário que haja interferência da ação pública através da regulamentação e do planejamento (PORTO ALEGRE, 2005, p. 9).

A drenagem pluvial em Porto Alegre é regulamentada pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental lei n. 434 de março de 2000 e pela Minuta do Decreto Municipal. Os

instrumentos de regulação definem o tipo de projeto que deve ser executado, os estudos necessários para a adequação ambiental e controle de poluição. Empreendimentos urbanos devem analisar o impacto sobre a infraestrutura urbana (PORTO ALEGRE, 2005, p. 12-13).

Porto Alegre (2005, p. 14) apresenta três elementos básicos que padronizam a regulamentação:

a) a vazão máxima de saída;
b) o volume de detenção necessário para manter a vazão máxima de saída;
c) incentivo ao uso de pavimentos permeáveis e outras medidas de controle na fonte da drenagem urbana.

Contudo, outros elementos podem ser utilizados como medidas de controle de escoamento, entre as quais podem ser destacados o aumento da eficiência do escoamento e o desenvolvimento de espaços sustentáveis. A drenagem de áreas inundadas através de condutos e canais pode ser benéfica quando utilizada em conjunto com reservatórios de detenção. O desenvolvimento de espaços sustentáveis pode garantir o controle do ambiente urbano. Para isso, a manutenção dos caminhos naturais do escoamento, a infiltração do volume escoado devido a áreas impermeáveis e o desenvolvimento de áreas de proteção podem contribuir para controlar o escoamento (TUCCI, 2007, p. 194).

No município de Porto Alegre, o Decreto n. 18.611 (PORTO ALEGRE, 2014a) estabelece que o empreendedor deve manter as condições de pré-ocupação, evitando assim que haja transferência do ônus da drenagem urbana para o restante da população.

O Decreto 16.305, instituído em maio de 2009, regulamenta a conservação, o uso racional da água e seu reaproveitamento. Estão descritos itens que estimulam a redução gradativa do atual impacto ambiental provocado pelo uso e esgotamento da água potável. Desde a implementação do decreto, os projetos ficam obrigados a contemplar equipamentos que combatam o desperdício de água e proporcionem o reaproveitamento das águas, exceto em casos de comprovada inviabilidade técnica, locais de assistência a portadores de deficiências físicas ou mentais e em edificações residenciais. O reaproveitamento de águas pluviais é obrigatório somente para empreendimentos comerciais e industriais com áreas de cobertura ou telhado superiores a 500 m². (PORTO ALEGRE, 2009)

3.2.1 Aumento do Volume Infiltrado

O projeto de residências com menor ocupação seria hoje a medida ideal para controle desses impactos. Porém esta solução é praticamente inviável nos dias atuais devido ao aumento veloz da densidade populacional. A preservação da infiltração e percolação da precipitação permite manter condições mais próximas das naturais. Para isso, dispositivos que diminuem a área impermeável do terreno podem ser utilizados.

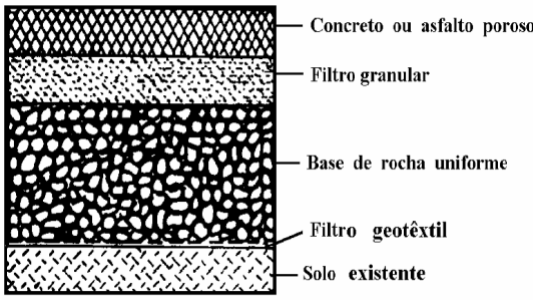
Uma saída passível da manutenção de áreas verdes é o uso de pisos permeáveis em passeios, estacionamentos e locais de tráfego. Os pisos drenantes são estruturados por pavimentação contínua em asfalto ou concreto poroso ou pelo uso de blocos de concreto com juntas alargadas. Esses pavimentos mantêm a condição original do solo e podem até melhorar a taxa de infiltração. Deve-se atentar para a manutenção permanente para que não haja colmatação (TASSI, 2002, p. 11). A figura 4 ilustra um pavimento permeável composto por blocos de concreto vazados preenchidos com vegetação rasteira.

Figura 4 – Piso drenante

(fonte: REMASTER, c2014)

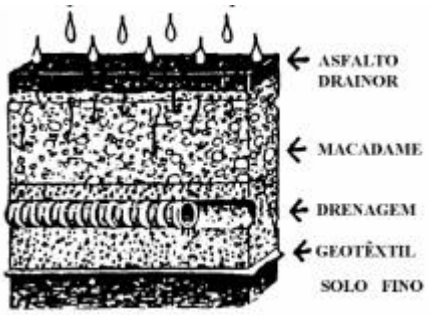
Segundo Porto Alegre (2005, p. 40-43), ainda podem ser utilizados pavimentos porosos de asfalto ou concreto, em que são retiradas da composição do material os agregados finos, permitindo a existência de vazios responsáveis pela drenagem da água. Seu assentamento deve ser sob solo não compactado, de forma a não reduzir a capacidade de infiltração do terreno. Estes dispositivos podem ser utilizados para redução do volume escoado, como também para a redução do tempo de resposta da bacia. As figuras 5 e 6 apresentam a estrutura de um pavimento poroso e um pavimento permeável, respectivamente.

Figura 5 – Pavimento poroso



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 41)

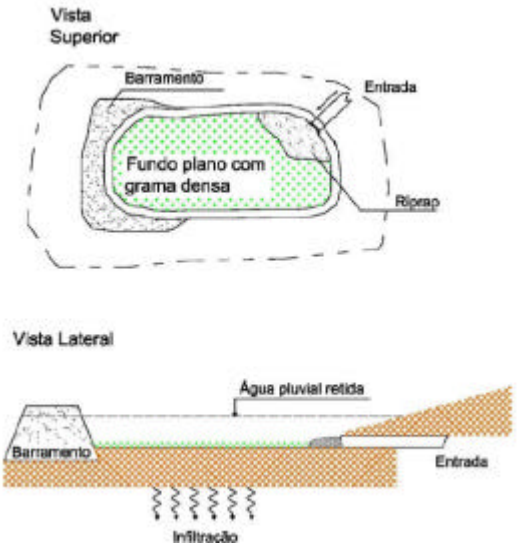
Figura 6 – Pavimento permeável



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 41)

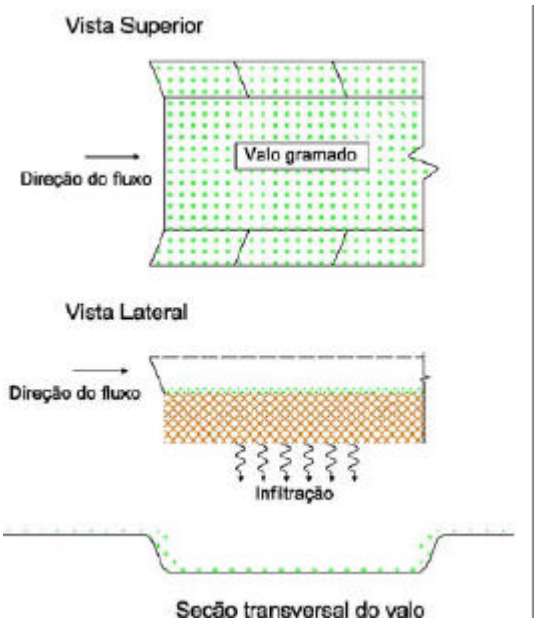
Outros dispositivos para proporcionar a infiltração podem ser instalados como as bacias de infiltração, apresentadas na figura 7, que atenuam picos de cheias e estimulam a infiltração, mantendo água em uma área de solos circundada por uma contenção até que esta infiltre. De modo semelhantes, os valos de infiltração da figura 8 proporcionam a entrada de água no solo enquanto agem como canais e transportam as águas para outros dispositivos de drenagem (PORTO ALEGRE, 2005, p. 48-50).

Figura 7 – Bacia de infiltração



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 49)

Figura 8 – Valo de infiltração

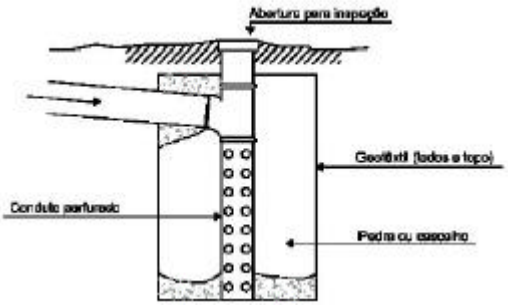


(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 50)

Existem ainda os poços de infiltração construídos mediante a escavação do terreno e contenção do solo com o preenchimento de pedras ou estruturas de concreto perfuradas. As

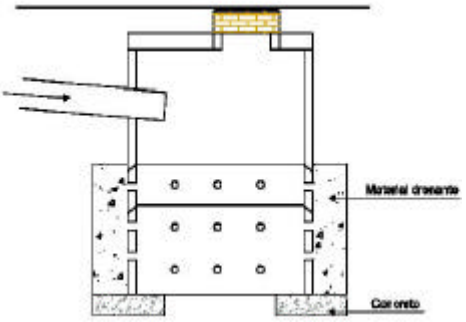
figuras 9 e 10 apresentam dois exemplos, a primeira um poço de infiltração convencional e a segunda um poço de infiltração com revestimento rígido. Em grandes áreas, estes poços podem ser interligados. Na presença de um evento de precipitação ocorre a infiltração da água no solo pelas base e laterais do poço, além de parte do volume ficar retido (PORTO ALEGRE, 2005, p. 52).

Figura 9 – Poço de infiltração convencional



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 52)

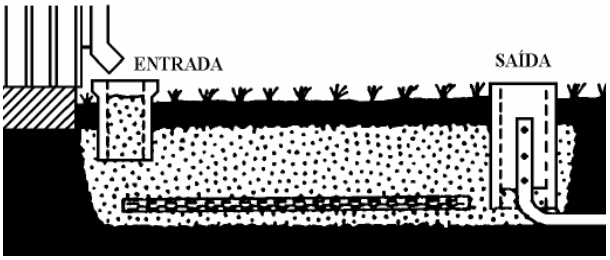
Figura 10 – Poço de infiltração com revestimento rígido



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 52)

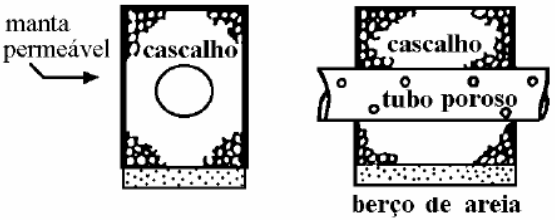
As bacias de percolação, figura 11, e trincheiras de infiltração, figura 12, são dispositivos construídos para permitir o escoamento através do solo. As bacias são construídas removendo-se solo e preenchendo o vazio com cascalho, criando assim um espaço para armazenamento da água da chuva. Este dispositivo encontra grandes dificuldades devido ao entupimento dos espaços entre elementos pelo material fino transportado (PORTO ALEGRE, 2005, p. 57-58). As trincheiras consistem em caixas com cascalho e filtro por onde passa um conduto perfurado (PORTO ALEGRE, 2005, p. 40).

Figura 11 – Bacia de percolação



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 58)

Figura 12 – Trincheira de infiltração



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 40)

3.2.2 Armazenamento

Outro recurso simples para reduzir os impactos nas redes urbanas de drenagem pluvial é a instalação de bacias de detenção, reservatórios que armazenam grandes volumes de água temporariamente devido a um evento de chuva. O conceito baseia-se em reter águas pluviais durante um evento de chuva e liberá-las de modo controlado limitando a vazão efluente. O uso de bacias de detenção objetiva mitigar efeitos da ocupação urbana, minimizando as consequências causadas pelo escoamento, controlando a vazão de pico e o volume escoado superficialmente (GRIBBIN, 2009, p. 325).

3.2.2.1 Microdrenagem

Geralmente, as soluções de detenção são exigidas por leis locais como parte das medidas de gerenciamento das águas pluviais. Na maioria dos projetos as bacias de detenção são a céu aberto e seu volume deve ser suficiente para armazenar temporariamente as águas pluviais durante um evento de precipitação. Contudo, as áreas urbanas estão cada vez mais densas e com menos espaços para estas soluções. Assim podem ser adotadas bacias de detenção formadas por tubos de grande diâmetro ou de outros tipos de câmaras no subsolo. Normalmente, esta solução oferece um volume muito menor e possuem custos mais elevados que o modelo a céu aberto. Além disso, bacias subterrâneas não possuem capacidade de retenção de poluentes, o que requer medidas adicionais de controle de poluição causando outro aumento nos custos (GRIBBIN, 2009, p. 352).

Os reservatórios, quando instalados em grandes áreas públicas são geralmente utilizados como parte integrante do paisagismo do local, podendo ser utilizados como um lago em casos de bacias de retenção, mantendo uma lâmina de água constante, a exemplo a figura 13. Quando são bacias de detenção, os reservatórios estão na maior parte do tempo secos, enchendo apenas durante eventos de chuva. Com isso, eles podem ser utilizados como quadras poliesportivas, praças, playground ou outras finalidades, como na figura 14.

Figura 13 – Bacia de retenção

(fonte: PORTO ALEGRE, 2014c)

Figura 14 – Bacia de detenção

(fonte: PORTO ALEGRE, 2014b)

3.2.2.2 Drenagem no lote

Nas edificações, os sistemas de retenção são estrategicamente posicionados em locais onde não fiquem visíveis porque, em geral, sua aparência não é concordante com a arquitetura no empreendimento. Reservatórios, geralmente de fibra de vidro ou concreto, possuem limitações de instalação. O sistema convencional de captação de águas pluviais em edificações possui reservatórios localizados normalmente no telhado ou em áreas enterradas no térreo ou subsolos, quando existirem. A instalação é formada basicamente por calhas de beiral, platibanda ou água furtada que coletam as águas escoadas sobre telhados, ralos instalados em lajes de cobertura ou áreas externas e grelhas, geralmente instaladas em estacionamentos. Existem também os condutores verticais que recebem o volume de águas das calhas transportando-os para os coletores horizontais. Estes conduzem a água captada até os seus locais de destinos, sendo ele o reservatório de detenção ou o ponto de saída (sarjeta ou coletor público), normalmente passando por uma caixa de areia ou filtros para recolher detritos. A área de contribuição para coleta de água da chuva é definida como toda a cobertura de projeção horizontal incrementada por trechos inclinados da cobertura e por paredes próximas que interceptem a chuva (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 2-7).

Para o dimensionamento de um sistema convencional devem ser analisados o tipo de solo e as tubulações locais preexistentes. A precipitação é dada pelas curvas IDF que devem ser características da região. As legislações locais devem ser consideradas e estudadas de forma que o projeto atenda a todas as exigências legais. O primeiro passo é esboçar um *layout*

identificando as cotas de nível do terreno e posicionando as tubulações e pontos de coleta de água. As tubulações são dimensionadas conhecendo-se a vazão máxima por área de drenagem. São escolhidos diâmetros e inclinações adequados à capacidade. Os pontos de coleta - bocas de lobo ou ralos - devem estar devidamente espaçados para que nenhum dos pontos receba vazão superior à sua capacidade de engolimento devido à proximidade excessiva e, da mesma forma, não muito próximas evitando desperdícios e custo elevado. Devem ser incluídos poços de visita para mudanças de direção e inspeção. Após o lançamento devem ser verificadas as novas instalações para que estas não gerem interferência em serviços e componentes do local.

De acordo com Gribbin (2009, p. 232-239):

> O elemento mais relevante de um projeto de coletor pluvial é a escolha de uma tubulação com diâmetro e declividade suficientes para transportar a vazão de projeto. Isso é feito comparando-se a sua capacidade (em m³/s) à vazão de projeto (m³/s). Se a capacidade de escoamento da tubulação for maior, ela está adequada para uso no sistema de coleta de água pluvial.

No entanto, outros fatores devem ser considerados. Um deles é a velocidade do escoamento. Ela não deve ser demasiadamente baixa para que não ocorra deposição de detritos na tubulação. Da mesma forma a velocidade elevada pode erodir as paredes da tubulação ou sobrecarregar curvas e pontos de conexão. São práticas usuais de projeto para evitar a obstrução das tubulações: a adoção de diâmetro mínimo para facilitar a manutenção; a determinação de diâmetro do trecho igual ou superior ao trecho anterior; o alinhamento dos trechos de mudança de diâmetro pela geratriz superior proporcionando um escoamento mais suave evitando remanso a montante (GRIBBIN, 2009, p. 232-239).

3.3 ÁGUA DE REUTILIZAÇÃO

Na busca de soluções de alagamento e inconveniências de grandes precipitações percebeu-se que não era preciso apenas trabalhar para corrigir situações ocorridas, mas também agir preventivamente na origem dos problemas. Neste contexto Tucci (2007, p. 39) define o desenvolvimento sustentável como “[...] o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades.”. Assim, é necessária uma busca continua por novas alternativas para melhorar convivência com as precipitações intensas e mitigar os problemas por elas gerados.

Fontes alternativas de água são fontes opcionais àquelas normalmente disponibilizadas às habitações e sua utilização nas edificações contribui para o uso eficiente e para a redução das vazões residuárias. Buffon (2010, p. 11-12) cita o uso de fontes alternativas como forma de mitigar os impactos da urbanização:

> Como maneira de enfrentar os impactos trazidos pela urbanização, atualmente, o aproveitamento das águas pluviais como fonte alternativa de abastecimento contribui para redução do risco de desabastecimento e do racionamento. Aproveitar a água da chuva em edificações implica, entre outros, em otimizar o consumo a partir da gestão da demanda e da utilização de água com diferentes níveis de qualidade para atendimento das diferentes necessidades existentes, e consequentemente obter economia pela redução do consumo de água e de outros insumos como energia, além de aumentar a disponibilidade de água e agregar valor ao produto (PIO[1] et al., 2005).

Edificações existentes dificilmente possuem condições favoráveis de instalação de sistema de reutilização de águas pluviais porque muitas estruturas não suportam o peso do reservatório ou ainda suas instalações hidráulicas possuem apenas uma tubulação para atender pontos de consumo potável e não potável. Ainda que o projeto contemple medidas de aproveitamento de fontes alternativas de água em edificações e, com isso, abrande o consumo de água potável e produção de águas residuárias, o investimento sofre um acréscimo significativo. Para implantação do sistema devem ser instalados dois reservatórios de água e rede dupla de abastecimento, considerando um sistema potável e um pluvial, e também um sistema para tratamento de água não potável antes do uso. Os custos de investimento, operação e manutenção da instalação dependem do tipo de sistema projeto e das condições locais, e o tipo de empreendimento e a sua destinação funcional não implicam em modificações significativas (GONÇALVES et al, 2006, p. 60).

A água da chuva pode ser utilizada em diversas situações desde que não cause prejuízos a saúde dos seus usuários. A fim de evitar contaminações ou danos aos componentes do sistema, reduzindo sua vida útil, é preciso um controle de qualidade rigoroso e a verificação da necessidade de tratamento. Alguns dos fatores que alteram a qualidade da água da chuva são: a localização geográfica influenciada pela proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais; a presença ou não de vegetação; as condições meteorológicas como intensidade, duração e tipo de chuva ou ainda o regime de ventos; a estação do ano; e a presença de carga

[1] PIO, A. A. B.; DOMINGUES, A. F.; SARROUF, L.; PINA, E. S.; GUSMAN JÚNIOR, U. (Coord.). **Conservação e Reuso da Água em Edificações.** São Paulo: ANA; FIESP; SINDUSCON/SP, 2005. Disponível em: <www.ana.gov.br/acoesadministrativas/cdoc/Catalogo/2005/ConservacaoEReusoDaAguaEmEdificacoes.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2010.

poluidora como atividades industriais e de processamento, veículos, a construção civil e pedreiras de maneira geral, que liberam substâncias usualmente consideradas poluentes do ar (PHILIPPI, et al. 2006, p. 89).

Segundo Philippi, et al. (2006, p. 94) a técnica mais utilizada para a captação de água da chuva é através da superfície de telhados ou do próprio solo. Na técnica sobre telhados, a água da chuva é coletada e encaminhada para uma cisterna, para posterior utilização. Esta solução é a mais simples de ser aplicada e a que, na maioria das vezes, gera uma água de melhor qualidade. Por não entrar em contato com impurezas existentes na superfície do solo, a água coletada em telhados acaba sendo de melhor qualidade que águas superficiais e porque ela não entra em contato com rochas e solos que são capazes de dissolver minerais e contaminar a água, acaba sendo mais pura que águas profundas. Contudo, a qualidade da água de chuva pode ser afetada pela qualidade do ar local e pelo tipo de material utilizado no telhado instalado.

As bacias de retenção não só controlam vazões como também controlam a qualidade. Durante seu escoamento as águas pluviais carregam poluentes suspensos como hidrocarbonetos, fosfatos, nitratos, sais, pesticidas e metais pesados. A maior parte dos poluentes é transportada no início do evento de chuva, pois esta carrega a poeira solta que se deposita sobre o solo desde a última chuva. Com a intensificação do escoamento a quantidade de poluentes transportados diminui, permitindo escoamento mais limpo que o inicial. Por este motivo, é interessante que os reservatórios sejam dotados de compartimentos destinados a desviar a primeira chuva, deixando seu volume de reservação exclusivamente para águas de melhor qualidade (GRIBBIN, 2009, p. 355-356).

3.4 PISO ELEVADO

Atualmente, o sistema de piso elevado é muito utilizado em áreas internas de empreendimentos coorporativos, laboratórios e centros de tecnologia, pela sua praticidade de acesso, manutenção e ampliação de toda infraestrutura e cabeamento instalados sob o mesmo permitindo a fácil alteração do layout do escritório, como se pode ver na figura 15.

Figura 15 – Piso elevado para áreas internas

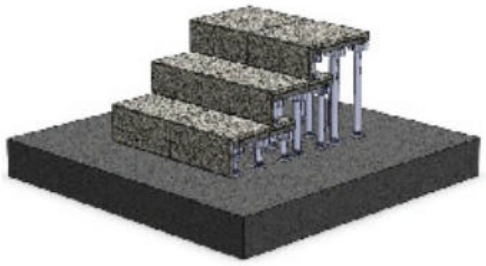
(fonte: REMASTER, c2014)

A grande vantagem do sistema de piso elevado em relação a pisos convencionais é a não existência de argamassas de assentamento e rejuntamento para instalação das peças, portanto sua utilização pode encurtar o prazo de finalização de obra em meses.

O piso elevado contribui para o isolamento acústico, impedindo a propagação de sons de passos ao pavimento inferior e protege contra a ação do fogo. Com esta solução é possível realizar reformas sem a necessidade de novos materiais porque se reaproveita o piso existente. Em contrapartida, a edificação deve apresentar requisitos mínimos para permitir a instalação das peças como altura mínima entre pavimentos (pé direito) e estrutura capaz de resistir aos esforços devido ao peso do conjunto. Além disso, a instalação pode causar danos ao piso original da edificação (KNAUF, 2008, p. 2-3).

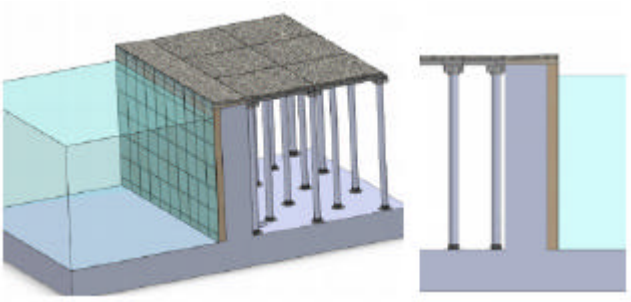
Novas tecnologias têm sido estudadas para permitir sua instalação em áreas externas, para elevação da cota de passeios por motivos paisagísticos, uso em escadas (figura 16) ou bordas de piscinas (figura 17), para permitir instalações subterrâneas, ou para permitir a reservação de águas pluviais, contrapondo-se ao sistema convencional.

Figura 16 – Piso elevado em escadas



(fonte: REMASTER, c2014)

Figura 17 – Piso elevado em piscinas



(fonte: REMASTER, c2014)

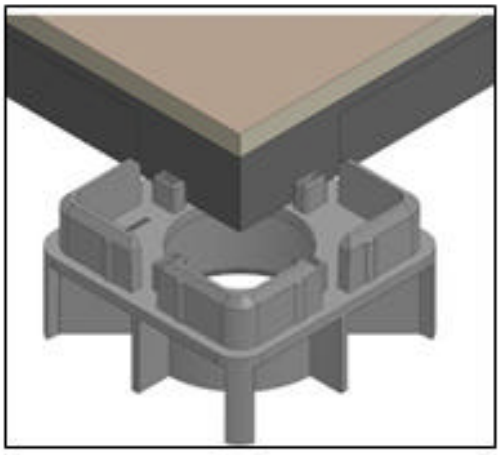
Quando aplicado em áreas externas, como na figura 18, o piso elevado se destina à captação e detenção de águas pluviais. Sendo instalado em laje impermeabilizada sobre pedestais, o vão inferior funciona como um reservatório. O piso drena áreas de circulação, evitando o acúmulo de água e a formação de poças, e pode destinar seu volume à alimentação de jardins suspensos, promovendo redução do consumo e uso adequado da água potável. Contudo, devido ao alto custo, seu uso é indicado somente em coberturas, terraços e pavimentos descobertos impermeabilizados com área superior a 500 m².

Figura 18 – Piso elevado para áreas externas

(fonte: REMASTER, c2013)

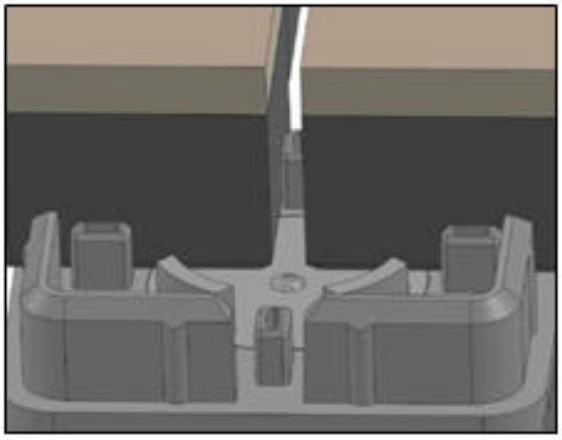
Os pedestais de áreas externas são reguláveis e possuem espaçadores que garantem o alinhamento das placas (figura 19), assim como o perfeito encaixe (figura 20) garantindo o espaçamento ideal entre as placas para o escoamento da água.

Figura 19 – Encaixe entre pedestal e piso



(fonte: REMASTER, c2014)

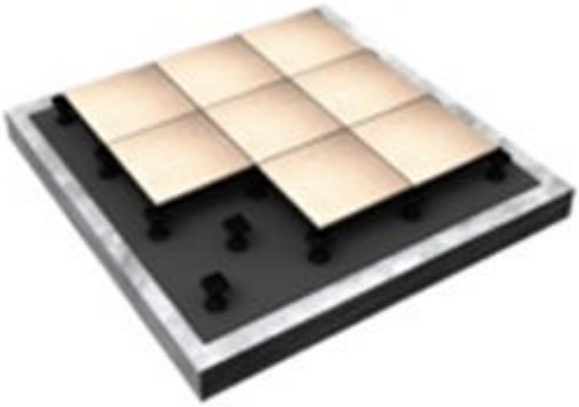
Figura 20 – Alinhamento das placas



(fonte: REMASTER, c2014)

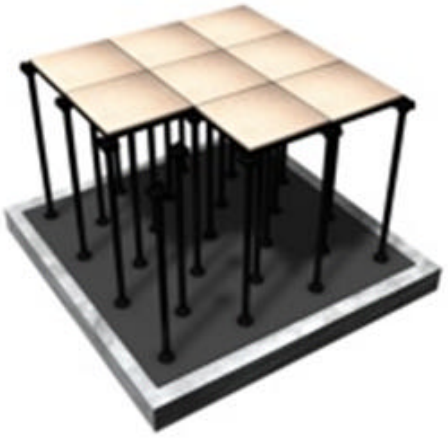
Sua instalação pode ser feita em alturas de 70 mm até 2000 mm, proporcionando liberdade de criação para a arquitetura paisagística. As figuras 21 e 22 apresentam o sistema de piso elevado com pequenos e grandes desníveis, respectivamente.

Figura 21 – Piso elevado para áreas externas para pequenos desníveis



(fonte: REMASTER, c2014)

Figura 22 – Piso elevado para áreas externas para grandes desníveis



(fonte: REMASTER, c2014)

Outra opção é a instalação de jardins auto irrigáveis (figura 23). O sistema funciona como um lençol freático artificial sobre a laje que também pode ser aplicado como telhado verde, porém sem necessariamente ficar restrito à utilização de vegetação rasteira, porque permite o plantio de arbustos e árvores de grande porte, contribuindo assim de forma direta na redução de

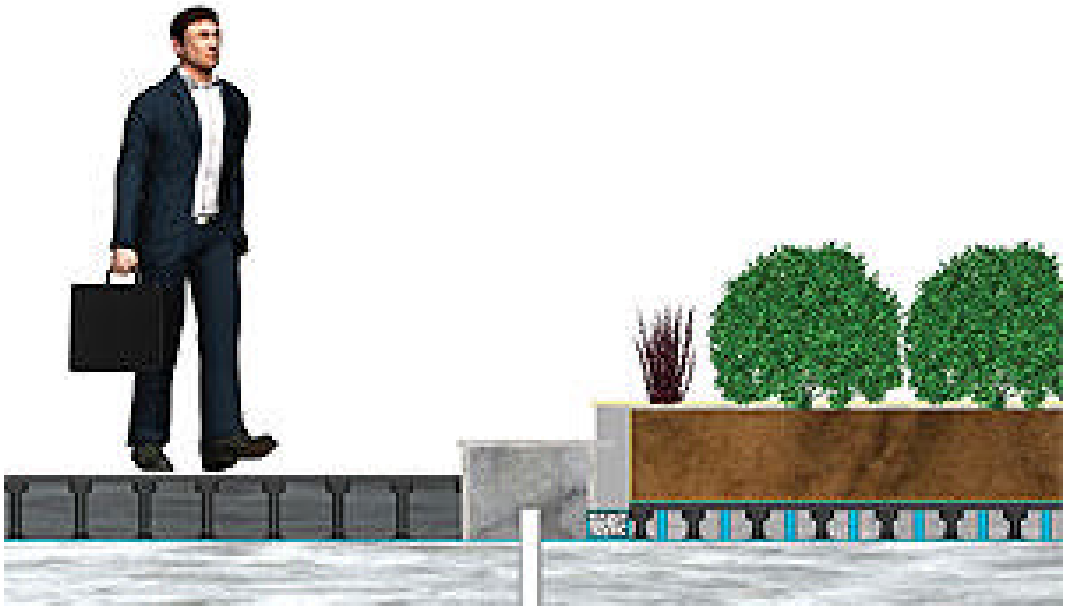
poluentes em suspensão, uma vez que as folhas atuam como esponja natural. Esta solução economiza em média 30% de água potável quando comparado ao sistema de aspersão. (REMASTER, c2014).

Figura 23 – Piso elevado sob jardim

(fonte: REMASTER, c2014)

O sistema de jardins autoirrigáveis funciona em paralelo com o piso elevado externo. Enquanto, de um lado o piso elevado convencional forma um reservatório para as águas pluviais, de outro existe a constituição de um jardim sobre piso elevado de menor altura (figura 24).

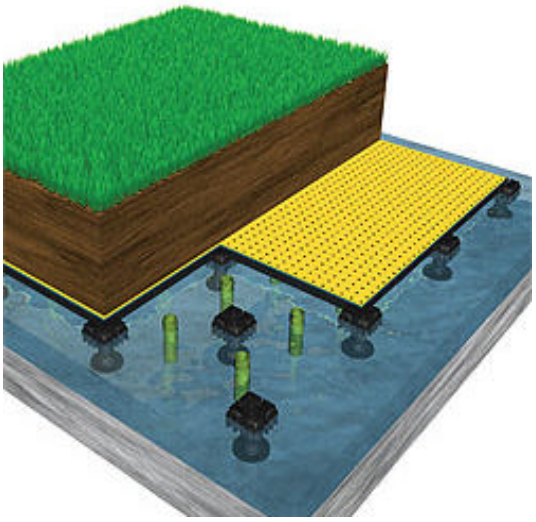
Figura 24 – Corte jardins autoirrigáveis



(fonte: REMASTER, c2014)

A diferença está na composição do material instalado. O piso elevado é formado apenas por pedestais e placas do revestimento escolhido, enquanto o jardim fica suspenso por placas sem revestimento que possuem tubos capilares responsáveis por permitir que a água suba para irrigar o solo. De maneira preventiva, são instaladas mantas antiraiz para que o solo e as raízes não entupam os tubos aspersores. A figura 25 mostra a composição do sistema de jardins autoirrigáveis.

Figura 25 – Jardins autoirrigáveis



(fonte: REMASTER, c2014)

4 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo é apresentado o método de cálculo utilizado para o dimensionamento do sistema predial de águas pluviais. São descritas as equações para cálculo do diâmetro das tubulações e do volume de reservação e os parâmetros de projeto como a intensidade de precipitação e a vazão de contribuição.

4.1 PARÂMETROS DE PROJETO

Conforme consta no Decreto n. 18.611 (PORTO ALEGRE, 2014a, p. [1]), as condições de pré-ocupação devem ser mantidas, evitando assim que haja transferência do ônus da drenagem urbana para o restante da população. A vazão máxima específica de saída do lote fica estabelecida por este Decreto em 20,8 $L.(s.ha)^{-1}$ em terrenos com áreas entre 600 m² e 100 hectares. Para áreas inferiores a 600 m² e habitações unifamiliares esta limitação de vazão pode ser desconsiderada a critério do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) e para as áreas superiores a 100 hectares deve ser realizado estudo específico. A água precipitada no lote não pode ser encaminhada diretamente para a rua ou redes de drenagem, devendo ser armazenada em reservatório, trincheira de infiltração e/ou pavimentos permeáveis com volume de armazenamento determinado por:

$$V = 0{,}0425 * AI \qquad \text{(equação 1)}$$

Sendo:

V = volume (m³);

AI = área impermeável do terreno (m²) (PORTO ALEGRE, 2014a, p. [2]).

A vazão de projeto depende do tipo de superfície no qual a precipitação incide. Sua determinação é função do coeficiente de escoamento do solo, da área de influência e da intensidade de chuva e pode ser calculada pelo método racional através de (PORTO ALEGRE, 2005, p. 85):

$$Q = 0{,}278 * C * I * A \qquad \text{(equação 2)}$$

Sendo:

Q = vazão de projeto (m^3/s);

C = coeficiente de escoamento;

I = intensidade da precipitação (mm/h);

A = área de contribuição (km^2).

Quando se quer determinar o coeficiente para uma área formada por diferentes coberturas é possível fazê-lo através da média ponderada entre as áreas e seus respectivos coeficientes de escoamento conforme a equação 3 adaptada de Porto Alegre (2005, p. 94).

$$Ct = \frac{\sum Ci * Ai}{At} \qquad \text{(equação 3)}$$

Sendo:

Ct = coeficiente de escoamento do terreno;

At = área total do terreno (m^2);

Ci = coeficiente de escoamento da área individual;

Ai = parcela da área individual (m^2).

O coeficiente de escoamento C varia de acordo com o tipo de solo e cobertura, tipo de ocupação, tempo de retorno e intensidade de precipitação. Porto Alegre (2005, p. 86-87) apresenta os valores destes coeficientes de acordo com o tipo de ocupação na tabela 1 e com o tipo de revestimento na tabela 2.

Tabela 1 – Coeficientes de escoamento por área de ocupação

Descrição da área	C
Área Comercial / Edificação muito densa:	
Partes centrais, densamente construídas, em cidades com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
Área Comercial / Edificação não muito densa	
Partes adjacentes ao centro, de menos 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 residências com ruas macadamizas ou pavimentadas	0,50 - 0,60
Unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 - 0,75
Lotes com > 2.000 m²	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
Playgrounds	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 – Coeficientes de escoamento por superfície 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 - 015
Alta (declividade 7%)	0,15 - 0,20
Grama, solo pesado:	
Plano (declividade 2 %)	0,13 - ,17
Médio (declividade de 2 a 7 %)	0,18 - 0,22
Alta (declividade 7%)	0,23 - 0,35

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

Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PORTO ALEGRE, 2005, p. B8), Porto Alegre possui cinco regiões com equações IDF de boa qualidade para projetos de drenagem urbana: Aeroporto, 8º Divisão de Supervisão em Meteorologia Legal (DISME), Redenção, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) e Cavalhada. Neste trabalho será utilizada a Curva IDF do Aeroporto Salgado Filho, baseada na digitalização das alturas de precipitação a cada 10 minutos, desconsiderando desagregações, registradas de 1962 a 1987 com alguns períodos de falhas. O ajuste resultou na igualdade (PORTO ALEGRE, 2005, p. B4-B5):

$$I = \frac{826{,}8 * TR^{0{,}143}}{(t + 13{,}3)^{0{,}79}} \qquad \text{(equação 4)}$$

Sendo:

I = intensidade da precipitação (mm/h);

TR = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos).

O período de retorno, ou período de recorrência, que representa o número médio de anos em que um evento será igualado ou superado, identifica ainda o risco a ser adotado no projeto para reduzir a frequência das inundações e os prejuízos aceitáveis. Ao adotar um período de retorno de dez anos, admite-se que, em média, a cada dez anos possam ocorrer eventos de chuva que ocasionem prejuízos. No dimensionamento do sistema predial de águas pluviais são considerados tempos de retorno igual a um ano quando a área de coleta for um local pavimentado que permite a formação de poças de água temporariamente; igual a cinco anos quando considerados coberturas e terraços; e igual a 25 anos quando não é admitido a formação de poças de água temporariamente. A duração de chuva utilizada para identificar a intensidade de projeto nesses casos é adotada como cinco minutos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3).

A determinação das vazões que escoam pelas tubulações é feita através da equação de Manning. As tabelas apresentadas para o dimensionamento das instalações prediais são baseadas nesta equação.

$$Qs = \frac{1}{n} * As * RH^{2/3} * i^{1/2} \qquad \text{(equação 5)}$$

Sendo:

Qs = vazão de descarga da tubulação de saída (m^3/s);

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

As = área molhada (m^2);

RH = raio hidráulico (m);

i = inclinação da tubulação (%).

4.2 INSTALAÇÕES PREDIAIS

Para o projeto do sistema predial de águas pluviais executado neste trabalho foi necessário definir, numa primeira etapa, se a coleta da água da chuva será realizada através de calhas em telhados ou ralos em coberturas. Após isso, foi feita a locação dos condutores verticais e a determinação do traçado das tubulações horizontais até o reservatório de controle do escoamento e seu dimensionamento.

Para este trabalho foi considerada que as edificações teriam lajes de coberturas abertas, sem a existência de telhados. Para coberturas horizontais de lajes, a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) recomenda que as lajes tenham inclinação mínima de 0,5% para garantir o escoamento das águas pluviais até os pontos de drenagem previstos. Além disso, a drenagem deve ser feita por mais de uma saída, sendo subdividida em áreas de influência menores com diferentes orientações de caimento, evitando longos percursos de água e possibilidades de obstruções.

Para os condutores verticais, a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6-7) determina que estes devem ser projetados em prumada única sempre que possível e ter diâmetro interno mínimo de 70 mm. Caso seja necessária a previsão de um desvio, este deve ser feito por curvas de 90° com raio longo ou curvas de 45° e deve possuir peças de inspeção.

O dimensionamento dos ralos e tubulações é função das vazões que por eles escoam. Para determinar a vazão de cada ralo, utiliza-se o método racional, apresentado na equação 3, que considera a precipitação local, a área de influência de cada ralo e seu coeficiente de escoamento. As tubulações horizontais e verticais responsáveis pela condução das águas do ponto de coleta até o reservatório são dimensionadas pela norma conforme as tabelas 3 e 4 baseadas na equação de Manning, fazendo o somatório das vazões geradas pelas diferentes áreas cujo escoamento é drenado pelo trecho de tubulações:

Tabela 3 – Diâmetros internos dos condutores horizontais de acordo com sua rugosidade e inclinação

Diâmetro interno (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	0,50%	1%	2%	4%	0,50%	1%	2%	4%	0,50%	1%	2%	4%
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	1100	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

Tabela 4 – Diâmetros dos condutores verticais de acordo com a área de contribuição

Diâmetro do Conduto (mm)	Área máxima de contribuição (m²)
75	130
100	288
125	501
150	780
200	1616

(fonte: adaptado de MACINTYRE, 1996, p. 287)

O dimensionamento das tubulações horizontais do pavimento térreo exige maior atenção porque são responsáveis pelo escoamento de todo o volume precipitado ao reservatório de retenção. A vazão utilizada para o dimensionamento deve ser a soma da vazão coletada pelos ralos de cobertura e da vazão das outras tubulações que nela descarregam suas águas. De acordo com NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 7), devem ser previstas caixas de inspeção ao longo do trajeto sempre que houver uma

conexão ou variação de inclinação ou de direção, mantendo distância máxima de trecho retilíneo entre caixas de inspeção de 20m. Caso as tubulações sejam enterradas é preciso instalar caixas de areia nas mesmas condições anteriores.

Para determinar as dimensões do reservatório de controle de escoamento é preciso atentar para a cota de fundo do mesmo, que deve estar sempre acima da cota de conexão com a rede de drenagem pluvial pública. Assim, assegura-se que a ligação do sistema predial ao público permita o escoamento por gravidade e evita-se o fluxo inverso de água e consequente entrada de água da rede pluvial no reservatório. O volume de reservação estimado pela equação 1 é materializado em função da área da base do reservatório e da altura útil do mesmo.

O descarregador de fundos pode ser um orifício ou um bocal e deve ser instalado no reservatório de modo a liberar o volume contido de forma gradual, sem superar a vazão limite estipulada pelo Decreto 18.611. É muito importante que seja instalada uma grade antes do mesmo para evitar obstruções na saída. Neste estudo foi considerado o descarregador de fundos como um orifício com seção de área A_C, determinado pela equação 6 com correspondente diâmetro D dado pela equação 7. O diâmetro mínimo é de 25mm, e preferencialmente deve ser adotado o maior diâmetro comercial possível de acordo com o dimensionamento, evitando a colocação de dois descarregadores menores e mitigando as possibilidade de entupimento, conforme Porto Alegre (2005, p. 70-71).

$$Ac = \frac{0{,}37 * Q_{pd}}{\sqrt{h_c}} \qquad \text{(equação 6)}$$

Sendo:

A_C = Área da seção transversal do descarregador (m²);

Q_{pd} = vazão de pré-desenvolvimento determinada pela equação 8 (m³/s);

h_C = diferença entre o nível máximo da água e o ponto médio da abertura da seção de saída (m) conforme a figura 26.

$$D = \frac{0{,}69 * \sqrt{Q_{pd}}}{\sqrt{\sqrt{h_c}}} \qquad \text{(equação 7)}$$

Sendo:

D = diâmetro do descarregador (m);

Q_{pd} = vazão de pré-desenvolvimento determinada pela equação 8 (m^3/s);

h_C = diferença entre o nível máximo da água e o ponto médio da abertura da seção de saída (m) conforme a figura 26.

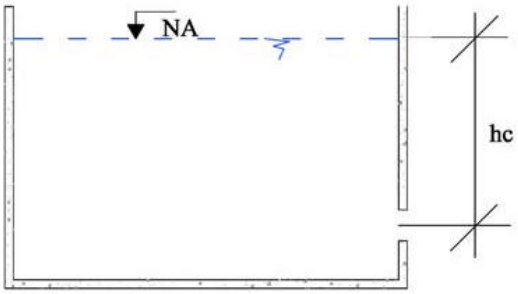
$$Q_{pd} = 20{,}8 * A \qquad \text{(equação 8)}$$

Sendo:

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

A = área do lote (ha).

Figura 26 – Determinação do h_C em um reservatório



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 71)

Como medida preventiva para eventos de chuva maiores que os considerados no dimensionamento do sistema de drenagem é projetado um vertedor de excessos no reservatório. Este tem por função escoar a água em excesso que entra no reservatório.

Segundo Porto Alegre (2005, p. 75), o vertedor de excessos é dimensionado somente quando o extravasamento do reservatório pode causar danos à propriedade. Nos demais casos, o vertedor é desnecessário, porque o local permite empoçamento temporário.

Os vertedores podem ser construídos com paredes delgadas quando de espessura menor ou igual a 3 cm ou paredes espessas quando maior que 3 cm. O dimensionamento do vertedor é feito a partir da determinação da vazão que por ele escoa. Esta vazão de descarga é calculada através do método racional, como citado na determinação da vazão de projeto com a equação 3. A diferença na aplicação do método é que para o dimensionamento do vertedor deve ser considerado um maior período de retorno porque a precipitação necessária para o vertedor entrar em serviço deve ser maior que a chuva utilizada para o dimensionamento do reservatório em projeto. Além disso, Porto Alegre (2005, p. 75) recomenda que seja utilizado tempo de concentração estimado pela equação 9.

$$t_c = \frac{5{,}474 * (n * L)^{0,8}}{\left(P_{24}^{\ 0,5}\right) * \left(S^{0,4}\right)} \qquad \text{(equação 9)}$$

Sendo:

tc = tempo de concentração (min);

n = coeficiente de rugosidade de Manning conforme a tabela 5;

L = comprimento do escoamento (m);

P24 = precipitação com 24 horas de duração (mm);

S = declividade (m/m).

Tabela 5 – Coeficientes de rugosidade de Manning para diferentes superfícies

Descrição da Superfície	Rugosidade (n)
Superfícies alisadas	
Concreto, asfalto, pedregulhos ou solo exposto	0,011
Solos sem cultivo	0,050
Solos cultivados	
Resíduos cobrem < 20%	0,150
Resíduos cobrem > 20%	0,240
Grama nativa, alfafa, etc.	0,410
Pastagens naturais	0,130
Florestas	
Vegetação rasteira esparsa	0,400
Vegetação rasteira densa	0,800

(fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2005, p. D3)

Segundo Porto Alegre (2005, p. 76), o comprimento da parede do vertedor L_V é dimensionado pela equação 10. A recomendação é que seja usado para paredes espessas coeficiente de descarga C_V = 0,86 e constante K = 1,704; para paredes delgadas é utilizado C_V = 0,64 e K = 2,95.

$$L_V = \frac{Q_V}{K * C_V * (h_{máx})^{1,5}} \qquad \text{(equação 10)}$$

Sendo:

L_V = comprimento da crista do vertedor (m);

Q_V = vazão de descarga do vertedor, determinada pela equação 3 (m³/s);

$h_{máx}$ = carga sobre o vertedor (m);

C_V = coeficiente de descarga do vertedor.

O reservatório deve armazenar a água da chuva temporariamente e liberar uma vazão restrita mitigando alagamentos. Contudo, para que o sistema funcione em um próximo evento de chuva é necessário que o mesmo esteja vazio. Para permitir a drenagem da água retida no reservatório, a tubulação de saída deve ser capaz de escoar a pior chuva. Por este motivo, seu dimensionamento é feito com a soma da vazão do vertedor e a vazão do descarregador de fundos pela equação de Manning (equação 5), considerando uma inclinação para a tubulação que permita a ligação com a rede pública.

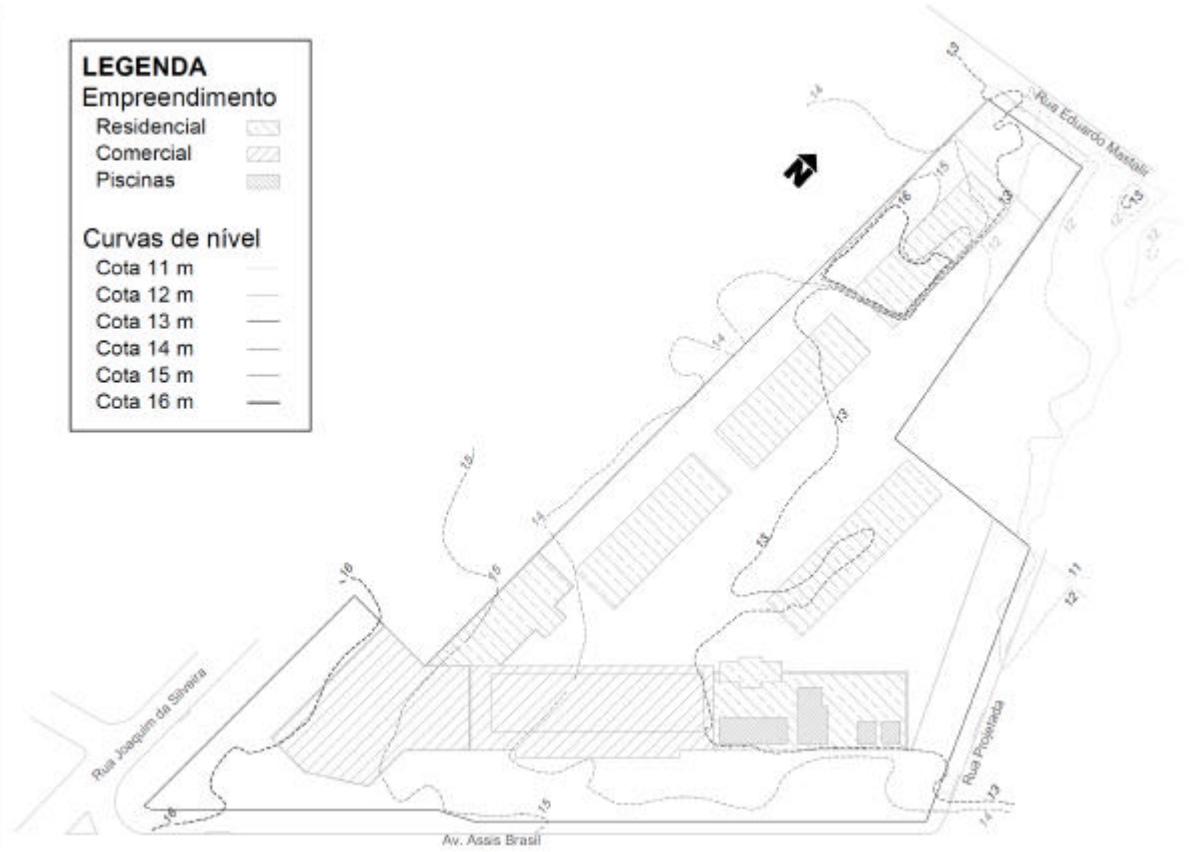
5 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão apresentadas as análises estudadas.

5.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

O projeto utilizado neste trabalho é um empreendimento com uma torre comercial de 14 pavimentos e quatro torres residenciais de 14 pavimentos cada uma, localizado na zona norte de Porto Alegre, com área total de terreno de 18.391,42 m². O terreno utilizado possui grande declividade. De acordo com o levantamento topográfico, as cotas das vias que limitam o empreendimento variam entre 14,75 m e 11,22 m. O pavimento térreo está projetado para a cota 12,28 m. A figura 27 apresenta a implantação do terreno com suas curvas de nível.

Figura 27 – Implantação geral e curvas de nível



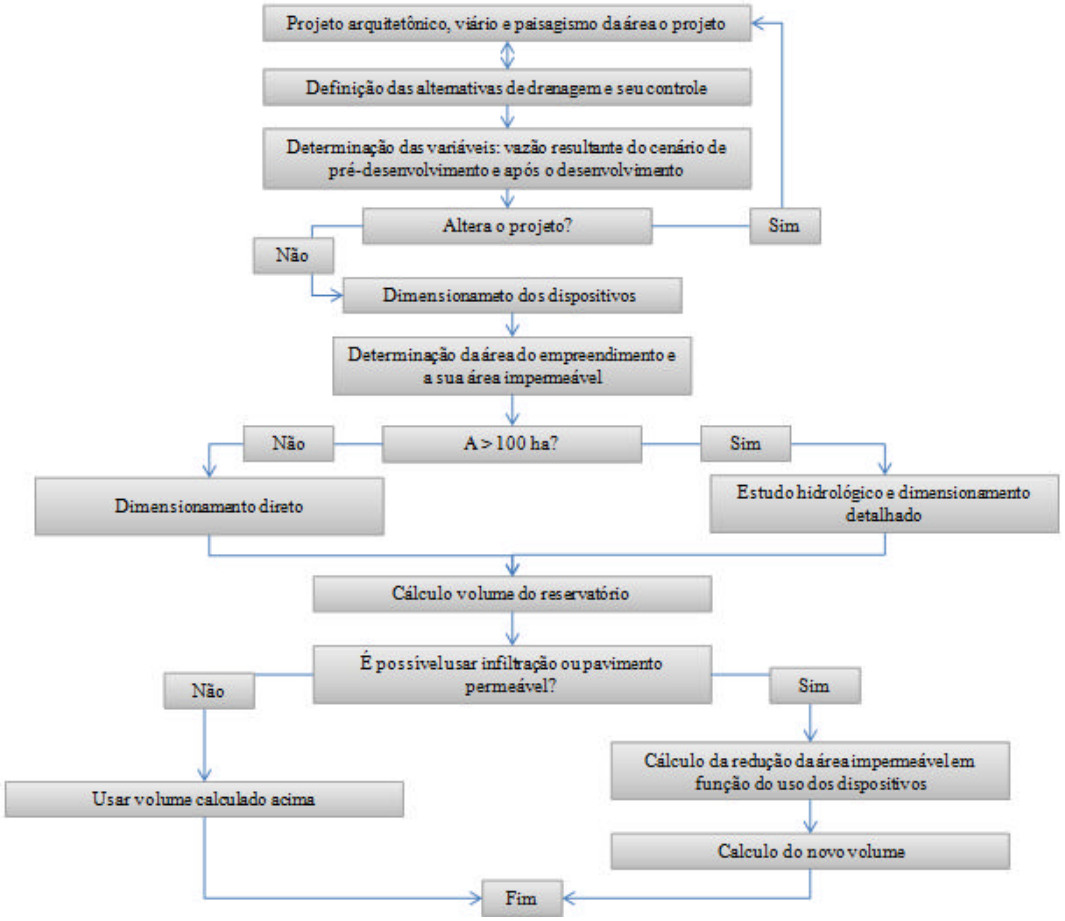
(fonte: elaborado pela autora)

5.2 PARÂMETROS DE PROJETO

Este trabalho apresenta a análise de três alternativas de projeto de instalação predial de águas pluviais para o estudo de caso selecionado. A primeira considera a utilização de um reservatório convencional para controle de escoamento, construído em concreto (análise 1). A segunda alternativa insere o reservatório para controle de escoamento sob piso elevado externo, eliminando a construção do reservatório em concreto (análise 2). Na terceira alternativa é apresentado uma combinação que utiliza o reservatório convencional e regiões do lote com implantação do piso elevado que retém água para irrigação de jardins e assim diminui a área impermeável do lote (análise 3).

Seguindo o modelo de dimensionamento presente no Plano Diretor de Drenagem Urbana e apresentado na figura 28, foram realizadas algumas considerações e cálculos a partir das fórmulas apresentadas anteriormente para chegar ao volume do reservatório necessário.

Figura 28 – Roteiro de desenvolvimento de projeto



(fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2005, p. 19; p. 29)

Por se tratar de um empreendimento de grande porte cuja área de terreno de 18.391,42 m² está entre 600 m² e 100 ha, fica obrigatória a construção de um reservatório para retenção de águas pluviais para controle no lote conforme estipulado no Decreto n.18.611 vigente no município de Porto Alegre, de forma que a vazão específica de saída do lote não pode ultrapassar o limite de 20,8 $L.(s.ha)^{-1}$ (PORTO ALEGRE, 2014a, p. [1]). Para este estudo, a vazão fica restringida a 0,0383 m³/s.

5.3 ESTIMATIVA DO VOLUME DE RESERVAÇÃO

Para a estimativa do volume de reservação necessário para o terreno em questão, foram definidos parâmetros de cálculo. Em cada análise foram considerados os coeficientes de escoamento apresentados na tabela 6 e os valores ponderados pela área estão na tabela 7.

Tabela 6 – Coeficientes de escoamento por local

LOCAL	COEFICIENTES DE ESCOAMENTO
Torres e lajes de cobertura	1,00
Passeios	1,00
Piso Elevado	0,10
Jardins	0,20
Quadras	1,00
Piscina	0,00
Estacionamento	0,70
Decks em madeira	1,00

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 7 – Coeficiente de escoamento por análise

ANÁLISE 1	ANÁLISE 2	ANÁLISE 3
0,72	0,67	0,60

(fonte: elaborado pela autora)

A intensidade de chuva para o local foi determinada pela curva IDF da região do Aeroporto. Porto Alegre (2005, p. 18) indica valores de tempo de retorno para projeto de drenagem entre dois e cinco anos para microdrenagens residenciais e comerciais, com valor usual de dois para residenciais e cinco para comerciais. Como o projeto em questão contempla os dois tipos de empreendimento, foi considerado o período mais abrangente sendo o tempo de retorno então de cinco anos. A duração considerada para o evento de chuva foi de 5 minutos, conforme orientação da NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3), obtendo-se o valor de 104,72 mm/h para a intensidade de precipitação.

As áreas do terreno foram classificadas de acordo com seu local em permeáveis e impermeáveis em cada análise conforme a tabela 8.

Tabela 8 – Permeabilidade e dimensões das áreas de implantação

LOCAL	PERMEABILIDADE	ÁREA (m²)		
		ANÁLISE 1	ANÁLISE 2	ANÁLISE 3
Torres e lajes de cobertura	Impermeável	4.305,79	4.305,79	4.305,79
Passeios	Impermeável	4.555,10	3.707,60	2.182,44
Piso Elevado	Permeável	0,00	847,50	2.372,66
Jardins	Permeável	5.110,25	5.110,25	5.110,25
Quadras	Impermeável	790,38	790,38	790,38
Piscina	Permeável	271,67	271,67	271,67
Estacionamento	Permeável	2.471,76	2.471,76	2.471,76
Decks em madeira	Impermeável	783,56	783,56	783,56

(fonte: elaborado pela autora)

As áreas impermeáveis totais do lote e as vazões de contribuição de projeto estão apresentadas na tabela 9, assim como o volume de reservação calculado pela área impermeável e o volume real de armazenamento em cada estudo. Na segunda análise, apesar de parte da área de passeio ser considerada como área permeável de piso elevado, o volume de reservação não será alterado porque a água precipitada sobre esta parcela do solo não será infiltrada, mas escoará diretamente para o reservatório.

Tabela 9 – Área impermeável do lote, vazão de contribuição e volume de reservação

	ANÁLISE 1	ANÁLISE 2	ANÁLISE 3
ÁREA IMPERMEÁVEL (m²)	10.434,83	9.587,33	8.062,17
VAZÃO DE CONTRIBUIÇÃO (m³/s)	0,39	0,36	0,32
VOLUME DE RESERVAÇÃO CALCULADO (m³)	443,48	407,46	342,64
VOLUME DE RESERVAÇÃO REAL (m³)	443,48	443,48	342,64

(fonte: elaborado pela autora)

Nas três alternativas, o reservatório atende a todas as torres, inclusive a comercial. Por isso, ele foi posicionado no centro do empreendimento de forma a facilitar as conexões. Para definir a área de implantação do reservatório, bem como sua altura útil de armazenamento de água é preciso determinar as cotas com que as tubulações vindas das edificações e das áreas externas chegam ao reservatório. Estas tubulações funcionam como limitadores da altura de instalação do reservatório. Se as vazões forem muito elevadas, fazendo com que sejam necessários grandes diâmetros e inclinações, para que todo o sistema funcione por gravidade será necessário que o reservatório seja mais profundo. Esta situação muitas vezes inviabiliza a conexão da saída do reservatório com a rede pública. Em cada caso, foram dimensionadas as tubulações prediais de águas pluviais, bem como os ralos coletores das áreas externas para determinar as cotas de entrada e saída do reservatório.

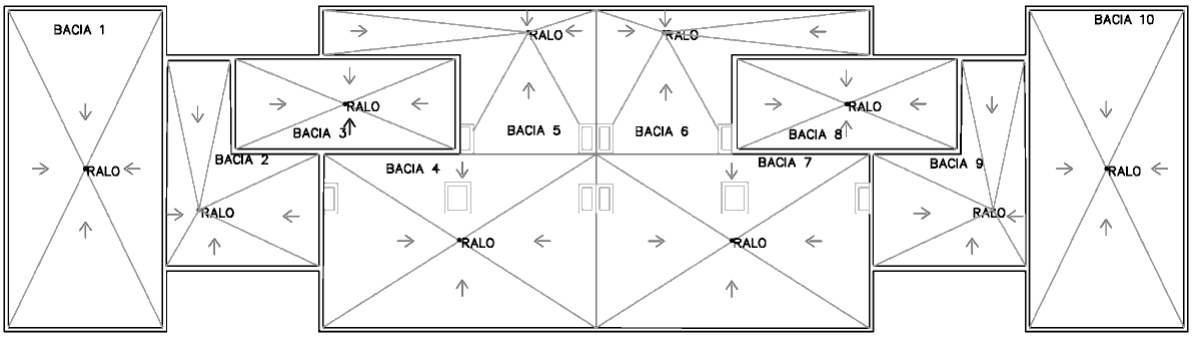
5.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O próximo item apresenta o dimensionamento das instalações de coleta da água da chuva nas coberturas e das tubulações responsáveis por sua condução até o térreo. Este trecho do sistema é considerado idêntico nas três análises. As mudanças feitas nos três dimensionamentos, apresentadas na sequência, estão no térreo, onde foram alteradas as superfícies externas e as dimensões dos reservatórios. Com a alteração da superfície, o coeficiente de escoamento é modificado e consequentemente a área impermeável e o volume de reservação. A modificação das dimensões do reservatório, modifica o traçado das tubulações, afetando seu comprimento e profundidade.

5.4.1 Tubulações da Cobertura ao Térreo

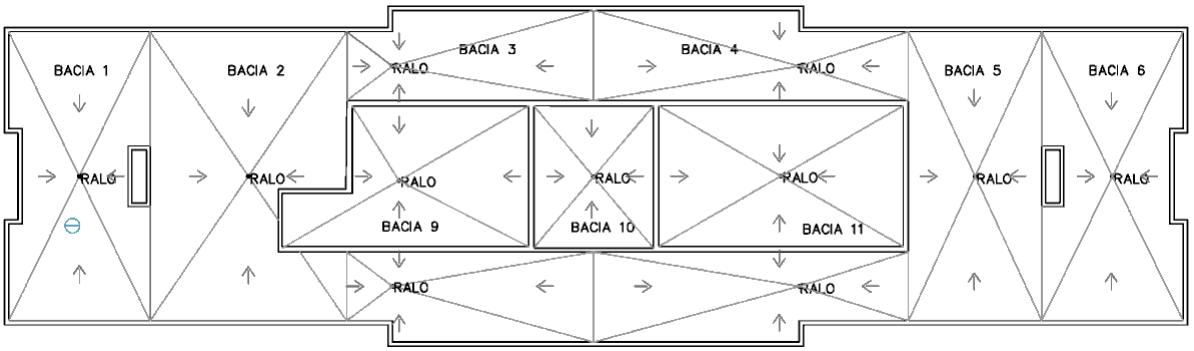
No presente trabalho foi considerado que as coberturas são compostas por lajes drenadas por ralos, sem a existência de telhados. Neste caso, as lajes devem ter inclinação mínima de 0,5% de forma a conduzir as águas até os pontos de coleta. Os ralos foram posicionados dividindo as áreas da cobertura em regiões menores para melhor coleta da água da chuva, conforme apresentado nas figuras 29, 30 e 31.

Figura 29 – Caimentos da cobertura torre comercial



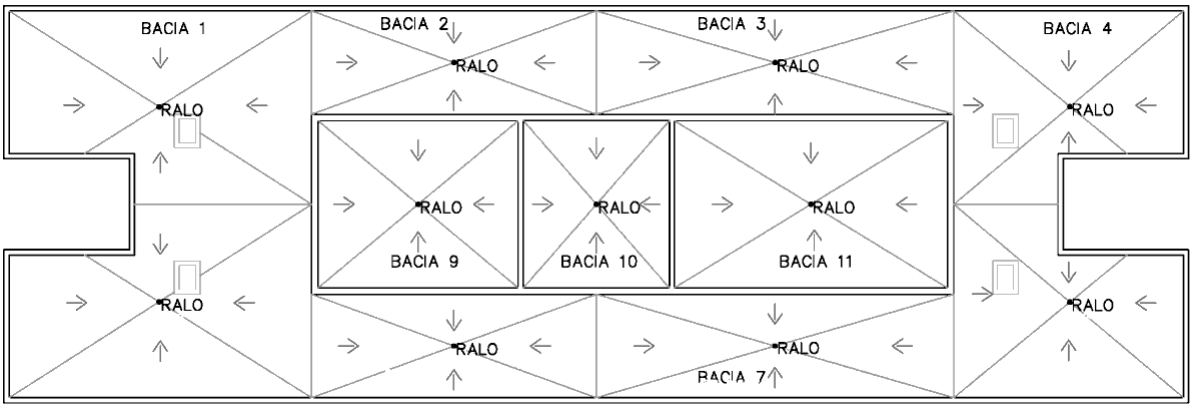
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 30 – Caimentos da cobertura torre residencial 1



(fonte: elaborado pela autora)

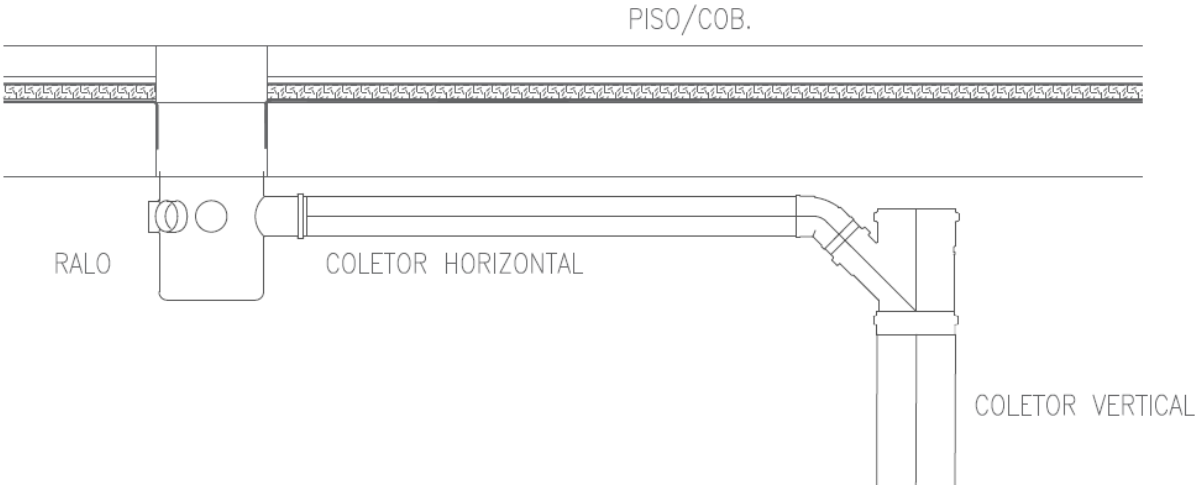
Figura 31 – Caimentos da cobertura torre residencial 2,3 e 4



(fonte: elaborado pela autora)

Foi determinado que a água coletada nas coberturas é drenada horizontalmente dos ralos até os coletores verticais que conduzem as águas da cobertura até o térreo, detalhado na figura 32, e então serão encaminhados por condutores horizontais até o reservatório de detenção.

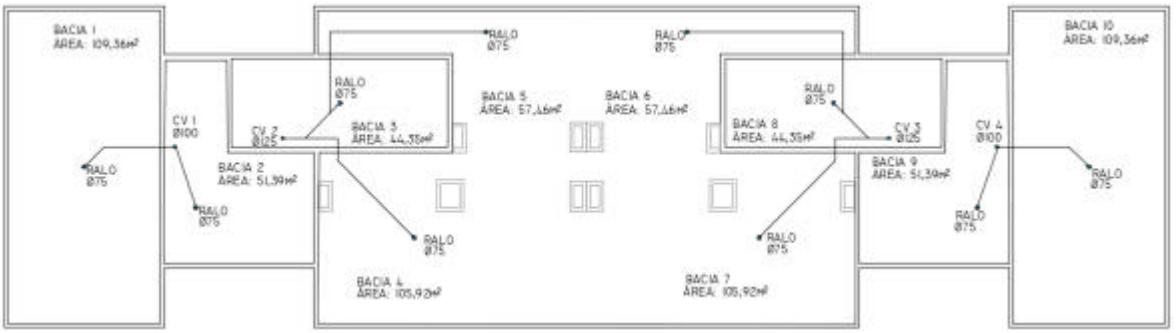
Figura 32 – Detalhe das conexões da cobertura



(fonte: elaborado pela autora)

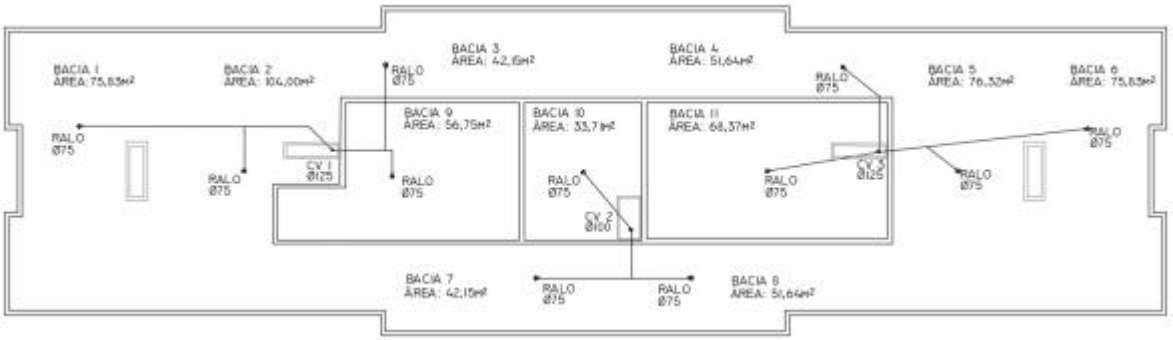
O traçado das instalações, apresentado nas figuras 33, 34 e 35 a seguir, buscou reduzir os percursos das tubulações além de prever em todas as conexões, mudanças de direção ou declividade e em trecho mais longos que 20 m, caixas de inspeção, conforme orientação da NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 9). Todas as caixas terão no fundo um desnível de 10 cm com tubo de saída para a acumulação dos detritos carregados pela água.

Figura 33 – Instalações da cobertura torre comercial



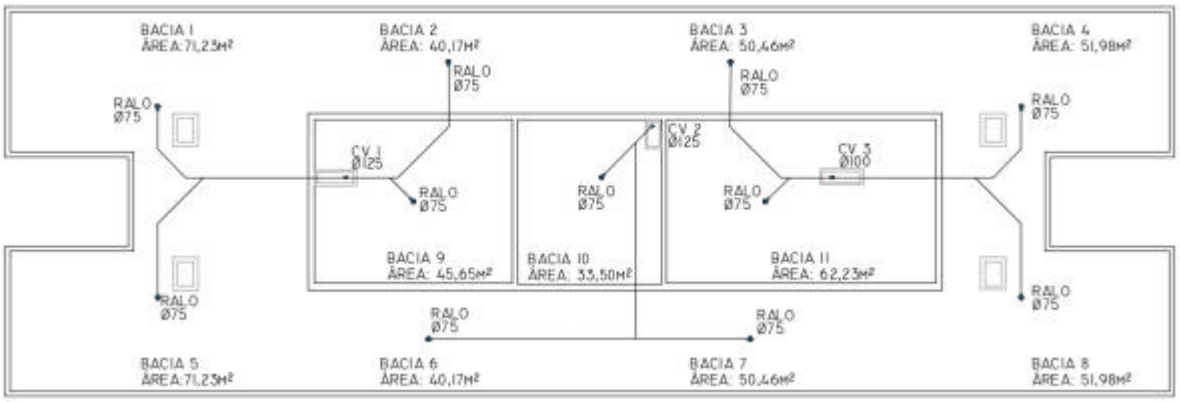
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 34 – Instalações da cobertura torre residencial 1



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 35 – Instalações da cobertura torre residencial 2,3 e 4



(fonte: elaborado pela autora)

As instalações das torres (ralos, coletores horizontais da cobertura e condutores verticais) estão apresentadas na tabela 10. Para todas as tubulações instaladas foram considerados tubos em plástico com coeficiente de rugosidade igual a 0,011.

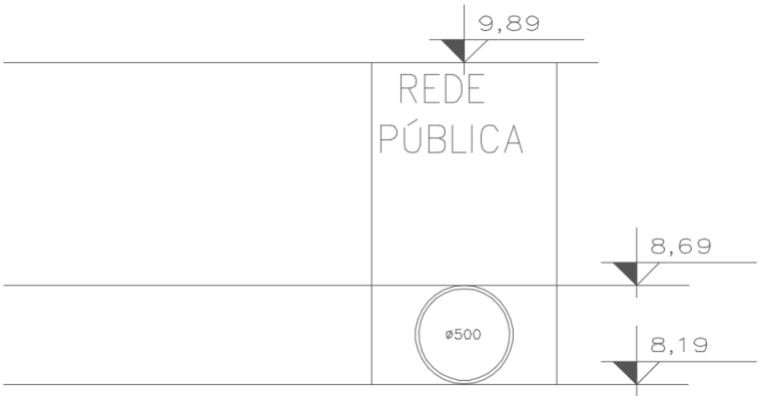
Tabela 10 – Dimensionamento dos condutores

Torre Comercial						Torre Residencial 1						Torre Residencial 2,3,4					
Ralo Cobertura		Condutor Horizontal Cobertura		Condutor Vertical		Ralo Cobertura		Condutor Horizontal Cobertura		Condutor Vertical		Ralo Cobertura		Condutor Horizontal Cobertura		Condutor Vertical	
Ralo	?	CH	?	CV	?	Ralo	?	CH	?	CV	?	Ralo	?	CH	?	CV	?
1	75	1	100	1	100	1	75	1	100	1	125	1	75	1	100	1	125
2	75	2	75	2	125	2	75	2	100	2	125	2	75	2	100	2	100
3	75	3	100	3	125	3	75	3	125	3	100	3	75	3	125	3	125
4	75	4	75	4	100	4	75	4	75			4	75	4	75		
5	75	5	100			5	75	5	75			5	75	5	100		
6	75	6	100			6	75	6	100			6	75	6	100		
7	75	7	125			7	75	7	75			7	75	7	75		
8	75					8	75	8	75			8	75	8	75		
9	75					9	75	9	100			9	75	9	75		
10	75					10	75	10	75			10	75	10	100		
						11	75	11	125			11	75	11	100		
								12	75					12	75		
								13	100					13	100		
								14	100					14	100		
								15	75					15	125		
								16	75								
								17	100								

(fonte: elaborado pela autora)

Inicialmente foram propostas áreas para instalação do reservatório com correspondente altura útil que atendesse ao volume de reservação calculado para realizar o lançamento primário das tubulações. Após a determinação dos diâmetros e inclinações das instalações que coletam as águas das coberturas e áreas externas e as conduzem até o reservatório, foi possível verificar a cota de chegada das mesmas ao reservatório e determinar, assim, a cota de fundo do reservatório. Nas análises em que esta cota permitiu a ligação da tubulação de saída do reservatório ao coletor público, não foram necessários demais ajustes. Na situação em que não foi possível fazer a ligação, o traçado das tubulações e a área e altura do reservatório foram alterados, de forma a reduzir as inclinações das tubulações e assim reduzir a cota de fundo do reservatório, permitindo a conexão com o coletor público. Para a ligação com a rede de microdrenagem local de diâmetro de 500 mm está prevista uma caixa de inspeção de cota de topo de 9,89 m e cota de fundo de 8,19 m, conforme topografia local, ilustrado na figura 36. Considerando que o ponto de saída do reservatório é o mesmo nos três projetos e que a inclinação da tubulação mantém 0,5%, para a conexão do reservatório com rede pública, a cota de fundo da tubulação de saída deve estar entre 10,32 m e 9,12 m.

Figura 36 – Rede pública

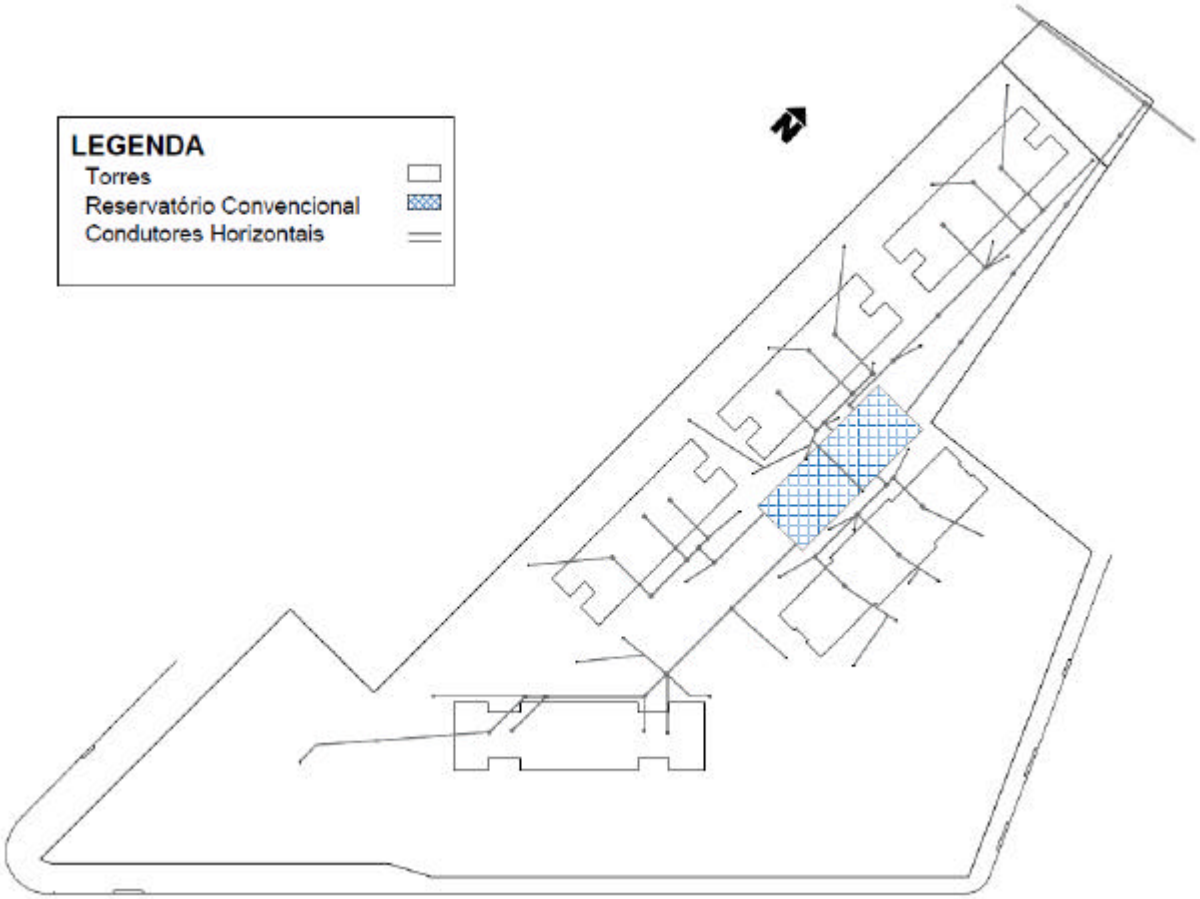


(fonte: elaborado pela autora)

5.4.2 Análise 1: Reservatório Convencional

No primeiro estudo foi implantado um reservatório convencional de concreto. Para que este atendesse o volume de reservação necessário, fixou-se uma altura útil de 0,83 m, verificando-se a necessidade de 532,00 m² de área para a implantação do reservatório. Posicionando-o ao centro das torres, o traçado das tubulações externas às torres foi realizado como mostra a figura 37.

Figura 37 – Posicionamento do reservatório convencional e traçado das tubulações



(fonte: elaborado pela autora)

No dimensionamento foram consideradas as vazões contribuintes de cada trecho, portanto a vazão de dimensionamento de cada tubo a jusante da conexão é dada pela soma das vazões das tubulações a montante. Como o terreno possui grande área, para evitar que as tubulações ficassem muito profundas foram adotadas, sempre que possível, inclinações de 0,5%. Na tabela 11 são apresentados os diâmetros utilizados para os condutores horizontais.

Tabela 11 – Condutores horizontais do térreo para o reservatório convencional

Torre Comercial			Torre Residencial 1			Torre Residencial 2			Torre Residencial 3			Torre Residencial 4		
CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?
1	0,5%	100	18	0,5%	125	36	0,5%	125	46	0,5%	125	64	0,5%	125
2	0,5%	150	19	0,5%	125	37	0,5%	150	47	0,5%	125	65	0,5%	125
3	0,5%	200	20	0,5%	150	38	0,5%	125	48	0,5%	150	66	0,5%	150
4	0,5%	200	21	0,5%	200	39	0,5%	200	49	0,5%	125	67	0,5%	125
5	0,5%	250	22	0,5%	125	40	0,5%	150	50	0,5%	200	68	0,5%	200
6	0,5%	125	23	0,5%	200	41	0,5%	125	51	0,5%	125	69	0,5%	125
7	0,5%	250	24	0,5%	125	42	0,5%	200	52	0,5%	200	70	0,5%	200
8	0,5%	125	25	0,5%	100	43	0,5%	250	53	0,5%	125	71	0,5%	250
9	0,5%	250	26	0,5%	125	44	0,5%	150	54	0,5%	200	72	0,5%	100
10	0,5%	125	27	0,5%	150	45	0,5%	250	55	0,5%	125	73	0,5%	125
11	0,5%	150	28	0,5%	200				56	0,5%	150	74	0,5%	250
12	0,5%	125	29	0,5%	100				57	0,5%	125	75	0,5%	125
13	0,5%	150	30	0,5%	250				58	0,5%	200	76	0,5%	250
14	0,5%	200	31	0,5%	125				59	0,5%	100			
15	1,0%	300	32	0,5%	150				60	0,5%	200			
16	0,5%	150	33	0,5%	125				61	0,5%	200			
17	1,0%	300	34	0,5%	200				62	0,5%	125			
			35	0,5%	300				63	0,5%	300			

(fonte: elaborado pela autora)

Os ralos de coleta de água nas áreas externas do térreo foram dimensionados resultando nas seguintes condições, apresentadas na tabela 12. Os condutores e coletores com seus diâmetros podem ser vistos em detalhes no apêndice A.

Tabela 12 – Coletores de áreas externas do térreo para o reservatório convencional

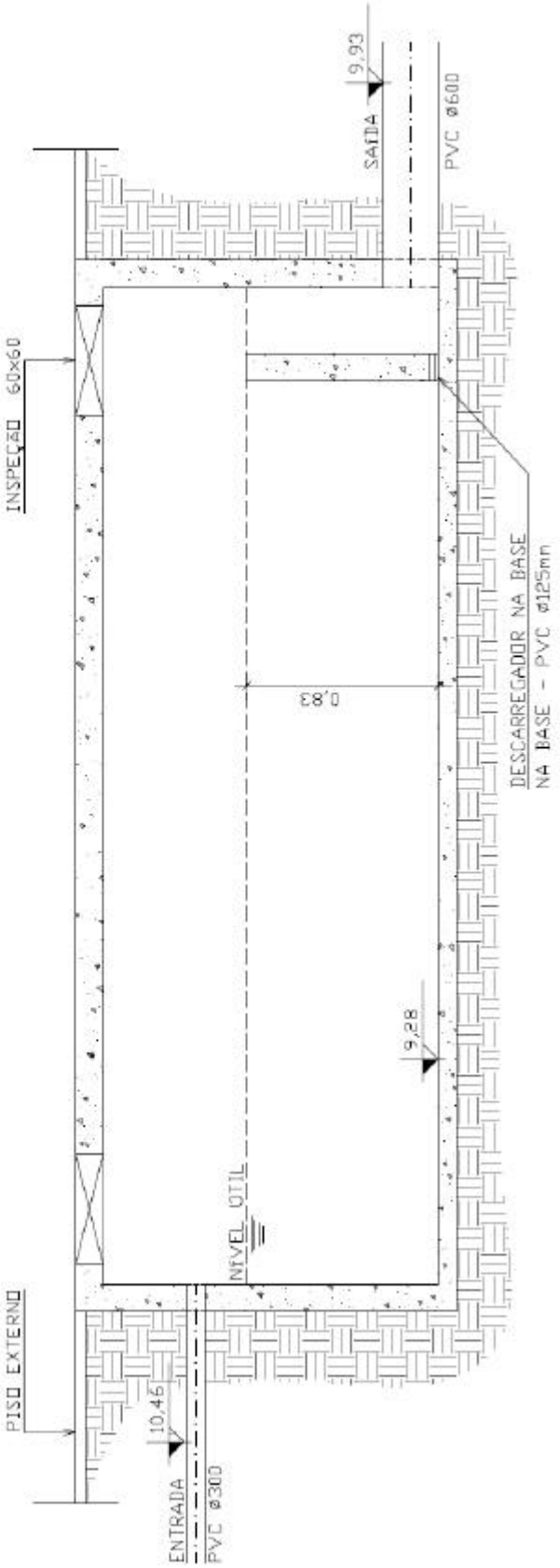
Torre Comercial		Torre Residencial 1		Torre Residencial 2		Torre Residencial 3		Torre Residencial 4	
Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?
1	75	8	75	17	75	20	75	28	75
2	100	9	75	18	125	21	75	29	75
3	125	10	75	19	75	22	75	30	75
4	125	11	75			23	75	31	75
5	100	12	75			24	75	32	100
6	100	13	75			25	75	33	75
7	100	14	75			26	75		
		15	75			27	75		
		16	75						

(fonte: elaborado pela autora)

Definindo que as tubulações que saem das edificações pelo térreo são enterradas a uma profundidade inicial de 0,50 m e sabendo as declividades de cada trecho, assim como seu comprimento, calculou-se a cota superior de chegada ao reservatório de cada tubulação, sendo a mais profunda delas a 10,46 m.

O descarregador de fundos é responsável por garantir que o esvaziamento do reservatório ocorra de forma lenta e gradual, respeitando a vazão máxima de saída. Neste caso, obteve-se um descarregador de 125 mm. O vertedor de excessos foi admitido para uma chuva de tempo de retorno de 50 anos e tempo de duração igual ao tempo de concentração calculado como 7 minutos gerando uma intensidade de 134,10 mm/h. A vazão máxima escoada pelo vertedor é de 0,49 m³/s. Determinando a altura máxima da lâmina de água sobre a parede espessa do vertedor como 10 cm, a largura mínima do vertedor é de 10,67 m. A tubulação de saída deve ser capaz de conduzir a vazão do vertedor somada à vazão do descarregador de fundos, então o diâmetro adotado foi de 600 mm. A cota de fundo do reservatório para este caso é de 9,28 m. A figura 38 apresenta um corte esquemático com as cotas de chegada e saída das tubulações determinantes.

Figura 38 – Corte esquemático do reservatório convencional

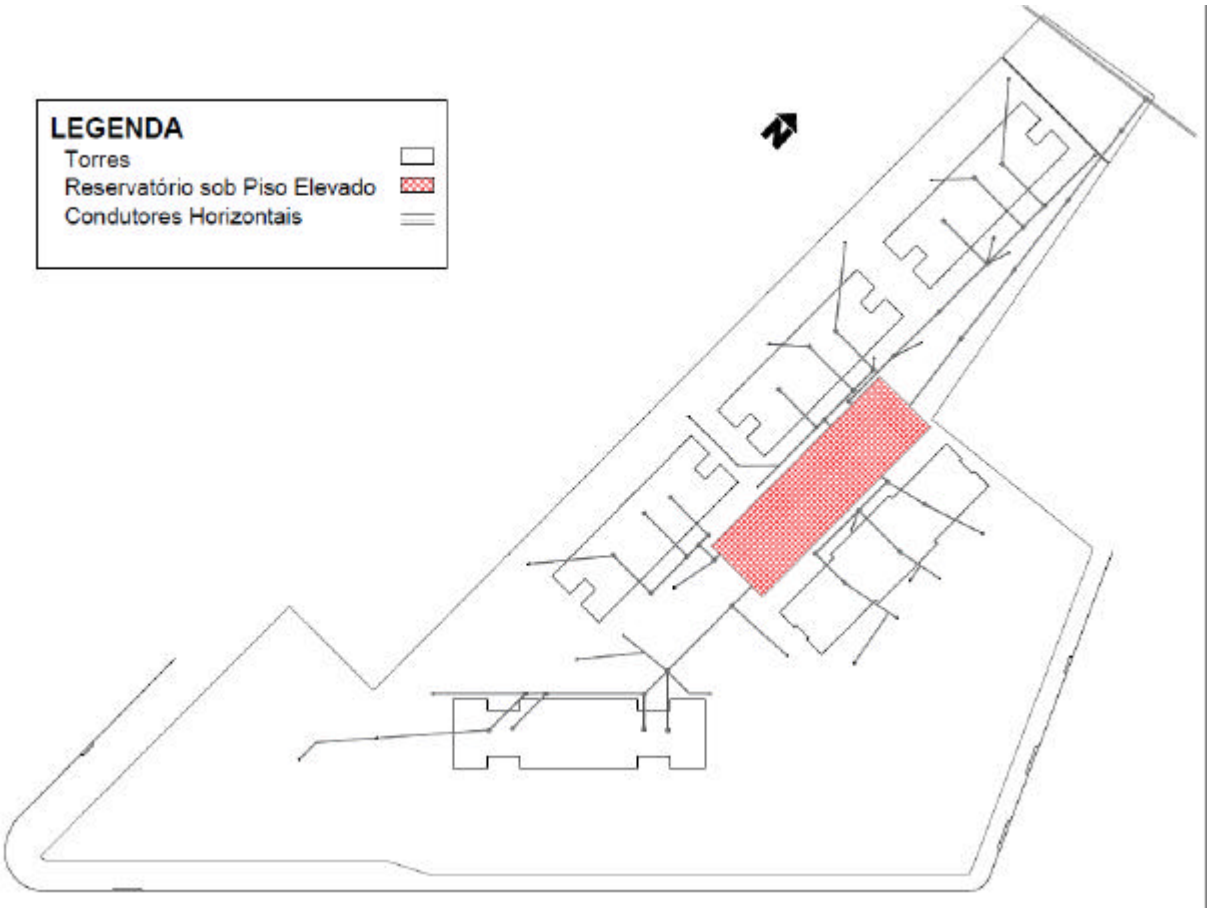


(fonte: elaborado pela autora)

5.4.3 Análise 2: Reservatório sob Piso Elevado

Neste caso foi previsto que o reservatório de detenção seria instalado sob piso elevado. Desta forma, apesar da área impermeável do terreno ser menor, o volume de reservação não reduz porque a água que precipita sobre o piso elevado é igualmente encaminhada para o reservatório. Com a instalação deste sistema, a área permeável será maior e como o piso permite a drenagem da água da chuva diretamente entre suas juntas abertas, será reduzido o número de ralos em áreas externas. A figura 39 apresenta a implantação do empreendimento destacando a área do reservatório de detenção sob piso elevado e os condutores horizontais do térreo. Suas dimensões e inclinações são indicadas na tabela 13.

Figura 39 – Posicionamento do reservatório sob piso elevado e traçado das tubulações



(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 13 – Condutores horizontais do térreo para o reservatório sob piso elevado

Torre Comercial			Torre Residencial 1			Torre Residencial 2			Torre Residencial 3			Torre Residencial 4		
CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?
1	0,5%	100	18	0,5%	125	31	0,5%	125	39	0,5%	125	52	0,5%	125
2	0,5%	150	19	0,5%	125	32	0,5%	150	40	0,5%	125	53	0,5%	125
3	0,5%	200	20	0,5%	150	33	0,5%	125	41	0,5%	150	54	0,5%	150
4	0,5%	200	21	0,5%	200	34	0,5%	200	42	0,5%	125	55	0,5%	125
5	0,5%	250	22	0,5%	100	35	0,5%	150	43	0,5%	200	56	0,5%	150
6	0,5%	125	23	0,5%	100	36	0,5%	200	44	0,5%	125	57	0,5%	125
7	0,5%	250	24	0,5%	125	37	0,5%	150	45	0,5%	150	58	0,5%	200
8	0,5%	125	25	0,5%	150	38	0,5%	250	46	0,5%	125	59	0,5%	200
9	0,5%	250	26	0,5%	200				47	0,5%	150	60	0,5%	100
10	0,5%	125	27	0,5%	250				48	0,5%	100	61	0,5%	125
11	0,5%	150	28	0,5%	125				49	0,5%	200	62	0,5%	250
12	0,5%	125	29	0,5%	150				50	0,5%	200	63	0,5%	125
13	0,5%	150	30	0,5%	250				51	0,5%	250	64	0,5%	250
14	0,5%	200												
15	0,5%	300												
16	0,5%	150												
17	1,0%	300												

(fonte: elaborado pela autora)

Os coletores das áreas externas são apresentados na tabela 14 a seguir. No apêndice A são apresentados detalhes das tubulações com seus diâmetros.

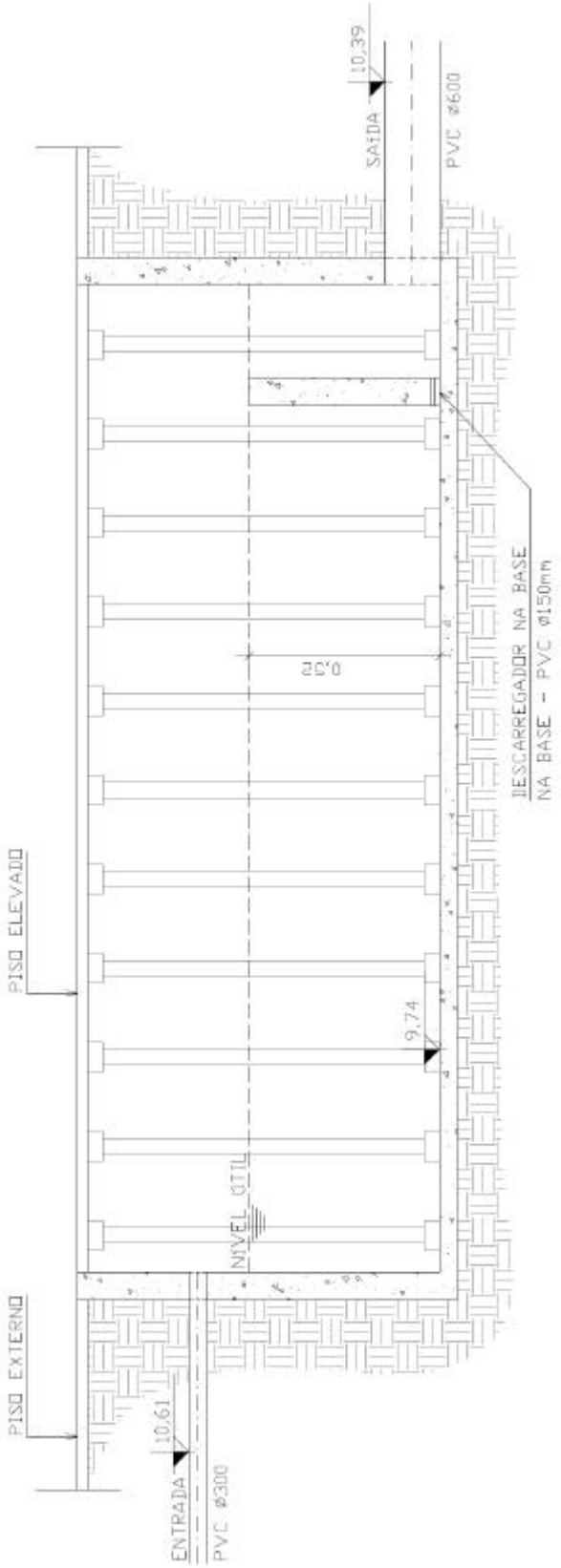
Tabela 14 – Coletores de áreas externas do térreo para o reservatório sob piso elevado

Torre Comercial		Torre Residencial 1		Torre Residencial 2		Torre Residencial 3		Torre Residencial 4	
Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?
1	75	8	75	14	75	16	75	21	75
2	100	9	75	15	125	17	75	22	75
3	125	10	75			18	75	23	75
4	125	11	75			19	75	24	75
5	100	12	75			20	75	25	100
6	100	13	75					26	75
7	100								

(fonte: elaborado pela autora)

Obteve-se um reservatório com uma área de 847,50 m² e altura útil de 0,52 m. A cota superior do tubo de entrada no reservatório mais profunda ficou em 10,61 m. Foi dimensionado um descarregador de fundos de 150 mm de diâmetro. O vertedor de excessos foi admitido para uma chuva com intensidade de 134,10 mm/h, sendo sua vazão máxima de 0,46 m³/s e mantendo a altura máxima da lâmina de água sobre a parede do vertedor como 10 cm, a largura mínima do vertedor é de 9,98 m. A tubulação de saída foi adotada como sendo de 600 mm. A cota de fundo do reservatório sob piso elevado é de 9,74 m. A figura 40 apresenta o corte esquemático do reservatório e suas tubulações.

Figura 40 – Corte esquemático do reservatório sob piso elevado

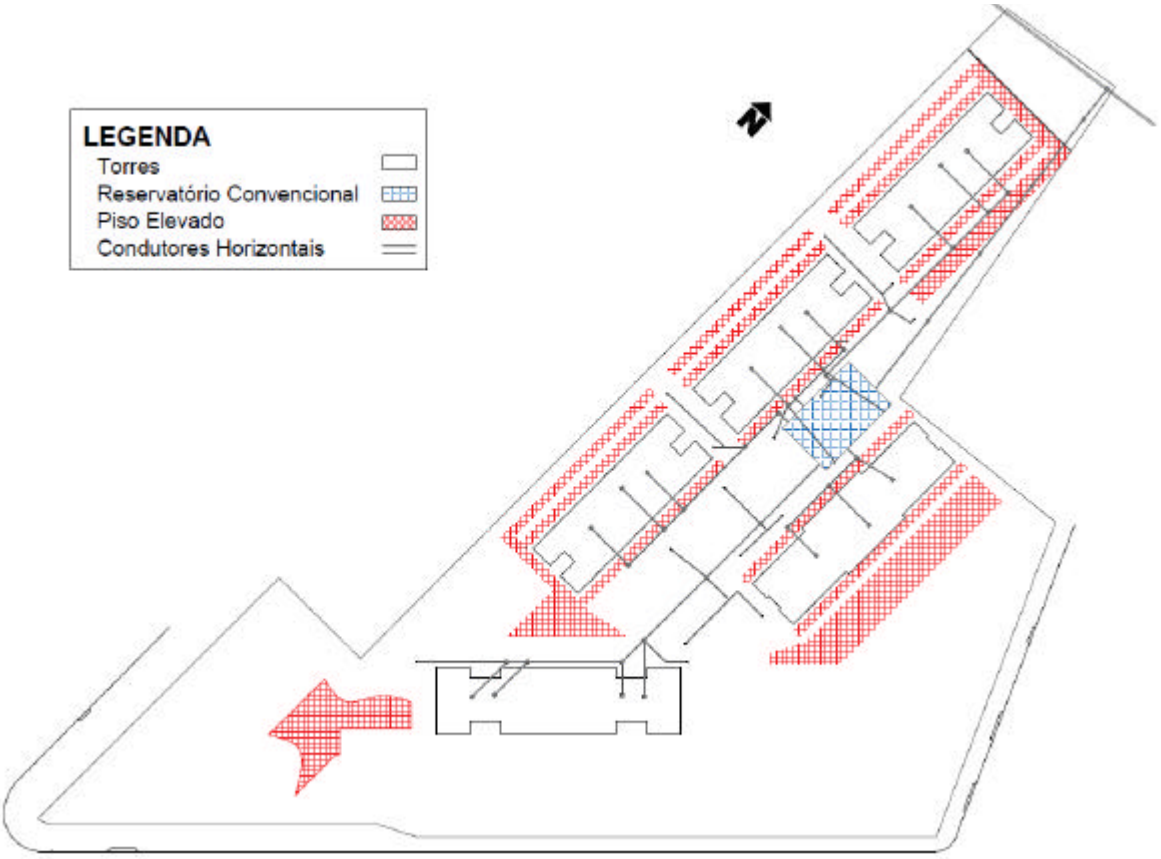


(fonte: elaborado pela autora)

5.4.4 Análise 3: Reservatório Convencional com Piso Elevado em Áreas Externas

O último caso estuda a instalação de um reservatório convencional com dispositivos que promovem a redução de escoamento superficial, a fim de reduzir o volume de armazenamento. Para isso foram previstos trechos de piso elevado que armazenam águas pluviais para alimentar jardins autoirrigáveis estimulando o reaproveitamento de águas da chuva e, em consequência, reduzem a área impermeável do lote. Na figura 41 podemos ver, além da localização do reservatório, as áreas de instalação do piso elevado e o traçado das tubulações. Suas dimensões são apresentadas nas tabelas 15 e 16. Detalhes do traçado das tubulações e seus diâmetros estão colocados no apêndice A.

Figura 41 – Posicionamento do reservatório convencional, áreas de piso elevado e traçado das tubulações



(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 15 – Condutores horizontais do térreo para o reservatório convencional com piso elevado

Torre Comercial			Torre Residencial 1			Torre Residencial 2			Torre Residencial 3			Torre Residencial 4		
CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?	CH	I (%)	?
1	0,5%	200	21	0,5%	150	26	0,5%	125	35	0,5%	125	46	0,5%	150
2	0,5%	125	22	0,5%	125	27	0,5%	125	36	0,5%	100	47	0,5%	125
3	0,5%	200	23	0,5%	200	28	0,5%	150	37	0,5%	100	48	0,5%	150
4	0,5%	125	24	0,5%	125	29	0,5%	150	38	0,5%	200	49	0,5%	125
5	0,5%	200	25	0,5%	200	30	0,5%	200	39	0,5%	125	50	0,5%	200
6	0,5%	125				31	0,5%	100	40	0,5%	150	51	0,5%	100
7	0,5%	250				32	0,5%	100	41	0,5%	100	52	0,5%	100
8	0,5%	125				33	0,5%	125	42	0,5%	100	53	0,5%	125
9	0,5%	150				34	0,5%	200	43	0,5%	150	54	0,5%	125
10	0,5%	300							44	0,5%	200	55	0,5%	250
11	0,5%	150							45	0,5%	250			
12	0,5%	150												
13	0,5%	200												
14	0,5%	150												
15	0,5%	300												
16	0,5%	100												
17	0,5%	100												
18	0,5%	150												
19	0,5%	100												
20	1,0%	300												

(fonte: elaborado pela autora)

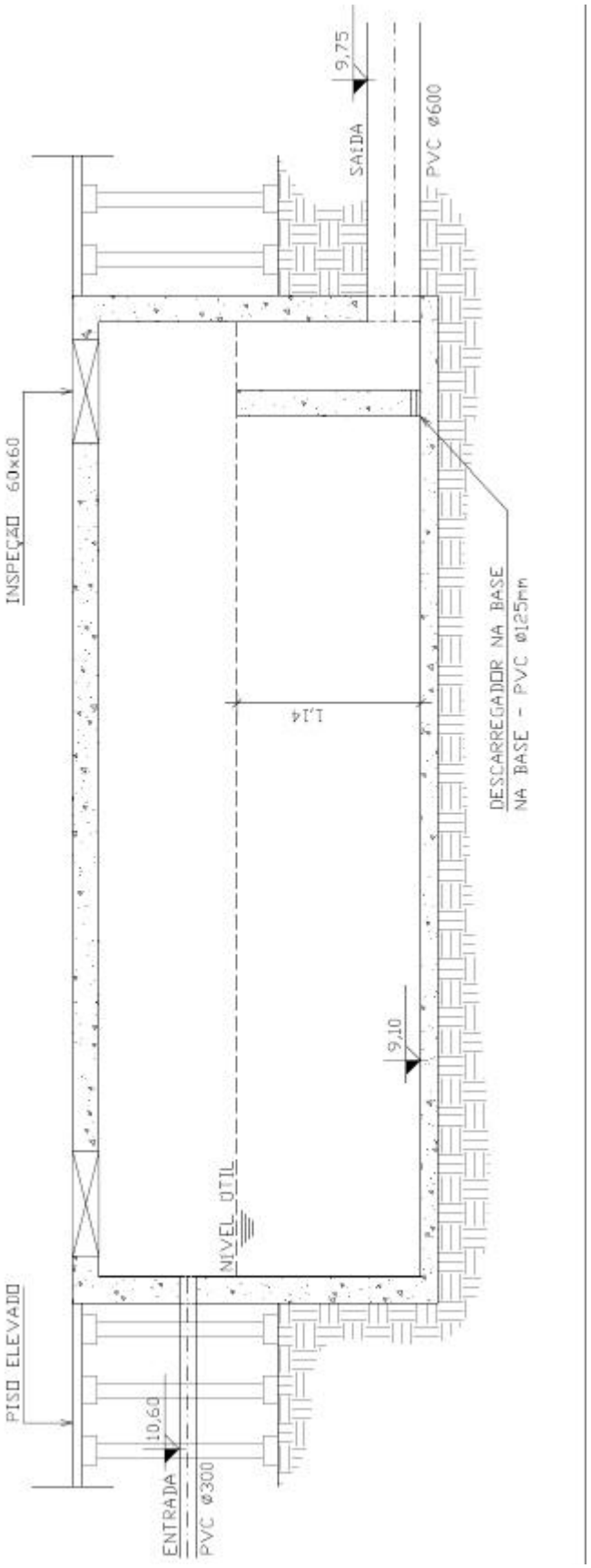
Tabela 16 – Coletores das áreas externas do térreo para o reservatório convencional com piso elevado

Torre Comercial		Torre Residencial 1		Torre Residencial 2		Torre Residencial 3		Torre Residencial 4	
Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?	Ralo	?
1	125	12	75	9	75	11	75	15	75
2	125			10	75	13	75	16	75
3	100					14	75	17	75
4	100								
5	125								
6	75								
7	75								
8	75								

(fonte: elaborado pela autora)

O reservatório resultou em uma área de 300,00 m² e altura útil de 1,14 m. A cota superior da tubulação de ligação ao reservatório mais profunda é de 10,60 m. Neste caso foi calculado um descarregador de fundos de 125 mm. A vazão máxima escoada pelo vertedor, para intensidade de 134,10 mm/h, é de 0,41 m³/s e sua largura mínima de 8,94 m. A tubulação de saída foi adotada como sendo de 600 mm. O fundo do reservatório está na cota 9,10 m. As cotas estão apresentadas no corte esquemático da figura 42.

Figura 42 – Corte esquemático do reservatório convencional com piso elevado



(fonte: elaborado pela autora)

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente trabalho teve como objetivo a elaboração de projeto de controle e reutilização de águas pluviais a fim de verificar a viabilidade de construção de reservatório de detenção sob piso elevado. O estudo considerou três alternativas de sistema predial de águas pluviais: análise 1: reservatório convencional; análise 2: reservatório sob piso elevado; e análise 3: combinação do reservatório convencional com piso elevado como dispositivo para diminuir a área impermeável do lote. Em todos os projetos, os parâmetros atendem as exigências do sistema local permitindo a ligação com a rede de microdrenagem. Um comparativo entre os dados resultantes de cada análise pode ser visto na tabela 17.

Tabela 17 – Quadro comparativo entre análises

	ANÁLISE 1	ANÁLISE 2	ANÁLISE 3
Área impermeável no lote (m²)	10.434,83	9.587,33	8.062,17
Volume de armazenamento (m³)	443,48	443,48	342,64
Área do reservatório (m²)	532,00	847,50	300,00
Altura útil (m)	0,83	0,52	1,14
Cota superior da tubulação de chegada no reservatório (m)	10,46	10,61	10,60
Cota superior da tubulação de saída do reservatório (m)	9,93	10,39	9,75
Cota de fundo do reservatório (m)	9,28	9,74	9,10
Diâmetro da tubulação de chegada no reservatório (mm)	300	300	300
Diâmetro do descarregador de fundos (mm)	125	150	125
Diâmetro da tubulação de saída do reservatório (mm)	600	600	600
Vazão do vertedor (m³/s)	0,49	0,46	0,41
Largura do vertedor (m)	10,67	9,98	8,94

(fonte: elaborado pela autora)

Em projetos de controle de águas pluviais, para que o sistema funcione corretamente, todas as instalações devem permitir o escoamento por gravidade em um único sentido. Assim, as cotas

das tubulações de entrada em caixa de inspeção e no reservatório, devem ser superiores as cotas de saída. No reservatório, é preciso que a tubulação de saída respeite os limites impostos pela rede pública existente de forma a permitir a conexão das tubulações. Devido a grande área do terreno e sua elevada área impermeável, o volume de reservação é grande e, além disso, as tubulações são longas e de grande diâmetro, decorrentes das baixas declividades para evitar grandes profundidades. Para o primeiro caso, foram adotados parâmetros de forma a atender estes requisitos. Foram necessárias sucessivas tentativas até compatibilizar a altura útil do reservatório com as cotas de entrada das tubulações de coleta e com as cotas de saída mínima e máxima impostas pela rede de microdrenagem local.

No caso em que foi prevista a instalação do reservatório sob piso elevado, a inserção do sistema que coleta água nas juntas do piso reduz a área permeável do terreno, contudo a água que sobre ele precipita continua sendo encaminhada para o reservatório. Então, apesar de não reduzir o volume de reservação, o sistema proporciona a diminuição do número de ralos, além do número e diâmetros dos condutores porque a vazão conduzida pelos ralos é menor. A área destinada à instalação do reservatório é maior e, consequentemente, a altura útil do reservatório é inferior. Com isso, os problemas com a cota de saída do reservatório são mitigados porque as tubulações de coleta são mais curtas, atingindo menor profundidade e não obrigando o projetista a enterrar o reservatório para garantir que o sistema funcione por gravidade. Além disso, reservatórios mais superficiais tem instalação mais favorável por reduzirem as escavações e prováveis problemas com terrenos rochosos.

O terceiro estudo foi realizado a fim de viabilizar a reutilização das águas pluviais, minimizando o uso de água potável. O sistema de piso elevado não funciona como bacia de amortecimento, mas como diversos reservatórios interligados a jardins suspensos que são alimentados por capilaridade. Assim, as parcelas de solo em que se instala o piso elevado são consideradas permeáveis porque coletam a água da chuva e não as encaminham para o reservatório, reduzindo o volume escoado superficialmente. Estas pequenas cisternas mantém o volume acumulado até a utilização completa pelas plantas ou sua evaporação. Em tempos de baixa precipitação, os mesmos podem ser abastecidos para manter a vegetação sem a necessidade de outras formas de irrigação. Como o sistema sugerido funciona por capilaridade são reduzidos consumos de energia e aquisição de bombas. A adoção de dispositivos que aumentam a infiltração reduz a área impermeável do terreno, permitindo a redução do volume de armazenamento, bem como as dimensões do reservatório. Neste caso foi proposto um

reservatório convencional com área de projeção inferior ao do primeiro estudo, sendo obtida uma altura útil maior. Caso fosse mantida a área de 532 m² da primeira análise, a ligação com a rede pública seria inviável devido à superficialidade do reservatório. Isto obrigaria alteração na inclinação da tubulação para que a mesma não chegasse ao ponto de ligação com a rede pública acima da cota do meio fio. Isto não foi feito a fim de manter os parâmetros de comparação. Em paralelo ao segundo caso, o terceiro sistema reduz ainda mais os ralos e condutores do térreo e demais dispositivos do reservatório, como vertedor e descarregador de fundos.

Neste trabalho não foi considerada a alternativa que instala piso elevado em toda a área de passeio da implantação formando um reservatório laminar porque a área do terreno é muito grande e assim seria necessária altura de reservação tão baixa que não compensaria a instalação do sistema.

Pode se concluir ainda que o sistema proporciona vantagens para a etapa de construção e utilização do empreendimento. O encaixe das placas sobre pedestais proporciona alinhamento do revestimento e estabilidade do piso. Não havendo assentamento e rejuntamento das peças, as manutenções assumem menor custo, além de serem mais rápidas e limpas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram estudadas soluções de projeto para a detenção de águas pluviais considerando novos sistemas de armazenamento. Foi verificada a viabilidade técnica de instalação de um reservatório de controle de escoamento sob piso elevado para amortecimento das vazões e o benefício da instalação deste sistema para a redução do volume de reservação.

Nas análises feitas, o projeto com reservatório convencional serviu como referência para as demais análises. A análise da instalação do sistema de piso elevado como bacia de detenção mostrou redução da altura útil do reservatório, facilitando a ligação da tubulação de saída à rede pública. Na análise da instalação do sistema como elemento de infiltração, foi observado que o piso elevado permite redução do volume de reservação. Portanto a instalação do sistema de piso elevado para os dois fins mostrou-se benéfica.

Em linhas gerais, a utilização do sistema de piso elevado aprimora o projeto de detenção de águas pluviais. A facilidade de instalação agiliza as atividades da obra, reduzindo os prazos de execução. Vantagens são trazidas aos usuários no caso da utilização do sistema de irrigação, quando da facilidade de uso do sistema e da redução de água potável utilizada.

Recomenda-se, como continuação deste trabalho, o estudo dos seguintes pontos:

a) instalação de sistema de reservação laminar sob piso elevado, juntamente com a instalação de dispositivos de aumento de volume infiltrado;
b) dimensionamento das cisternas de abastecimento dos jardins suspensos de acordo com a taxa de infiltração, avaliando possibilidades de alagamento;
c) projeto de reservatório de reutilização de águas pluviais sob piso elevado em edificações;
d) análise de viabilidade econômica de instalação do sistema.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.884**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M.(Org.); SILVEIRA, A. L. L. da.; BENETTI, A.; LANNA, A. E. L.; BIDONE, F.; SEMMELMAN, F.; LOUZADA, J. A.; BERTONI, J. C.; ZAHED FILHO, K.; BELTRAME, L. F. S.; BORDAS, M. P.; PESSOA, M. L.; CAICEDO, N. L.; CHEVALLIER, P.; PORTO, R. L.; CLARKE, R. T. **Hidrologia**: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFGRS/ABRH, 2009. p. 177-242.

BUFFON, F. T. **Aproveitamento de Águas Pluviais**: efeito sobre o sistema de drenagem urbana. 2010. 59 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

GONÇALVES, R. F.; ALVES, W. C.; ZANELLA, L. Conservação de Água no Meio Urbano. In: GONÇALVES, R. F (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 29-71.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. Tradução de Glauco Peres Damas. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

KNAUF. **Pisos Elevados Knauf.** Rio de Janeiro, 2008. Folheto Técnico. Disponível em: <www.knauf.com.br/catalogos/pisos_elevados_knauf.pdf>. Acesso em: 20 de nov. de 2014.

MACINTYRE; A. J. Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 1996.

PHILIPPI, L. S.; VACCARI, K. P.; PETERS, M. R.; GONÇALVES, R. F. Aproveitamento da Água de Chuva. In: GONÇALVES, R. F (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 73-152.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor de Drenagem Urbana:** Manual de Drenagem Urbana. Porto Alegre, 2005. v. IV.

_____. Prefeitura Municipal. **Decreto Municipal 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=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>. Acesso em: 18 nov. 2014. Não paginado.

_____. Prefeitura Municipal. **Decreto n. 18.611**, de 9 de abril de 2014. Regulamenta o controle da drenagem urbana, Porto Alegre: 2014a. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000033997.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT >. Acesso em: 27 maio 2015. Não paginado

_____. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. **Detenção - as bacias que ficam secas.** Porto Alegre, 2014b. Disponível em: < http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=69>. Acesso em: 13 set. 2014.

_____. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. **Retenção - lâmina de água permanente.** Porto Alegre, 2014c. Disponível em: < http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=70>. Acesso em: 13 set. 2014.

REMASTER. **Tec-garden**: jardim auto irrigável. São Paulo, c2014. Disponível em: <www.remaster.com.br7?p=tec-garden>. Acesso em: 4 set. 2014.

TASSI, R. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana.** 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

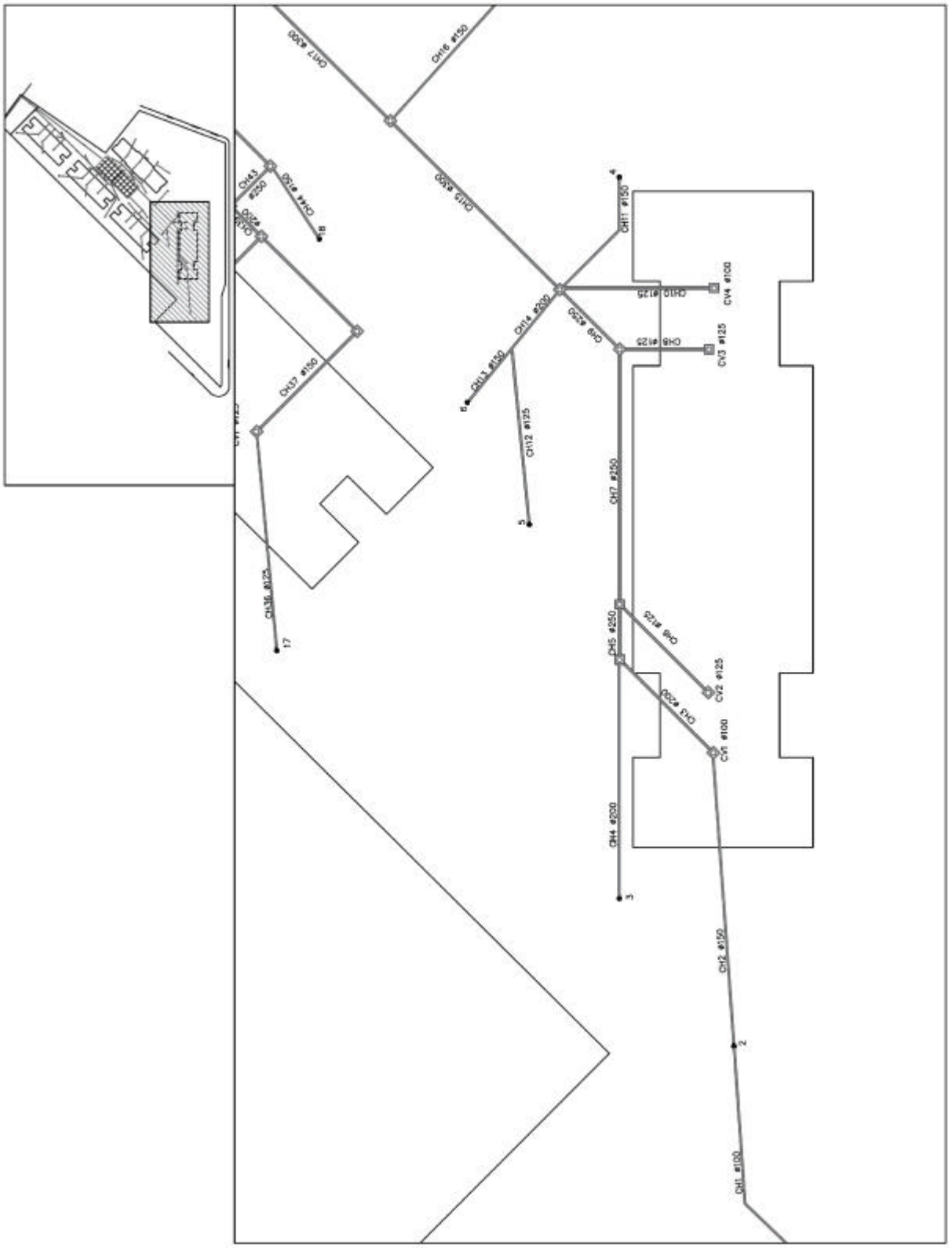
TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R.L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH; Editora da Universidade; UFRGS, 1995. p. 15-36.

_____. **Inundações Urbanas.** 1. ed. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

_____. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C. E. M.(Org.); SILVEIRA, A. L. L.; BENETTI, LANNA, A. E. L.; BIDONE, F.; SEMMELMAN, F.; LOUZADA, J.A.; BERTONI, J.C.; ZAHED FILHO, K.; BELTRAME, L. F. S.; BORDAS, M. P.; PESSOA, M. L.; CAICEDO, N. L.; CHEVALLIER, P.; PORTO, R. L.; CLARKE, R. T. **Hidrologia**: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFGRS/ABRH, 2009. p. 261-658.

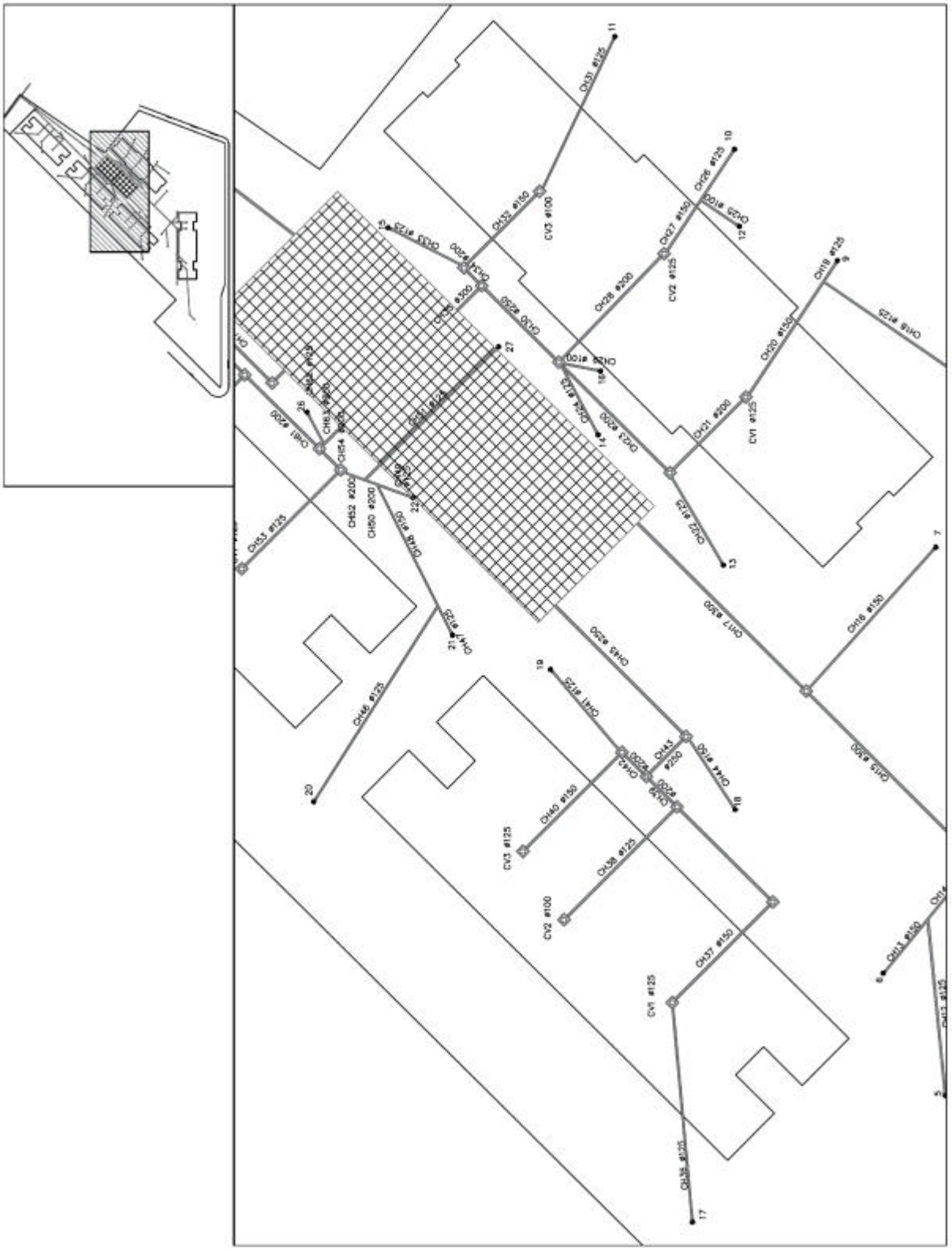
APÊNDICE A - Detalhamento das tubulações do térreo

Figura AP-A-1 – Detalhe 1- Análise 1



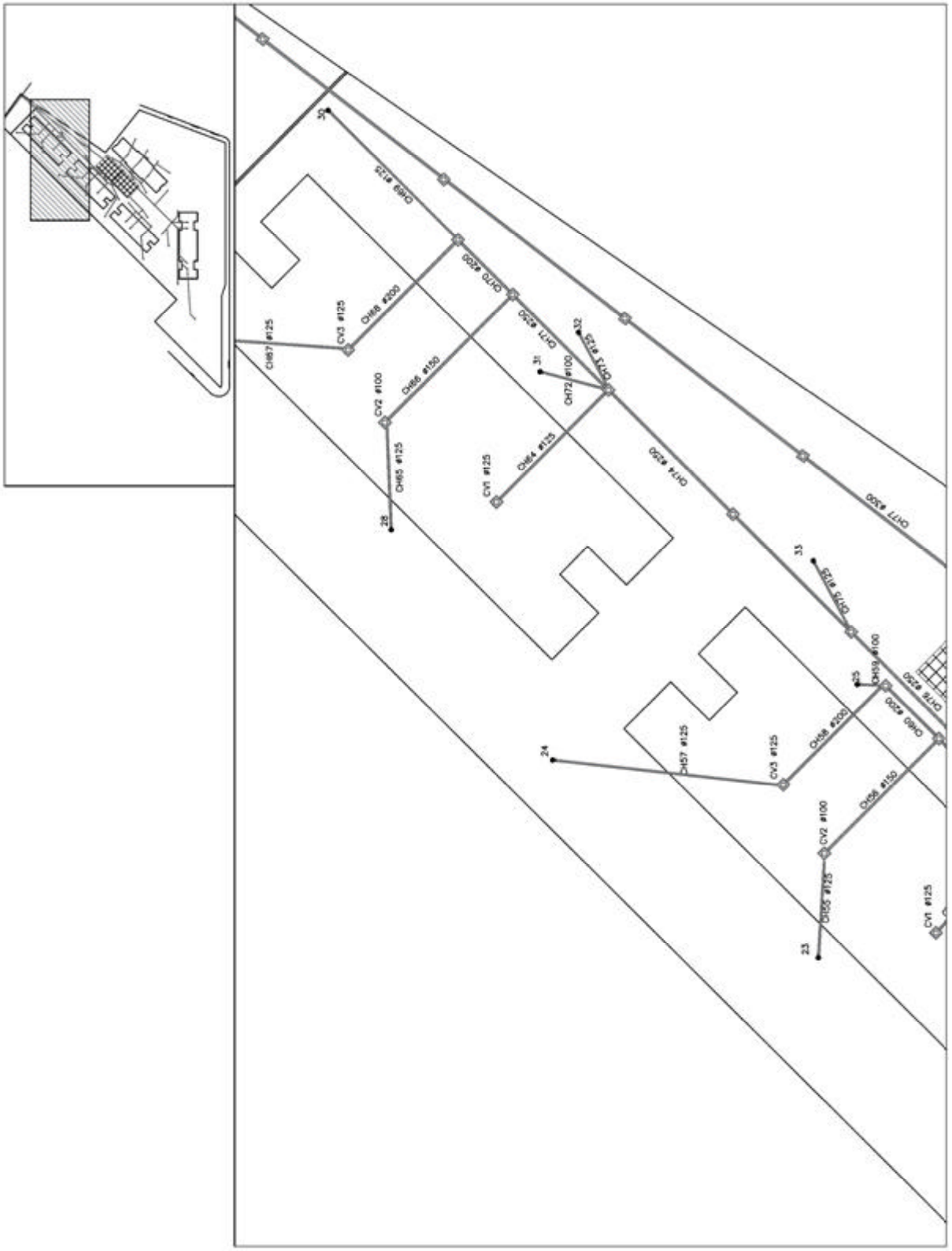
(fonte: elaborado pela autora)

Figura AP-A-2 – Detalhe 2 - Análise 1



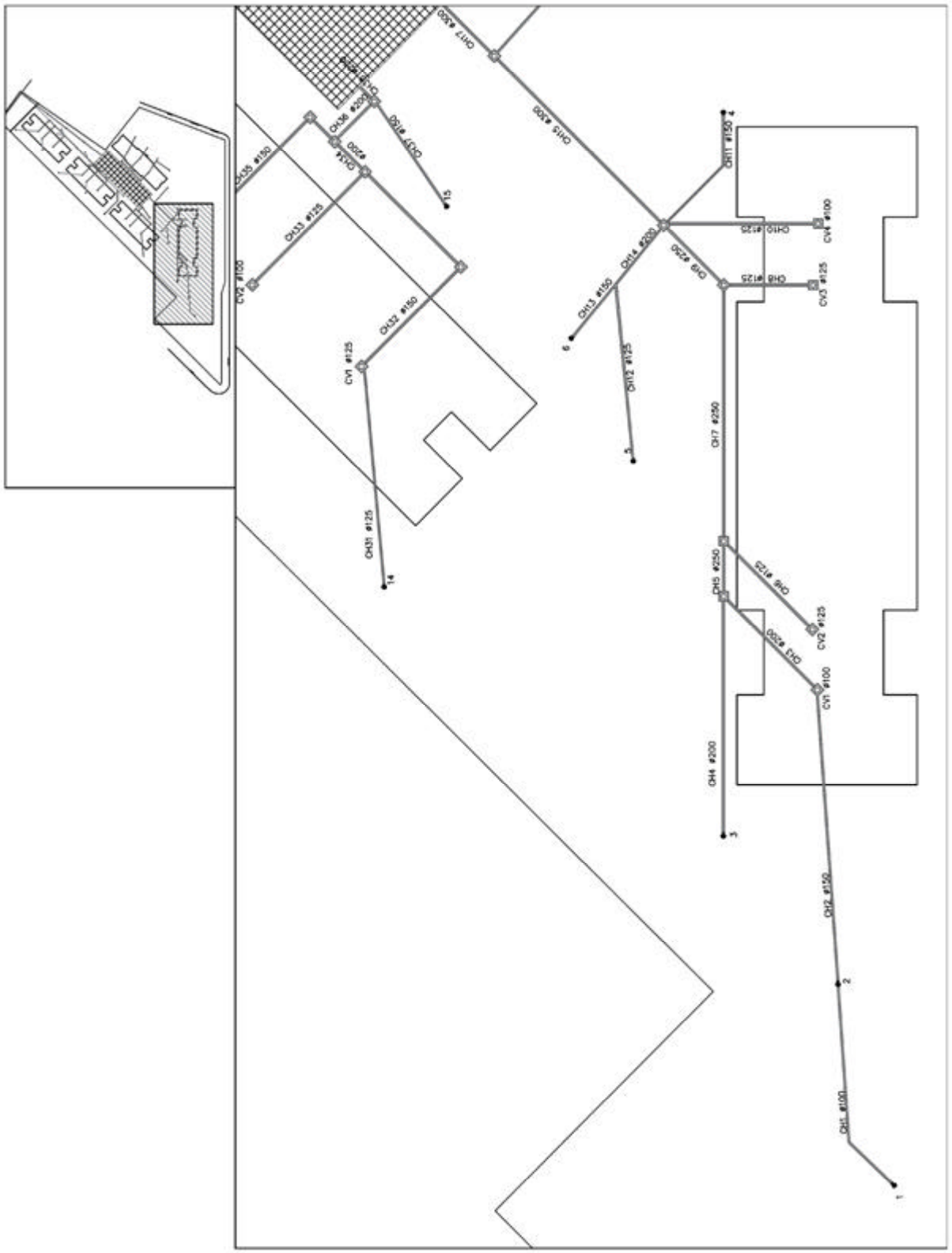
(fonte: elaborado pela autora)

Figura AP-A-3 – Detalhe 3 - Análise 1



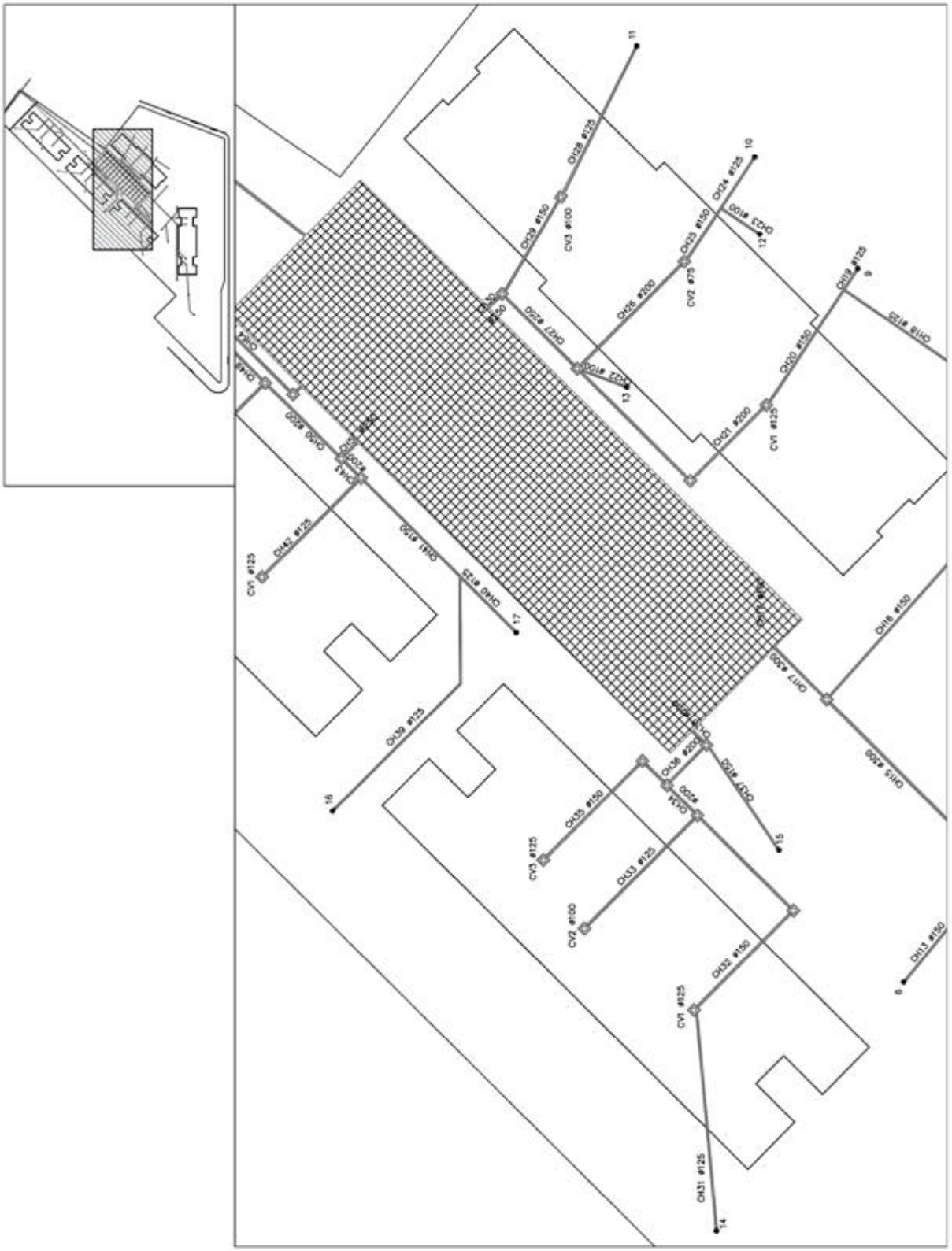
(fonte: elaborado pela autora)

Figura AP-A-4 – Detalhe 1- Análise 2



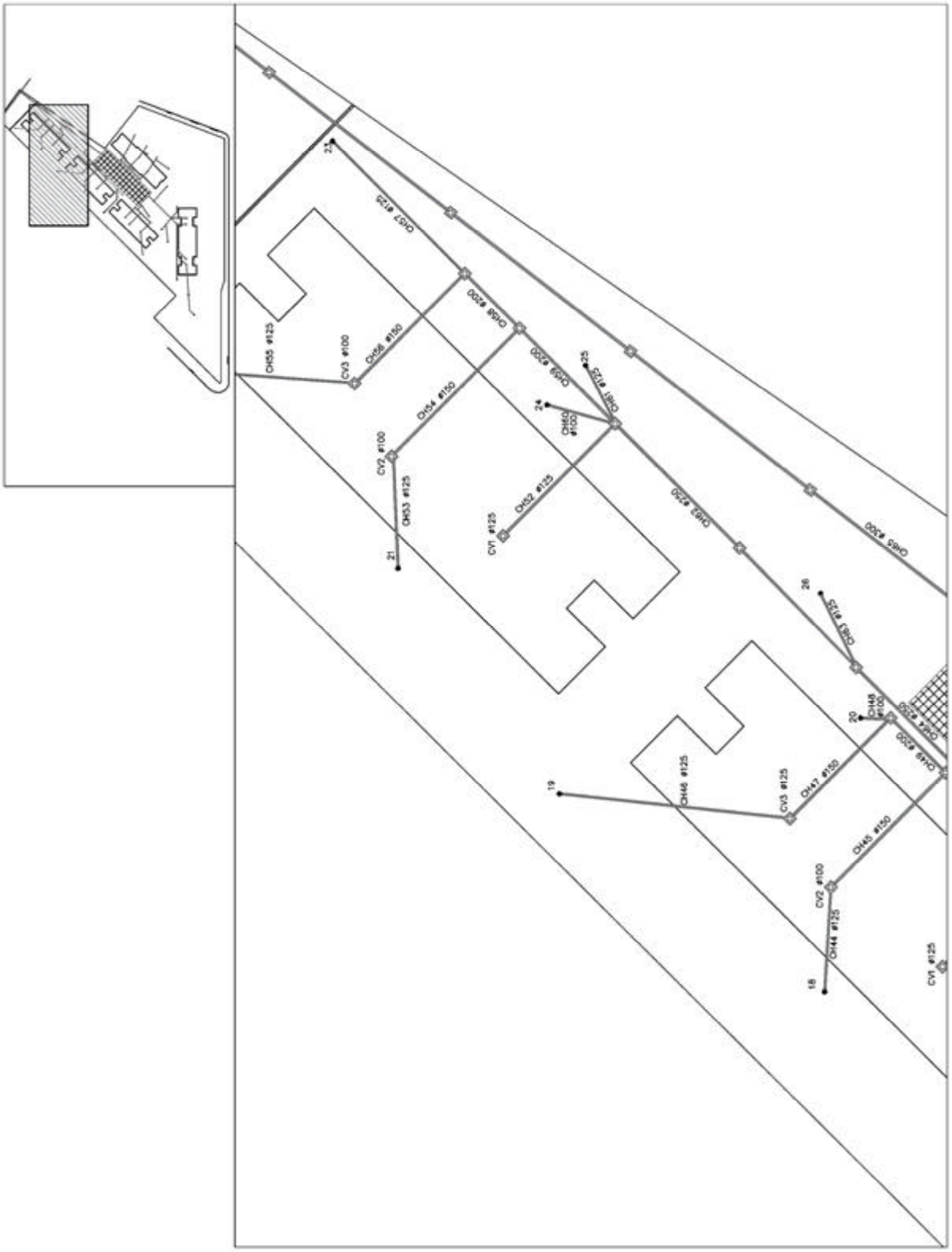
(fonte: elaborado pela autora)

Figura AP-A-5 – Detalhe 2 - Análise 2



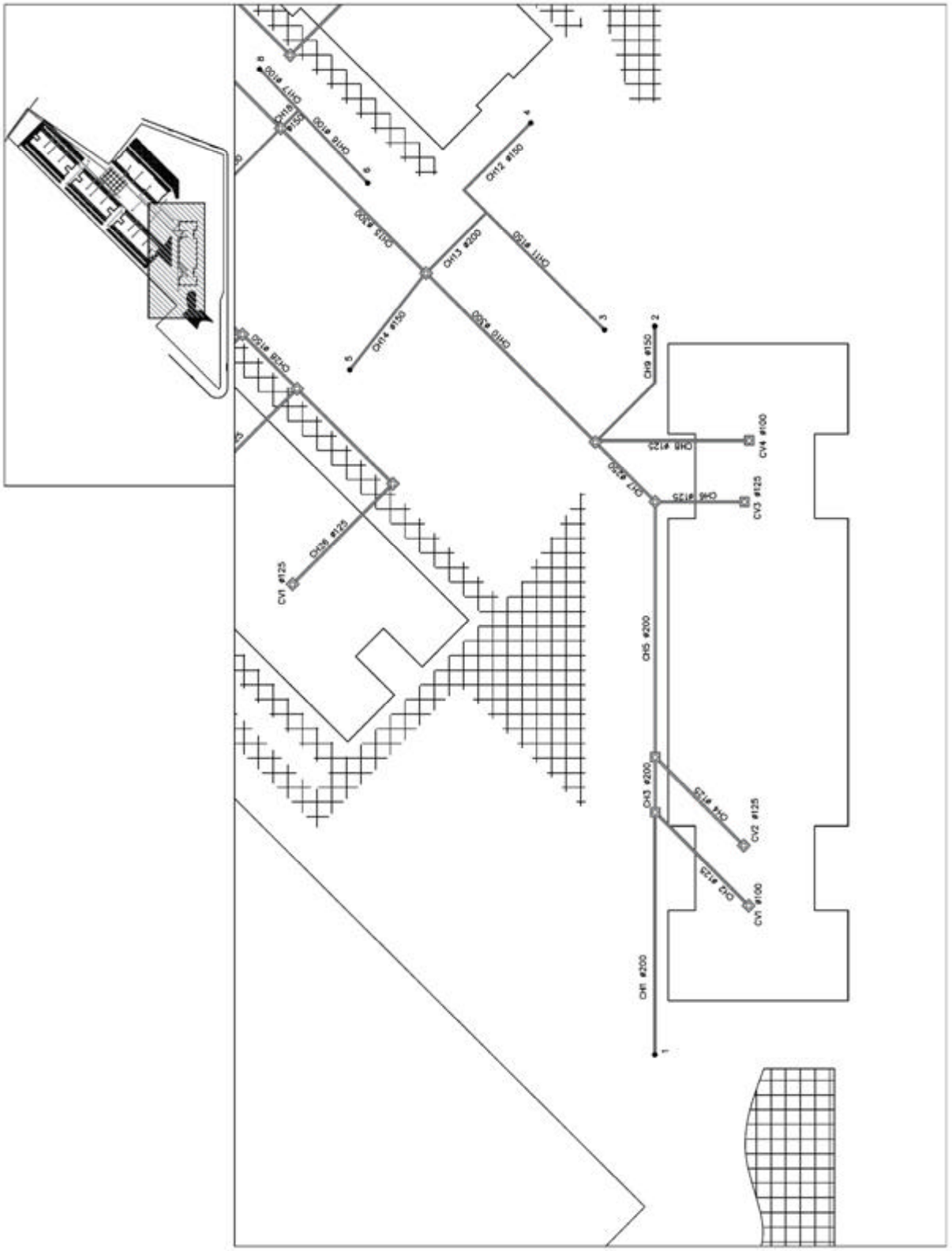
(fonte: elaborado pela autora)

Figura AP-A-6 – Detalhe 3 - Análise 2



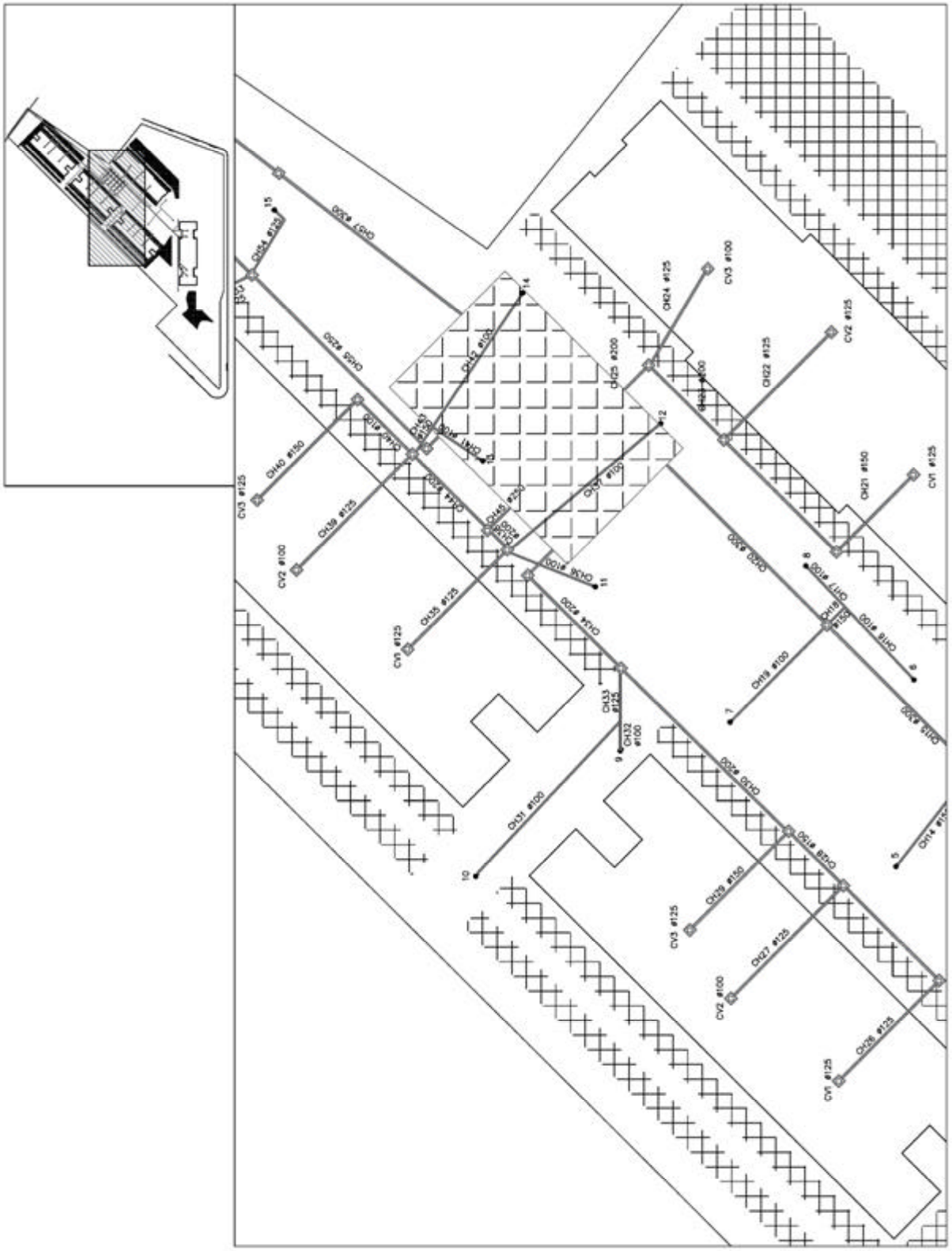
(fonte: elaborado pela autora)

Figura AP-A-7 – Detalhe 1- Análise 3



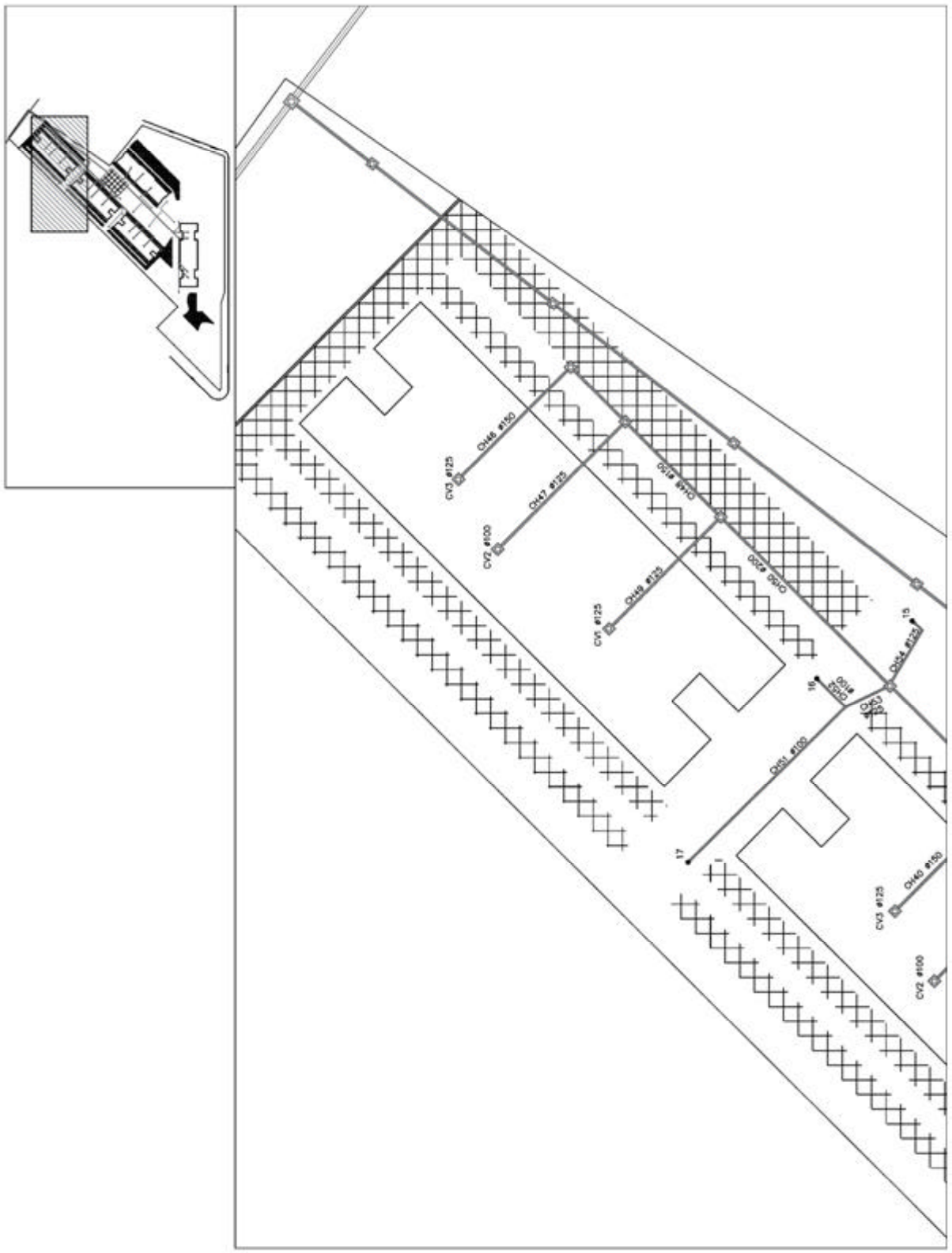
(fonte: elaborado pela autora)

Figura AP-A-8 – Detalhe 2 - Análise 3



(fonte: elaborado pela autora)

Figura AP-A-9 – Detalhe 3 - Análise 3



(fonte: elaborado pela autora)