

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* SANTA LUZIA  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Lucas Rodrigues Maciel

**Dimensionamento de sistema de aproveitamento da água de chuva:  
estudo de caso em uma edificação localizada na região Nordeste de Belo  
Horizonte - MG**

Santa Luzia - MG

2025

**LUCAS RODRIGUES MACIEL**

**Dimensionamento de sistema de aproveitamento da água de chuva:  
estudo de caso em uma edificação localizada na região Nordeste de Belo  
Horizonte - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal de Minas  
Gerais, *Campus* Santa Luzia, como  
exigência parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Verônica Bernardes de  
Souza Leo

Santa Luzia

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M152d Maciel, Lucas Rodrigues.

Dimensionamento de sistema de aproveitamento da água de chuva: estudo de caso em uma edificação localizada na região Nordeste de Belo Horizonte - MG / Lucas Rodrigues Maciel- 2025.

52f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Santa Luzia, 2025.

Orientador: Profª Verônica Bernardes de Souza Leo.

1. captação de água de chuva. 2. Gestão de águas pluviais. 3. Drenagem urbana. I. Leo, Verônica Bernardes de Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Santa Luzia, MG. III. Título.

CDU: 628.162:711



## INSTITUTO FEDERAL MINAS GERAIS

Campus Santa Luzia - Código INEP: 31358150

Rua Érico Veríssimo, nº. 317, Bairro Londrina, CEP: 33115-390, Santa Luzia/MG

CNPJ: 10.626.896/0015-78 - Telefone: (31) 3268-5600

### ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Projeto e dimensionamento de sistema de aproveitamento da água de chuva: estudo de caso em uma edificação localizada na região Nordeste de Belo Horizonte - MG**, apresentada pelo estudante **Lucas Rodrigues Maciel** do Curso Bacharelado em Engenharia Civil (Campus Santa Luzia). Os trabalhos foram iniciados às 16h00min do dia 19/02/2025 pela professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- Verônica Bernardes de Souza Léo (Orientadora)
- Lucélia Aparecida Radin (Examinadora Interna)
- Isabela Ferreira Batista (Examinadora Interna)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado: **Aprovado** com nota 88,4.

O(A) estudante terá o prazo de 30 dias para realizar as correções sugeridas pela banca e enviar a versão final à orientadora, sendo a verificação das modificações de responsabilidade da orientadora.

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu Verônica Bernardes de Souza Léo lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Santa Luzia – MG, 19 de dezembro de 2025.



Documento assinado digitalmente

VERONICA BERNARDES DE SOUZA LEO

Data: 19/12/2025 17:33:18-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Verônica Bernardes de Souza Léo



Documento assinado digitalmente

LUCELIA APARECIDA RADIN

Data: 19/12/2025 19:11:02-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lucélia Aparecida Radin



Documento assinado digitalmente

ISABELA FERREIRA BATISTA

Data: 19/12/2025 17:36:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Isabela Ferreira Batista

Dedico esse trabalho a minha família, em especial ao meu pai Antônio Carlos Rodrigues Lima e minha mãe Maria Geralda Matias Barbosa Maciel.

## RESUMO

Em Belo Horizonte tem se agravado problemas de enchentes e inundações, justamente pelo seu crescimento desordenado, impermeabilização dos solos e o aumento do escoamento superficial. Nessa circunstância, o trabalho apresentado é propor o dimensionamento de um sistema para captação e aproveitamento de água da chuva com o objetivo de reduzir os impactos causados por chuvas intensas e contribuir para a sustentabilidade. O local do estudo para a instalação do sistema é em uma edificação na região Nordeste da cidade de Belo Horizonte. O trabalho parte da revisão bibliográfica sobre drenagem urbana tradicional e técnicas compensatórias, com o objetivo de destacar o uso de reservatório individual de acordo com NBR 15527/2019. Na metodologia para o dimensionamento do reservatório houve o levantamento de informação da área de captação, sendo dois telhados situados nesta edificação, e dados pluviométricos coletados na estação INMET-A521, localizado na região da Pampulha em Belo Horizonte, disponibilizados no site do INMET, foi realizado o cálculo de vazão de projeto, dimensionamento de calha e condutos verticais e horizontais que irão abastecer o reservatório, realizar a análise do custo e do retorno sobre o investimento do sistema instalado. O resultado confirmar a viabilidade técnica da implantação do sistema, com destaque nos benefícios como a diminuição de lançamento de água da chuva na rede de drenagem urbana, diminuindo o pico de cheia e o risco de enchentes e inundações, e o reaproveitamento da água da chuva para fins não potáveis, como por exemplo a lavagem de veículos e pátio e passeio, contribuindo para o uso sustentável e consciente do recurso hídrico, que se mostra mais escasso no mundo. Pode-se concluir que a adoção do sistema de captação da água da chuva por reservatórios individuais é eficaz para possibilitar a prática de ações sustentáveis nos centros urbanos e abrandar os efeitos do crescimento caótico nos centros urbanos.

**Palavras-chave:** drenagem urbana; aproveitamento de água de chuva; reservatório individual; sustentabilidade.

## ABSTRACT

In Belo Horizonte, problems with floods and inundations have worsened, mainly due to its unplanned growth, soil impermeabilization, and the increase in surface runoff. In this context, the presented work aims to propose the design of a system for rainwater harvesting and utilization, with the objective of reducing the impacts caused by heavy rainfall and contributing to sustainability. The study site for the installation of the system is a building located in the Northeastern region of Belo Horizonte. The work begins with a literature review on traditional urban drainage and compensatory techniques, with the purpose of highlighting the use of individual reservoirs in accordance with NBR 15527/2019. In the methodology for sizing the reservoir, information was collected regarding the catchment area, consisting of two roofs located in this building, along with rainfall data obtained from the INMET-A521 station, located in the Pampulha region of Belo Horizonte and made available on the INMET website. The project flow rate was calculated, as well as the sizing of gutters and vertical and horizontal conduits that will supply the reservoir. Additionally, a cost analysis and return on investment of the installed system were carried out. The results confirm the technical feasibility of implementing the system, highlighting benefits such as reducing the discharge of rainwater into the urban drainage network, thereby decreasing flood peaks and the risk of floods and inundations, as well as enabling the reuse of rainwater for non-potable purposes, such as washing vehicles, courtyards, and sidewalks. This contributes to the sustainable and conscious use of water resources, which are increasingly scarce worldwide. It can be concluded that the adoption of rainwater harvesting systems through individual reservoirs is effective in enabling sustainable practices in urban centers and mitigating the effects of chaotic urban growth.

**Keywords:** urban drainage; rainwater utilization; individual reservoir; sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Poço de infiltração.....	18
Figura 2 - Telhados armazenadores (telhados verdes).....	18
Figura 3 - Pavimentos permeáveis ou porosos. ....	19
Figura 4 - Valas, valetas de retenção e infiltração.....	20
Figura 5 - Bacia de retenção e retenção. ....	20
Figura 6 - Reservatório para água de chuva – micro reservatório individual.....	21
Figura 7 - Localização do telhado de captação da água pluvial.....	28
Figura 8 - Telhado ou cobertura de captação de água pluvial .....	29
Figura 9 - INMET-A521 Belo Horizonte - Pampulha - Dados médios de dia de chuva mensal anual.....	30
Figura 10 - INMET-A521 Belo Horizonte - Pampulha - Dados médios pluviométricos mensal anual.....	30
Figura 11 - Cálculo de área de captação da chuva.....	32
Figura 12 - Ábaco para determinar o diâmetro dos condutores verticais para calha com saída em aresta viva.....	35
Figura 13 - Ábaco para determinar o diâmetro dos condutores verticais para calha com funil de saída .....	35
Figura 14 – Croqui do local de instalação do reservatório. ....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de escoamento superficial / Run-Off. ....	25
Tabela 2 – Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$ correspondentes a probabilidade anuais de Gumbel.....	31
Tabela 3 - Coeficiente de rugosidade.....	33
Tabela 4 – Capacidade das calhas semicirculares considerando $n = 0,011$ (Vazão em L/min) .....	33
Tabela 5 - Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto.....	34
Tabela 6 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min.), calculadas pela fórmula de Manning-Strickler com altura de lâmina de água igual a $2/3 D$ .....	36
Tabela 7 - acumulado da inflação para o mês de outubro entre 2016 a 2025 .....	38
Tabela 8 - calculo de volume de reservatório pelo metodo de simulação. ....	43
Tabela 9 – Levantamento de preços para instalação do sistema.....	44
Tabela 10 - Vantagens e desvantagens de instalação de um reservatório para captação de água pluvial.....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>12</b>
<b>3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>13</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1 EVOLUÇÃO DA DRENAGEM URBANA</b> .....	<b>14</b>
<b>4.2 TÉCNICAS TRADICIONAIS DE DRENAGEM COM OS PRINCÍPIOS   HIGIENISTAS</b> .....	<b>15</b>
<b>4.3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA</b> .....	<b>16</b>
<b>4.3.1 TÉCNICAS DE CONTROLE DE FONTE</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3.1.1 Poços de infiltração</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3.1.2 Telhados armazenadores (telhados verdes)</b> .....	<b>18</b>
<b>4.3.2 TÉCNICAS LINEARES</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3.2.1 Pavimentos permeáveis ou porosos</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3.2.2 Valas e valetas de detenção e infiltração</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3.3 TÉCNICAS DE CONTROLE CENTRALIZADO</b> .....	<b>20</b>
<b>4.3.3.1 Bacias de detenção e retenção</b> .....	<b>20</b>
<b>4.4 RESERVATÓRIOS INDIVIDUAIS</b> .....	<b>21</b>
<b>4.4.1 MÉTODOS DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO</b> 23	
<b>4.4.1.1 Método de Rippl</b> .....	<b>23</b>
<b>4.4.1.2 Método da Simulação</b> .....	<b>24</b>
<b>4.4.1.3 Método Azevedo Neto</b> .....	<b>25</b>
<b>4.4.1.4 Método Prático Alemão</b> .....	<b>25</b>
<b>4.4.1.5 Método Prático Inglês</b> .....	<b>26</b>
<b>4.4.1.6 Método prático australiano</b> .....	<b>26</b>
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>

<b>5.1 LOCAL PARA INSTALAR/ABRIGAR O SISTEMA DE APROVEITAMENTO...</b>	<b>28</b>
<b>5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3 DADOS NECESSÁRIOS PARA CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO .....</b>	<b>30</b>
<b>5.4 DIMENSIONAMENTO DAS CALHAS E CONDUTORES VERTICAIS E HORIZONTAIS.....</b>	<b>32</b>
<b>5.4.1 Dimensionamento da calha .....</b>	<b>32</b>
<b>5.4.2 Dimensionamento dos condutores verticais .....</b>	<b>34</b>
<b>5.4.3 Dimensionamento dos condutores horizontais .....</b>	<b>36</b>
<b>5.5 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....</b>	<b>37</b>
<b>5.6 LEVANTAMENTO DO CUSTO DO SISTEMA .....</b>	<b>37</b>
<b>5.7 CÁLCULO PARA O RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO.....</b>	<b>38</b>
<b>5.7 DISCUSSÃO SOBRE AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DE POSSÍVEL INSTALAÇÃO DO SISTEMA.....</b>	<b>39</b>
<b>6 RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
<b>6.1 VAZÃO DE PROJETO.....</b>	<b>40</b>
<b>6.2 DIMENSIONAMENTO DAS CALHAS .....</b>	<b>41</b>
<b>6.3 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTOS VERTICAIS .....</b>	<b>41</b>
<b>6.4 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTOS HORIZONTAIS.....</b>	<b>42</b>
<b>6.5 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....</b>	<b>42</b>
<b>6.6 ORÇAMENTO E RETORNO DO INVESTIMENTO .....</b>	<b>43</b>
<b>6.7 DISCUSSÃO SOBRE AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DE POSSÍVEL INSTALAÇÃO DO SISTEMA.....</b>	<b>45</b>
<b>7 Conclusão.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE A – RESERVATÓRIO PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA, LOCAL PARA INSTALAR O SISTEMA. ....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e regiões metropolitanas ao longo dos anos, impulsionado pelo crescimento populacional através do desenvolvimento industrial do país, resultou em um aumento descontrolado de áreas impermeáveis oriundo de novas ruas pavimentadas, calçadas, telhados, coberturas, entre outros (Aragão *et al.*, 2017; Menezes Filho; Tucci, 2012).

A impermeabilização do solo diminui a infiltração da água e a evapotranspiração, aumentando o escoamento superficial e gerando o aumento de enchentes e inundações, além da possibilidade de contaminação das águas pluviais quando estas vem carregadas de sedimentos e resíduos sólidos (Araújo; Tucci; Goldenfum, 2000).

As consequências com o aumento do escoamento são diversas, podendo destacar mortes por afogamentos e soterramentos, destruição de moradias, perdas de bens materiais, além do efeito indireto com a transmissão de doenças por águas contaminadas (Noletto; Rodrigues, 2024).

Na busca de amenizar esses problemas tanto de qualidade da água quanto de quantidade, foram criadas e desenvolvidas as estruturas de drenagem tradicionais (técnicas tradicionais de drenagem) caracterizadas por uma abordagem designada como higienista, que aconteceu no período de 1850 a 1990 (Assumpção; Christofidis; Kligerman, 2019). Esse processo de drenagem se baseia na coleta e afastamento das águas pluviais para a jusante, de forma a transportar rapidamente o escoamento superficial decorrente das águas precipitadas para locais fora dos centros urbanos. Contudo, isso causa elevação do pico de cheias nos cursos de água das cidades a jusante e a diminuição do tempo de concentração das cidades a montante (Assumpção; Christofidis; Kligerman, 2019), transferindo apenas os problemas com excesso de água para outro local. O sistema tradicional é formado por galerias moldadas, canalizações, caixas de captação, poços de visitas, sarjetas e bocas de lobo e equipamentos, sendo a necessidade de manutenções frequentes e onerosas (Assumpção; Christofidis; Kligerman, 2019).

Em resposta as crises ambientais do século XX, a comunidade científica passou a enxergar que o fruto da ação do homem sobre o meio ambiente não possui apenas uma escala local, como exemplo uma cidade, um trecho de um rio ou uma área irrigada, mas que esses problemas devem ser vistos na escala de bacia hidrográfica (Cordeiro; Tucci, 2004).

Nesse sentido, conceitos de desenvolvimento sustentável iniciaram nos anos 90, na busca de se ter um equilíbrio entre o investimento no crescimento dos países desenvolvidos e a sua conservação ambiental, ficando evidenciado o desejo do aproveitamento dos recursos hídricos ser de forma integrada para usos diversos (Cordeiro; Tucci, 2004). Nesse contexto, teve-se no Brasil a aprovação da legislação nacional de recursos hídricos no ano de 1997, pela implantação do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, ocorrido em vários Estados Brasileiros ao longo da década, e com a criação da Agência Nacional de Águas (Cordeiro; Tucci, 2004).

No intuito de diminuir os problemas, principalmente com a quantidade da água, buscou-se estudar e utilizar medidas de drenagem sustentável de forma a reproduzir condições de escoamento apresentadas pela bacia antes da urbanização, ou seja, fazer a redução do volume de escoamento superficial e aumentar a quantidade de água infiltrada (Martins, 2017).

Esta análise da drenagem recebeu o nome de “compensatória”, considerando os impactos da urbanização de forma global e tomando como unidade de planejamento a bacia hidrográfica. Esses resultados podem ser obtidos pela execução de apenas uma técnica ou a combinação destas com o propósito de aumentar a parcela de infiltração e o aumento do tempo de trânsito do escoamento superficial (Baptista; Nascimento; Barraud, 2005). O planejamento para implantação das técnicas compensatórias é significativo para áreas em processo de urbanização, assegurando uma máxima eficiência do sistema de drenagem.

Dentre os diversos tipos de técnicas compensatórias existentes, as “técnicas compensatórias de fonte”, são estruturas que podem ser implantadas na drenagem proveniente de um lote, condomínio ou empreendimento específico como por exemplo estacionamentos, parques e passeios. Os micros reservatórios, um dos tipos desse tipo de técnica, têm a função de atuar na armazenagem, seja permanente ou temporária, das águas pluviais (Martins, 2017).

Dentro desse contexto, esse trabalho irá abordar sobre o uso de micro reservatório individual que recebe a água da chuva para uso em fins não potáveis, como forma de amenizar o risco de enchentes e inundações em uma região de Belo Horizonte – Minas Gerais.

## 2 JUSTIFICATIVA

O crescimento desordenado da cidade de Belo Horizonte através da demolição das casas, construção de prédios, crescimento de aglomerados, eliminação dos espaços verdes e aplicação de concreto asfáltico, tem resultado na impermeabilização dos solos desde 1960 (Magalhães Filho, Luiz Cláudio de Almeida, 2006).

Áreas como a Avenida Bernardo Vasconcelos (Bairro Cachoeirinha) e Avenida Vilarinho (Bairro Venda Nova) sofrem constantemente com enchentes e inundações, principalmente quando há chuvas de grande intensidade e sempre são noticiadas em veículos de comunicação pelos desastres que ocorrem nas mesmas, como destruição de vias, arrastes de veículos e óbitos (Vídeos [...], 2024; Tempestade [...], 2025).

A Prefeitura de Belo Horizonte como medida de manter a população em alerta e informar sobre os riscos de alagamentos, inundações ou enchentes, fez um mapeamento em 2020 dos principais pontos, nas 9 regionais, que ocorrem esses eventos de alagamentos (Prefeitura [...], 2020), disponibilizando em seu site mapas que detalham os locais de inundações, intitulado “Cartas de Inundações” (Cartas [...], 2024).

Dentro desse contexto, portanto, o estudo tem importância social e econômica pelo fato de que as inundações, alagamentos ou enchentes se tornaram frequentes em algumas regiões de Belo Horizonte.

Esse trabalho propõe o estudo quanto a implantação de um reservatório de água de chuva, como técnica para mitigar esses efeitos causados por solos impermeáveis, visto que essa técnica faz com que diminua a água destinada ao escoamento superficial e, conseqüentemente, o surgimento de enchentes, alagamentos e inundações a jusante.

### **3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Dimensionar um sistema de aproveitamento da água da chuva para uma edificação localizada na Região Nordeste de Belo Horizonte, de forma a reduzir os transtornos causados por enchentes e alagamentos em períodos de chuvas de grande intensidade.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Fazer um levantamento sobre as principais causas e consequências das enchentes e inundações na cidade de Belo Horizonte.
- 2) Definir a edificação localizada na Região Nordeste de Belo Horizonte em que será desenvolvido o projeto de aproveitamento das águas pluviais.
- 3) Projetar um sistema de aproveitamento de água da chuva para a edificação definida.
- 4) Analisar o custo de uma possível instalação do sistema projetado.
- 5) Analisar as vantagens e desvantagens de uma futura instalação do sistema de águas pluviais no local de estudo.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 EVOLUÇÃO DA DRENAGEM URBANA

Ao início das primeiras aglomerações urbanas verificou-se que a preferência da ocupação das populações sempre foi junto aos cursos d'água, levando em conta que a disponibilidade de água ajudava o suprimento para consumo e higiene das populações, realizando a evacuação dos dejetos. A água e sua disponibilidade estabelecem uma grande importância quanto ao consumo humano, às atividades agrícolas e a possibilidade de navegação (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

As primeiras obras de evacuação das águas pluviais e esgoto residencial datam da Idade Antiga, construída para o desenvolvimento urbano, executado pelos mesopotâmicos, gregos e romanos (Butler e Davies, 2000).

Contudo, frente a estas vantagens dos cursos d'água estarem próximos a populações ribeirinhas verificou-se eventos, com uma certa frequência, de inundações. Porém era um “preço a pagar” pelos benefícios em relação ao risco de inundações periódicas (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Na idade média, nas áreas urbanas, as populações mais pobres ocupavam as áreas baixas, ficando sujeitas as inundações periódicas e recebiam as águas servidas vindo das partes mais elevadas, ocupadas pelas populações mais abastadas. Além disso, este período da história ficou marcado pelo termo “cidade pútrida”, em referência ao período em que as aglomerações urbanas medievais ficaram estagnadas, sem implantação de novos sistemas e sem manutenção dos sistemas já construídos de evacuação das águas pluviais e cloacais, acarretando em condições de vida urbana bastante insalubre (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Durante o Renascimento houve uma pequena preocupação com a questão da higiene urbana, com a execução de obras de canalização dos cursos d'água transformando em rede de esgoto sanitário, com trechos cobertos, tendo o reaparecimento destes cursos em ocorrência de eventos pluviais de grandes intensidades (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

No século XIX pelo motivo de epidemias de cólera e tifo na Europa ocorreu um avanço no estudo de microbiologia e da epidemiologia, onde demonstrou o papel sanitário das águas pluviais na transmissão de diversas doenças. Esses estudos e aspectos sanitários, contribuiu para se buscar um controle técnico sobre o meio

natural e a organização social, indicando a evacuação rápida das águas pluviais e servidas, reduzindo de forma progressiva o papel dos cursos d'água no quadro urbanístico, com a diminuição da importância desse elemento na paisagem e no embelezamento das cidades (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Na segunda metade do século XX, houve um aumento significativo na concentração da população em áreas urbanas mundialmente. Esse aumento é verificado bem claramente no Brasil pelos dados do censo do IBGE, onde cerca de 30% da população era urbana na década de 40 passando para acima de 80% nos anos 2000 (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Essa urbanização implicou em modificações significativas no meio ambiente e nos processos hidrológicos, com uma redução do armazenamento superficial e da infiltração do solo, e, conseqüentemente, com o aumento do escoamento de água superficial. Nesse contexto, passou-se a confrontar o uso dos sistemas de drenagem tradicionais implantados segundo a ótica higienista (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015) e passou-se a se pesquisar sobre técnicas mais avançadas (técnicas compensatórias).

## **4.2 TÉCNICAS TRADICIONAIS DE DRENAGEM COM OS PRINCÍPIOS HIGIENISTAS**

O desenvolvimento das estruturas de drenagem tradicionais se estabeleceu em um contexto associado ao combate das ocorrências de doenças e epidemias relacionadas as águas pluviais na Europa no século XIX com o início dos princípios higienistas (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Os preceitos higienistas para a drenagem de águas pluviais e águas servidas recomendam sua rápida evacuação das áreas urbanas, por meio da utilização de condutos, preferencialmente subterrâneos, funcionando por gravidade. A adoção destes procedimentos facilitaria ainda a circulação viária e o desenvolvimento urbano, sem a presença nociva da água à superfície das ruas, ao mesmo tempo em que efetuaria a prevenção de doenças de veiculação hídrica (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Essa abordagem higienista e o desenvolvimento urbanos desordenado no Brasil resultou em um grande grau de impermeabilização dos solos, devido a

implementação dessa abordagem e o desmatamento das áreas verdes. (Coutinho, Artur Paiva, 2013).

A crescente impermeabilização das áreas urbanas resulta em um maior escoamento superficial e diminuição da evapotranspiração e infiltração para recarga dos aquíferos. O aumento da população faz esse fenômeno se intensificar à medida que novas infraestruturas, como ruas, calçadas e edificações, são implementadas, substituindo as superfícies permeáveis pelo concreto e asfalto (Federico Filho; Tucci, 2012).

No Brasil a drenagem urbana tradicional ocorreu no período entre 1850 a 1990, com o propósito de ter o controle das águas para reduzir o impacto das cheias. Adotado nestes anos medidas estruturais e não estruturais de drenagem, contudo mostrou-se ineficiente para superar os problemas de águas urbanas (Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2019).

Medidas estruturais são divididas em sistema de micro drenagem e macrodrenagem. O sistema de micro drenagem são constituídos de dispositivos que efetuem o transporte de água pluvial nas ruas e lotes. Podem ser exemplificados os dispositivos de drenagem como as sarjetas, as bocas de lobo e os condutos, geralmente enterrados. As águas são conduzidas para o deságue ou ao sistema de macrodrenagem, constituído de canais abertos ou de condutos enterrados de porte significativo como as galerias (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Medidas não estruturais buscam reduzir os danos causados pelas enchentes e inundações pelo uso de normas, regulamentos e programas que disciplinem o uso e ocupação do solo, a instalação de sistemas de alerta e a conscientização da população para os dispositivos de drenagem. Portanto as medidas não estruturais não são projetadas para a proteção completa, mas sim uma concepção para a população ter uma melhor convivência com eventos de cheias (Canholi, Aluísio Pardo, 2014)

### **4.3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA**

As alternativas de drenagem ou técnicas compensatórias, em contraponto as medidas tradicionais, foi iniciada em 1970 com o objetivo de anular os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, principalmente em relação a infiltração e armazenamento da água, tendo como resultado a melhoria da qualidade de vida da

população e a preservação natural do ambiente (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

As técnicas compensatórias consideram a bacia hidrográfica o local de estudo pelos impactos causados pela urbanização, e buscam compensar o controle da água escoada, através do aumento da infiltração, do tempo de trânsito e do armazenamento temporário das águas pluviais (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Assim como as técnicas tradicionais, as técnicas compensatórias podem ser classificadas em estrutural ou não estrutural. As regulamentações quanto ao uso do solo, as legislações normativas que favorecem a implementação e uso das técnicas compensatórias, a educação ambiental e de prevenção à população quanto aos problemas causados pelo acréscimo de velocidades e volumes do escoamento superficial podem ser classificadas como técnicas compensatórias não-estruturais (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Já as técnicas compensatórias estruturais utilizam de obras de engenharia de drenagem para retenção e infiltração das águas pluviais. Estas são classificadas quanto ao local de instalação e de uso do sistema compensatório, sendo denominadas como técnicas para controle de fonte, técnicas lineares e técnicas para controle centralizado (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015). A seguir tem-se especificadas algumas dessas técnicas.

#### **4.3.1 TÉCNICAS DE CONTROLE DE FONTE**

##### **4.3.1.1 Poços de infiltração**

Os poços de infiltração são estruturas que recebem as águas pluviais das superfícies onde irá ocorrer a infiltração para o solo, podendo suceder a alimentação do lenço subterrâneo (Figura 1). Os poços proporcionam a redução de vazões de pico e os volumes de água destinadas a rede clássica de drenagem. Essa estrutura deve ter uma manutenção periódica para evitar a colmatação por detritos (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).



Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Filtro-Vala-Trincheira-e-Poco-de-Infiltracao-no-Campus-da-UFSCar\\_fig1\\_309286233](https://www.researchgate.net/figure/Filtro-Vala-Trincheira-e-Poco-de-Infiltracao-no-Campus-da-UFSCar_fig1_309286233)

#### 4.3.1.2 Telhados armazenadores (telhados verdes)

Os telhados verdes (Figura 2) são compostos principalmente por vegetação e tem o objetivo principal de reduzir o escoamento através do armazenamento provisório das águas das chuvas nos telhados e o retorno do montante de forma amortecida a rede de água pluvial ou a um reservatório (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Figura 2 - Telhados armazenadores (telhados



Fonte: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/telhados-verdes-uma-floresta-de-vantagens/6079>

### 4.3.2 TÉCNICAS LINEARES

#### 4.3.2.1 Pavimentos permeáveis ou porosos

Pavimentos permeáveis consistem em uma técnica compensatória destinada as vias urbanas e áreas de estacionamentos (Figura 3). Este é dotado de um revestimento permeável que possibilita a redução do escoamento superficial através da retenção temporária e a infiltração de parte das águas pluviais provocando o amortecimento das vazões (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015). Além disso ele auxilia na redução da velocidade da água.

Figura 3 - Pavimentos permeáveis ou porosos.

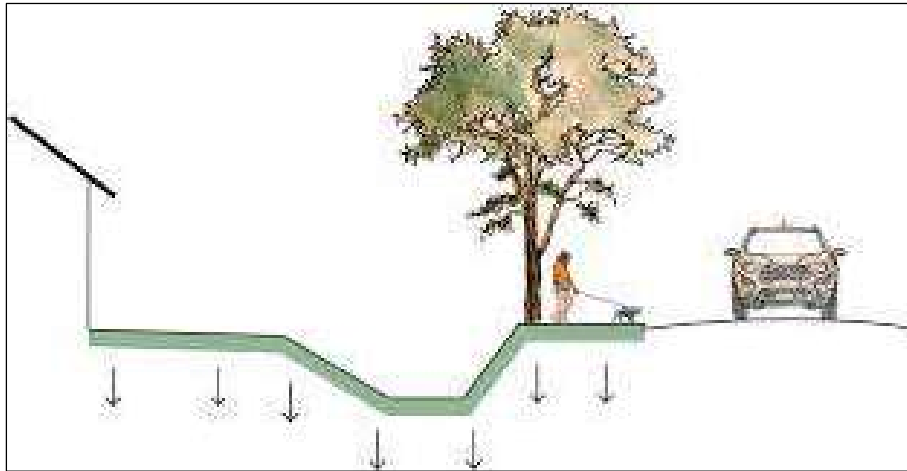


Fonte: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimento-permeavel>

#### 4.3.2.2 Valas e valetas de retenção e infiltração

Valas e valetas (Figura 4) são técnicas que tem a função de armazenamento temporário, podendo favorecer a infiltração das águas pluviais. Sua estrutura é constituída por cavidades (depressões) escavadas no solo como o objetivo de concentrar a água da chuva. Estas são estruturas que sua dimensão longitudinal é significativamente maior que a dimensão transversal. Uma das desvantagens dessas técnicas são a possibilidade da estagnação das águas pluviais devido ao assoreamento de sedimentos e resíduos de obras civis e matéria orgânica de ligações clandestina de esgotos, podendo ocorrer a proliferação de doenças (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Figura 4 - Valas, valetas de detenção e infiltração.



Fonte: <https://manualurbano.prefeitura.sp.gov.br/manual/6-infraestrutura-verde-e-azul/6-2-infraestrutura-verde-e-azul/6-2-5-valas-e-valetas-de-detencao-e-infiltracao>

### 4.3.3 TÉCNICAS DE CONTROLE CENTRALIZADO

#### 4.3.3.1 Bacias de detenção e retenção

Bacias de detenção (Figura 5) são estruturas de grande porte para acumulação temporária de águas pluviais podendo, ou não, ser projetadas para infiltração. Já as bacias de retenção são projetadas com a mesma finalidade, porém o armazenamento acumulado da água é por um período maior. As bacias são projetadas para atender o amortecimento de cheias para controle de inundações, tendo a redução de volume de escoamento superficial através da infiltração, além da redução da poluição difusa de origem pluvial (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Figura 5 - Bacia de detenção e retenção.



Fonte: <https://portalbelohorizonte.com.br/o-que-fazer/ao-ar-livre-e-esportes/parque/parque-jornalista-eduardo-couri-barragem-santa-lucia>

#### 4.4 RESERVATÓRIOS INDIVIDUAIS

Reservatório individual ou domiciliar (Figura 6) é uma técnica compensatória de controle na fonte que tem como objetivo principal a redução do impacto das cheias através da retenção de parte das águas pluviais que poderá ser usada, eventualmente, no uso doméstico sem fins potáveis ou que será esvaziada, posteriormente, por infiltração ou por evacuação em uma rede pluvial existente (Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie, 2015).

Figura 6 - Reservatório para água de chuva – micro reservatório individual



Fonte: <https://www.ecycle.com.br/captacao-de-agua-da-chuva/>

A Norma Brasileira ABNT 15527/2019 (ABNT,2019) – Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos, determina para os reservatórios diretrizes quanto a sua concepção, instalação e manutenção.

Na elaboração de estudo para concepção de projeto de reservatórios de captação de águas pluviais, segundo a norma 15527/2019 (ABNT,2019), devem ser obedecidos os seguintes tópicos:

- O dimensionamento do volume do reservatório deve considerar a área de captação, o índice pluviométrico local e a demanda de água não potável prevista para o uso.
- O reservatório deve garantir segurança estrutural e operacional, contar com sistema de extravasamento, mecanismo de esgotamento, ponto de inspeção acessível e adequada ventilação.
- O processo de esgotamento pode ser realizado por gravidade ou através de sistemas de bombeamento.

- O reservatório deve ser totalmente fechado e equipado com dispositivos que impeçam o acesso de insetos, roedores e demais animais indesejáveis, evitando sua proliferação e garantindo a integridade da água armazenada.
- O turbilhonamento no interior do reservatório deve ser reduzido ao máximo, de modo a evitar a ressuspensão de sólidos sedimentados e o deslocamento de materiais flutuantes.
- A retirada da água armazenada deve ocorrer próxima a superfície, preferencialmente a cerca de 15 cm abaixo do nível da superfície.
- O cálculo do volume dos reservatórios deve ser fundamentado em critérios técnicos, econômicos e ambientais, observando as melhores práticas da engenharia.
- A água pluvial armazenada deve ser protegida da exposição direta à luz solar e outras fontes de calor.
- As instalações prediais devem estar em conformidade com a norma NBR 5626, quanto as recomendações referentes aos materiais de construção das instalações utilizados, aos cuidados da retrossifonagem, o uso de dispositivos contra o refluxo, à proteção contra interligações de água potável e não potável, ao correto dimensionamento das tubulações e ao controle de ruídos e vibrações.
- As tubulações e os demais componentes do sistema, especialmente as válvulas, devem possuir identificação clara e distinta das redes de água potável, evitando interconexões.
- Os pontos de consumo de água não potável, como torneiras externas de jardim, devem ter o seu uso restrito e claramente sinalizados com placas de advertência contendo a inscrição 'ÁGUA NÃO POTÁVEL' e identificação gráfica apropriada, evitando o consumo indevido.

A NBR 15527/19 (ABNT,2019) orienta quanto a instalação do reservatório, podendo ser enterrado, tendo o seu esgotamento por bombeamento, ou elevado sendo o seu esgotamento por gravidade.

#### 4.4.1 MÉTODOS DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

A NBR 15527/2007 (ABNT,2007), em seu anexo A (informativo), demonstra 6 métodos de cálculo para dimensionamento dos reservatórios.

##### 4.4.1.1 Método de Rippl

O método utiliza séries históricas mensais ou diárias extensas de precipitação, convertidas em vazões que abastecem o reservatório (Thomaz, 2003). De forma a simplificar os cálculos, faz-se a utilização de séries sintéticas, elaboradas a partir de registros históricos. (Thomaz, 2003)

Para o cálculo do dimensionamento deve-se determinar a demanda média de água pluvial, a área da superfície de captação e o coeficiente de runoff, definido como a razão entre a quantidade de água que escoa superficialmente e a quantidade total de água precipitada, conforme necessidade do projeto. Faz-se o uso do método utilizando as precipitações médias mensais em um período de janeiro a dezembro para o cálculo mensal. Para o cálculo diário, utiliza-se uma série histórica de 10 anos de precipitações diárias. Pode-se usar demanda constante ou variável de água pluvial.

Esse método começa com o cálculo do volume de água pluvial no reservatório e no tempo t pelas equações 01 e 02.

O volume do reservatório de água pluvial é dado pelas equações (1), (2) e (3).

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (1)$$

$$Q_{(t)} = C \times P \times A \quad (2)$$

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0 \quad (3)$$

$$\text{Sendo que: } \sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$$

Onde:  $S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório no tempo t (L);

$Q_{(t)}$  é o volume de chuva aproveitável no tempo t (L);

$D_{(t)}$  é a demanda ou consumo no tempo t (L);

V é o volume do reservatório (L);

C é o coeficiente de escoamento superficial (runoff);

P é a precipitação no tempo P (mm);

A é a área de captação da água da chuva (m<sup>2</sup>).

#### 4.4.1.2 Método da Simulação

Este método consiste em determinar o percentual de consumo atendido a partir de um tamanho de reservatório previamente definido. É também denominado Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta (Rupp; Munarim; Ghisi, 2011)

Segundo a NBR 15527/2007 (ABNT,2007), faz a recomendação que a evaporação da água seja desconsiderada no cálculo, considerar o reservatório cheio no início da contagem do tempo “t” e os dados históricos são característicos para circunstâncias futuras. O cálculo é dado pelas equações (4), (5) e (6).

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (4)$$

$$Q_{(t)} = C \times P \times A \quad (5)$$

$$\text{Sendo que: } 0 \leq S_{(t)} \leq V \quad (6)$$

Onde:  $S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório no tempo t (L);

$S_{(t-1)}$  é o volume de água no reservatório no tempo t - 1(L);

$Q_{(t)}$  é o volume de chuva aproveitável no tempo t (L);

$D_{(t)}$  é a demanda ou consumo no tempo t (L);

V é o volume do reservatório fixado (L);

C é o coeficiente de escoamento superficial (runoff);

P é a precipitação no tempo P (mm);

A é a área de captação da água da chuva (m<sup>2</sup>).

Coeficiente de runoff (ou coeficiente de deflúvio) é o quociente entre a água que escoar superficialmente pelo total da água precipitada. Este depende do tipo de cobertura do solo e pode ser verificado na tabela 1 abaixo, conforme estabelecido por Tomaz (2010).

Tabela 1 - Coeficiente de Escoamento Superficial / Run-Off.

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "c"
<b>Comércio:</b>	
Áreas Centrais	0,70 a 0,95
Áreas da periferia do centro	0,50 a 0,70
<b>Residencial:</b>	
Áreas de uma única família	0,30 a 0,50
Multi-unidades, isoladas	0,40 a 0,60
Multi-unidades, ligadas	0,60 a 0,75
Residencial (suburbana)	0,25 a 0,40
Área de apartamentos	0,50 a 0,70
<b>Industrial:</b>	
Áreas leves	0,50 a 0,80
Áreas densas	0,60 a 0,90
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro	0,20 a 0,40
Terrenos baldios	0,10 a 0,30

Fonte: DNIT - Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem (2005)

#### 4.4.1.3 Método Azevedo Neto

Neste método prático brasileiro de abordagem empírica, a influência da demanda é desconsiderada, levando-se em conta exclusivamente o volume de captação e o período de estiagem mensal, contudo o período de estiagem a NBR 15527/2007 (ABNT,2007) não estabelece critérios para a definição do número de meses de pouca chuva ou seca. O cálculo do volume do reservatório baseia-se na seguinte equação (7):

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (7)$$

Onde:  $P$  é a precipitação média anual (mm);

$T$  é o número de meses de pouca chuva ou seca;

$A$  é a área de captação da água da chuva (m<sup>2</sup>);

$V$  é o volume de água aproveitável do reservatório (L).

#### 4.4.1.4 Método Prático Alemão

De acordo com a NBR 15527/2007 (ABNT,2007), este método empírico determina o volume do reservatório sendo o menor valor entre 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável, equações (8) e (9).

Os cálculos de volume aproveitável de água de chuva anual e demanda anual da água não potável podem ser feitos pelo método de Rippl.

$$V_{adotado} = \text{mín. de (vol. anual prec. aprov. e vol. anual de cons.)} \times 0,06(6\%) \quad (8)$$

$$V_{adotado} = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \quad (9)$$

Onde:  $V$  é o volume de água da chuva anual aproveitável (L);

$D$  é a demanda de água não potável anual (L);

$V_{adotado}$  é o volume de água no reservatório (L).

#### 4.4.1.5 Método Prático Inglês

Segundo a NBR 15527/2007 (ABNT,2007), para obter o volume do reservatório pelo método prático Inglês, deve-se usar a seguinte equação (10):

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (10)$$

Onde:  $P$  é a precipitação média anual (mm);

$A$  é a área de coleta em projeção (m<sup>2</sup>);

$V$  é o volume de água aproveitável do reservatório (L).

#### 4.4.1.6 Método prático australiano

O último método apresentado pela NBR 15527/2007 (ABNT,2007) se inicia calculando o volume da água pluvial pela equação (11) abaixo:

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (11)$$

Onde:  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial (runoff), geralmente 0,80;

$P$  é a precipitação média mensal (mm);

$I$  é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente com valor de 2mm;

$A$  é a área de captação (m<sup>2</sup>);

$Q$  é o volume de água pluvial produzido mensalmente (m<sup>2</sup>).

O dimensionamento do volume do reservatório é realizado por tentativas através das equações (12) e (13) abaixo, considerando o reservatório vazio no primeiro mês, até que seja alcançado um valor de confiança dentre de 90% a 99%.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (12)$$

$$\text{Quando } (V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D) < 0, \text{ então } V_{(t)} = 0 \quad (13)$$

Onde:  $Q_t$  é o volume mensal (t) da água da chuva produzida (L);

$V_t$  é o volume da água da chuva no fim do mês (t) que está no reservatório (L);

$V_{t-1}$  é o volume de água da chuva no início do mês (t) que está no reservatório (L);

$D$  é a consumo de água pluvial, não potável, mensal (L).

Para avaliar a confiança ao determinar o volume do reservatório é feita pelas equações (14) e (15) seguintes:

$$\text{Confiança (\%)} = (1 - Pr) \times 100 \quad (14)$$

$$\text{Sendo } Pr = \frac{N_r}{N} \quad (15)$$

Onde:  $Pr$  é o erro (falha);

$N_r$  é o número de meses em que o reservatório ao fim do mês  $V_t = 0$ , ou seja, não foi atendida a demanda mensal;

$N$  é o número de meses avaliado, sendo considerado 12 meses.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 LOCAL PARA INSTALAR/ABRIGAR O SISTEMA DE APROVEITAMENTO

Para dimensionamento do sistema de aproveitamento de água pluviais foi escolhida uma edificação sede de uma empresa de engenharia (Figura 7 e Figura 8), localizada no Bairro Ipiranga, Região Nordeste de Belo Horizonte, no apêndice A é representado o local da instalação do sistema. O local é próximo à Avenida Bernardo Vasconcelos, local onde frequentemente ocorrem inundações decorrentes as chuvas de grande intensidade. O local foi escolhido pela facilidade de acesso a informações e por estar localizado próximo a uma área de inundação de Belo Horizonte.

Esse estudo evidencia a necessidade de soluções eficazes para o manejo de águas pluviais, tornando o dimensionamento do reservatório pluvial uma alternativa estratégica para mitigação do escoamento superficial que contribui para alagamentos ocorridos na Avenida, possibilitando ainda o reaproveitamento da água reservada para uso na lavagem de automóveis, caminhão e retroescavadeiras da empresa, além da própria lavagem/limpeza do piso do pátio.

Figura 7 - Localização do telhado de captação da água pluvial



Fonte: Google Earth

Figura 8 - Telhado ou cobertura de captação de água pluvial

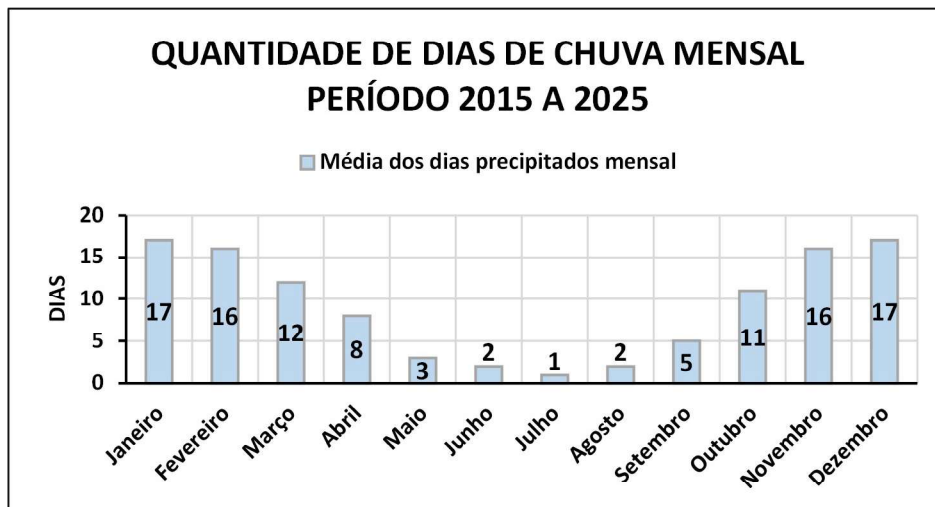


Fonte: Próprio autor.

## 5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

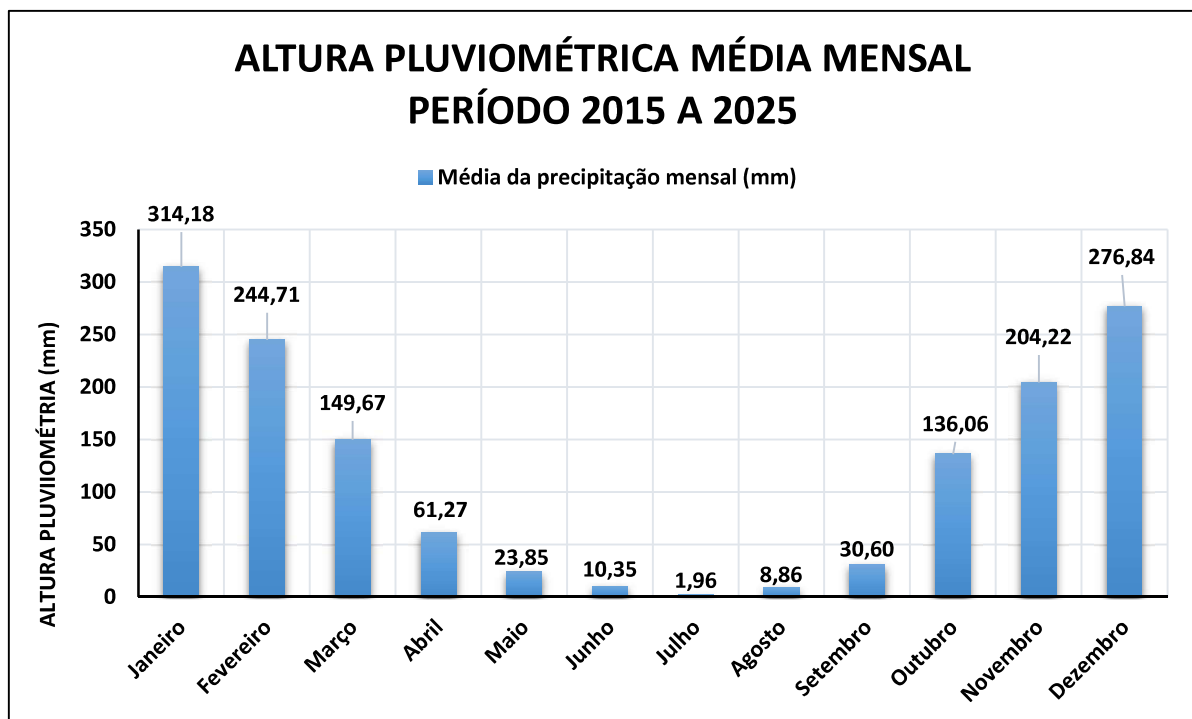
Para fazer uma análise pluviométrica da região foi levantado dados disponibilizados através do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), órgão do ministério da Agricultura e Pecuária. A partir desses dados foi possível encontrar a média dos dados pluviométricos mensais dos últimos 10 anos. Os dados foram coletados da estação INMET-A521, localizada na Região da Pampulha, em Belo Horizonte – MG (Figura 9 e Figura 10).

Figura 9 - INMET-A521 Belo Horizonte - Pampulha - Dados médios de dia de chuva mensal anual



Fonte: INMET - <https://bdmep.inmet.gov.br/>

Figura 10 - INMET-A521 Belo Horizonte - Pampulha - Dados médios pluviométricos mensal anual



Fonte: INMET - <https://bdmep.inmet.gov.br/>

### 5.3 DADOS NECESSÁRIOS PARA CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO

Segundo a NBR 10844/1989 (ABNT, 1989), para o cálculo da vazão de projeto, faz-se necessário dados sobre a intensidade pluviométrica e a área de captação.

Intensidade pluviométrica é a relação entre a quantidade de chuva acumulada em determinado período de tempo. Para o cálculo da intensidade pluviométrica média de projeto (mm/h), pode-se utilizar a expressão geral da equação IDF para região

metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) desenvolvida pelos estudos de Márcia Maria Guimarães Pinheiro e Mauro Naguezzini (Pinheiro; Naguezzini, 1998). Segue abaixo a equação (16) para o cálculo:

$$i_{T,d} = 0,7642 \times d^{-0,7059} \times P^{0,5360} \times \mu_{T,d} \quad (16)$$

Onde:  $i_{T,d}$  é a intensidade em mm/h, para o tempo de retorno T (em anos) e a duração d (em horas);

d é a duração da chuva (em horas);

P é a precipitação média anual no local (mm);

$U_{T,d}$  é o quantil adimensional de frequência regional associado ao período de retorno T e à duração d (tabela 2).

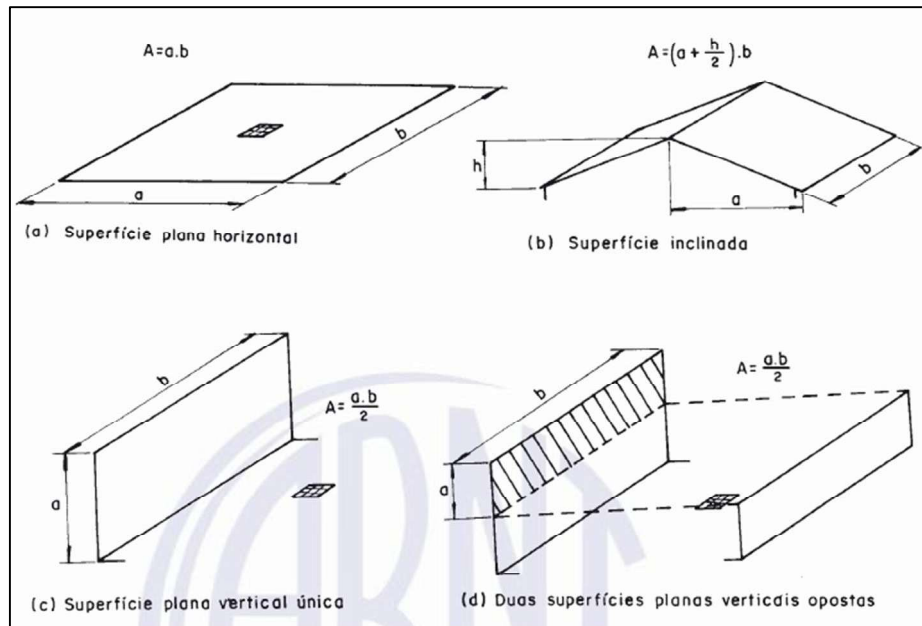
Tabela 2 – Quantis adimensionais  $\mu_{T,d}$  correspondentes a probabilidade anuais de Gumbel.

Durações	Período de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
10 minutos	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,791	1,945	2,098
15 minutos	0,695	0,830	1,013	1,422	1,578	1,780	1,932	2,083
30 minutos	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,751	1,897	2,043
45 minutos	0,690	0,827	1,013	1,430	1,589	1,795	1,949	2,103
1 hora	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
2 horas	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,813	1,970	2,128
3 horas	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
4 horas	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,798	1,953	2,108
8 horas	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,834	1,996	2,157
14 horas	0,636	0,797	1,016	1,503	1,690	1,931	2,112	2,292
24 horas	0,603	0,779	1,017	1,550	1,754	2,017	2,215	2,412

Fonte: Pinheiro; Naguezzini, 1998

Para o dimensionamento da área de captação utiliza-se as fórmulas dadas na figura a seguir (Figura 11). Para um telhado, deve-se considerar os acréscimos decorrentes da inclinação da cobertura, tendo uma inclinação mínima de 0,5% para evitar empoçamento.

Figura 11 - Cálculo de área de captação da chuva.



Fonte: NBR 10844/1989 - Instalações prediais de águas pluviais

A vazão de projeto é então calculada pela equação (17) abaixo:

$$Q = \frac{I * A}{60} \quad (17)$$

Sendo: Q é a vazão de projeto (L/min).

I é a intensidade pluviométrica (mm/h).

A é a área de contribuição ou captação (m<sup>2</sup>)

## 5.4 DIMENSIONAMENTO DAS CALHAS E CONDUTORES VERTICAIS E HORIZONTAIS

### 5.4.1 Dimensionamento da calha

De acordo com a NBR 10844/1989 (ABNT, 1989), o dimensionamento das calhas pode ser feito pelo cálculo da equação (18) de Manning-Strickler e a tabela (tabela 1) de coeficiente de rugosidade, indicada abaixo:

$$Q = K * \frac{S}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Sendo: Q é a vazão de projeto (L/min);

S é a área de seção molhada (m<sup>2</sup>);

n é o coeficiente de rugosidade (Tabela 3);

$R_H$  é o raio hidráulico (m);

$P_H = P/S$  é o perímetro molhado (m);

$I$  é a declividade da calha (m/m);

$K$  é igual a 60.000.

Tabela 3 - Coeficiente de rugosidade

Material	$n$
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

Fonte: NBR 10844/1989 - Instalações prediais de águas pluviais

Outra maneira de dimensionar também exposta na norma, além da fórmula, é a partir da tabela a seguir (Tabela 4), que leva em consideração a vazão de projeto e a declividade da calha a ser escolhida pelo projetista.

Tabela 4 – Capacidade das calhas semicirculares considerando  $n = 0,011$  (Vazão em 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: NBR 10844/1989 - Instalações prediais de águas pluviais

Conforme estabelece a norma NBR 10844/1989 (ABNT,1989), há diretrizes específicas para a correta instalação de calhas, visando garantir a eficiência do sistema de coleta de águas pluviais. Dentre as recomendações, destacam-se as seguintes orientações:

- Sempre que possível, as calhas de beiral e platibanda devem ser posicionadas de forma centralizada sob a extremidade da cobertura, mantendo-se o mais próximas possível da mesma, a fim de garantir eficiência na captação das águas pluviais.
- A inclinação das calhas de beiral e platibanda deve manter-se uniforme ao longo de toda a extensão, respeitando o declive mínimo de 0,5% para assegurar o escoamento eficiente das águas pluviais.
- Quando a descarga não estiver posicionada em uma das extremidades, o dimensionamento das calhas de beiral ou platibanda deve ser baseado na maior das áreas de contribuição associadas ao trecho em questão, assegurando a capacidade adequada para escoamento da vazão projetada.
- Nos casos em que o transbordamento ao longo da calha é inadmissível, é recomendada a instalação de extravasores como recurso adicional de segurança, devendo sua descarga ser direcionada para pontos apropriados e compatíveis com o sistema de drenagem.
- Nas calhas de beiral ou platibanda, quando o ponto de descarga estiver localizado a menos de 4 metros de uma mudança de direção no percurso, a vazão de projeto deverá ser ajustada por meio da aplicação dos coeficientes especificados na Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto.

Tipo de curva	Curva a menos de 2 m da saída da calha	Curva entre 2 e 4m da saída da calha
canto reto	1,2	1,1
canto arredondado	1,1	1,05

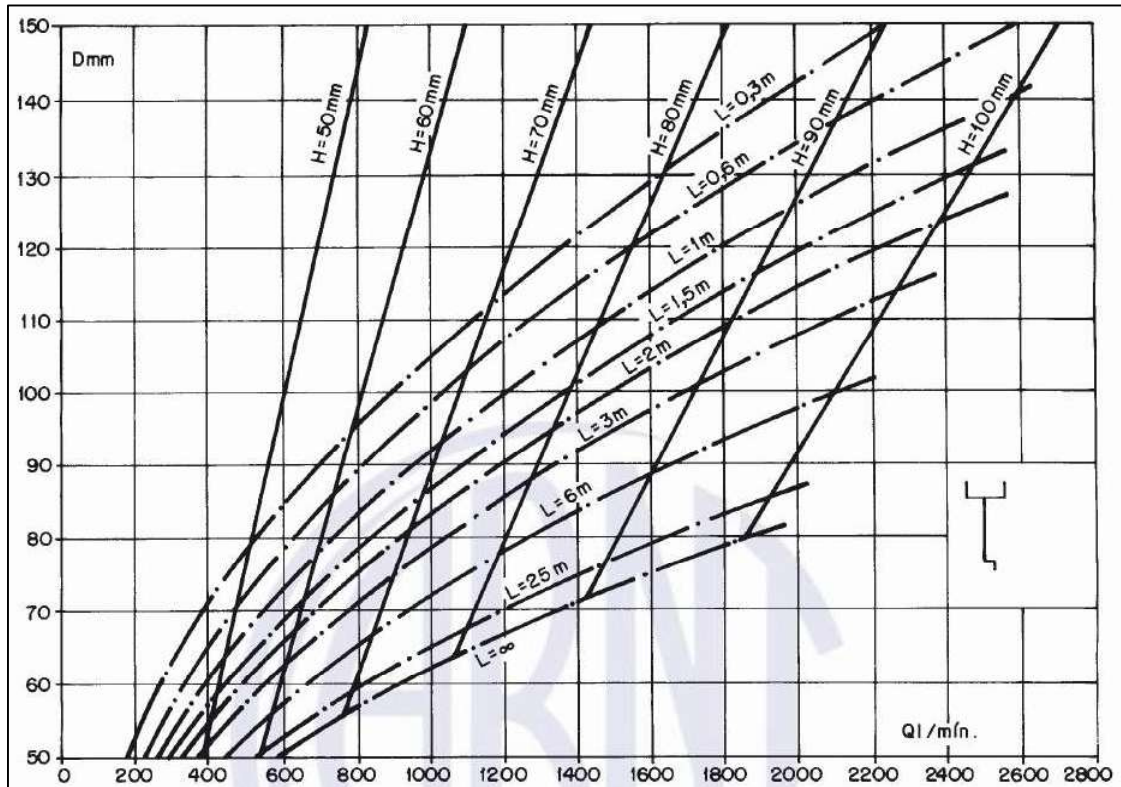
Fonte: NBR 10844/1989 - Instalações prediais de águas pluviais

#### 5.4.2 Dimensionamento dos condutores verticais

Para o dimensionamento do diâmetro dos condutos verticais, segundo a norma NBR 10844/1989 (ABNT, 1989), utiliza-se os dados de vazão de projeto (Q), altura da lâmina de água na calha (mm) e o comprimento do condutor vertical (m) planejado. A norma apresentar dois ábacos para determinar o diâmetro do condutor vertical, sendo

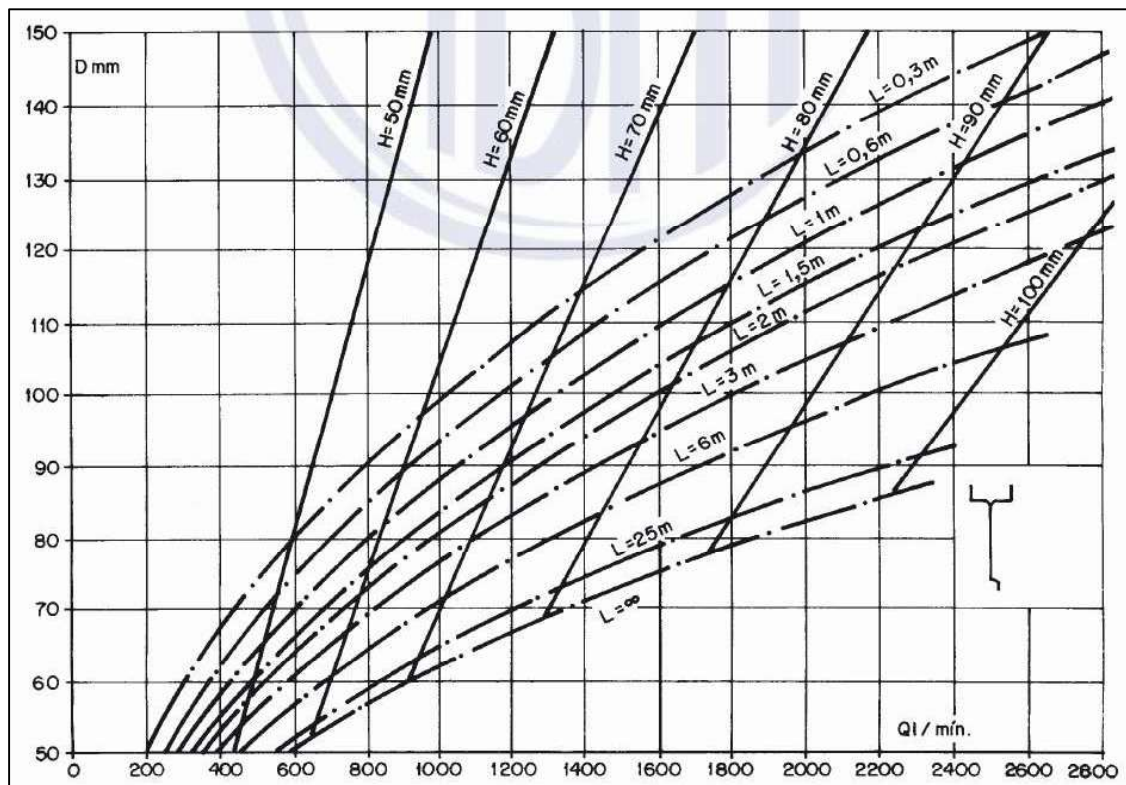
o primeiro para calha com saída em aresta viva e o segundo para calha com funil de saída (Figura 12 e Figura 13).

Figura 12 - Ábaco para determinar o diâmetro dos condutores verticais para calha com saída em aresta viva.



Fonte: NBR 10844/1989

Figura 13 - Ábaco para determinar o diâmetro dos condutores verticais para calha com funil de saída



Fonte: NBR 10844/1989

Para uma correta instalação, segundo a NBR 10844/1989 (ABNT,1989), faz-se a recomendação de que os condutores verticais, sempre que possível, sejam projetados em uma única prumada. Caso haja desvio, deve-se usar curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45° tendo a inclusão de peças de inspeção. O diâmetro interno mínimo dos condutores circulares verticais é de 70mm.

#### 5.4.3 Dimensionamento dos condutores horizontais

A norma 10844/1989 (ABNT,1989) estabelece diretrizes para o dimensionamento de condutos horizontais de seção circular, levando em consideração escoamento com altura da lâmina d'água correspondente a aproximadamente 2/3 do diâmetro interno (D) do tubo. A norma apresenta uma tabela (Tabela 6) para determinar o diâmetro interno do tubo horizontal em função da vazão projetada calculada pela fórmula de Manning-Strickler e do percentual de inclinação do tubo.

Tabela 6 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min.), calculadas pela fórmula de Manning-Strickler com altura de lâmina de água igual a 2/3 D

	Diâmetro interno (D) (mm)	$\underline{n} = 0,011$				$\underline{n} = 0,012$				$\underline{n} = 0,013$			
		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

Os condutores devem ser projetados segundo a norma, sempre que possível, com declividade uniforme e inclinação mínima de 0,5%. Tubulações aparentes devem possuir dispositivos de inspeção em cada ligação com outra tubulação, em mudanças de inclinação ou direção, e a cada trecho linear de 20 metros. Nas tubulações enterradas devem ser previstas caixas de areia em cada ligação com outra tubulação, em mudanças de inclinação ou direção, e a cada trecho linear de 20 metros. Na interligação dos condutores verticais aos horizontais é feita por curva de raio longo com a inserção de inspeção ou caixa de areia, estando o condutor horizontal aparente ou enterrado.

## **5.5 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO**

Para o cálculo do dimensionamento do reservatório a NBR 15527/2007 (ABNT, 2007) foi adotado nesse trabalho o método de simulação, dentre os seis métodos apresentados da norma, dos quais a maioria é de natureza empírica, o que pode levar a resultados de subdimensionamento ou superdimensionamento.

A escolha pelo método de simulação parte da premissa de um volume inicial de reservatório para modelar o armazenamento de água ao longo da série histórica (ABNT, 2007). É possível analisar simultaneamente, pela aplicação do método, diversos volumes de reservatórios, podendo fazer a análise de sua eficiência com maior simplicidade em comparação aos outros métodos abordados pela norma. Desse modo, é possível simular o volume do reservatório, meses que o sistema é capaz ou não de suprir a demanda, até atingir a eficiência desejada para o sistema, conforme os objetivos do pretendidos (Amorim; Pereira, 2008).

Para o dimensionamento, as fórmulas necessárias são descritas no subitem 4.4.1.2. O dado de coeficiente de escoamento superficial (runoff) a ser utilizado será de 0,95, de acordo com o apresentado pelo manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem do DNIT (Brasil, 2005).

## **5.6 LEVANTAMENTO DO CUSTO DO SISTEMA**

Foi realizado o levantamento dos custos dos serviços e materiais para implantação do reservatório para aproveitamento de água de chuva utilizando tabelas de preços de referências da Setop e Sinapi, referente ao estado de Minas Gerais e lojas fornecedoras de Belo Horizonte e da Região Metropolitana.

## 5.7 CÁLCULO PARA O RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO.

Para avaliar o retorno dos gastos associados ao investimento ao longo dos anos, será empregada a equação referente às séries de pagamentos uniformes. Tal equação possibilita mensurar a recuperação do capital investido por meio de fluxos de pagamentos constantes, realizados em intervalos de tempo regulares. A fórmula geral da série uniforme é dada por:

$$PV = PMT \cdot \left[ \frac{(1 + i)^n - 1}{(1 + i)^n \cdot i} \right] \quad (19)$$

Onde: PV é o valor do investimento (presente líquido em R\$);

PMT é o valor das parcelas ou prestações a serem pagas iguais, em R\$.

i é a taxa de juros;

n é o tempo, em anos, do retorno do investimento (período de juros).

Para calcular o retorno do investimento em anos, o valor do investimento é o valor do orçamento para a execução da rede para a captação da água da chuva.

O valor das prestações pagas iguais será o valor referente a economia durante o ano do não uso de fornecimento de água da concessionária pela água de demanda utilizada.

A taxa de juros será a média acumulada do índice de IPCA (índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) do mês outubro entre os anos de 2016 à 2025, conforme a base da série histórica informada pelo IBGE, tabela 7. (IBGE, 2025).

Tabela 7 - acumulado da inflação para o mês de outubro entre 2016 a 2025

Outubro	2016	7,87	%
Outubro	2017	2,70	%
Outubro	2018	4,56	%
Outubro	2019	2,54	%
Outubro	2020	3,92	%
Outubro	2021	10,67	%
Outubro	2022	6,47	%
Outubro	2023	4,82	%
Outubro	2024	4,76	%
Outubro	2025	4,68	%
Média do acumulado dos últimos 10 anos para o mês de outubro		5,299	%

Fonte: IBGE <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplio.html?=&t=series-historicas>

## **5.7 DISCUSSÃO SOBRE AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DE POSSÍVEL INSTALAÇÃO DO SISTEMA**

De maneira sintética, será apresentado em formato de tabela os principais aspectos relacionados às vantagens e desvantagens/desafios da instalação de um reservatório individual para captação de água pluvial. A análise será estruturada em cinco categorias: econômica, infraestrutura, características técnicas, sustentabilidade e regulação. Cada item será brevemente detalhado, destacando-se seu impacto sobre a viabilidade e a efetividade da implantação da estrutura.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 VAZÃO DE PROJETO

Considerando a precipitação média mensal ao longo do período de 2015 a 2025 a partir dos dados da estação INMET-A521 (Figura 10), localizada na região Pampulha em Belo Horizonte, obteve-se um valor médio anual de precipitação de 1463 mm.

Ao adotar a metodologia de cálculo da intensidade pluviométrica média IDF da RMBH (Equação 16), considerando como parâmetros o tempo de retorno (T) de 10 anos e uma duração (d) de 15 minutos, resultou-se em um quantil adimensional ( $\mu$ ) de 1,422. A partir desses parâmetros, e adotando a precipitação média anual (P) corresponde a 1463 mm, obteve-se uma intensidade média de precipitação de 191,39 mm/h.

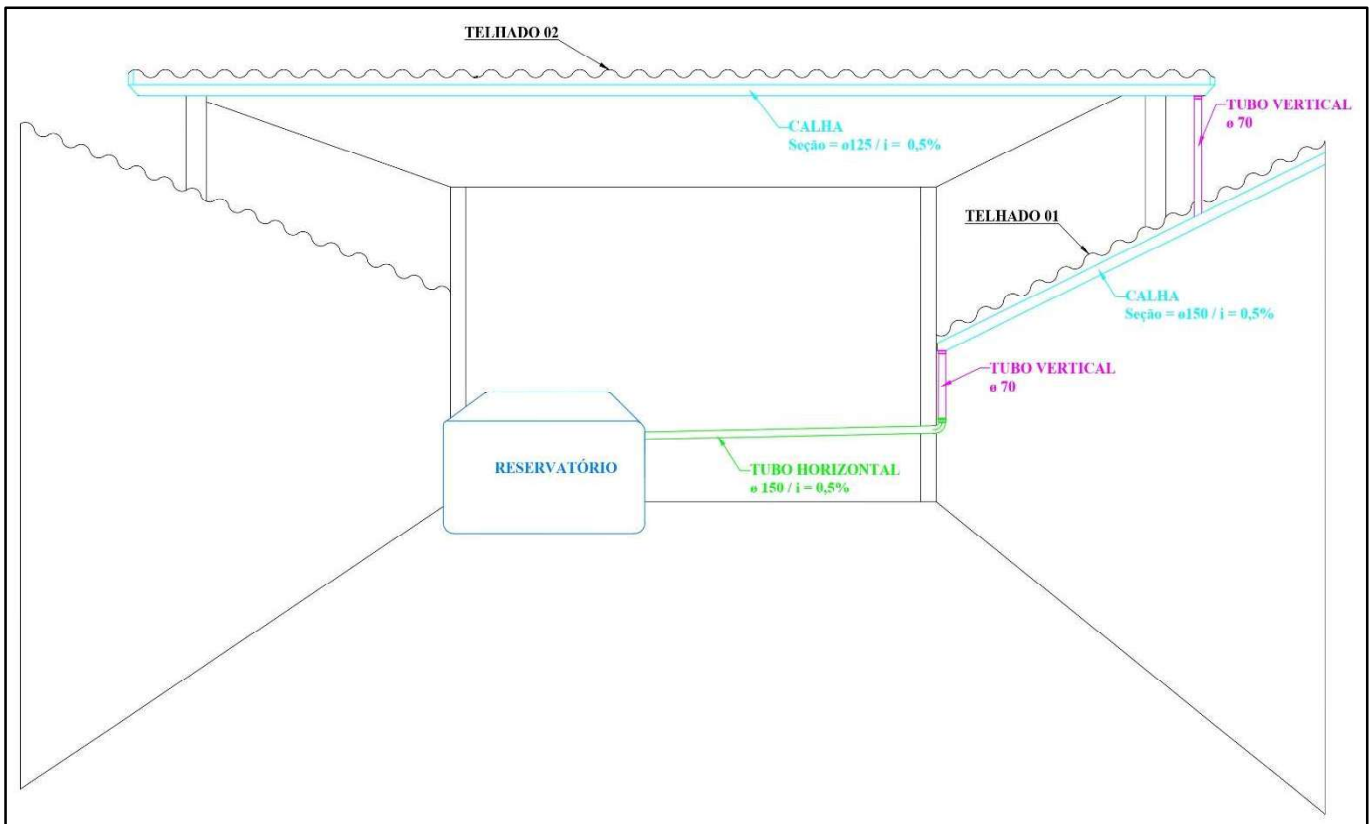
Em relação a área de contribuição, a cobertura destinada à captação de água para aproveitamento possui uma área total aproximada de 136 m<sup>2</sup>. Desse total, 87,42 m<sup>2</sup> referem-se ao telhado 1, junto à parede de divisa do terreno, com dimensões de 20,05 m de comprimento por 4,36 m de largura; e 48,10 m<sup>2</sup>, referem-se ao telhado 2, situado ao fundo do terreno, que apresenta medidas de 7,40 m de comprimento por 6,50 m de largura (Figura 8). O telhado 1 e o telhado 2 apresentam alturas de 3,30 m e 4,80 m, respectivamente, do piso ao telhado.

Com base no valor da intensidade pluviométrica e na área de captação, foi possível calcular a vazão de projeto, conforme os critérios estabelecidos pela norma NBR 10844/1989 citados na metodologia. A aplicação dessa equação resultou em uma vazão total de 433,82 L/min, valor que representa a quantidade de escoamento superficial que será lançado no sistema de aproveitamento da água da chuva.

Ao fazer o cálculo separado do telhado 1 e do telhado 2, têm-se, vazão 1 no valor de 278,85 L/min e 153,43 L/min, respectivamente.

Abaixo segue croqui da proposta para o sistema de aproveitamento de águas pluviais com a composição de calhas, condutos verticais e horizontais (Figura 14).

Figura 14 – Croqui do local de instalação do reservatório.



Fonte: Próprio autor.

## 6.2 DIMENSIONAMENTO DAS CALHAS

No dimensionamento de calhas, a vazão de transporte deve ser superior à vazão de projeto, de modo a assegurar que toda a água proveniente da área de captação seja devidamente conduzida. Considerando a vazão de projeto para cada um dos telhados, coeficiente de rugosidade ( $n$ ) igual a 0,011 e uma declividade de 0,5%, definiu-se a instalação de uma calha retangular galvanizada com seção de 150 mm para o telhado 1 e outra de 125 mm para o telhado 2.

## 6.3 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTOS VERTICAIS

Para o dimensionamento dos tubos verticais, adotou-se o ábaco da NBR 10844/1989, referente à calha com saída em aresta viva (Figura 12) citado na metodologia.

Para o conduto vertical que conduz água apenas do telhado 2, considerando-se uma altura vertical ( $L$ ) de 4,8 metros, a vazão de 153,43 L/min e a altura da lâmina d'água ( $H$ ) de 62,5 mm, obteve-se o diâmetro mínimo de 70 mm para o tubo vertical.

Já para o conduto vertical que conduz água dos dois telhados em conjunto, considerando-se uma altura vertical (L) de 3,3 metros, a vazão total de 433,82 L/min e a altura da lâmina d'água (H) de 75 mm, obteve-se também o diâmetro mínimo de 70 mm para o tubo vertical.

#### **6.4 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTOS HORIZONTAIS**

No caso dos tubos horizontais, o dimensionamento foi realizado conforme a Tabela 6 dada na metodologia. Para a vazão de projeto de 433,82 L/min, com considerando a inclinação a mesma da calha de 0,5% e coeficiente de rugosidade (n) igual a 0,011, o diâmetro adotado foi de 150 mm (que suporta 602,00 L/min).

#### **6.5 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO**

Para o dimensionamento do volume do reservatório, considerou-se a demanda de água destinada à lavagem dos veículos e da área do pátio. O conjunto de veículos é composto por três retroescavadeiras e cinco veículos leves, além de uma área de pátio com aproximadamente 450 m<sup>2</sup>.

O consumo médio de água para a lavagem dos veículos é estimado em 150 litros por veículo, com frequência de quatro lavagens mensais. Para a higienização do pátio e das calçadas, adotou-se o parâmetro de 2 litros por metro quadrado ao dia, conforme metodologia apresentado por Plínio Tomaz (2007).

Para o cálculo do consumo mensal de água, foi considerado a lavagem de todos os veículos uma vez ao mês, bem como uma lavagem mensal da área do pátio.

O volume de água destinado à lavagem dos veículos corresponde a 1.200 litros por mês, enquanto a lavagem do pátio demanda aproximadamente 900 litros mensais. Dessa forma, o consumo total estimado é de 2.100 litros por mês, equivalente a cerca de 2,10 m<sup>3</sup>, valor necessário para atender à demanda de lavagem.

Para a verificação do volume do reservatório, sem a necessidade de fornecimento externo de água, adotou-se o método de simulação considerando a área de cobertura do telhado, equivalente a 136 m<sup>2</sup>. Utilizou-se a precipitação média anual de 1462,57 mm, referente ao período entre 2015 e 2025. Para o cálculo do volume de captação de água pluvial, foi aplicado o coeficiente de escoamento superficial (*run-off*) de 0,95, valor recomendado para áreas centrais de bacias e superfícies pavimentadas em asfalto, de modo a representar adequadamente a eficiência da coleta de água proveniente da superfície dos telhados.

A análise apresentada na tabela abaixo (Tabela 8) indica a necessidade de implantação de um reservatório com capacidade de 4 m<sup>3</sup>, garantindo o suprimento integral da demanda hídrica prevista e eliminando a dependência de fornecimento externo de água para as atividades propostas.

Tabela 8 - calculo de volume de reservatório pelo metodo de simulação.

COLUNA 01	COLUNA 02	COLUNA 03	COLUNA 04	COLUNA 05	COLUNA 06	COLUNA 07	COLUNA 08	COLUNA 09	COLUNA 10	COLUNA 11	COLUNA 12
MESES	P MÉDIA MENSAL EM MM (10 ANOS)	P MÉDIA MENSAL EM M (10 ANOS)	ÁREA DE CAPTAÇÃO	COEFICIENTE DE RUN-OFF	VOLUME CAPTADO (M3) (Qt)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO T-1 (St-1)	DEMANDA MENSAL (Dt) (M3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO TEMPO T (St) - St = Qt + St-1 - Dt	RESERVATORIO FIXADO (M3)	OVERFLOW AGUA JOGADA FORA	SUPRIMENTO DE ÁGUA EXTERNA. (M3)
JANEIRO	314,18	0,31418	136,000	0,95	40,59	0,00	2,10	38,49	4,00	34,49	0,00
FEVEREIRO	244,71	0,24471	136,000	0,95	31,62	4,00	2,10	33,52	4,00	29,52	0,00
MARÇO	149,67	0,14967	136,000	0,95	19,34	4,00	2,10	21,24	4,00	17,24	0,00
ABRIL	61,27	0,06127	136,000	0,95	7,92	4,00	2,10	9,82	4,00	5,82	0,00
MAIO	23,85	0,02385	136,000	0,95	3,08	4,00	2,10	4,98	4,00	0,98	0,00
JUNHO	10,35	0,01035	136,000	0,95	1,34	4,00	2,10	3,24	4,00	0,00	0,00
JULHO	1,96	0,00196	136,000	0,95	0,25	3,34	2,10	1,49	4,00	0,00	0,00
AGOSTO	8,86	0,00886	136,000	0,95	1,14	1,59	2,10	0,63	4,00	0,00	0,00
SETEMBRO	30,6	0,0306	136,000	0,95	3,95	0,73	2,10	2,58	4,00	0,00	0,00
OUTUBRO	136,06	0,13606	136,000	0,95	17,58	2,68	2,10	18,16	4,00	14,16	0,00
NOVEMBRO	204,22	0,20422	136,000	0,95	26,39	4,00	2,10	28,29	4,00	24,29	0,00
DEZEMBRO	276,84	0,27684	136,000	0,95	35,77	4,00	2,10	37,67	4,00	33,67	0,00
total	1462,57	mm		SOMA	188,96	M3			TOTAL	160,16	

DESCRIÇÃO DE CADA COLUNA	
COLUNA 02	PRECIPITAÇÃO MÉDIA EM MM DOS MESES EM UM PERÍODO DE TEMPO DE 10 ANOS ( DADOS RETIRADOS DO INMET)
COLUNA 03	PRECIPITAÇÃO MÉDIA CONVERTIDO EM METROS (M) DOS MESES EM UM PERÍODO DE TEMPO DE 10 ANOS ( DADOS RETIRADOS DO INMET)
COLUNA 04	ÁREA DE CAPTAÇÃO (TELHADO QUE SERÁ PROJETADO O RESERVATÓRIO)
COLUNA 05	COEFICIENTE DE RUN-OFF PARA ÁREAS CENTRAIS (DADOS RETIRADO DO DNIT)
COLUNA 06	VOLUME CAPTADO DA ÁREA DE CAPTAÇÃO (Qt=C*P*A (VOL CAPTAÇÃO)) = COL. 06 = COL. 03 * COL. 04 * COL. 05.
COLUNA 07	VOLUME DO RESERVATÓRIO NO INÍCIO DO MÊS. (PRIMEIRO MÊS IGUAL A ZERO)
COLUNA 08	O USO MENSAL NECESSÁRIO PARA O USO (LAVAGEM DE CARROS, PÁTIO, REGAR PLANTAS...)
COLUNA 09	VOLUME NO TEMPO T
COLUNA 10	VOLUME DO RESERVATÓRIO FIXADO (ESTUDADO)
COLUNA 11	VOLUME ACIMA DO RESERVATÓRIO FIXADO
COLUNA 12	SUPRIMENTO DE ÁGUA CASO O VOLUME DO RESERVATÓRIO NO TEMPO T SEJA ABAIXO DO RESERVATÓRIO FIXADO

Fonte: Próprio autor.

## 6.6 ORÇAMENTO E RETORNO DO INVESTIMENTO

Na tabela 9, abaixo está o levantamento do custo dos materiais (insumos) e mão de obra para a execução do sistema de captação de água da chuva. Foi levantado os preços para o orçamento utilizando como fonte as tabelas disponibilizadas pela Sudecap e Sinapi referentes aos meses, respectivamente, janeiro de 2025 e abril de 2025. A loja Casas Bahia foi consultada somente para a cotação da caixa d'água para o reservatório de água captada da chuva.

Os preços das tabelas Sudecap e Sinapi, em suas composições, já engloba a mão de obra para a execução do serviço, como todos os insumos necessários para a execução do respectivo serviço. Será considerado a instalação de um reservatório de 5m<sup>3</sup> pois na pesquisa do mercado em relação ao produto, não é vendido reservatório de 4m<sup>3</sup>.

Tabela 9 – Levantamento de preços para instalação do sistema

CÓDIGO / TABELA	MATERIAL	UNID.	VALOR UNIT.	QUANT.	TOTAL (INSUMO)	TABELA
COMPOSIÇÃO	CALHA EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO NÚMERO 28, DESENVOLVIMENTO/CORTE DE 25 CM, INCLUSO TRANSPORTE VERTICAL. AF_07/2019	m	R\$ 31,62	27,00	R\$ 853,74	SINAPI
73.24.05	TUBO PVC ESGOTO/PLUVIAL PONTA E BOLSA SERIE NORMAL D= 150MM X 6M	m	R\$ 36,95	6,00	R\$ 221,70	SUDECAP
73.24.03	TUBO PVC ESGOTO/PLUVIAL PONTA E BOLSA SERIE NORMAL D= 75MM X 6M	m	R\$ 14,56	6,00	R\$ 87,36	SUDECAP
MERCADO	JOELHO 90° PVC PARA ESGOTO/PLUVIAL 150MM OU 6" TIGRE	unid.	R\$ 56,90	1,00	R\$ 56,90	LEROY MERLIN
MERCADO	CAIXA D'ÁGUA FORTLEV - 5000L	unid.	R\$ 2.243,15	1,00	R\$ 2.243,15	CASAS BAHIA
				<b>total.</b>	<b>R\$ 3.462,85</b>	

Fonte: Tabelas Sinapi, Sudecap e Mercado.

Para o cálculo de retorno de investimento pela equação (19), foi utilizado o valor total orçado do sistema de captação que resultou em R\$ 3.462,85, o valor das parcelas anualmente pagas iguais será de R\$ 127,76, taxa média de juros do IPCA entre os anos de 2016 a 2025 foi de 5,299%. Com esses dados, o período em anos do retorno de investimento financeiro é bastante expressivo (27 anos) pois o consumo anual no abatimento é muito pequeno (R\$ 127,76), porém há o ganho ambiental na diminuição do consumo da água potável advindo de uma concessionária assim como a contribuição na redução de enchentes, além do aspecto educativo (exemplo para outras pessoas) que a estrutura propõe.

## 6.7 DISCUSSÃO SOBRE AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DE POSSÍVEL INSTALAÇÃO DO SISTEMA

Na tabela/quadro a seguir (tabela 10) estão apresentados os principais aspectos relacionados às vantagens e desvantagens/desafios da instalação de um reservatório individual para captação de água pluvial no local escolhido. De forma geral, conclui-se que o sistema ele apresenta um grande significado ambiental, porém é preciso se atentar aos custos do projeto e a estrutura já existente.

Tabela 10 - Vantagens e desvantagens de instalação de um reservatório para captação de água pluvial

<b>Categoria</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Detalhes</b>	<b>Impacto</b>
<b>Econômico</b>	Redução de custos operacionais	Economia na conta de água para limpeza, irrigação e sanitários.	Positivo
	Investimento inicial	Custo com reservatórios, bombas, filtros, tubulações e mão de obra especializada.	Negativo
	Retorno sobre investimento (ROI)	Pode ocorrer em médio prazo, dependendo do volume de uso e da tarifa de água local.	Positivo
<b>Infraestrutura</b>	Espaço físico disponível	Necessário para instalação de reservatórios e sistemas de captação.	Pode ser limitante
	Adaptação de estrutura existente	Pode exigir reformas em telhados, calhas e áreas técnicas.	Negativo
<b>Características Técnicas</b>	Qualidade da água	Água não potável, adequada apenas para usos específicos. Requer filtragem básica.	Restritivo
	Manutenção do sistema	Limpeza periódica de reservatórios, troca de filtros e inspeções técnicas.	Requer atenção
	Capacidade de armazenamento	Deve ser dimensionada conforme área de captação e demanda de uso.	Essencial
<b>Sustentabilidade</b>	Redução do impacto ambiental	Menor consumo de água potável e menor carga sobre sistemas de drenagem urbana.	Positivo
<b>Regulação</b>	Normas técnicas	Deve seguir normas da ABNT, vigilância sanitária e corpo de bombeiros.	Requer conformidade

Fonte: Próprio autor.

## 7 Conclusão.

O sistema de captação e aproveitamento da água da chuva dimensionado se mostra tecnicamente viável para ser executado para lavagem de veículos e do pátio da edificação localizada no Bairro Ipiranga, Região Nordeste de Belo Horizonte. A área de captação da água da chuva se mostra suficiente para a projeção da demanda atual, podendo ser utilizada para demandas futuras superiores (como lavar um maior número de automóveis ou aumentar o número de lavagens mensais dos automóveis e/ou do pátio).

No levantamento da demanda, foi calculado uma economia de 2,10 m<sup>3</sup> ao mês, totalizando uma economia no consumo de água de 25,20 m<sup>3</sup> por ano, demonstrando assim um menor uso da água potável da concessionária de distribuição da água, podendo essa água ser utilizada para outros fins.

Pelo método de cálculo apresentado foi encontrado um excesso de volume de água (*Overflow*) de 160,16 m<sup>3</sup>, volume este que, para estudos futuros, pode ser utilizado para outros fins, como exemplos o uso para irrigação de plantas e lavagem de mais automóveis, e não somente ser descartado na rede de drenagem pública.

Muito além que o benefício econômico que o mesmo proporciona, o sistema pode ser considerado sustentável pois ele também colabora propriamente na redução do uso de água potável, na diminuição do volume do transporte da água da chuva para a rede pública de drenagem, além de sua implantação servir de modelo/exemplo para outras pessoas que tiverem acesso ao sistema.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, Simar Vieira de; PEREIRA, Daniel José de Andrade. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 53–66, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/5359>. Acesso em: 8 ago. 2025.

Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte: ReCESA, 2007. 52 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1989. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis -Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2007. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis — Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2019. 10 p.

ALENCAR, Samira et al. **Técnicas compensatórias de drenagem urbana para manejo de águas pluviais**: revisão sistemática e análise comparativa de métodos convencionais e inovadores no estado do Mato Grosso. XIV Encontro Nacional de Águas Urbanas e IV Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos. 2022.

ARAGÃO, R. DE et al. Impacto do uso do solo pelo aumento da densidade populacional sobre o escoamento numa área urbana do Nordeste Brasileiro via geotecnologias e modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 543–557, 2017.

Araújo, P. R; Tucci, C.E.; Goldenfum, J. A. (2000) Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n. 3, p. 21-29. DOI: 10.21168/rbrh.v5n3.p21-29.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

Baptista, Márcio; Nascimento, Nilo; Barraud, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, Porto Alegre: ABRH, 2015. 2ª reimpressão da 2ª edição 318p.

Brasil. Departamento Nacional de Infra – Estrutura de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisa Rodoviárias. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. – 2. Ed. – Rio de Janeiro, 2005. 133p. (IPR. Publ., 715).

BRASIL. INMET. . **BDMEP**: dados históricos. Dados Históricos. 2025. Governo Federal. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados->

[hist%C3%B3ricos#:~:text=Instituto%20Nacional%20de%20Meteorologia%20%2D%20INMET](#). Acesso em: 14 jun. 2025.

Butler, D.; Davies, J. W. **Urbain Drainage**. Londres: St Edmundsbury Press. 2000.

CANHOLI, ALUÍSIO PARDO. **Drenagem urbana e controle de enchentes** / Aluísio Pardo Canholi. – 2. ed. – São Paulo : Oficina de Textos, 2014.

CARTAS de Inundações. 2024. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/diretoria-de-gestao-de-aguas-urbanas/cartas-de-inundacoes>. Acesso em: 12 jun. 2025.

CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 94-108, dez. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042019s307>.

CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 94-108, dez. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042019s307>.

Coutinho, Artur Paiva. **Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade do Recife** / Artur Paiva Coutinho - Recife: O Autor, 2013. xx, 132 folhas, gráfs. Tabs.

DIETZ M. Low impact development practices: a review of current research and recommendations for future directions. **Water Air Soil Pollut.** v.186, 2007.

FREDERICO FILHO,; TUCCI, Carlos. Alteração na relação entre densidade habitacional x área impermeável: porto alegre,rs. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 50-55, 2012. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v9n1.p50-55>.

G1 MINAS (Belo Horizonte). **BH tem o dia com mais chuva na história da cidade, diz Inmet**: medição foi feita entre as 9h de quinta-feira (23) e as 9h desta sexta. veja imagens da chuva.. Medição foi feita entre as 9h de quinta-feira (23) e as 9h desta sexta. Veja imagens da chuva.. 2020. G1 - Minas Gerais. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/01/24/bh-tem-recorde-com-o-dia-de-mais-chuva-em-110-anos-diz-inmet.ghtml>. Acesso em: 14 jun. 2025.

Magalhães Filho, Luiz Cláudio de Almeida: **Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração**: Belo Horizonte, uma análise exploratória / Luiz Cláudio de Almeida Magalhães Filho. – Belo Horizonte, 2006.

MARTINS, Leandro Guimarães Bais. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade

de São Paulo, São Carlos, Sp, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16042018-103719/pt-br.php>. Acesso em: 27 maio 2025.

MENEZES FILHO, F. C. M. DE; TUCCI, C. E. M. Alteração na relação entre densidade habitacional e área impermeável: Porto Alegre - RS. **Revista de estão de Água da América Latina**, v. 9, n. 1, p. 49–55, 2012

NOLETO, Railana Gomes; RODRIGUES, Camila Ribeiro. ANÁLISE CRÍTICA DAS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA. **Revista Científica Semana Acadêmica**, [S.L.], v. 12, n. 242, p. 1-14, 8 jan. 2024. Revista Científica Semana Acadêmica. <http://dx.doi.org/10.35265/2236-6717-242-12889>.

PREFEITURA de Belo Horizonte mapeia principais pontos de alagamento da cidade. 2020. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/prefeitura-de-belo-horizonte-mapeia-principais-pontos-de-alagamento-da-cidade>. Acesso em: 12 jun. 2025.

**RUAS SÃO ALAGADAS E CARROS ARRASTADOS APÓS FORTE CHUVA EM BH:** Na Região Oeste, o volume de chuva registrado neste sábado (26) ultrapassou o total esperado para o mês inteiro.. Belo Horizonte, 26 out. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2024/10/26/videos-chuva-provoca-alagamentos-queda-de-arvores-e-arrasta-carro-em-bh.ghtml>. Acesso em: 12 jun. 2025.

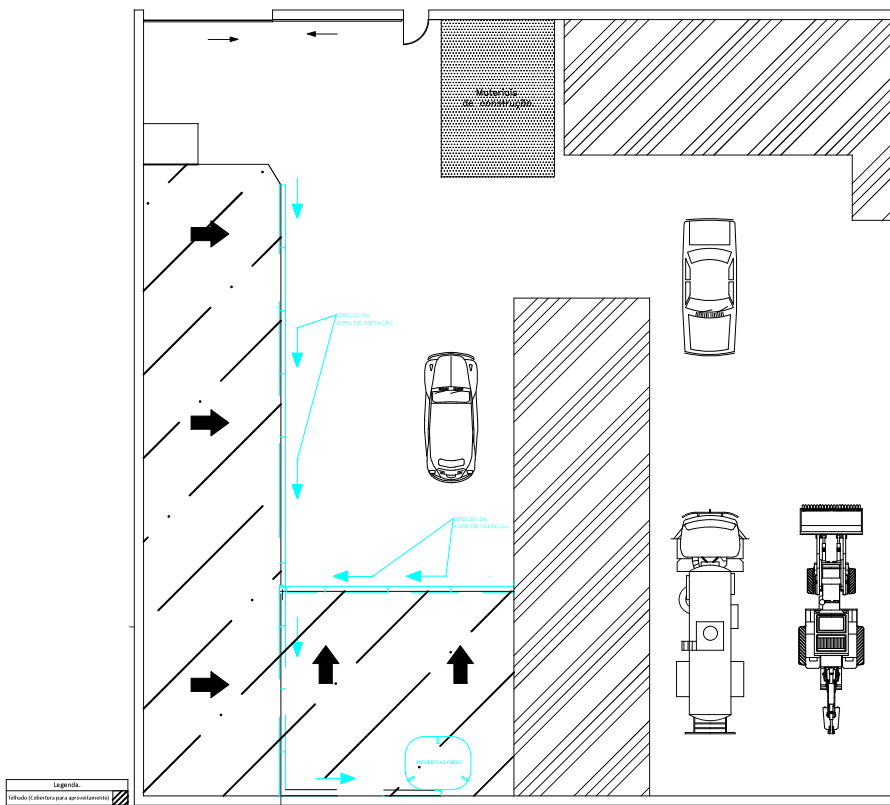
RUPP, Ricardo Formaggiarini; MUNARIM, Ulisses; GHISI, Enedir. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. *Ambiente Construído*, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 47-64, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212011000400005>.

TEMPESTADE ALAGA AVENIDA VILARINHO, EM BELO HORIZONTE, NA NOITE DESTA QUINTA-FEIRA (16): Imagens recebidas pela reportagem mostram a água tomando conta da rua, enquanto alguns carros tentam passar pelo local. Belo Horizonte, 16 jan. 2025. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/2025/1/16/tempestade-alaga-avenida-vilarinho-em-belo-horizonte-na-noite-desta-quinta-feira-16>. Acesso em: 12 jun. 2025.

Tucci CEM, Cordeiro OM. Diretrizes estratégicas para a ciência e tecnologia em recursos hídricos no Brasil. REGA. 2004; 1(1):21-35.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. DE M. C. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília - DF: UNESCO, 2001.

**APÊNDICE A – RESERVATÓRIO PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA,  
LOCAL PARA INSTALAR O SISTEMA.**



Projeto:  
**Reservatório para captação da água da chuva.**

Nome:  
**Local para instalar o sistema.**

Nome:  
**Lucas Rodrigues Maciel**

Campus:  
**IFMG - Santa Luzia**

Escala: 1/12

Cotas em cm.

Data:  
 08/12/2025

Folha : Única