

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Verônica Locatelli Vielmo

**ASSOCIAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS AO SISTEMA DE  
DRENAGEM URBANA**

Santa Maria, RS

2021

**Verônica Locatelli Vielmo**

**ASSOCIAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS AO SISTEMA DE  
DRENAGEM URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Civil.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Ms. Priscila Pacheco Mariani

Santa Maria, RS  
2021

**Verônica Locatelli Vielmo**

**ASSOCIAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS AO SISTEMA DE  
DRENAGEM URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Civil**.

Aprovado em 16 de março de 2021:

---

**Priscila Pacheco Mariani, Ms. (UFSM)**  
**(Presidente/Orientador)**

---

**Vanessa Sari, Dra. (UFSM)**

---

**Raviel Eurico Basso, Dr. (UFG)**

Santa Maria, RS  
2021

## RESUMO

### ASSOCIAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS AO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

AUTOR: Verônica Locatelli Vielmo  
ORIENTADORA: Priscila Pacheco Mariani

Com a crescente urbanização e recorrente ocorrência de eventos de inundações no meio urbano, mostra-se necessário melhores conhecimentos sobre gestão de águas pluviais. Apresentam-se, então, as técnicas compensatórias, que são fundamentadas em melhorar a qualidade do escoamento superficial e minimizar sua quantidade; e assim, amenizar os efeitos da impermeabilização das superfícies. Este trabalho apresenta o estudo de associação de técnicas compensatórias ao sistema de drenagem urbana; captando água pluvial para possibilitar reuso em aplicações não potáveis e amortecer o pico de vazão, funcionando em conjunto de um poço de infiltração, o qual favorece a infiltração do escoamento excedente ao acumulado pelo sistema de captação. Iniciou-se caracterizando as técnicas compensatórias e seus empregos, definindo assim o sistema mais realizável em uma edificação unifamiliar. O projeto em questão visa segmentar a responsabilidade entre as esferas público e privada acerca da demanda de escoamento pluvial. Posteriormente dimensionou-se duas propostas de sistemas, com o poço de infiltração associado ao reservatório e aplicado de forma isolada; pressupondo os custos com os insumos para implementação do sistema. Por fim, com os resultados obtidos é possível certificar a eficiência dos sistemas projetados e aferir seus custos.

**Palavras-chave:** Gestão de águas pluviais. Drenagem urbana. Poço de infiltração. Reservatório de captação.

## **ABSTRACT**

### **ASSOCIATION OF COMPENSATORY TECHNIQUES TO THE URBAN DRAINAGE SYSTEM**

**AUTHOR:** Verônica Locatelli Vielmo

**ADVISOR:** Priscila Pacheco Mariani

With the growing of urbanization and the recurrence of flood events in the urban environment, it is shown that is necessary more knowledge about rainwater management. Then, the compensatory techniques presented are fundamental to improve the quality of overland flow and minimize your quantity; and so, soften the effects of superficial impermeabilization. This project presents the study of compensatory techniques association to the urban drainage system; capturing rainwater for enable the reuse in non-potable applications and decrease the peak flow, working together with the infiltration well, which favors the infiltration of excess accumulated flow through the capture system. It begins by characterizing the compensatory techniques and their applications and defining the most realizable system to a single family building. The project in question is focused in divide the responsibility between the public and private spheres about the rainwater flow demand. After, was calculated two suggestion of systems, with the infiltration well associated to the reservoir and apply of isolated form, assuming the inputs costs for implementation of the system. Finally, with the results obtained, it is possible to certify the efficiency of projected systems and measure theirs costs.

**Keywords:** Rainwater management. Urban drainage. Infiltration well. Catchment reservoir.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hidrograma bacia natural x bacia urbanizada.....	19
Figura 2 – Ciclo hidrológico em meio natural, urbano e com os princípios de drenagem sustentável aplicados .....	21
Figura 3 – Representação de trincheira de infiltração em funcionamento .....	24
Figura 4 – Exemplo de pavimento com blocos de superfície permeável .....	26
Figura 5 – Representação de poço de infiltração e poço de injeção.....	26
Figura 6 – Detalhe em corte esquemático de um poço de infiltração .....	27
Figura 7 – Representação esquemática estrutura de um telhado verde .....	28
Figura 8 – Modelo de aplicação de cisterna vertical em sistema de coleta de água pluvial em residência unifamiliar .....	30
Figura 9 – Detalhe do conjunto de filtros fabricado pela Tecnotri.....	30
Figura 10 – Sistema para descarte do escoamento inicial acoplado à rede de captação de água pluvial .....	33
Figura 11 – Fluxograma dimensionamento projeto.....	35
Figura 12 – Renderização elevação residência.....	36
Figura 13 – Ábaco para dimensionamento de condutor vertical junto de calhas com saída em aresta viva.....	41
Figura 14 – Bocal aquapluv .....	42
Figura 15 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min).....	42
Figura 16 – Modelo de calha aplicado.....	47
Figura 17 – Relação reservatório e eficiência obtida .....	48
Figura 18 – Cisterna adotada no projeto.....	49
Figura 19 – Vistas gerais a) associação de reservatório de aproveitamento e poço de infiltração ao sistema de drenagem urbana b) associação de poço de infiltração à drenagem urbana .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fases do desenvolvimento da drenagem das águas urbanas.....	16
Tabela 2 – Valores de C baseados nas características de diferentes superfícies .....	20
Tabela 3 – Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis da água.....	33
Tabela 4 – Resultados de infiltração pelo ensaio de Anéis Concêntricos .....	37
Tabela 5 – Períodos de estiagem .....	38
Tabela 6 – Parâmetros de consumo de água pluvial.....	38
Tabela 7 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficiente de rugosidade $n=0,011$ (Vazão L/min) .....	41
Tabela 8 – Valor de demanda previsto para uso da água da chuva .....	46
Tabela 9 – Dimensões cisterna vertical modular 1.050 L .....	49
Tabela 10 – Relação dos volumes do poço de acordo com diâmetros e profundidades .....	50
Tabela 11 – Relação poço de infiltração e eficiência do sistema .....	51
Tabela 12 – Relação de volume de precipitação a armazenar .....	52
Tabela 13 – Resumo custo de implementação do projeto reservatório associado ao poço de infiltração.....	55
Tabela 14 – Resumo custo de implementação do projeto apenas com poço de infiltração .....	56

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGERGS	Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
NBR	Norma técnica brasileira
PVC	Policloreto de vinila
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índice da Construção Civil



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.2	OBJETIVOS .....	14
1.2.1	Objetivo geral.....	14
1.2.2	Objetivo específico .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1	DRENAGEM URBANA .....	15
2.1.1	Fases de desenvolvimentos das concepções de drenagem urbana.....	15
2.1.2	Histórico da drenagem urbana no Brasil.....	17
2.1.3	Macro e micro drenagem .....	18
2.1.4	Escoamento superficial .....	18
2.2	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS .....	20
2.2.1	Técnicas compensatórias não estruturais .....	22
2.2.2	Técnicas compensatórias estruturais.....	22
2.2.2.1	Bacias de retenção .....	23
2.2.2.2	Técnicas compensatórias lineares .....	23
2.2.2.2.1	Trincheiras de infiltração e de retenção .....	24
2.2.2.2.2	Pavimentos permeáveis.....	25
2.2.2.3	Técnicas compensatórias localizadas.....	26
2.2.2.3.1	Poços .....	26
2.2.2.3.2	Telhados verdes .....	28
2.2.2.3.3	Reservatórios de aproveitamento de água da chuva .....	29
2.3	SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS .....	31
2.4	QUALIDADE DA ÁGUA COLETADA .....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	36
3.2	DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....	37
3.3	CÁLCULO DA DEMANDA .....	38
3.4	DIMENSIONAMENTO SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS 39	
3.4.1	Dimensionamento calhas .....	39
3.4.2	Dimensionamento condutor vertical .....	41
3.4.3	Dimensionamento condutor horizontal.....	42
3.5	DIMENSIONAMENTO RESERVATÓRIO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA .....	43
3.6	DIMENSIONAMENTO DO POÇO DE INFILTRAÇÃO.....	45

3.7	ORÇAMENTO .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	46
4.2	CALHAS.....	46
4.3	CONDUTOR VERTICAL.....	47
4.4	CONDUTOR HORIZONTAL.....	47
4.5	RESERVATÓRIO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA .....	47
4.6	POÇO DE INFILTRAÇÃO .....	49
4.7	PROJETO FINAL.....	52
4.8	ORÇAMENTO .....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>
	<b>APÊNDICE A — PLANTA BAIXA RESIDÊNCIA .....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE B — PLANTA DE LOCALIZAÇÃO.....</b>	<b>64</b>
	<b>APÊNDICE C — PLANILHA DIMENSIONAMENTO RESERVATÓRIO DE CAPTAÇÃO.....</b>	<b>65</b>
	<b>APÊNDICE D — VISTA SUPERIOR SISTEMA COM RESERVATÓRIO DE CAPTAÇÃO E POÇO DE INFILTRAÇÃO ASSOCIADOS.....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE E — VISTA LATERAL SISTEMA COM RESERVATÓRIO DE CAPTAÇÃO E POÇO DE INFILTRAÇÃO ASSOCIADOS.....</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE F — VISTA SUPERIOR SISTEMA COM POÇO DE INFILTRAÇÃO .....</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE G — VISTA LATERAL SISTEMA COM POÇO DE INFILTRAÇÃO .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, intensificado após a Revolução Industrial, ocorreu de forma rápida, sem controle da ocupação do solo, originando os aglomerados urbanos com as características conhecidas hoje e, ao mesmo tempo, gerando uma série de consequências ambientais. A principal diferença nas paisagens naturais é observada na impermeabilização do solo, decorrente do crescimento populacional e da ampliação das áreas edificadas que tem, por consequência, alterar a hidrologia e o clima local; ocasionando problemas como alagamentos e inundações urbanas (MIGUEZ et al., 2016).

Buscando mitigar os impactos da urbanização, ao longo dos anos foram desenvolvidas técnicas em drenagem urbana, que buscam amenizar os picos de vazão, gerados pelo escoamento superficial, e aumentados devido a impermeabilização. Tais medidas visam substituir os sistemas tradicionais de drenagem urbana que, em sua maioria, apenas transferem o problema para jusante. As novas técnicas reúnem conceitos de planejamento urbano à sistemas de drenagem, responsabilidade compartilhada entre o setor público e os proprietários urbanos, além de serem norteadas pelo desenvolvimento sustentável.

Nesse cenário, o presente trabalho explicitou uma revisão bibliográfica contemplando o conceito de diferentes técnicas compensatórias em drenagem urbana, além de exemplificar a aplicabilidade de duas dessas técnicas em uma residência unifamiliar, sendo a primeira constituída por um reservatório individual de armazenamento de água pluvial associado a um poço de infiltração conectado à rede pública de drenagem pluvial, e a segunda apenas composta por poço de infiltração conectado a captação pluvial e à rede pública.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com os dados fornecidos pela Agência Nacional das Águas (2019) no ano de 2018, 1 milhão de brasileiros foram afetados por cheias e inundações; acontecimentos que se repetem ao longo dos anos devido a carência de infraestrutura de drenagem urbana e efetiva gestão de águas pluviais. No entanto, com o desenvolvimento de novas e aperfeiçoadas técnicas de drenagem urbana, vertentes inovadoras de soluções vêm sendo aplicadas para a gestão das águas pluviais.

Assim, esse trabalho é fundamentado na possibilidade de que cada edificação se torne responsável, na sua microescala pelo escoamento gerado em seu lote e, portanto, soluções empregadas na fonte agregariam para o todo, na macroescala da cidade, no planejamento e na

gestão de águas pluviais. Há que se considerar ainda, que além de possibilitar a coleta, reuso, e direcionar corretamente as águas pluviais; as medidas compensatórias também podem contribuir como forma de recarga do lençol subterrâneo.

Com a compreensão de que “drenagem pluvial urbana não é só uma necessidade, mas uma prioridade por estar diretamente ligada à qualidade de vida e à segurança de pessoas e de bens” (MARQUES, et al. 2013); as universidades mostram-se instrumentos fundamentais que podem realizar estudos e experimentos e dessa forma difundir as vantagens e possibilidades de implementação de sistemas de técnicas compensatórias para toda população.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência e analisar os custos de implementação de um sistema de coleta de água pluvial integrado a um sistema de infiltração, como técnica compensatória de drenagem urbana na fonte.

### 1.2.2 Objetivo específico

- Dimensionar a rede pluvial para coleta;
- Dimensionar o reservatório de aproveitamento de água da chuva;
- Dimensionar o poço de infiltração;
- Avaliar a eficiência da implementação do sistema de infiltração de forma isolada e conjunta com o reservatório para armazenamento;
- Realizar a análise de custos de implementação do sistema de forma isolada e conjunta.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DRENAGEM URBANA

Miguez; Veról; Rezende (2016, p. 11) definem drenagem urbana como “[...] o conjunto de elementos, interligados em um sistema, destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região, conduzindo-as, de forma segura, a um destino final [...]”. Os autores acrescentam aos conceitos tradicionais as ideias mais modernas de coleta, condução e infiltração que buscam restabelecer o ciclo hidrológico; entretanto, para alcançar os conceitos mais sustentáveis abordados na modernidade, concepções precedentes de drenagem urbana foram empregadas.

#### 2.1.1 Fases de desenvolvimentos das concepções de drenagem urbana

A partir do século XIX o aumento das aglomerações urbanas e uma precária infraestrutura para controle de águas nas cidades, desencadearam a ocorrência de epidemias de cólera e tifo em toda Europa. Em consequência dessas epidemias foram desenvolvidos estudos, que comprovaram a ligação entre a transmissão de doenças e as águas pluviais. Assim, visando uma solução sanitária e aliado com os ideais positivistas foram desenvolvidos os princípios do higienismo (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

O propósito da fase higienista da drenagem urbana contemplou abastecer a cidade com água, fazendo a coleta a montante, e deságue do esgoto para distante da população, dispondo-o a jusante. O método tornou-se defasado com o crescimento das cidades, que por consequência aproximou-as da jusante dos rios, e desta forma, acabou iniciando “[...] o que é chamado do “ciclo de contaminação”, segundo o qual a cidade a montante polui a de jusante e esta, por sua vez, deverá poluir a seguinte [...]” (TUCCI, 2005, p. 140).

No início da década de 1970 foram revisadas as aplicações dos sistemas que geram aumento de escoamento em decorrência da urbanização, como por exemplo, a canalização de rios naturais; iniciando outra nova fase nos sistemas de drenagem urbana, denominada como corretiva (TUCCI, 2008). A fase denominada como corretiva por Tucci (2008), é a mesma referida por Tomaz (2013, apud PINHEIRO, 2019) como método racional, que teve seu desenvolvimento atrelado a necessidade de oposição aos métodos empíricos utilizados na metodologia higienista para o dimensionamento dos condutos pluviais, correlacionando os

efeitos de chuvas e do escoamento superficial com métodos matemáticos (TOMAZ, 2013 apud PINHEIRO, 2019).

Contraponto as soluções clássicas, buscando evitar a rápida transferência do escoamento para jusante e controlar ao máximo os excedentes de água gerados, são introduzidos os conceitos de tecnologias compensatórias aplicáveis ao sistema de drenagem. Tecnologias estas “[...] que buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e para a preservação ambiental” (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011, p. 25).

Assim, fica então caracterizado o último e atual período de desenvolvimento das águas urbanas denominado por Tucci de desenvolvimento sustentável, o qual tem como finalidade o “[...]gerenciamento integrado da infraestrutura urbana, iniciando-se pela definição da ocupação do espaço, com preservação das funções naturais, como infiltração e a rede natural de escoamento[...]” (TUCCI, 2005, p. 141).

Além de atender as modificações causadas no escoamento urbano, nos processos de infiltração e na retenção de água na bacia, as novas técnicas devem também contemplar os danos de poluição difusa, resultantes da ocupação e uso do solo. A poluição difusa colabora na disseminação de doenças de veiculação hídrica e para problemas sanitários, dado que prejudica a qualidade da água, ao entrar em contato com diferentes tipos de poluentes/contaminantes (RIGHETTO et al., 2009).

Na Tabela 1, Tucci (2008) sintetiza as fases de desenvolvimento dos conceitos de drenagem das águas urbanas.

Tabela 1 – Fases do desenvolvimento da drenagem das águas urbanas

(continua)

<b>Fase</b>	<b>Características</b>	<b>Consequências</b>
<b>Pré-higienista: até início do século XX</b>	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
<b>Higienista: Antes de 1970</b>	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.

Tabela 1 – Fases do desenvolvimento da drenagem das águas urbanas

(conclusão)

<p><b>Corretiva:</b> <b>Entre 1970 e 1990</b></p>	<p>Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.</p>	<p>Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.</p>
<p><b>Desenvolvimento sustentável:</b> <b>Depois de 1990</b></p>	<p>Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.</p>	<p>Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.</p>

Fonte: Adaptado de Tucci (2008).

### 2.1.2 Histórico da drenagem urbana no Brasil

O desenvolvimento da urbanização brasileira se deu com base nas produções econômicas. Inicialmente os conglomerados urbanos estabeleceram-se próximo ao litoral devido a produção de açúcar, e posteriormente adentraram ao interior do país com a produção do café (FREITAS, [20--]). Assim, acompanhando o desenvolvimento dos centros urbanos surgiram as primeiras demandas de drenagem urbana no país, que hoje são conceituadas como:

Conceito de sistema de drenagem urbana adotado no Brasil, presente na maioria dos manuais de drenagem urbana: conjunto de elementos destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escoem sobre sua superfície, conduzindo-as a um destino. (SOUZA, 2013 p.59).

Para o planejamento de desenvolvimento da nova capital mineira Belo Horizonte, no final do século XIX, foram desenvolvidos estudos pela Comissão Construtora Nova Capital (CCNC) nos quais foram predominantes os princípios racionalistas e positivistas, conceitos desfavoráveis aos cursos naturais dos córregos existentes (PINHEIRO, 2019). De fato, a aplicação das ideologias higienistas, é notável pelo registro das canalizações de cursos d'água realizadas. Em 1972, por exemplo, eram 33 km canalizados e em 2008 o número cresceu para 173 km, correspondendo a 26% da extensão total da rede hidrográfica que é de 673 km (CALDAS et al. 2008, apud PINHEIRO, 2019).

Em Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, iniciou-se o desenvolvimento de obras de drenagem urbana em razão da ocorrência de eventos de cheia que afetaram a cidade, os quais são registrados desde 1899. Com a recorrência das inundações foi necessária a estruturação de

uma medida protetiva para a cidade, e assim foi construído o sistema de diques em 1970, formado por sub-bacias que drenam para as estações de bombas, sistema que é gerenciado pelo Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (TUCCI, 2005). Já em 1999 foi iniciado o desenvolvimento do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) da cidade de Porto Alegre, no intuito de abordar os problemas de drenagem do município e elencar as orientações técnicas e ambientais (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, [20-?]).

Pompêo (2000) relata que no estado de Santa Catarina são raros os sistemas de tratamento de esgoto, de disposição adequada de resíduos sólidos e drenagem urbana; resumindo-se o saneamento básico no estado resume-se ao abastecimento de água potável e a coleta de lixo doméstico. O autor destaca ainda, que o planejamento da drenagem é lembrado em situações pontuais, especialmente na ocorrência de enchentes e no momento de considerar suas causas e possíveis vias de solução; assim, a “[...] ausência de soluções integradas e harmônicas entre os sistemas urbanos e os sistemas naturais é também um fator significativo para a ocorrência de enchentes frequentes. [...]”.

No Brasil, as redes de drenagem urbana são conduzidas de forma isolada e distinta do esgotamento sanitário, visto que o sistema vigente é o separador absoluto, sendo necessário redes públicas que recebam o escoamento superficial gerado nos lotes particulares e conduzam-no ao destino final adequado (VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2019).

### **2.1.3 Macro e micro drenagem**

Os sistemas constituintes da drenagem urbana são segmentados conforme sua escala de aplicabilidade, sendo normalmente separados na fonte, na microdrenagem e na macrodrenagem (TUCCI, 2005). Os sistemas aplicáveis na fonte, são os direcionados para escoamentos de pequenas áreas como lotes e condomínios e destinados a suprir a demanda de precipitações de risco moderado, exemplificado pelas redes primárias urbanas. Macrodrenagem contempla os eventos de precipitações superiores aos suportados pela microdrenagem (TUCCI, 2005).

### **2.1.4 Escoamento superficial**

Uma vez que a drenagem urbana é diretamente responsável em escoar as vazões originadas pelo escoamento superficial, precisa-se compreender o início do evento, o qual tem origem nas precipitações, que podem ser na forma de granizo, neve ou chuva; sendo a

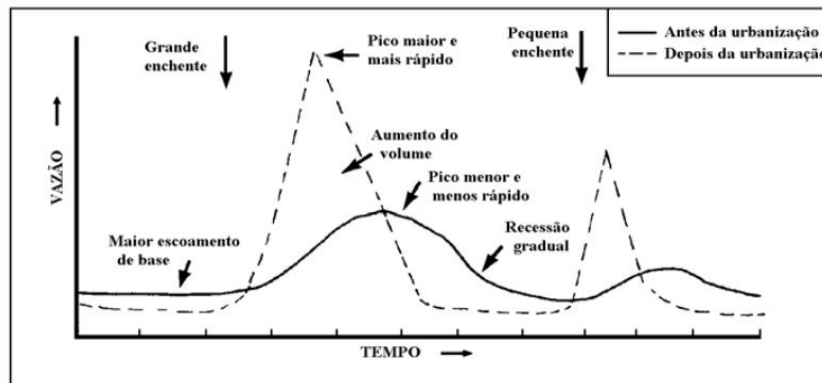


ocorrência mais comum na forma de chuvas, que são responsáveis em gerar maior volume de escoamento superficial. A precipitação inicialmente atinge o solo, acumula e infiltra até saturá-lo, com o solo saturado o escoamento se detém ao chamado “escoamento superficial livre” que percorre a superfície territorial da bacia hidrográfica (PAZ, 2004).

Miguez et al. (2016) menciona que trocar a cobertura vegetal por pavimento de baixa permeabilidade praticamente impermeável, como asfalto e concreto, é o efeito mais representativo da urbanização, notório pela Figura 1, uma ação que reflete em diferentes pontos, tais como:

- [...]- redução drástica da infiltração no solo, prejudicando diretamente a recarga dos aquíferos e, conseqüentemente, diminuindo a vazão de base da bacia;
- aumento do escoamento superficial, com aumento da vazão média de cheias;
- aumento da velocidade do escoamento, com redução do tempo de pico, devido à eliminação de obstáculos na bacia e à menor rugosidade do pavimento impermeável, que substitui a cobertura vegetal original. [...] . (MIGUEZ et al., 2016, p.80)

Figura 1 – Hidrograma bacia natural x bacia urbanizada



Fonte: Tucci (2005).

O volume total de escoamento superficial pode variar conforme as características da superfície. A NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) relaciona este volume escoado com o volume precipitado, por meio do Coeficiente de Escoamento Superficial ou Runoff (C) conforme Equação (1), que representa quanto da precipitação se transforma em escoamento superficial.

$$C = \frac{\text{volume total escoado}}{\text{volume total precipitado}} \quad (1)$$

Outro efeito da urbanização é a poluição difusa que tem relação direta com o escoamento superficial, resultando em proliferação de doenças de veiculação hídrica, mortandade de vida aquática, necessidade de limpeza e remoção de poluentes entre outros; isto devido ao incorreto descarte de resíduos urbanos, às ligações clandestinas de esgoto sanitário e ao direto lançamento das águas escoadas nas superfícies urbanas aos corpos receptores (FRANÇA, 2020; RIGHETTO, 2009).

Deste modo, é evidente que as alterações de cobertura vegetal refletem nas propriedades originais do solo, como a infiltração. A recarga do lençol subterrâneo também é comprometida, tendo em vista que ela resulta do processo de infiltração, e de transferência de fluxo da superfície ao interior do solo (TUCCI, 2005).

Por fim, é fundamental ainda a existência de um sistema de drenagem com qualidade e bom desempenho, visto que o escoamento superficial sempre ocorre independentemente da existência de uma gestão eficiente das águas pluviais urbanas (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, [2017?]).

A Tabela 2 relaciona algumas superfícies com o valor de coeficiente de escoamento superficial a ser utilizado para cálculos da vazão de escoamento superficial gerada por uma dada precipitação. Coeficiente este, que inclui as possíveis perdas elencadas por Tomaz (2010, p. 5-3), como na “limpeza do telhado, perda por evaporação, perdas na autolimpeza e outras”.

Tabela 2 – Valores de C baseados nas características de diferentes superfícies

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de <i>runoff</i></b>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Adaptado de Veról; Vazquez; Miguez (2019).

## 2.2 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

As técnicas compensatórias se mostram alternativas eficientes para controlar picos de vazões, resultantes do excesso de escoamento superficial. (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE

,2016); possibilitando o restabelecimento das condições naturais do terreno, sobretudo pelo aumento da infiltração da água no solo.

Ribeiro (2014) conceitua técnicas compensatórias como medidas que atuam de forma a amenizar a quantidade e melhorar a qualidade do escoamento superficial urbano, Figura 2. O autor salienta ainda, que diferentes termos têm sido utilizados para referir tais técnicas, sendo que no Brasil o conceito de técnicas compensatórias semelhante ao empregado nos Estados Unidos e no Canadá como *Best Management Practices* (Melhores Práticas de Gerenciamento), conhecidas pela sigla “BMP”.

Figura 2 – Ciclo hidrológico em meio natural, urbano e com os princípios de drenagem sustentável aplicados



Fonte: Veról; Vazquez; Miguez (2019).

Essas técnicas são diferenciadas em duas categorias: i) as medidas estruturais, as quais compreendem as obras de engenharia, e ii) medidas não estruturais, que são focadas na “[...] introdução de normas, regulamentos e programas que visem, por exemplo, o disciplinamento do uso e da ocupação do solo [...]” (CANHOLI, 2014, p. 25). As técnicas compensatórias podem ser aplicadas integradas com o espaço de projeto e desempenhar além da função técnica, o uso associado como espaço de lazer ou estacionamento por exemplo; tendo aplicabilidade em diferentes proporções, contemplando desde pequenos lotes até grandes áreas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Dessa forma, é essencial que medidas estruturais corretivas sejam utilizadas em conjunto com as não estruturais, as quais, por serem caracterizadas como de caráter preventivo, complementam as medidas corretivas e harmonizam a interação da sociedade com os eventos de enchentes (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

### **2.2.1 Técnicas compensatórias não estruturais**

O princípio das medidas não estruturais está fundamentado no conceito de prevenção. Portanto, trabalhar junto da população desenvolvendo ações de educação ambiental; sensibilizando as pessoas sobre as consequências do aumento do escoamento superficial é de fundamental importância (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Além do âmbito da prevenção, essas medidas também podem ser aplicadas como forma de correção, como exemplo, pode-se citar o movimento de reflorestamento urbano e restauração das matas ciliares, cujas vegetações nativas foram retiradas pelo processo de urbanização, objetivando a preservação dos cursos d'água. Também contemplam o controle de emissão de poluentes, através de iniciativas como a de minimizar os resíduos gerados por indústrias; pensando na coleta, no tratamento e na correta disposição final, de modo a reduzir os impactos ao meio ambiente. “[...] Em geral, as medidas não estruturais buscam o planejamento urbano com a ordenação de uso e ocupação do solo [...]” (RIBEIRO, 2014, p. 43). Dessa forma,

As medidas não estruturais, em conjunto com as medidas estruturais ou sem essas, podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. O custo de proteção de uma área inundável por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não estruturais. Em Denver (Estados Unidos), em 1972, o custo de proteção por medidas estruturais de um quarto da área era equivalente ao de medidas não-estruturais para proteger os restantes três quartos da área inundável. (TUCCI, 2005, p.65).

### **2.2.2 Técnicas compensatórias estruturais**

As técnicas compensatórias estruturais compreendem as obras de engenharia realizadas com o objetivo de reduzir o risco de inundações (TUCCI, 2005). A classificação dessas medidas varia de acordo com os autores usados como base de trabalho, Tucci (2005) e Canholi (2014), por exemplo, diferenciam as medidas em extensivas e intensivas; já Miguez; Veról; Rezende (2016) as classificam entre medidas de armazenamento e medidas de infiltração e Baptista; Nascimento; Barraud (2011), dividem as medidas como bacias de detenção, técnicas lineares e técnicas localizadas.

### 2.2.2.1 *Bacias de retenção*

Reservatórios que armazenam água durante a passagem do pico da cheia e esvaziam em um momento posterior configuram medidas de armazenamento, simulando o armazenamento que ocorria naturalmente na bacia, antes da urbanização, pela interceptação vegetal e pelo armazenamento no solo após infiltração. (MIGUEZ et al., 2016, p. 265)

Técnica bastante difundida no Brasil, que teve notável aplicação a partir dos anos 90 em cidades como Porto Alegre, Curitiba, São Paulo e Belo Horizonte, tendo como foco amortecer eventos de cheias (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). As bacias de retenção compõem técnicas regulatórias, que minimizam os efeitos a jusante, uma vez que suavizam a vazão máxima (RIGHETTO et al., 2009).

Tais bacias, além de cumprir a função de armazenamento hídrico podem também, integrar-se a paisagem do espaço urbano, compondo lugares para prática de esportes, para áreas verdes, para reservas ecológicas, para áreas de lazer, etc. Esses usos complementares, por sua vez, acabam valorizando o espaço, visto o elevado custo do solo urbano. O uso multifuncional colabora também para a manutenção e a garantia de correto funcionamento da estrutura, evitando proliferação de vetores de doenças e o descarte ilegal de resíduos sólidos nesses locais, o que prejudicaria o funcionamento dessas estruturas durante os eventos de precipitação (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Canholi (2014) relata a experiência da cidade de São Paulo com o reservatório da Praça Charles Miller, que foi desenvolvido para armazenar volumes coletados pelas galerias localizadas anteriores a praça, as quais originalmente conformavam direto para uma galeria na Avenida Pacaembu, resultando em inundações, danos materiais e transtorno ao tráfego de veículos (diariamente estimado em 60 mil veículos, na época do projeto no ano de 1993). O uso desta técnica compensatória possibilitou execução de um projeto em curto prazo, visto que no final de 1994 o sistema já estava funcionando e no período de chuvas intensas daquele referente ano evitou, ao menos, a ocorrência de cinco eventos de inundações; esta técnica mostrou-se também mais viável economicamente, possibilitando uma economia de US\$ 27 milhões em comparação com os custos de projeto básico de implantação de outra solução.

### 2.2.2.2 *Técnicas compensatórias lineares*

São aquelas que apresentam uma dimensão longitudinal significativa em comparação com sua largura e profundidade. Exatamente em função dessa

característica elas são bastante utilizadas em associação com o sistema viário. (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011, p. 205).

Abrangem as trincheiras de infiltração e de detenção, bem como os pavimentos permeáveis.

#### 2.2.2.2.1 Trincheiras de infiltração e de detenção

Nesses sistemas, a garantia do adequado funcionamento da estrutura está relacionada ao conhecimento do subsolo, sendo primordial o solo ser constituído por material permeável, que pode ser areia, cascalho ou rocha fraturada (BENÍTEZ; RODRÍGUEZ; SARDIÑAS, 2019). As trincheiras de infiltração, (Figura 3), devem ser constituídas em seu interior, por material filtrante de granulometria adequada para um rápido escoamento e com índice de vazios que permita a reserva temporária deste escoamento até que ocorra a infiltração. Esse material pode ser brita e um filtro variável entre manta geotêxtil ou ainda, um filtro de areia (RIBEIRO, 2014).

Figura 3 – Representação de trincheira de infiltração em funcionamento



Fonte: Rice Creek Watershed District ([20--?]).

A implantação de trincheiras de infiltração é adequada em áreas que possuam baixo nível do lençol freático, de modo a permitir um fluxo livre das águas pluviais para o subsolo, devendo sua base estar situada pelo menos 1 m acima do lençol freático (BUTLER, 2018). É recomendável ainda, que o sistema tenha pontos de acesso para possibilidade de manutenção e

de observação, tendo em vista que esse sistema não suporta altas vazões e grandes cargas poluidoras como esgoto (CIRIA, 2007; RIBEIRO, 2014).

As trincheiras podem ser diferenciadas de acordo com sua forma de descarregar as águas retidas. A trincheira de infiltração descarrega as águas por infiltração no solo, pela base e paredes laterais enquanto a trincheira de retenção esgota as águas a sua jusante, direto no meio natural ou para a rede de drenagem, com controle da vazão (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

O uso dessa técnica pode reduzir, significativamente, o volume de escoamento superficial para a rede de drenagem. Daronco (2018) relata que o dimensionando de trincheiras de infiltração para loteamentos em Santa Rosa – RS, permitiu estimar uma redução de 60% do volume de escoamento superficial. Além dos benefícios hidráulicos, o uso de trincheiras mostrou significativa redução de carga poluente descarregada no corpo receptor (CIRIA, 2007).

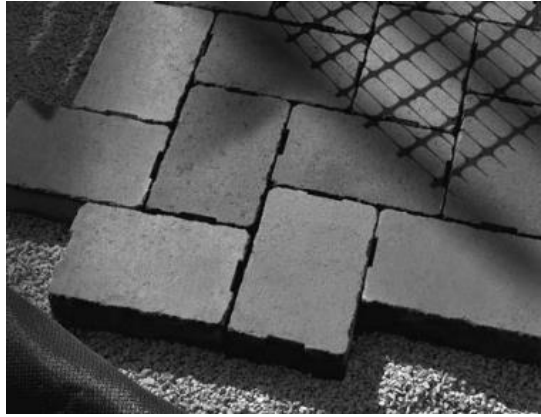
#### 2.2.2.2.2 Pavimentos permeáveis

Com o aumento da malha viária uma grande parcela da área das bacias hidrográficas acaba sendo impermeabilizada, em espaços densamente ocupados essa taxa pode chegar a 30% da área da bacia de drenagem o que acaba colaborando para ocorrência de inundações urbanas. No propósito de amenizar o escoamento superficial gerado pelo impacto de implantação no próprio sistema viário podem ser empregados pavimentos permeáveis, como o apresentado na Figura 4 (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Um pavimento permeável é “[...] aquele que possui porosidade e permeabilidade significativamente elevada de maneira a influenciar a hidrologia causando algum efeito positivo ao meio ambiente” (VIRGILIIS, 2009, p. 22).

Araújo et al. (2000) realizaram uma simulação de chuva de projeto (com duração de 10 min, período de retorno de 5 anos e intensidade de 111,9 mm/h) em duas superfícies de pavimento permeável, sendo uma de blocos de concreto industrializados e vazados tipo “S” e outra de concreto poroso com traço 1:6 com brita comercial número 1 (de granito); observado um escoamento mínimo nessas estruturas. Para confirmar os resultados o experimento foi repetido três vezes, obtendo o mesmo valor de escoamento de 0,5 mm para os blocos de concreto industrializados e valores inferiores a 0,01 mm para a superfície de concreto poroso; valores estes inferiores as condições de pré-desenvolvimento.

Figura 4 – Exemplo de pavimento com blocos de superfície permeável



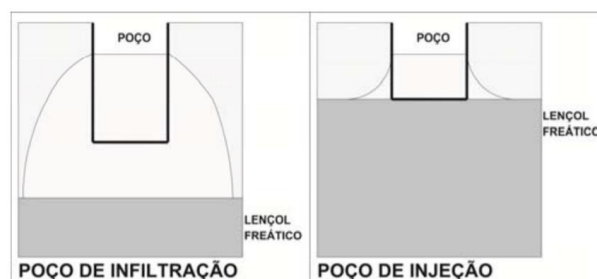
Fonte: Formpave Limited apud Butler (2018).

### 2.2.2.3 Técnicas compensatórias localizadas

#### 2.2.2.3.1 Poços

Poços de infiltração são estruturas de controle pontuais que propiciam reduções das vazões de pico e necessitam de pequenas áreas para sua execução, facilitando sua implantação e integração com o ambiente urbano. Estas medidas compensatórias funcionam com o ingresso de água pluvial que pode ocorrer pelo escoamento superficial, denominado de modo difuso, ou por uma rede de drenagem, definido como modo localizado; já a descarga do sistema (Figura 5) pode acontecer pela infiltração da água no solo (nominado como poço de infiltração) ou a injeção dessa carga hidráulica no lençol subterrâneo (chamado de poço de injeção) (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Figura 5 – Representação de poço de infiltração e poço de injeção

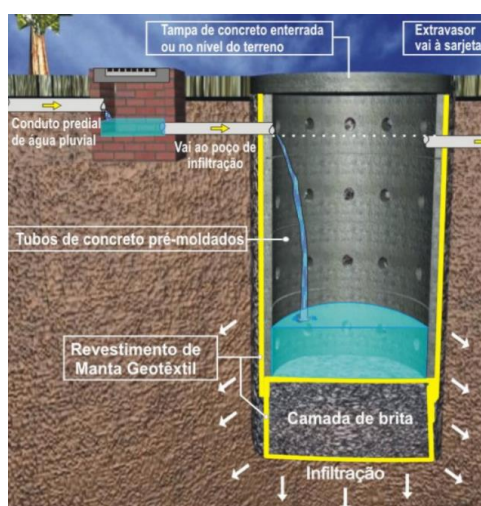




Fonte: Plano diretor de drenagem urbana de Curitiba ([2017?]).

Para a execução do poço de infiltração é necessário escavar o solo e revestir o buraco escavado com tubos de concreto perfurados ou ainda com tijolos assentados em crivo em sua lateral, os quais devem ser envoltos por uma manta geotêxtil para melhor interface com o solo. Já o fundo do poço deve ser revestido com agregado graúdo o qual também é revestido por manta geotêxtil (Figura 6). A água captada pelo sistema apenas irá para a rede pública de drenagem após o total enchimento do poço e diminuição da sua capacidade de infiltração, visto que o sistema tem como finalidade reter todo o escoamento pluvial captado pela edificação (REIS, 2008).

Figura 6 – Detalhe em corte esquemático de um poço de infiltração



Fonte: Oliveira; Reis; Sales (2008).

Um estudo realizado em 2005 analisou o impacto da recarga de água subterrânea realizado por 3.763 poços de infiltração instalados na cidade de Chandler, Arizona, EUA. Foi constatado que na situação de pré-desenvolvimento a recarga foi de  $2 \times 10^5$  m<sup>3</sup> de água por ano. A recarga na situação de pós-desenvolvimento através dos poços de infiltração foi estimada em aproximadamente dez vezes maior, com uma média de  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de água por ano, considerando o período de chuva e de estiagem (GRAF, 2015 apud FERREIRA, 2016 p. 44).

O experimento de Reis (2008), realizado na Universidade Federal de Goiás, permitiu concluir que o poço de infiltração implementado com capacidade de infiltração das precipitações teve um desempenho de 4 a 19 vezes maior que o poço escavado a trado (com mesma profundidade e sem revestimento). Foi possível averiguar a colmatação da manta

geotêxtil depois de 10 meses de acompanhamento do sistema, resultando na diminuição de 31,47% da capacidade de vazão da manta, o que, no entanto, não interferiu no funcionamento do poço, devido a capacidade de vazão restante na manta superar a capacidade de infiltração do solo no local.

### 2.2.2.3.2 Telhados verdes

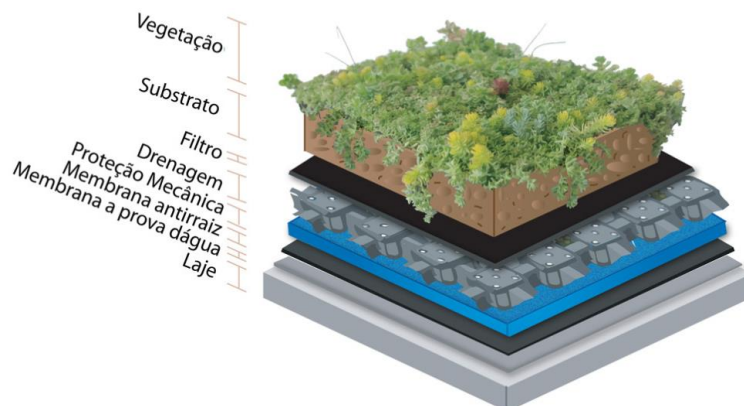
Um telhado verde é uma área plantada que tem potencial de armazenamento de chuva, estimula a evapotranspiração e fornece o benefício adicional de melhoria da qualidade da água à medida que a chuva penetra a camada de solo. (BUTLER et al., 2018, p. 491).

Esta técnica torna uma área destinada apenas a gerar escoamento superficial em área verde útil, voltada a reduzir o volume de água na drenagem urbana, bem como com capacidade de possibilitar o retorno das águas das precipitações ao ciclo hidrológico original (MIGUEZ, 2016).

O sistema de um telhado verde é constituído de diferentes camadas dispostas sobre a laje de cobertura, as quais são descritas por Oliveira (2009, p. 27) e representadas na Figura 7:

- [...] -Camada de impermeabilização: para impedir a infiltração de água na laje.
- Camada de proteção mecânica: para impedir danos na impermeabilização.
- Camada de drenagem: Responsável pela regulagem da retenção de água e da drenagem rápida e eficiente do excesso desta.
- Camada de filtragem (facultativo): impede a passagem dos substratos, para a camada de drenagem.
- Camada de substrato: camada onde se encontram os nutrientes que dão suporte à vegetação, retendo e absorvendo água.
- Camada de vegetação: consiste na cobertura vegetal propriamente dita e que vai depender do tipo de telhado verde proposto [...].

Figura 7 – Representação esquemática estrutura de um telhado verde



Fonte: Construindo Decor ([20--?]).

O experimento de implementação de um telhado verde realizado em Santa Maria, resultou na redução média de 62% dos volumes escoados em comparação ao telhado convencional de fibrocimento, além de mostrar-se efetivo para o retardo do início do escoamento superficial e para a redução das vazões de pico (TASSI et al., 2013).

#### 2.2.2.3.3 Reservatórios de aproveitamento de água da chuva

Os reservatórios individuais de aproveitamento de água pluvial são estruturas destinadas ao armazenamento de volumes de precipitações, os quais não são permitidos para o consumo humano por não atenderem a qualidade, mas tem o uso não potável permitido (como em descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e lavagem de veículos). São instalados ao ar livre ou dentro das edificações, estando conectados ou não ao sistema de drenagem urbano e podendo ser pré-fabricados ou feitos in loco (em alvenaria ou concreto armado) (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

A NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) determina que os reservatórios necessariamente devem ser cobertos, visando impedir a contaminação da água reservada por insetos e roedores. Além das medidas preventivas, a norma também especifica a necessidade de manutenção de todos os componentes de um sistema de reaproveitamento de água pluvial, salientando que nos reservatórios deve ser realizada uma inspeção anual além da limpeza quando necessário.

Há de se considerar, entretanto, que para uma maior efetividade da aplicação de reservatórios de aproveitamento de água da chuva é necessário o estudo e um zoneamento da bacia, que deverá ser classificada conforme seu relevo, visto que áreas propícias a alagamentos seriam impróprias para a implantação dessa técnica compensatória, já que seriam alagadas de fora para dentro do lote inibindo a capacidade de amortecimento. Por outro lado, as áreas mais altas têm grande potencial de aplicação, por serem áreas geradoras de escoamento superficial (MIGUEZ. VERÓL; REZENDE, 2016).

Diferentes métodos de dimensionamento de reservatórios individuais podem ser aplicados, destacando-se o Método de Rippl e o Método da Simulação que levam em consideração a distribuição pluviométrica e a demanda de utilização da água pluvial. O dimensionamento também pode ser realizado com estimativas empíricas relacionando área de

captação e média anual de precipitação, hipóteses consideradas pelos Métodos Práticos Alemão e Inglês (VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2019).

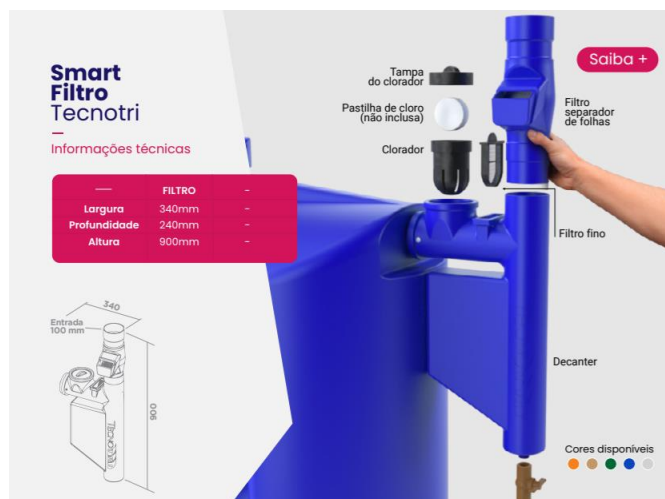
Com as novas demandas o mercado também modernizou as opções de modelos de reservatório, com oferta de reservatórios pré-fabricados e sistemas de filtros acoplados. Um exemplo disso são as cisternas fabricadas pela empresa Tecnotri, (Figura 8), que atendem as especificações da NBR 14799/2011 (ABNT, 2011) e são constituídas de materiais plásticos 100% recicláveis e sustentáveis, podendo já ter acoplado o conjunto de filtragem (detalhado na Figura 9 que é composto por um filtro antifolhas, um decanter, um filtro fino e um filtro clorador) e pontos de saída de água para instalação de torneiras.

Figura 8 – Modelo de aplicação de cisterna vertical em sistema de coleta de água pluvial em residência unifamiliar



Fonte: Tecnotri (2015).

Figura 9 – Detalhe do conjunto de filtros fabricado pela Tecnotri



Fonte: Tecnotri (2020).

No sistema de captação e aproveitamento as águas pluviais coletadas são direcionadas por gravidade até o reservatório. Entretanto, para viabilizar o uso dentro da edificação como nas descargas dos vasos sanitários, caso o reservatório de armazenamento tenha sido projetado no nível do solo é preciso conduzir esse fluxo de forma ascendente; para isto, se faz necessário um sistema elevatório composto por bombas para deslocar o fluxo até os pontos de utilização ou até um reservatório superior e posteriormente escoar por gravidade novamente.

Para um adequado funcionamento do sistema elevatório Tomaz (2010) recomenda a instalação da tomada de água para a bomba próximo da superfície, em geral 15 cm de profundidade, para evitar os sedimentos acumulados no fundo do reservatório. O autor indica o uso das bombas afogadas pela menor incidência de problemas, de cavitação, devendo o dimensionamento ser realizado tendo por base conceitos hidráulicos.

### 2.3 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Para conseguir coletar a água pluvial, é necessário a existência de um sistema acoplado ao telhado, que direcione o escoamento. A NBR 10844/1989 (ABNT, 1989) elenca as estruturas necessárias para coleta de água, iniciando pelas calhas, canais com finalidade de recolher o escoamento das superfícies de cobertura como telhados e terraços; seguido pelos condutores verticais, que são tubulações verticais que conduzem o fluxo de escoamento até a parte inferior da edificação; e por fim, os condutores horizontais, tubulações horizontais que interligam o sistema do lote privado a rede pública.

São exemplificados pela NBR 10844/1989 (ABNT, 1989) os modelos existentes de calhas, cujo uso depende da necessidade da edificação. Para edificações com beiral as calhas são acopladas na linha de beiral e intituladas como calhas de beiral, enquanto que para edificações com platibanda, as calhas devem ser instaladas no encontro da cobertura com a platibanda e são nominadas como calhas de platibandas, e para telhados com mais de uma água de escoamento são aplicadas as chamadas calhas de água furtada, implantadas nas linhas de água furtada da cobertura.

As calhas podem ser constituídas de diferentes materiais estabelecidos pela NBR 10844/1989 (ABNT, 1989), sendo os mais usuais o plástico rígido, policloreto de vinila (PVC), quando as dimensões são compatíveis com as comerciais ou ainda, o aço galvanizado, quando

necessário fabricação sob medida. Para os condutores verticais o material mais empregado é o PVC e o aço galvanizado.

Os condutores horizontais devem ser dimensionados como canais, considerando a lâmina d'água em apenas 2/3 do diâmetro interno da tubulação e com a declividade mínima de 0,5%. As capacidades de vazões dos condutores horizontais são relacionadas com seu coeficiente de rugosidade (n) e declividade a ser aplicada (NBR 10844, ABNT, 1989).

Para as residências unifamiliares em que a rede pode ser instalada enterrada deve-se usar caixas de areia quando conectar com outras tubulações ou necessitar troca de direção; em ambos os casos deve ser respeitada a necessidade de instalação do instrumento de manutenção (peças nas redes aparentes e caixa de areia para as redes enterradas) a cada 20 m de tubulação.

Os materiais mais comumente empregados em tubulações horizontais seguem recomendações de acordo com a vazão de projeto (para menores diâmetros, usuais o PVC e para maiores, usual tubulação de concreto pré-fabricada), entretanto devendo-se atentar para tubulações instaladas em locais com fluxo de cargas móveis na superfície, as quais deverão seguir recomendações específicas

## 2.4 QUALIDADE DA ÁGUA COLETADA

A contaminação dos corpos d'água é diferenciada de acordo com a forma de lançamento dos poluentes, podendo ocorrer devido à poluição pontual, caracterizada quando os lançamentos são de fácil observação como descarga de resíduos de indústrias; ou ainda, na forma de poluição difusa, relacionada aos poluentes em que a origem é de difícil identificação, como produtos resultantes de áreas agrícolas e a poluição relacionada à drenagem urbana (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

A forma de identificação da contaminação por cargas difusas se dá com base em “[...] parâmetros aquáticos como oxigênio dissolvido, carbono orgânico, condutividade, alcalinidade, coliformes termotolerantes entre outros” (SODRÉ, 2012, p. 13).

A NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) salienta a importância de aferir por meio de análises laboratoriais semestralmente, dita como frequência mínima, a qualidade da água pluvial coletada para reuso tendo como parâmetros mínimos os itens listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis da água

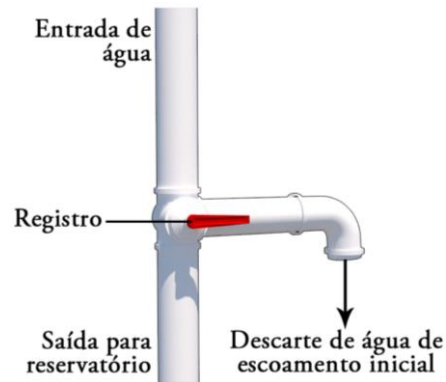
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<i>Escherichia coli</i>	< 200/100 mL
<b>Turbidez</b>	< 5,0 uT
<b>pH</b>	6,0 a 9,0

Fonte: Adaptado da NBR 15527/2019 (ABNT, 2019).

O reaproveitamento de águas pluviais é, usualmente, realizado com águas coletadas em telhados de áreas urbanas, que são locais sujeitos a carga poluidora e afetados com outros contaminantes como “[...] fezes de passarinhos, pombas, fezes de ratos, poeira, folhas de árvores, revestimentos do telhado, fibrocimento, tintas” (TOMAZ, 2010, p. 2-9). Dessa forma, conforme a finalidade de uso, pode ser necessário a utilização de filtros e a realização de descarte das primeiras águas, bem como o tratamento e a desinfecção da água coletada, antes de seu uso.

Pela NBR 15527/2019 (ABNT, 2019), a desinfecção da água de chuva antes do uso pode ser realizada por meio da utilização de cloro, de ozônio, de ultravioleta ou de outras tecnologias. Todavia, para fins não potáveis o processo de tratamento empregado é, comumente, baseado no descarte da água do escoamento inicial (Figura 10), que tem por objetivo promover a limpeza da área de coleta e evitar o acúmulo de sedimentos. Posteriormente, pode ser realizada uma etapa de filtragem para separar o fluido de sólidos por meio de operações físicas ou mecânica (DALPAZ et al., 2019).

Figura 10 – Sistema para descarte do escoamento inicial acoplado à rede de captação de água pluvial



Fonte: Veról, Vazquez, Miguez (2019).

Tomaz (2014) destaca a importância do descarte da água inicial (*first flush*) devido ao acúmulo de detritos no telhado, sugerindo que sejam descartados  $2 \text{ L/m}^2$  quando não existir dados locais e assim atender ao intervalo entre  $0,4 \text{ L/m}^2$  e  $8 \text{ L/m}^2$  estabelecido por estudos. Já a NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) recomenda o descarte de 2 mm da precipitação inicial.



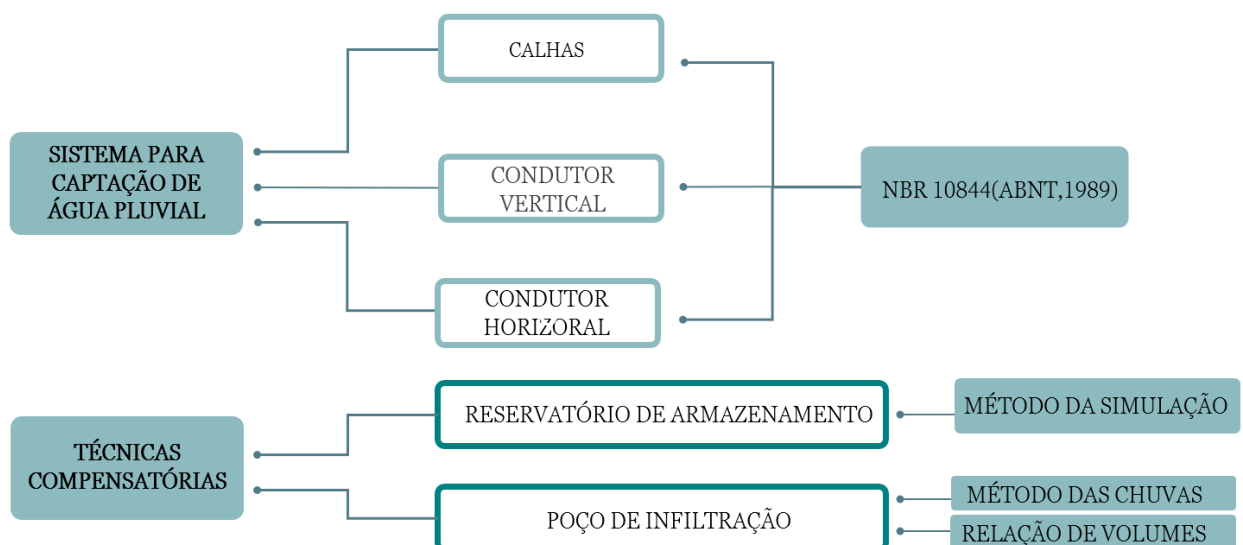
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os modelos propostos pelo estudo consistem em dois sistemas para captação de água pluvial fundamentados em gerir o escoamento superficial na fonte. O primeiro projeto de sistema é composto por uma cisterna associada com a técnica compensatória poço de infiltração, e o segundo projeto analisa a conexão do sistema de captação pluvial diretamente ao poço de infiltração.

A estrutura do sistema de captação de água inicia pela instalação das calhas de beiral na edificação, que irão conduzir o escoamento até o condutor vertical, direcionando-o ao reservatório de armazenamento e, posteriormente, ao coletor horizontal que, por fim irá conduzir, ao poço de infiltração; onde poderá se dissipar percolando pelo solo ou ainda, ser direcionada a rede pública de drenagem quando exceder sua capacidade de armazenamento. As duas propostas de sistema diferenciam-se pela aplicação do reservatório, sendo que no segundo sistema o fluxo irá ser conduzido diretamente do condutor vertical até o condutor horizontal e ao fim chegará também ao poço de infiltração para percolar pelo solo.

Assim, nas seções subsequentes serão exemplificados os métodos utilizados para dimensionamento e projeto dos dois sistemas, em síntese roteiro de projeto exemplificados na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma dimensionamento projeto



Fonte: Autora.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo de implementação foi realizado para a cidade de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, considerando uma residência (Figura 12), de área igual a 139,5 m<sup>2</sup>, localizada próxima ao campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A escolha por uma residência localizada próximo a UFSM se deve ao fato de que devido a pandemia de COVID-19 não foram realizados ensaios *in situ*, optando-se pelo uso de dados geológicos e hidrogeológicos monitorados no campus e ainda, em virtude do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ter instalada a estação A803 nas dependências da UFSM.

Figura 12 – Renderização elevação residência



Fonte: Autora.

Em relação ao solo da região de implantação, foram considerados os dados de acordo com o Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2020), que monitora os poços em todo o território nacional. O poço considerado está localizado no campus da UFSM, de número 4300000556, situado próximo ao prédio de número 21; tem profundidade total de 102 m e foi perfurado com método rotativo. O perfil do solo no local nos primeiros 13 m de profundidade é caracterizado como arenito fino e o nível registrado do lençol freático está em 12,11 m.

Boff (2019) realizou o ensaio de infiltração de anéis concêntricos, o qual os resultados são elencados na Tabela 4 e possibilitou a determinação da capacidade de absorção, característica que estima a capacidade de percolação de água pelo solo. De acordo com Baptista

(2010) solos com coeficientes de absorção entre  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup>, as denominadas areias com seixos, areias grossas e finas, tem uma boa possibilidade de infiltração.

Por fim, obteve-se para a capacidade de absorção ( $q_{as}$ ) o valor de  $1,739 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup>; determinando que a composição do solo permite a aplicação das técnicas compensatórias de infiltração.

Tabela 4 – Resultados de infiltração pelo ensaio de Anéis Concêntricos

<b>Tempo acumulado (min)</b>	<b>Tempo desacumulado (min)</b>	<b>Altura medida (cm)</b>	<b>Varição da lâmina d'água real (cm)</b>
0	0	193,2	0
2	2	193,1	0,07
5	3	193	0,07
11	6	192,7	0,2
16	5	192,5	0,14
21	5	192,2	0,14
26	5	192,1	0,14
31	5	191,9	0,14
41	10	191,6	0,2
51	10	191,1	0,2
61	10	191	0,14
76	15	190,8	0,2
76	15	190,8	0,2
106	30	190,4	0,34
136	30	190	0,2
166	30	189,5	0,34
196	30	189	0,34
226	30	188,3	0,41
256	30	187,8	0,41

Fonte: Adaptado de Boff (2019).

### 3.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos considerados correspondem ao período dos últimos 26 anos totalizando 9.498 dias monitorados; destacando o evento com maior precipitação diária em 08/10/2015 no valor de 180,8 mm, obtendo como valor total médio anual de precipitação 1.775,2 mm/ano e os maiores períodos de estiagem conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Períodos de estiagem

<b>Período</b>	<b>Dias consecutivos sem chuva</b>
18/08/1995 – 10/09/1995	23
27/11/1995– 18/12/1995	22
27/04/2006 – 18/05/2006	22
14/09/2016 – 05/10/2016	22

Fonte: Autora.

### 3.3 CÁLCULO DA DEMANDA

A residência em análise foi projetada com 3 dormitórios, totalizando 6 habitantes residentes conforme o recomendado por Creder (1991) apud Carvalho Júnior (2014), que considera 2 habitantes para cada dormitório, as representações técnicas como a planta baixa arquitetônica e planta de localização foram detalhadas nos Apêndices A e B, respectivamente. A cobertura da edificação é um telhado de telhas cerâmicas distribuído em duas águas, com inclinação de 36% e foi considerado também uma área de 10 m<sup>2</sup> para o jardim.

Tomaz (2014) traz que no Brasil ainda não existe um banco de dados com o consumo de água potável, sendo assim foram estimados dados com base nos parâmetros americanos de demanda de consumo residencial enunciados na Tabela 6 os quais foram adaptados para elencar os itens que possibilitam em seu uso o emprego de água pluvial de acordo com a NBR 15527/2019 (ABNT, 2019). Assim, para o cálculo da demanda foram considerados os valores médios recomendados.

Tabela 6 – Parâmetros de consumo de água pluvial

(continua)

<b>Uso</b>	<b>Unidade</b>	<b>Parâmetros</b>		
		<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Utilizado</b>
Frequência de descarga na bacia sanitária	Descarga/hab/dia	4	6	5
Volume da descarga	L/descarga	6,8	18	12,4

Tabela 6 – Parâmetros de consumo de água pluvial

				(conclusão)
Irrigação				
gramado ou jardim	L/dia/m <sup>2</sup>	-	<b>2</b>	<b>2</b>

Fonte: Adaptado de Tomaz (2010).

Ainda para as hipóteses de demanda, esclarece-se que a rega do jardim foi considerada necessária apenas quando as chuvas são inferiores a 5 mm/dia, ficando superior ao valor médio de 25 mm/semana, sugerido por Husqvarna ([20--]).

### 3.4 DIMENSIONAMENTO SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

#### 3.4.1 Dimensionamento calhas

A NBR 10844/1989 (ABNT, 1989) apresenta o cálculo das áreas de captação por equações, de acordo com o tipo de superfície de captação. Para a residência em análise foi utilizada a Equação (2), visto que a cobertura é composta de duas superfícies (também denominadas como águas) inclinadas de escoamento e com beirais.

$$As = \left( a + \frac{h}{2} \right) \times b \quad (2)$$

Onde:

$As$  = área superfície de captação (m<sup>2</sup>);

$a$  = comprimento do telhado (m);

$h$  = altura (m);

$b$  = projeção horizontal largura do telhado (m);

Para o cálculo da intensidade da chuva a NBR 10844/1989 (ABNT, 1989) orienta o uso do tempo de retorno de acordo com “as características da área a ser drenada”. Para as superfícies como coberturas e terraços a consideração de tempo de retorno a ser feita é de 5 anos e “a duração de precipitação deve ser fixada em 5 min”.

A intensidade da chuva foi calculada pela equação de chuvas intensas para Santa Maria – RS, atualizada por Roman (2015), descrita na Equação (3).

$$I = \frac{870,289 \times Tr^{0,1632}}{(t + 8,76)^{0,7258}} \quad (3)$$

Onde:

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

$Tr$  = tempo de retorno (anos);

$t$  = duração da chuva (mm);

Com o valor de intensidade pluviométrica conhecido, determinou-se a vazão de projeto. Por meio do Método Racional, descrito na Equação (4).

$$Q = \frac{C \times I \times A}{60} \quad (4)$$

Onde:

$Q$  = vazão de projeto (L/min);

$A$  = área de contribuição (m<sup>2</sup>);

$I$  = intensidade pluviométrica (mm/h);

$C$  = coeficiente de escoamento;

A calha escolhida para aplicação no projeto é do tipo semicircular, de PVC. Para determinação dos diâmetros necessários considerou-se o emprego da Tabela 7, apresentada na NBR 10844/1989 (ABNT, 1989), que relaciona a capacidade de vazão com o diâmetro e declividade aplicáveis. Na Tabela 7, pode-se observar os resultados obtidos através da fórmula de Manning Strickler, com lâmina de água na metade do diâmetro interno para os materiais como plástico, fibrocimento, aço e metais não-ferrosos, que possuem o coeficiente de rugosidade ( $n$ ) igual a 0,011.

Tabela 7 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficiente de rugosidade  $n=0,011$  (Vazão L/min)

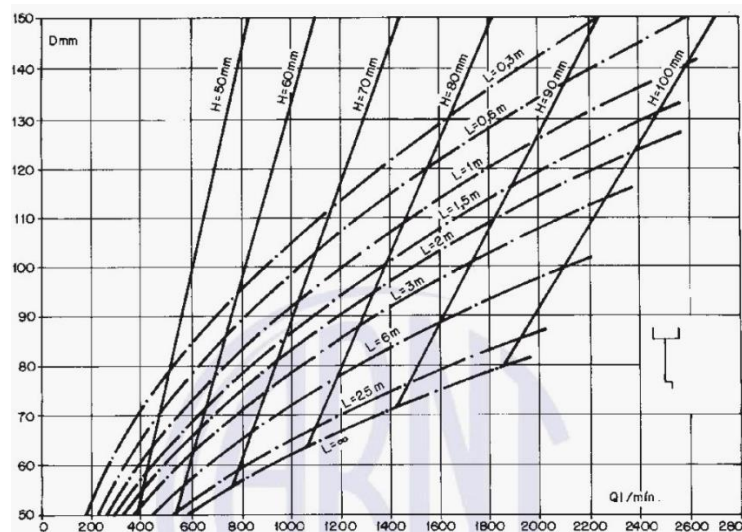
Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

Fonte: Adaptado da NBR 10844/1989 (ABNT, 1989).

### 3.4.2 Dimensionamento condutor vertical

A NBR 10844/1989 (ABNT, 1989) rege o dimensionamento dos condutores verticais por meio de ábacos, diferenciando em calhas com saída em aresta viva (Figura 13) e calhas com funil de saída; o diâmetro é obtido relacionando a vazão de projeto em L/min com o comprimento do condutor vertical em metros e deve-se analisar a altura de lâmina d'água na calha. Para o sistema foi considerado a calha com saída em aresta viva, com conexão detalhada na Figura 14.

Figura 13 – Ábaco para dimensionamento de condutor vertical junto de calhas com saída em aresta viva



Fonte: NBR 10844/1989 (ABNT, 1989).

Sendo  $L$  o comprimento do condutor vertical e  $H$  a altura de lâmina d'água na calha.

Figura 14 – Bocal aquapluv



Fonte: Tigre (2018).

### 3.4.3 Dimensionamento condutor horizontal

As capacidades de vazões dos condutores horizontais são descritas na Figura 15 de acordo com seu coeficiente de rugosidade ( $n$ ) e declividade a ser aplicada (NBR 10844/1989, ABNT 1989).

Figura 15 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min)

	Diâmetro interno (D) (mm)	$n = 0,011$				$n = 0,012$				$n = 0,013$			
		0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

Fonte: NBR 10844/1989 (ABNT, 1989).



### 3.5 DIMENSIONAMENTO RESERVATÓRIO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Com base nos dados coletados diariamente pelo INMET na estação A803 foi estabelecida a série histórica de precipitações diárias no período entre 01/01/1995 e 01/01/2021, para o dimensionamento do volume possível de captação, calculado pela Equação (5). Todo o dimensionamento foi realizado com o auxílio do software Excel, da Microsoft, conforme Apêndice C.

$$V = P \times A \times C \times \eta \quad (5)$$

Onde:

$V$  = volume máximo de água pluvial que pode ser coletado diariamente (m<sup>3</sup>)

$P$  = precipitação diária (mm)

$A$  = área de coleta (m<sup>2</sup>)

$C$  = coeficiente de *runoff* (adimensional)

$\eta$  = eficiência do sistema de captação

O cálculo do volume foi realizado atendendo a área de captação 108,39 m<sup>2</sup>, equivalente a superfície de coleta; para o coeficiente de *runoff* o valor foi considerado como 0,9 de acordo com a superfície de escoamento, definida como cobertura de telhas cerâmicas; e visto que os dados de eficiência do sistema não são conhecidos foi adotado o valor recomendado pela NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) de 0,85. As chuvas menores ou iguais a 2 mm não foram consideradas na série histórica, seguindo o estipulado pela NBR 15527/2019 (ABNT, 2019).

O dimensionamento do reservatório baseou-se no Método da Simulação, que determinando-se o volume mais adequado tendo por base a eficiência do sistema no atendimento à demanda, permite fixar o volume de reservatório e contabilizar se o consumo é atendido; o método determina que inicialmente o reservatório pode ser considerado cheio ou vazio, e necessita que os dados representem as condições futuras. A Equação (6) é aplicada como equação da continuidade, a um reservatório finito, considerando um passo de tempo igual aquele dos dados de precipitação utilizados (VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2019).

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + V - D \quad (6)$$

Sendo:

$V_{(t)}$  = volume de água no reservatório no tempo t (L)

$V_{(t-1)}$  = volume de água no reservatório no tempo t-1 (L)

$V$  = volume teórico captável no tempo t (L)

$D$  = volume de demanda diário (L)

Para contabilizar a probabilidade de falha do sistema é preciso relacionar os dias em que o reservatório não atendeu a demanda, que caracteriza falha do sistema, com o número de dias totais da série analisada; conforme Equação (7).

$$P_F = \frac{Dft}{Td} \times 100 \quad (7)$$

Sendo:

$P_F$  = probabilidade de falha do sistema (%)

$Dft$  = dias falhos totais (dias)

$Td$  = número total de dias da série (dias)

Admite-se que a eficiência do sistema é relacionada com os dias em que não há falha, ou seja, os dias em que o reservatório atendeu a demanda, e sendo expressa pela Equação (8).

$$E = 100 - P_F \quad (8)$$

Sendo:

$E$  = eficiência do sistema (%)

$P_F$  = probabilidade de falha (%)

O dimensionamento realizado com o auxílio de planilhas eletrônicas, viabilizou a tentativa de teste de reservatórios com diferentes volumes associados ao sistema de coleta. As simulações do sistema consideraram as capacidades de 500 L, 750 L, 1000 L, 2000 L, 3000 L, 7500 L, 10000 L; sendo esses volumes compatíveis com os volumes comerciais de reservatórios fabricados pela marca Fortlev.

### 3.6 DIMENSIONAMENTO DO POÇO DE INFILTRAÇÃO

O Método das Chuvas foi utilizado como premissa para o dimensionamento, resultando em um volume máximo de armazenamento considerando a transferência instantânea da precipitação com uma vazão constante de saída (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). Relaciona-se o gráfico da precipitação para o tempo de retorno dimensionado com a curva que representa as alturas d'água evacuadas no tempo monitorado; a diferença máxima entre as curvas corresponde a máxima altura de água a armazenar sem que ocorra transbordamento da estrutura.

O dimensionamento foi realizado para diferentes diâmetros, respeitando o espaço disponível no local de implantação e os diâmetros comerciais dos tubos perfurados de concreto, considerando área lateral como superfície infiltrante. Verificando o melhor desempenho e dimensões aplicáveis para atender as necessidades do sistema de forma mais adequada, a profundidade foi determinada respeitando a distância de pelo menos 1 m da zona saturada e valores totais inferiores a 20 m, conforme estabelece, Baptista; Nascimento; Barraud (2011).

### 3.7 ORÇAMENTO

Os custos foram elencados com base no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índice da Construção Civil (SINAPI) e, para os componentes não abrangidos pelo SINAPI os dados foram coletados com os próprios fabricantes, no comércio na cidade de Santa Maria ou no comércio online.

O orçamento foi realizado com base nos dos materiais necessários para execução dos projetos, os quais foram todos quantificados. Para o projeto com reservatório associado ao poço de infiltração o orçamento foi realizado com base nos Apêndices D e E, que contém as vistas e detalham o projeto. O orçamento do sistema com poço de infiltração também foi realizado com base nas plantas, que são exemplificadas nos Apêndices F e G.

Os gastos com mão de obra não foram considerados, visto a maior dificuldade em estimar e ter acesso.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O cálculo da área de captação da edificação resultou no valor de 237,07 m<sup>2</sup>, distribuídos em duas águas exemplificadas no Apêndice B, sendo a superfície 1 com 128,68 m<sup>2</sup> e a superfície 2 com 108,39 m<sup>2</sup>. Para o dimensionamento de todo o sistema foi utilizada a superfície 2 e o fluxo de precipitações escoado por ela.

A demanda calculada para a edificação é elencada na Tabela 8, sendo considerado o critério dos 5 mm/dia para os dias em que se faz necessário irrigar o jardim e os dias em que é dispensável.

Tabela 8 – Valor de demanda previsto para uso da água da chuva

<b>Demanda total</b>		
<b>Consumo descarga bacia sanitária</b>	372	L/dia
<b>Consumo irrigação</b>	20	L/dia
<b>Total com irrigação</b>	392	L/dia
<b>Total sem irrigação</b>	372	L/dia

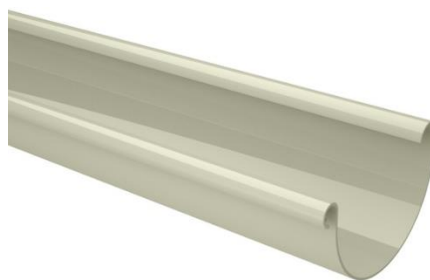
Fonte: Autora.

### 4.2 CALHAS

A intensidade pluviométrica considerada para os cálculos de dimensionamento das calhas foi correspondente ao tempo de retorno de 5 anos, valor de 168,78 mm/h, que resultou em uma vazão de projeto equivalente a 272,42 L/min.

Por fim, a calha considerada adequada para conduzir o escoamento da superfície do telhado é a calha de diâmetro 125 mm, aplicando a declividade de 1%, considerando o material PVC, representada em projeto no Apêndice D e Apêndice F. O modelo comercial que contempla as características necessárias é o modelo de calha aquapluv (Figura 16) da marca Tigre, que é comercializado em segmentos de 3,0 m de comprimento e são fabricados em PVC com aditivo anti ultravioleta (UV).

Figura 16 – Modelo de calha aplicado



Fonte: Tigre (2018).

#### 4.3 CONDUTOR VERTICAL

A vazão de projeto para o condutor vertical é a mesma resultante da calha, visto que apenas um condutor vertical supre o sistema. Deste modo, o condutor de seção circular que atende à vazão necessita de um diâmetro mínimo de 70 mm, sendo o diâmetro comercial para tubulações em PVC rígido mais próximo igual a 75 mm. A representação em projeto encontra-se no Apêndice E e Apêndice G.

#### 4.4 CONDUTOR HORIZONTAL

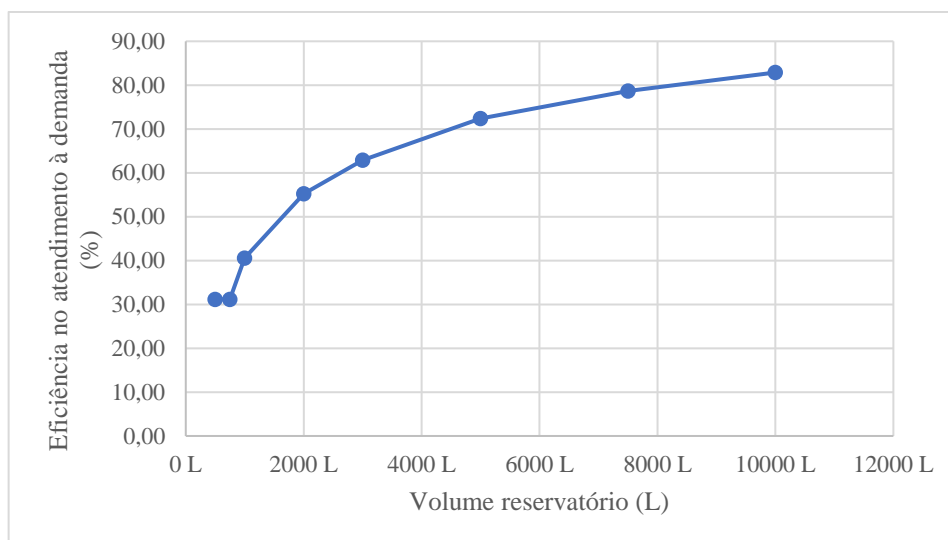
No sistema em estudo a rede horizontal foi considerada enterrada, e a vazão de contribuição do sistema é a vazão total escoada pelo único condutor vertical. Assim, o condutor horizontal para atender à demanda do sistema deve ter um diâmetro interno 100 mm e declividade de 1% em PVC. Para conectar à rede horizontal com o condutor vertical é recomendada a instalação de uma caixa de areia.

#### 4.5 RESERVATÓRIO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Pelo Método da Simulação foi perceptível que a eficiência do reservatório está diretamente conectada a capacidade de armazenamento do mesmo, Figura 17; confirmado também por Sari et al. (2010) que analisaram a eficiência de diferentes volumes para uma mesma área de captação e mesmo volume para distintas áreas de captação constatando o crescimento da eficiência em ambas as situações. Entretanto faz-se necessário destacar que quanto maior a capacidade de reserva maior serão as dimensões dele, maior será a área

destinada para alocação e mais caro torna-se o equipamento; fatores que influenciam na escolha do reservatório para o sistema.

Figura 17 – Relação reservatório e eficiência obtida



Fonte: Autora.

O sistema foi projetado alocado no corredor de serviço disponível na edificação, sendo a escolha do modelo de reservatório e seu volume limitada pelo espaço existente. Assim, o reservatório admitido para o projeto foi o modelo de cisterna vertical modular de 1050 L fabricado e comercializado pela empresa Tecnotri, Figura 18. Modelo que permite acoplar o filtro e fazer modulações unindo mais de um reservatório, ideia aplicada para o projeto sendo necessária a instalação de 2 reservatórios, um com filtro e outro sem, com as dimensões especificadas na Tabela 9 e totalizando um volume de armazenamento de 2.100 L.

Para a série analisada o reservatório considerado atingiu o valor de 55,79% de eficiência no atendimento à demanda, decorrente do alto número de dias falhos em que o reservatório tem seu volume nulo. Ainda com base na série histórica e considerando o conjunto de reservatórios, foi contabilizado o volume extravasado ao longo dos 26 anos, totalizando 1.560,7 m<sup>3</sup>, volume este que na primeira hipótese de sistema é conduzido ao poço de infiltração.

Figura 18 – Cisterna adotada no projeto



Fonte: Tecnotri (2020).

Tabela 9 – Dimensões cisterna vertical modular 1.050 L

	<b>Largura (m)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>
<b>Modelo sem filtro</b>	0,8	0,8	2,22	46
<b>Modelo com filtro</b>	1,09	0,8	2,48	47,5

Fonte: Tecnotri (2020).

#### 4.6 POÇO DE INFILTRAÇÃO

A área considerada para alocação do poço é situada na região frontal do lote, devido à proximidade com a rede pública. Visto que a técnica é baseada em percolar água pelo solo e residências usualmente são edificadas em fundações superficiais, prezou-se por distanciar o poço da residência, alocando mais próximo à rede pública de drenagem (conforme Apêndice D e Apêndice F).

O poço de infiltração foi dimensionado levando em consideração os valores de diâmetro de 0,6 m, 0,8 m, 1,00 m, 1,20 m e 1,50 m; alinhado com as medidas encontradas no comércio local (Comercial Momento<sup>1</sup>). Para a profundidade foram consideradas as dimensões descritas na Tabela 10, buscando ajustar a capacidade do poço e a viabilidade de execução; também

<sup>1</sup> Comercial Momento. **Orçamento**, [mensagem pessoal], Mensagem recebida por veronica.vielmo@gmail.com em 23 fev.

respeitando os limites de distância em relação ao lençol freático do local, que se encontra a uma profundidade de 12,11 m.

Tabela 10 – Relação dos volumes do poço de acordo com diâmetros e profundidades

Diâmetro	Profundidade (m)						
	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m	3,50 m	4,00 m	5,00 m
0,60 m	0,42 m <sup>3</sup>	0,57 m <sup>3</sup>	0,71 m <sup>3</sup>	0,85 m <sup>3</sup>	0,99 m <sup>3</sup>	1,13 m <sup>3</sup>	1,41 m <sup>3</sup>
0,80 m	0,75 m <sup>3</sup>	1,01 m <sup>3</sup>	1,26 m <sup>3</sup>	1,51 m <sup>3</sup>	1,76 m <sup>3</sup>	2,01 m <sup>3</sup>	2,51 m <sup>3</sup>
1,00 m	1,18 m <sup>3</sup>	1,57 m <sup>3</sup>	1,96 m <sup>3</sup>	2,36 m <sup>3</sup>	2,75 m <sup>3</sup>	3,14 m <sup>3</sup>	3,93 m <sup>3</sup>
1,20 m	1,70 m <sup>3</sup>	2,26 m <sup>3</sup>	2,83 m <sup>3</sup>	3,39 m <sup>3</sup>	3,96 m <sup>3</sup>	4,52 m <sup>3</sup>	5,65 m <sup>3</sup>
1,50 m	2,65 m <sup>3</sup>	3,53 m <sup>3</sup>	4,42 m <sup>3</sup>	5,30 m <sup>3</sup>	6,19 m <sup>3</sup>	7,07 m <sup>3</sup>	8,84 m <sup>3</sup>

Fonte: Autora.

Para a primeira hipótese de projeto, associando o poço de infiltração ao reservatório, inicialmente foi analisado o período em que o poço de infiltração irá funcionar, contabilizando todos os dias na série em que ocorre extravasamento do reservatório, totalizando 952 dias; ou seja, 10,02 % do tempo analisado na série histórica. Para aumentar o período de operação do poço de infiltração é necessário um maior volume extravasado, obtido por meio de uma maior superfície de captação (que resultará em um maior volume escoado) ou uso de reservatório de armazenamento com menor capacidade.

Para ponderar a melhor opção entre os diâmetros comerciais, foi elencada a eficiência para as diferentes propostas de dimensões do poço de infiltração, conforme Tabela 11. Observa-se que as maiores eficiências são relacionadas com as maiores dimensões de poço de infiltração, e que, conseqüentemente, esses poços de infiltração são responsáveis pelos menores repasses de água pluvial à rede pública de drenagem.

Analisando os 26 maiores volumes extravasados para o reservatório de 2.100 L e calculada a média, obtém-se o valor de 8,34 m<sup>3</sup>; já a análise dos maiores volumes extravasados em cada ano da série histórica corresponde a uma média equivalente a 7,24 m<sup>3</sup>.

Assim, as dimensões que melhor conciliam uma boa eficiência e contemplam as médias de volumes extravasados são o diâmetro de 1,50 m e a profundidade de 5,0 m, totalizando um volume disponível de 8,84 m<sup>3</sup>. Este modelo de poço de infiltração resulta em uma eficiência de 99,58%, destinando escoamento à rede pública em apenas 4 dias em que ocorre extravasamento. Sem a presença do poço de infiltração, todo o volume extravasado do reservatório, 156,07 m<sup>3</sup>, seria destinado à rede pública de drenagem e com a associação da técnica de infiltração o volume destinado totaliza o valor de 6,91 m<sup>3</sup>.



Tabela 11 – Relação poço de infiltração e eficiência do sistema

<b>Diâmetro (m)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Nº dias falhos</b>	<b>Falha</b>	<b>Eficiência</b>
0,80	3,00	373 dias	39,18%	60,82%
0,80	5,00	197 dias	20,69%	79,31%
1,00	2,00	363 dias	38,13%	61,87%
1,00	3,00	219 dias	23,00%	77,00%
1,00	3,50	178 dias	18,70%	81,30%
1,00	4,00	148 dias	15,55%	84,45%
1,00	5,00	90 dias	9,45%	90,55%
1,20	3,00	123 dias	12,92%	87,08%
1,20	3,50	87 dias	9,14%	90,86%
1,20	4,00	66 dias	6,93%	93,07%
1,20	5,00	39 dias	4,10%	95,90%
1,50	2,00	116 dias	12,18%	87,82%
1,50	3,00	44 dias	4,62%	95,38%
1,50	3,50	27 dias	2,84%	97,16%
1,50	4,00	18 dias	1,89%	98,11%
1,50	5,00	4 dias	0,42%	99,58%

Fonte: Autora.

Para a segunda hipótese de projeto, com instalação do poço de infiltração de forma isolada, a aplicação do Método das Chuvas permitiu obter os volumes relacionados a área de captação e ao diâmetro analisado, conforme apresentado na Tabela 12. Desta forma, o poço que atende o volume precipitado deve ser executado com diâmetro de 1,5 m e profundidade de 3,0 m. O volume também seria atendido pelo poço de infiltração com diâmetro de 1,20 m e profundidade de 5,0 m, entretanto, analisando os custos de construção, o diâmetro maior junto da menor profundidade teve uma menor projeção de custo de execução e, portanto, foi considerado o mais adequado para implantação.

Relacionando o volume disponível no poço de infiltração dimensionado e o volume de precipitação a armazenar, nota-se que o volume precipitado irá ocupar 84,28% do volume do elemento, proporcionando ainda uma parcela de volume útil livre.

Tabela 12 – Relação de volume de precipitação a armazenar

<b>Diâmetro (m)</b>	<b>Vol. precipitação a armazenar (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol. disponível no poço (profundidade 3m)</b>	<b>Vol. disponível no poço (profundidade 4m)</b>	<b>Vol. disponível no poço (profundidade 5m)</b>
0,60 m	6,68 m <sup>3</sup>	0,85 m <sup>3</sup>	1,13 m <sup>3</sup>	1,41 m <sup>3</sup>
0,80 m	6,19 m <sup>3</sup>	1,51 m <sup>3</sup>	2,01 m <sup>3</sup>	2,51 m <sup>3</sup>
1,00 m	5,70 m <sup>3</sup>	2,36 m <sup>3</sup>	3,14 m <sup>3</sup>	3,93 m <sup>3</sup>
1,20 m	5,21 m <sup>3</sup>	3,39 m <sup>3</sup>	4,52 m <sup>3</sup>	5,65 m <sup>3</sup>
1,50 m	4,47 m <sup>3</sup>	5,30 m <sup>3</sup>	7,07 m <sup>3</sup>	8,84 m <sup>3</sup>

Fonte: Autora.

#### 4.7 PROJETO FINAL

Na Figura 19 são ilustradas vistas de como os sistemas ficam instalados em conjunto com a edificação. As técnicas compensatórias nas duas hipóteses de projeto foram alocadas na lateral (possível corredor de serviço) e fundos da edificação, integrando-se sem grandes impactos ao projeto arquitetônico da edificação. O poço de infiltração foi alocado na parte da frente, mas ficará enterrado e, assim é de fácil incorporação e harmonização ao gramado.

O detalhamento técnico de cada projeto, encontra-se nos apêndices; sendo que o Apêndice D e o Apêndice E apresentam o projeto do reservatório associado ao poço de infiltração, enquanto, o Apêndice F e o Apêndice G mostram o projeto composto apenas pelo poço de infiltração.

Figura 19 – Vistas gerais a) associação de reservatório de aproveitamento e poço de infiltração ao sistema de drenagem urbana b) associação de poço de infiltração à drenagem urbana



Fonte: Autora.

#### 4.8 ORÇAMENTO

Os custos são elencados individualmente para cada projeto, detalhados na Tabela 13 e na Tabela 15. O projeto de reservatório associado ao poço de infiltração totalizou um custo de R\$ 13.199,74, sendo o principal custo gerado pelos reservatórios. Para a proposta de poço de infiltração o maior custo é devido a tubulação perfurada de concreto, totalizando o valor de R\$ 6.397,68.

É notável que ambos possuem um relevante custo de implementação, o que poderá ser fator determinante para desaprovar suas aplicações. Entretanto, é necessário ressaltar a interdependência da rede pública de drenagem com as redes privadas dos lotes edificados e que caso seja obrigatório controle de drenagem na fonte os sistemas se mostram alternativas benéficas possibilitando reuso e gerando economia.

Sendo a drenagem feita nas diferentes escalas, é fundamental políticas que regulem e embasem os projetos. Além de que, a água é fator determinante para planejamento, uso e ocupação do solo; devido ser elemento primordial para a vida e sua gestão influenciar na qualidade de vida da sociedade, valorização e até degradação do ambiente construído (MIGUEZ et al., 2016).

Desta forma, reforça-se a necessidade de mudanças no âmbito da gestão das águas pluviais urbanas e nos conceitos já consolidados. Propondo manejos sustentáveis e intervenções distribuídas, que objetivem atingir condições semelhantes à pré-urbanização em todas as escalas por meio de soluções reguladas.

Após elencar os custos finais de todos os insumos necessários para implementação das duas hipóteses de projeto, a execução do reservatório e do poço associados elevou o custo em 106% comparando com o valor necessário para implementação apenas da técnica de infiltração.

Oliveira (2005) realizou um estudo de caso de aproveitamento de água da chuva e reuso de águas cinzas em residência unifamiliar em Palhoça – SC, em que os sistemas foram considerados associados e avulsos, para posteriormente analisar os respectivos custos de cada um deles. A proposta de sistema mais viável financeiramente foi a de reuso de água cinzas, conseqüentemente também a alternativa com menor período de retorno.

Lage (2010) menciona o estudo de aproveitamento de água pluvial feito em concessionárias de veículos em Belo Horizonte – MG, projeto que depende de um alto orçamento para instalação. Porém, destaca que mesmo sendo um alto custo estas tipologias de edificação viabilizam a utilização devido ao alto volume consumido diariamente de água potável, estimado aproximadamente no valor médio de 8.740 L.

Tabela 13 – Resumo custo de implementação do projeto reservatório associado ao poço de infiltração

<b>Serviço</b>	<b>Custo un.</b>	<b>Unid.</b>	<b>Qtd.</b>	<b>Custo Total</b>	<b>Fornecedor</b>
Joelho 90° DN 75 mm esgoto PVC Tigre	R\$6,40	un	3	R\$19,20	Cassol Centerlar <sup>2</sup>
Joelho 45° DN 75 mm esgoto PVC Tigre	R\$7,00	un	4	R\$28,00	Cassol Centerlar
Registro esfera DN 75 mm PVC	R\$177,63	un	1	R\$177,63	Copafer <sup>3</sup>
Te DN 75 mm esgoto PVC Tigre	R\$15,19	un	1	R\$15,19	Obramax <sup>4</sup>
Joelho 90° DN 100 mm esgoto PVC Tigre	R\$6,38	un	2	R\$12,76	Obramax
Te DN 100 mm esgoto PVC Tigre	R\$14,31	un	2	R\$28,62	Obramax
Bocal calha	R\$60,90	un	1	R\$60,90	Telhanorte <sup>5</sup>
Calha semicircular DN 125 mm Aquapluv Tigre	R\$149,62	3m	4	R\$598,48	Beltrame <sup>6</sup>
Tubo DN 75 mm esgoto PVC Tigre	R\$15,09	1 m	4	R\$60,36	Obramax
Tubo DN 100 mm esgoto PVC Tigre	R\$17,09	1 m	26	R\$444,34	Obramax
Caixa de areia PVC Tigre DN 100 mm	R\$300,00	un	1	R\$300,00	Beltrame
Cisterna vertical modular 1050 L	R\$2.296,0	un	2	R\$4.592,00	Tecnotri
Smart Filtro Universal Decanter 8 L	R\$645,0	un	1	R\$645,00	Tecnotri
Perfuração poço infiltração	R\$99,30	h	8	R\$794,40	SINAPI
Tubo concreto D = 1,50 m	R\$884,00	un	5	R\$4.420,00	Comercial Momento
Brita nº 1	R\$107,79	m <sup>3</sup>	8,84	R\$952,86	Guerra Areia e Brita <sup>7</sup>
Manta Geotextil	R\$10,00	m	5	R\$50,00	Beltrame
<b>Total</b>				<b>R\$13.199,74</b>	

Fonte: Autora

<sup>2</sup> CASSOL CENTERLAR. **Materiais hidráulicos**. São José, 2021. Disponível em: <<https://www.cassol.com.br/>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

<sup>3</sup> COPAFER. **Materiais hidráulicos**. Santo André, 2021. Disponível em: <<https://www.copafer.com.br/>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

<sup>4</sup> OBRAMAX. **Hidráulica**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.obramax.com.br/>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

<sup>5</sup> TELHANORTE. **Hidráulica**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.telhanorte.com.br/>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

<sup>6</sup> BELTRAME. **Orçamento**, [mensagem pessoal], Mensagem recebida por veronica.vielmo@gmail.com em 9 fev.

<sup>7</sup> GUERRA AREIA E BRITA. **Orçamento**, [mensagem pessoal], Mensagem recebida por [veronica.vielmo@gmail.com](mailto:veronica.vielmo@gmail.com) em 12 fev.

Tabela 14 – Resumo custo de implementação do projeto apenas com poço de infiltração

<b>Serviço</b>	<b>Custo un.</b>	<b>Unid.</b>	<b>Qtd.</b>	<b>Custo Total</b>	<b>Fornecedor</b>
Joelho 90° DN 75 mm esgoto PVC Tigre	R\$6,40	un	3	R\$19,20	Cassol Centerlar
Joelho 45° DN 75 mm esgoto PVC Tigre	R\$7,00	un	4	R\$28,00	Cassol Centerlar
Registro esfera DN 75 mm PVC	R\$177,63	un	1	R\$177,63	Copafer
Te DN 75 mm esgoto PVC Tigre	R\$15,19	un	1	R\$15,19	Obramax
Joelho 90° DN 100 mm esgoto PVC Tigre	R\$6,38	un	1	R\$6,38	Obramax
Redução PVC excêntrica DN 100 x 75 mm Tigre	R\$11,60	un	1	R\$11,60	Hidraconex
Bocal calha Aqualuv Tigre	R\$60,90	un	1	R\$60,90	Telhanorte
Calha semicircular DN 125 mm Aquapluv Tigre	R\$149,62	3m	4	R\$598,48	Beltrame
Tubo DN 75 mm esgoto PVC Tigre	R\$15,09	1 m	4	R\$60,36	Obramax
Tubo DN 100 mm esgoto PVC Tigre	R\$17,09	1 m	25	R\$427,25	Obramax
Caixa de areia PVC Tigre DN 100 mm	R\$300,00	un	1	R\$300,00	Beltrame
Smart Filtro Universal Decanter 8 L	R\$645,00	un	1	R\$645,00	Tecnotri
Perfuração poço infiltração	R\$99,30	h	8	R\$794,40	SINAPI
Tubo concreto D = 1,50 m	R\$884,00	un	3	R\$2.652,00	Comercial Momento
Brita nº 1	R\$107,79	m <sup>3</sup>	5,30	R\$609,01	Guerra Areia e Brita
Manta Geotextil	R\$10,00	m	3	R\$30,00	Beltrame
<b>Total</b>				<b>R\$6.397,68</b>	

Fonte: Autora

## 5 CONCLUSÕES

No trabalho desenvolvido foram analisadas duas composições de associação de técnicas compensatórias ao sistema de drenagem urbana, implementadas em uma residência unifamiliar, analisando os custos e desempenho do sistema.

Mostrou-se imprescindível a realização de ensaios *in situ* para correta caracterização do solo no local de alocação do poço de infiltração, visto que todo o funcionamento da técnica é com base na capacidade de absorção do solo.

A aplicação das duas técnicas compensatórias associadas na fonte, resultou em um sistema com reservatório de volume estabelecido em 2.100 L e o poço de infiltração projetado com o diâmetro 1,50 m e a profundidade de 5,0 m; determinando como custos dos insumos para este projeto o valor de R\$ 13.199,74. A eficiência do sistema foi analisada em separado para o reservatório, o qual atingiu o valor de 55,79% em relação sua eficiência, e para o poço de infiltração, o qual resultou no valor de 99,58%; tendo o conjunto um alto desempenho final.

O poço de infiltração implementado avulso teve como diâmetro e profundidade de projeto, respectivamente, os valores de 1,50 m e 3,0 m, totalizando o custo para execução em R\$ 6.397,68. A eficiência foi relacionada com o volume disponível no poço e o volume a ser armazenado, totalizando uma ocupação de 84,28%, devido as dimensões projetadas foi assegurado uma parcela de volume livre.

Assim, analisada as duas propostas de projeto conclui-se que a aplicação dos sistemas é eficiente, embora ambos demandem um custo inicial considerável para implementação; entretanto, cabe ressaltar que toda análise foi feita em uma residência unifamiliar. Supondo edificações com coberturas maiores (como edifícios multifamiliares ou condomínios horizontais) os resultados esperados tendem a ser mais favoráveis devido os maiores volumes de escoamento captados pelas superfícies, sendo que os custos de implementação podem ser diluídos e as vantagens compartilhadas.

Reforça-se que o quesito financeiro é determinante para disseminação de uso dos sistemas; sendo assim, mostra-se importante partir dos municípios o uso de incentivos e exigência de aplicação das técnicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília: ANA, 2019. 100 p.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul./set., 2000. Disponível em:<[https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=44&SUMARIO=643&ST=avaliacao\\_da\\_eficiencia\\_dos\\_pavimentos\\_permeaveis\\_na\\_reducao\\_de\\_escoamento\\_superficial](https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=44&SUMARIO=643&ST=avaliacao_da_eficiencia_dos_pavimentos_permeaveis_na_reducao_de_escoamento_superficial)>. Acesso em: 16 dez. 2020. DOI: 10.21168/rbrh.v5n3.p21-29.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2019, ii,10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro,1989, 13 p.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. de O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2. ed. rev. Porto Alegre: ABRH, 2011. 318 p.

BENÍTEZ, O. G.; RODRÍGUEZ, D. J. C.; SARDIÑAS, S. B. Zanjas de infiltración: opción para mitigar la erosión hídrica em la playa Rancho Luna. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, La Habana, Cuba, v. 40, n. 1, paginação irregular, jan./abr. 2019. Disponível em:<[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382019000100058&lng=es&nrm=iso#:~:text=La%20erosi%C3%B3n%20h%C3%ADdrica%20de%20la,opci%C3%B3n%20para%20mitigar%20dicha%20erosi%C3%B3n](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000100058&lng=es&nrm=iso#:~:text=La%20erosi%C3%B3n%20h%C3%ADdrica%20de%20la,opci%C3%B3n%20para%20mitigar%20dicha%20erosi%C3%B3n)>. Acesso em: 15 jan. 2021.

BOFF, A.; et al. **Caracterização do solo para implantação de um pavimento permeável em Santa Maria – RS**. In: Anais do X Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, Santa Maria, RS, 2019.

BRANDÃO, C. de O; CAMPOS, S. P. de O.; GONÇALVES, A. M. M. A importância de utilizar a análise de custo como ferramenta de gestão. **FAIPE**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 12-17. Disponível em:<<https://revistafaipe.com.br/index.php/RFAIPE/article/view/127>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. **Câmara dos deputados**, Centro de Documentação e Informação, Brasília, DF, 5 jun. 2007. Capítulo 1.

BUTLER, D.; DIGMAN, C. J.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage**. 4. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2018. 545 p. ISBN 9781498750592.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índice da Construção Civil. 2021. Disponível em:<<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 23 fev. 2021.



CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p. ISBN 978-85-7975-160-8.

CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projetos** [livro eletrônico]. São Paulo: Blucher, 2014. 262 p. Disponível em:<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208389/>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

CARVALHO, M. T. M.; MARCHIORI, F. F.; **Conhecendo o orçamento de obras: como tornar seu orçamento mais real** [livro eletrônico]. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. 262 p. Disponível em:<[https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595150768/cfi/6/2!/4/4/2@0:0](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595150768/cfi/6/2!/4/4/2@0:0>)>. Acesso em: 08 mar. 2021.

CIRIA. **The SUDS Manual**. Escrito por Woods-Ballard, B. et al. London, UK: CIRIA. 2007.

CONSTRUINDO DECOR. **Arquitetura**. [S.l.], [20--?]. Disponível em:<<https://construindodecor.com.br/telhado-verde/>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

COLLISCHONN, W.; TASSI R. **Introduzindo hidrologia: apostila**. Porto Alegre: IPH UFRGS, 2008, versão 6. 261 p.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Sistema tarifário**. Porto Alegre, 2020. Disponível em:<<https://www.corsan.com.br/sistematarifario>>. Acesso em: 25 jan. 2021.

DALPAZ, L.; et al. Tipos e eficiência de unidades de tratamento para água pluvial: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n.3, não paginado, jul./set., 2019. Disponível em:<[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212019000300207](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000300207)>. Acesso em: 29 jan. 2021. DOI: 10.1590/s1678-86212019000300334.

DARONCO, G. C; MINUZZI, P. **Drenagem urbana: trincheiras de infiltração como medida alternativa no controle do escoamento superficial causado pela urbanização em loteamentos** – estudo de caso na cidade de Santa Rosa. In: Anais do 11<sup>a</sup> Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre, RS, 2018.

DICKINSON, R. **BMP, LID, SUDS, WSUD e infraestrutura verde – práticas que revolucionam a drenagem urbana**. Disponível em:<<https://swmm5.org/2015/11/20/bmp-lid-suds-wsud-e-infraestrutura-verde-praticas-que-revolucionam-a-drenagem-urbana/>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

ESTACAS BRASIL. **Equipamentos**. Santa Cruz do Sul, 2021. Disponível em:<<https://www.estacasbrasil.com.br/wp/>>. Acesso: 21 fev. 2021.

FERREIRA, T. S. **Avaliação do comportamento hidrológico de poços de infiltração de águas pluviais sob diferentes concepções**. 2016. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)– Universidade Federal de São Carlos, 2016.

FORTLEV. **Produtos**. Espírito Santo, 2021. Disponível em:<<https://www.fortlev.com.br/produtos/>>. Acesso em: 30 de jan. 2021.

FRANÇA, L.R.C. **Aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto no controle da poluição de águas em sistemas de drenagem urbana**. 2020. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

FREITAS, E. de. **Urbanização brasileira**. [S.l.], [20--]. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/urbanizacao-brasileira.htm#:~:text=As%20ra%C3%ADzes%20da%20urbaniza%C3%A7%C3%A3o%20brasileira,foi%20importante%20no%20processo%20de>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

HUSQVARNA. **Gramado e jardim**: como irrigar seu gramado. [S.l.], [20--]. Disponível em: <<https://www.husqvarna.com/br/>>. Acesso em: 22 fev. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados meteorológicos**: precipitação média, diária, horária. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

LAGE, E. de S. **Aproveitamento de água pluvial em concessionárias de veículos na cidade de Belo Horizonte**: potencial de economia de água potável e estudo de viabilidade econômica. 2010. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

MARQUES, A. S.; et al. **Hidrologia urbana**: sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2013. 147 p.

MIGUEZ, M. G. VERÓL, A. P., REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana**: do projeto tradicional à sustentabilidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2016. 366 p.

OLIVEIRA, E. W. N. de. **Telhados Verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, S. M. de. **Aproveitamento de água da chuva e reuso de água em residências unifamiliares**: estudo de caso em Palhoça – SC. 2005. 134 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

PAZ, A. R. da. **Hidrologia aplicada**: texto básico. Caxias do Sul: Programa de Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia UERGS, 2004. 138 p.

PINHEIRO, C. B.; SANTOS, R. E. dos. **Trajетória da drenagem urbana no Brasil**: uma perspectiva a partir da análise de políticas públicas recentes de Belo Horizonte. In: Anais XVIII ENANPUR, Natal, RN, 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Plano diretor de drenagem urbana de Curitiba**. Curitiba, v. 4, [2017?].

PÔMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000. p. 16. Disponível em: <<https://abrh.s3-sa-east->

[1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a\\_2d24ccc39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf](http://1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a_2d24ccc39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf)>. Acesso em: 2 jun. 2020. DOI: 10.21168/rbrh.v5n1.p15-23.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre, [20--?]. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p\\_secao=66](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=66)>. Acesso em: 22 nov. 2020.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H. de; SALES, M. M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, abr./jun. 2008. ISSN: 1678-8621, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

RIBEIRO, A. M. **BMP's em drenagem urbana – aplicabilidade em cidades brasileiras**. 2014. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

RICE CREEK WATERSHED DISTRICT. **Water quality**. Estados Unidos. [20--?]. Disponível em: <[https://www.ricecreek.org/index.asp?SEC=A630EEFF-5862-4993-8D7B-4B95870921B4&DE=4FCEE6DE-FE3C-4213-9BA6-B46CBCFF2971&Type=B\\_BASIC](https://www.ricecreek.org/index.asp?SEC=A630EEFF-5862-4993-8D7B-4B95870921B4&DE=4FCEE6DE-FE3C-4213-9BA6-B46CBCFF2971&Type=B_BASIC)>. Acesso em: 18 jan. 2021.

RIGHETTO, A. M.; et al. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009, 1. ed. 396 p.

ROMAN, C. A. **Controle da drenagem na fonte e sua compatibilização ao plano municipal de saneamento ambiental de Santa Maria**. 2015. 144 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SARI, V.; et al. Eficiência de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em municípios do estado do Rio Grande do Sul/Brasil. **REGA**, [S. l.], v.7, n. 2, p. 37-52, jul./dez. 2010.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Sistema de informações de águas urbanas (SIAGAS)**. [S.l.], 2020. Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>. Acesso em: 15 fev. 2021.

SODRÉ, F. F. Fontes difusas de poluição da água: características e métodos de controle. **Artigos temáticos do AQQUA**, Brasília, p. 9-16, 2012. Disponível em: <<https://www.aqqua.unb.br/images/Artigos/Tematicos/difusa.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

SOUZA, V. C. B. de. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 57-72, 2013. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7105>. Acesso em: 20 nov. 2020. DOI <http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v1i1.7105>

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

TECNOTRI. **Cisterna vertical modular: ideal para espaços reduzidos**. Vila Maria, RS, 2015. Disponível em:<<https://www.tecnotri.com.br/cisterna-vertical-modular-ideal-para-espacos-reduzidos/>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

TECNOTRI. **Kits reuso de água**. Vila Maria, RS, 2020. Disponível em:<<https://cisternas.tecnotri.com.br/folder-comparativo-cisternas/>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

TECNOTRI. **Produtos**. Vila Maria, RS, 2020. Disponível em:<<https://cisternas.tecnotri.com.br/produtos/>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

TOMAZ, P. **Água: pague menos: 4 atitudes básicas para economizar água**. [S. l.]: Plínio Tomaz, 2010. 135 p. Disponível em:<<https://www.pliniotomaz.com/>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. [S. l.]: Plínio Tomaz, 2010. 486 p. Disponível em:<<https://www.pliniotomaz.com/>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em:<<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>>. Acesso em: 20 de nov. 2020.

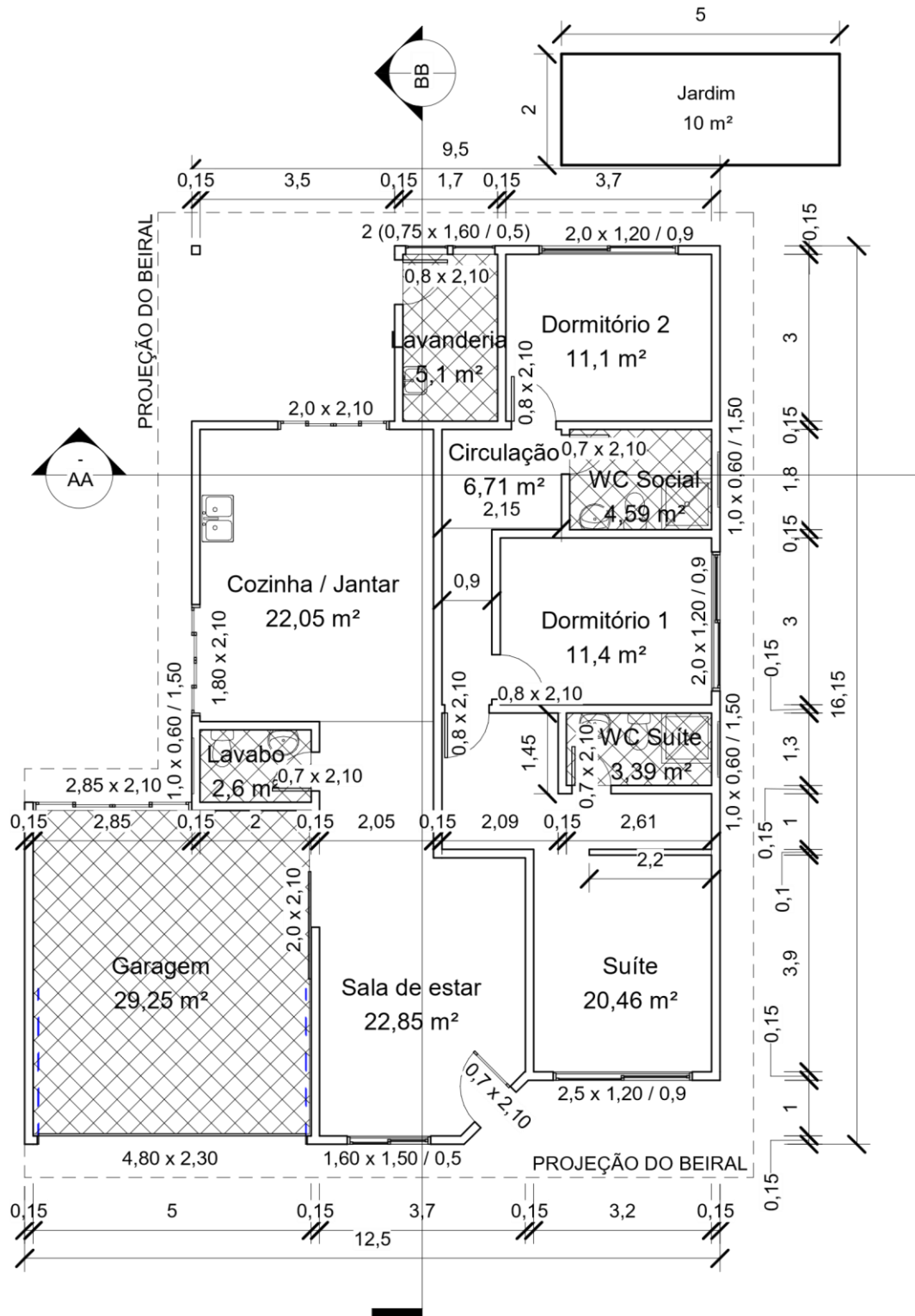
TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasília, Ministério das Cidades, 2005.

RIGHETTO, A. M.; et al. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009, 1. ed. 396 p.

VERÓL, A. P.; VAZQUEZ, E. G.; MIGUEZ M. G. **Sistemas prediais hidráulicos e sanitários: projetos práticos e sustentáveis**. [livro eletrônico]. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019, 448. p. Disponível em:<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152069/cfi/6/36!/4/2/6/8/6/2/2@0:88.4>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias**. 2009. 191 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

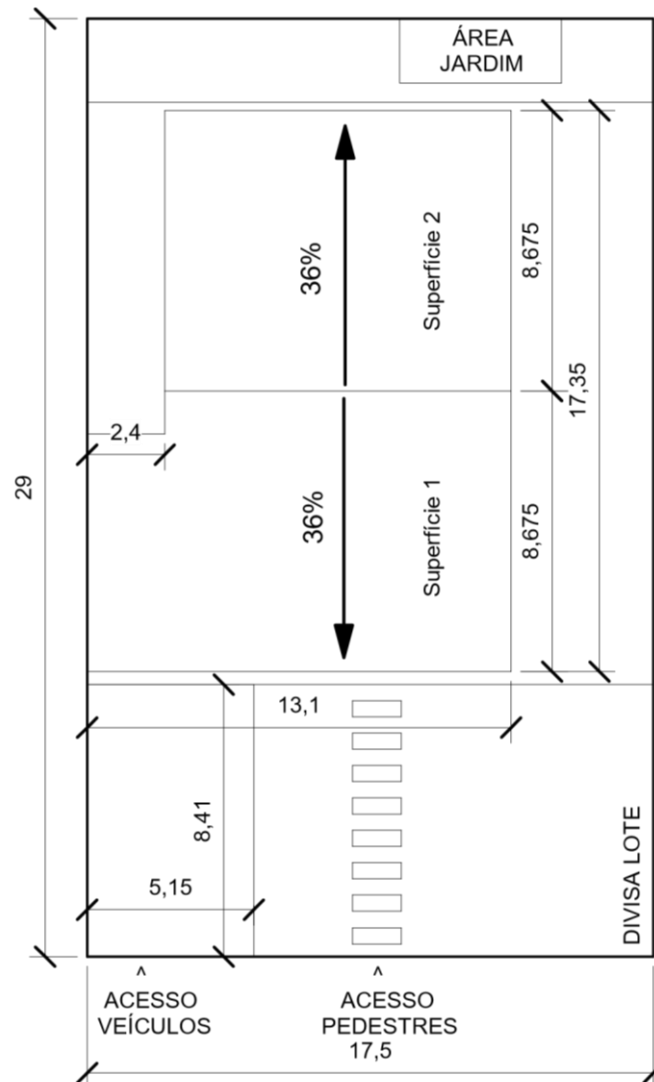
APÊNDICE A — PLANTA BAIXA RESIDÊNCIA



Planta Baixa

Escala 1 : 100

## APÊNDICE B — PLANTA DE LOCALIZAÇÃO



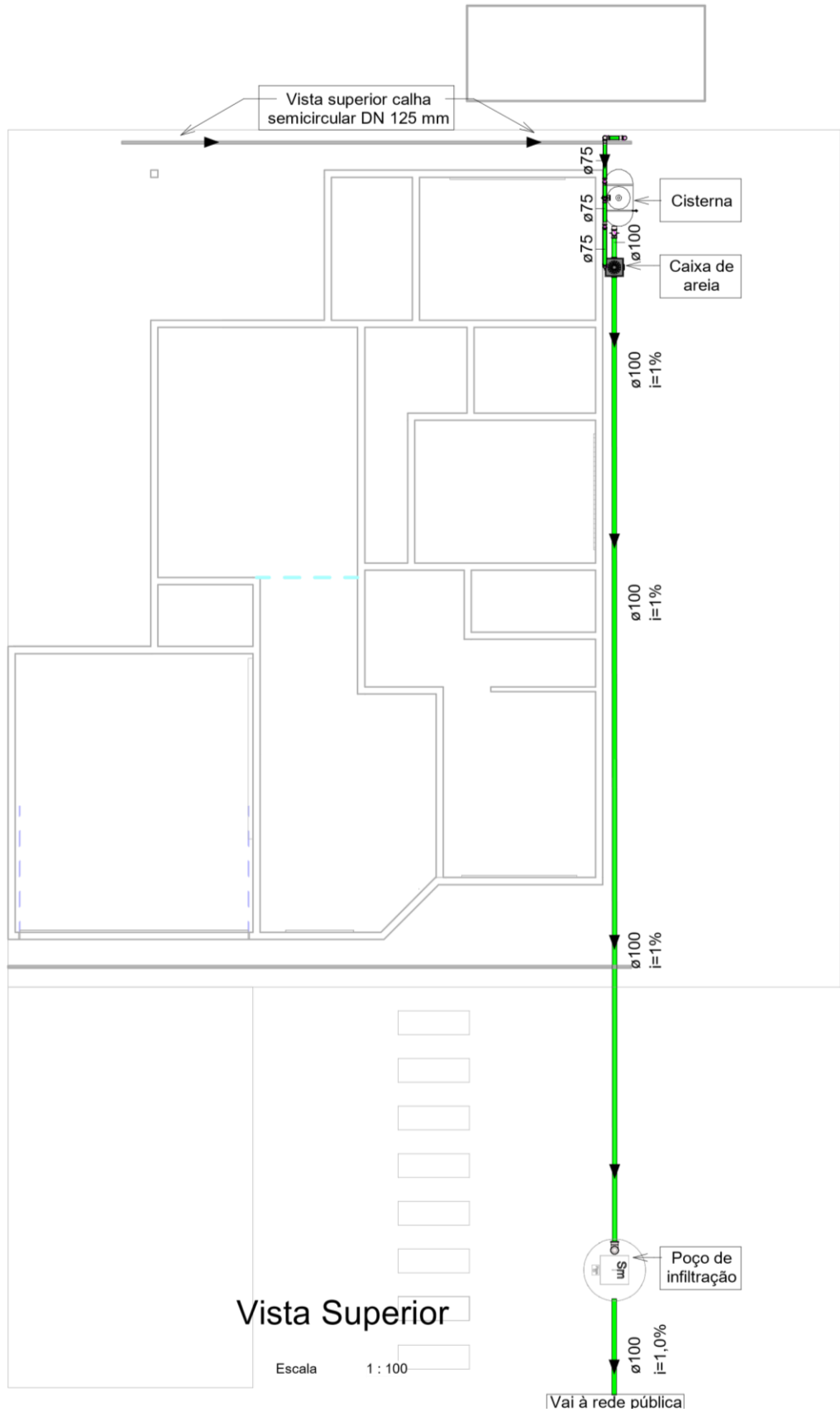
### Planta de Localização

Escala 1 : 200

**APÊNDICE C — PLANILHA DIMENSIONAMENTO RESERVATÓRIO DE CAPTAÇÃO**

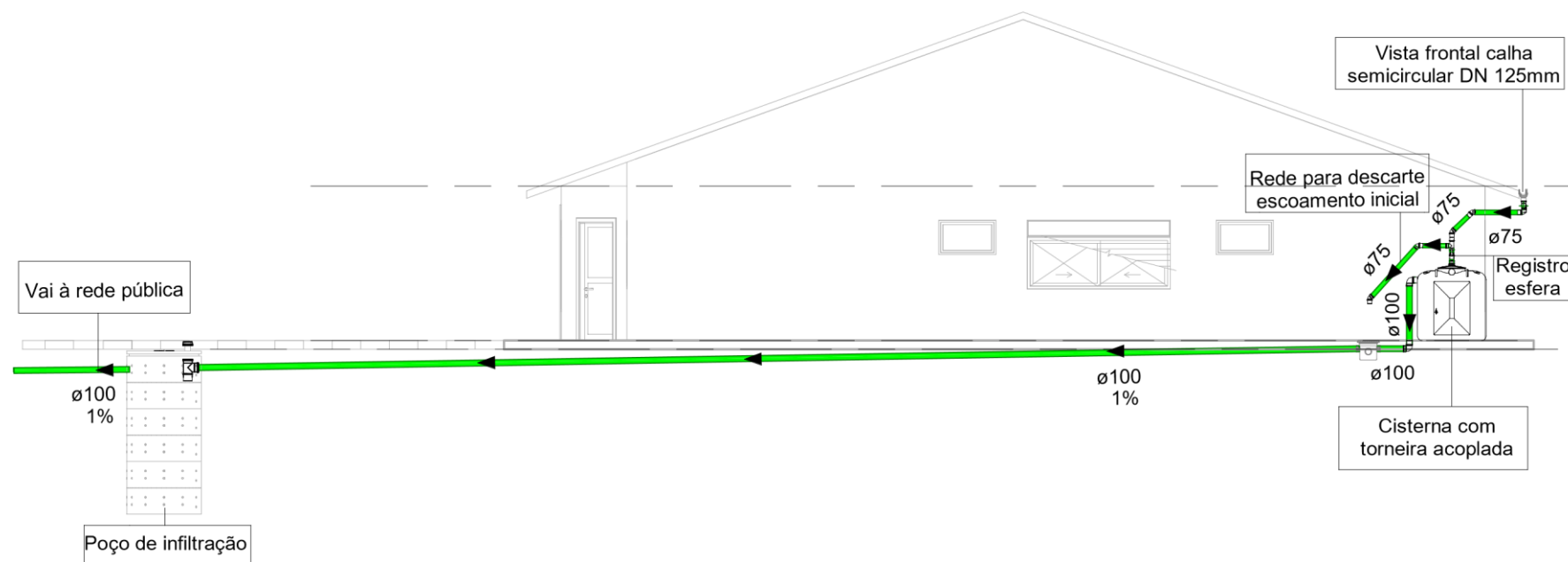
<b>Data medição</b>	<b>Precipitação total diária (mm)</b>	<b>Precipitação c/ descarte 2mm (mm)</b>	<b>Volume disponível aproveitamento / captável (L)</b>	<b>Demanda (L)</b>	<b>Volume do reservatório (L)</b>	<b>Volume extravasado (L)</b>	<b>Volume não atendido (L)</b>	<b>Dias com falhas consecutiva s sem atender a demanda</b>
					2100			
01/01/1995	0	0	0,00	392	1708,00	0,00	0	0
02/01/1995	0	0	0,00	392	1316,00	0,00	0	0
03/01/1995	0	0	0,00	392	924,00	0,00	0	0
04/01/1995	0	0	0,00	392	532,00	0,00	0	0
05/01/1995	1	0	0,00	392	140,00	0,00	0	0
06/01/1995	22,2	22,2	1840,80	372	1608,80	0,00	0	0
07/01/1995	0	0	0,00	392	1216,80	0,00	0	0
08/01/1995	0	0	0,00	392	824,80	0,00	0	0
09/01/1995	8,4	8,4	696,52	372	1149,32	0,00	0	0

### APÊNDICE D — VISTA SUPERIOR SISTEMA COM RESERVATÓRIO DE CAPTAÇÃO E POÇO DE INFILTRAÇÃO ASSOCIADOS





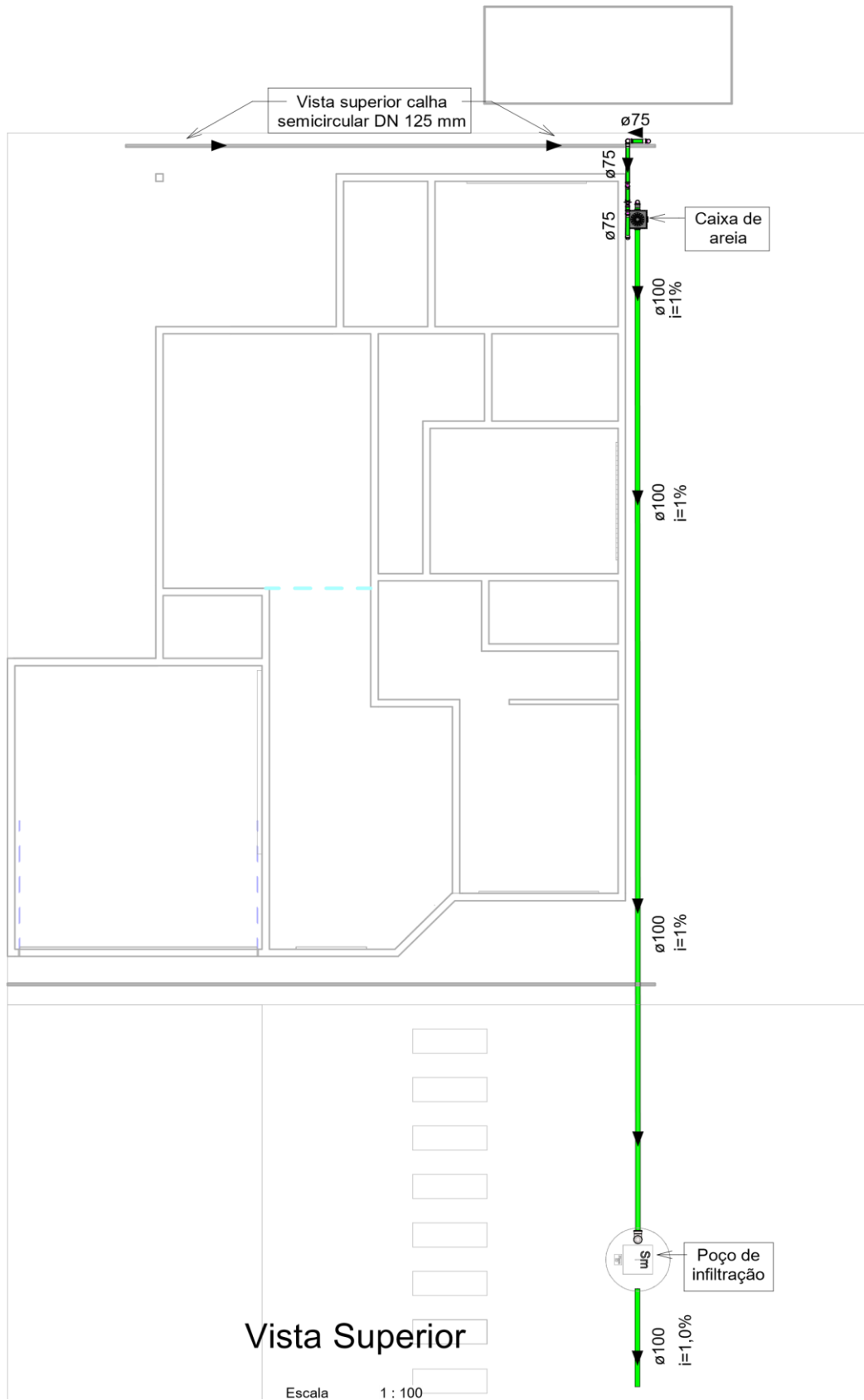
## APÊNDICE E — VISTA LATERAL SISTEMA COM RESERVATÓRIO DE CAPTAÇÃO E POÇO DE INFILTRAÇÃO ASSOCIADOS



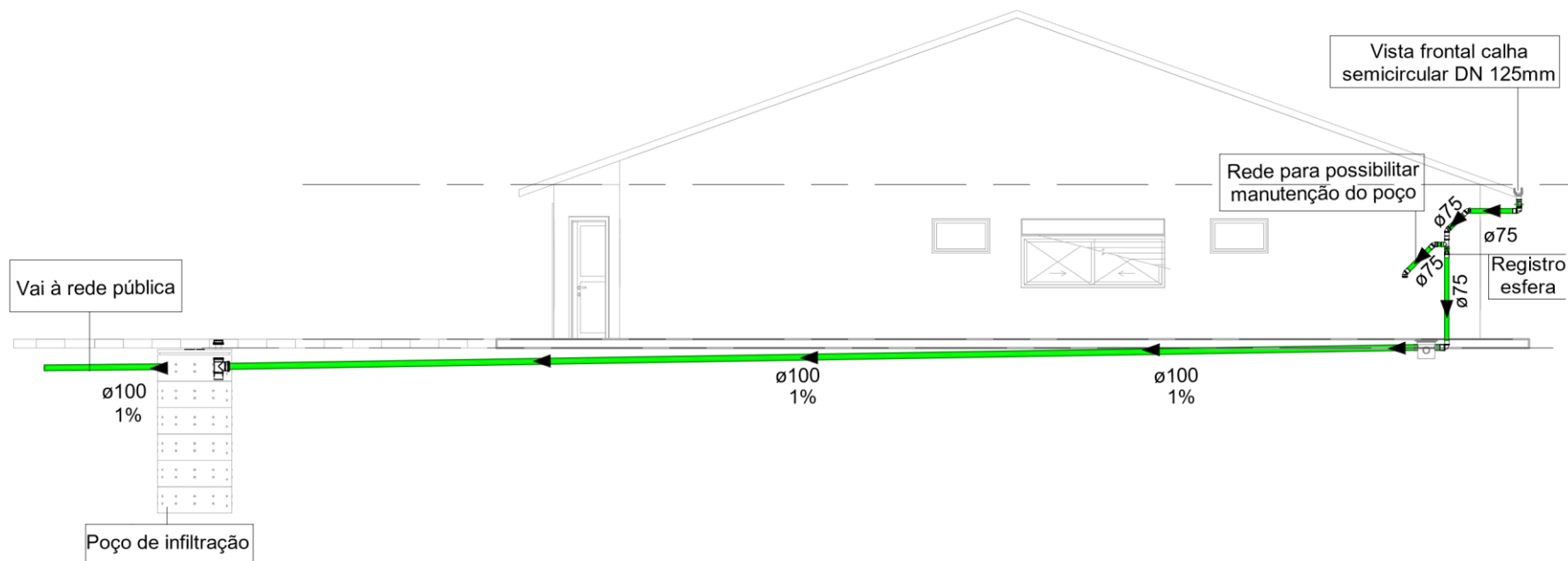
Vista Lateral

Escala 1 : 100

## APÊNDICE F — VISTA SUPERIOR SISTEMA COM POÇO DE INFILTRAÇÃO



## APÊNDICE G — VISTA LATERAL SISTEMA COM POÇO DE INFILTRAÇÃO



## Vista Lateral

Escala 1 : 100