

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**THAYNARA FERNANDA RIBEIRO DOS SANTOS**

**DRENAGEM URBANA: ESTUDO DE CASO EM RELAÇÃO AO AUMENTO DO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM CRUZAMENTO NO MUNICÍPIO DE  
PARAISÓPOLIS – MG**

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

**THAYNARA FERNANDA RIBEIRO DOS SANTOS**

**DRENAGEM URBANA: ESTUDO DE CASO EM RELAÇÃO AO AUMENTO DO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM CRUZAMENTO NO MUNICÍPIO DE  
PARAISÓPOLIS – MG**

**Urban drainage: case study regarding the increase in surface flow at a  
crossroad in the city of Paraisópolis - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientadora: Profa. Dra. Paula Cristina de Souza.

**CAMPO MOURÃO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**THAYNARA FERNANDA RIBEIRO DOS SANTOS**

**DRENAGEM URBANA: ESTUDO DE CASO EM RELAÇÃO AO AUMENTO DO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM CRUZAMENTO NO MUNICÍPIO DE  
PARAISÓPOLIS – MG**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22/novembro/2022

---

Paula Cristina de Souza  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Eliana Fernandes dos Santos  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Helton Rogério Mazzer  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, pelo amparo nos momentos difíceis durante a graduação.

Meus agradecimentos aos meus amigos Dayane, Eduarda, Natani e Renan, que percorreram essa caminhada comigo e com certeza continuarão fazendo parte da minha vida.

Agradeço a todos os servidores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná do campus Campo Mourão e aos membros docentes por ter compartilhado o conhecimento conosco.

Agradeço à professora orientadora Paula Cristina de Souza, que me ajudou a conduzir este trabalho.

Sou eternamente grata a minha família, especialmente minha mãe Ilca, e irmãos Hállan, Handrew, Haislan e Handerson por possibilitar a minha permanência na universidade.

E por fim, um agradecimento especial ao meu primo Thiago e cunhada Karen, que me auxiliaram na etapa final da graduação.

## RESUMO

A falta de planejamento nos centros urbanos ocasiona diversos problemas, sendo um deles relacionado à drenagem urbana. O presente trabalho tem como objetivo analisar a drenagem urbana do município de Paraisópolis – MG, na região do cruzamento entre a Rua Capitão Antônio Augusto de Almeida com a Avenida Avelina Ribeiro e Travessa Arnóbio Dantas, devido ao aumento do escoamento superficial. A análise consistiu em delimitar a bacia de drenagem que incide sobre o cruzamento através do software QGIS®; determinar o coeficiente de *runoff*, baseando-se na via crítica adotada como parâmetro de comparação com a bacia; comparar o aumento do volume de escoamento superficial para cada substituição de pavimento, através do cálculo da vazão, baseando-se nos valores obtidos do coeficiente de *runoff*; e propor uma solução alternativa ao problema, aplicando drenagem sustentável. Além disso, também foi realizada uma verificação das distâncias do posicionamento das bocas de lobo a fim de avaliar se a captação de águas pluviais pelo sistema hidráulico urbano é feita adequadamente. Os resultados obtidos demonstram que à medida em que as substituições de pavimentos eram efetuadas, os valores do coeficiente de runoff aumentaram devido ao tipo do material, aumentando consequentemente os valores das vazões. Constatou-se que a vazão do escoamento superficial entre o paralelepípedo e bloco sextavado aumentou 30% e do paralelepípedo para o revestimento asfáltico 38%. Ademais, verificou-se que pelo menos 9 bocas de lobo deveriam ser inseridas na via crítica para respeitar o limite de 60 metros de distância entre eles, verificando que há falha na captação de água da chuva. Por fim, foram propostas técnicas sustentáveis baseando-se no reservatório de retenção e/ou retenção ao longo do curso dos córregos para a solução do problema.

Palavras-chave: drenagem urbana; drenagem sustentável; escoamento superficial.

## ABSTRACT

The lack of planning in urban centers causes several problems, one of which is related to urban drainage. The present work aims to analyze the urban drainage of the city of Paraisópolis - MG, in the region of the intersection between Rua Capitão Antônio Augusto de Almeida with Avenida Avelina Ribeiro and Travessa Arnóbio Dantas, due to the increase in surface runoff. The analysis consisted of delimiting the drainage basin that affects the crossing using the QGIS® software; to determine the runoff coefficient, based on the critical street adopted as a parameter for comparison with the basin; to compare the increase in surface runoff volume for each pavement replacement, through the calculation of the flow, based on the values obtained from the runoff coefficient; and propose an alternative solution to the problem, applying sustainable drainage. In addition, a verification of the distances from the positioning of the storm drains was also carried out in order to assess whether the capture of rainwater by the urban hydraulic system is done properly. The results obtained demonstrate that as the pavement replacements were implemented, the values of the runoff coefficient was increased due to the type of material, consequently increasing the flow values. It was found that the flow of surface runoff between the cobblestone and hexagonal paver block increased by 30% and from the cobblestone to the asphalt 38%. In addition, it was found that at least 9 storm drains should be inserted into the critical street to respect the 60 meter distance limit between them, verifying that there is a failure to capture rainwater. Finally, sustainable techniques were proposed based on the detention and/or retention reservoir along the course of the streams to solve the problem.

Keywords: urban drainage; sustainable drainage; surface runoff.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - Posicionamento do município de Paraisópolis – MG. ....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2 - Diagrama esquemático do ciclo hidrológico. ....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3 - Seção transversal de formas da precipitação alcançar um curso d'água. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4 - Vista plana de uma típica bacia de drenagem. ....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5 - Impacto da vegetação no controle do escoamento superficial no Instituto Florestal Cunha – SP. ....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 6 - Exemplo de reservatório de detenção. ....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 7 - Exemplo de reservatório de retenção ....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 8 – Exemplo de reservatório de lote. ....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 9 - Tipos de pavimentos. ....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 10 - Exemplo de vala de infiltração. ....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 11 - Trincheira de infiltração e técnicas de cobertura vegetal. ....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 12 - Exemplo de trincheira de infiltração. ....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 13 - Camadas que compõem o telhado verde. ....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 14 - Exemplo de telhado verde. ....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 15 - Ponto de ônibus com telhado verde na cidade de Caxias do Sul – RS. ....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 16 - Cruzamento alagado. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 17 - Exemplo de reservatório de retenção localizado no Parque Ibirapuera. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 18 - Exemplo de reservatório de retenção localizado no Parque Campolim. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 19 - Exemplo de bacia de detenção a céu aberto na Praça Júlio Andreatta. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 20 - Exemplo de bacia de detenção a céu no loteamento Ecoville. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 21 - Exemplo de bacia de detenção coberto na Praça Celso Luft. ....</b>	<b>51</b>
<b>Fotografia 1 - Exemplo de pavimento composto por paralelepípedo. ....</b>	<b>42</b>
<b>Fotografia 2 - Exemplo de pavimento composto por bloco de concreto sextavado. ....</b>	<b>42</b>
<b>Fotografia 3 - Via crítica com revestimento asfáltico na situação atual. ....</b>	<b>43</b>

<b>Fotografia 4 - Obras de drenagem realizadas na região do cruzamento. ....</b>	<b>55</b>
<b>Mapa 1 - Representação da área da bacia de drenagem em relação ao limite do município. ....</b>	<b>37</b>
<b>Mapa 2 - Representação da delimitação da bacia de drenagem, curvas de nível e córregos. ....</b>	<b>38</b>
<b>Mapa 3 - Área da bacia de drenagem em relação a área urbana. ....</b>	<b>39</b>
<b>Mapa 4 - Imagem de satélite da área da bacia de drenagem. ....</b>	<b>40</b>
<b>Mapa 5 - Representação da via crítica e o cruzamento. ....</b>	<b>41</b>
<b>Mapa 6 - Posicionamento das bocas de lobo na via crítica. ....</b>	<b>46</b>
<b>Mapa 7 - Possíveis áreas para implementação de reservatórios. ....</b>	<b>52</b>
<b>Mapa 8 – Possível área 1 para implementação de reservatório. ....</b>	<b>53</b>
<b>Mapa 9 – Possíveis áreas 2 e 3 para implementação de reservatórios. ....</b>	<b>54</b>
<b>Quadro 1 - Valores de "C" adotados pela Prefeitura Municipal de São Paulo... </b>	<b>19</b>
<b>Quadro 2 - Resultados das simulações de chuva nas superfícies simuladas... </b>	<b>19</b>
<b>Quadro 3 - Valores de "C" . ....</b>	<b>20</b>
<b>Quadro 4 - Períodos de retorno para diferentes ocupações de área. ....</b>	<b>44</b>
<b>Quadro 5 - Tempos de concentração para poços de visita situados em cabeceira de rede. ....</b>	<b>45</b>
<b>Quadro 6 - Resultados das vazões. ....</b>	<b>45</b>
<b>Quadro 7 - Verificação das distâncias entre as bocas de lobo. ....</b>	<b>47</b>
<b>Quadro 8 - Classificação de reservatórios urbanos de amortecimentos de cheias. ....</b>	<b>48</b>



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
SUDS	Sustainable Urban Drainage System
QGIS	Quantum GIS
FOSS	Free and Open Source Software
SIG	Sistema de Informação Geográfica
MDE	Modelo Digital de Elevação
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>Sobre o município</b> .....	<b>14</b>
<b>4.2</b>	<b>Bacias hidrográficas</b> .....	<b>15</b>
<b>4.3</b>	<b>Escoamento superficial</b> .....	<b>17</b>
4.3.1	Coeficiente de <i>runoff</i> .....	18
<b>4.4</b>	<b>Método racional</b> .....	<b>20</b>
<b>4.5</b>	<b>Drenagem urbana e urbanização</b> .....	<b>21</b>
<b>4.6</b>	<b>Drenagem sustentável</b> .....	<b>23</b>
4.6.1	Técnicas de armazenamento .....	24
4.6.1.1	Reservatórios de detenção .....	24
4.6.1.2	Reservatórios de retenção .....	25
4.6.1.3	Reservatórios de lote .....	26
4.6.2	Técnicas de infiltração .....	27
4.6.2.1	Pavimento permeável .....	28
4.6.2.2	Vala de infiltração .....	29
4.6.2.3	Trincheira de infiltração .....	30
4.6.2.4	Telhado verde .....	31
<b>4.7</b>	<b>QGIS®</b> .....	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
<b>5.1</b>	<b>Delimitação da bacia de drenagem</b> .....	<b>35</b>
<b>5.2</b>	<b>Determinação do Coeficiente de <i>runoff</i></b> .....	<b>35</b>
<b>5.3</b>	<b>Comparação do aumento do escoamento superficial</b> .....	<b>36</b>
<b>5.4</b>	<b>Solução alternativa</b> .....	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>37</b>
<b>6.1</b>	<b>Delimitação da bacia de drenagem</b> .....	<b>37</b>
<b>6.2</b>	<b>Determinação do coeficiente de <i>runoff</i></b> .....	<b>40</b>

<b>6.3 Comparação do aumento do escoamento superficial .....</b>	<b>43</b>
<b>6.4 Solução alternativa .....</b>	<b>48</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As modificações ocasionadas pela constante urbanização em relação à ocupação do solo podem resultar em sérios problemas econômicos e sociais, como ocorre no caso de enchentes e inundações. Estas complicações ao longo do tempo podem acarretar em mudanças na qualidade tanto do ambiente natural, quanto do ambiente construído, como danos estruturais e habitacionais, propagação de doenças, desvalorização do ambiente, degradação do ambiente natural, dentre outros (MIGUEZ *et al.*, 2015).

O principal empecilho envolvendo a drenagem urbana está diretamente ligada à ocupação urbana. De acordo com Tucci (2003, p. 36), o “grande desenvolvimento urbano no Brasil ocorreu no final dos anos 1960 até o final dos anos 1990, quando o país passou de 55% de população urbana para 76%”. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2015) através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD, a ocupação em áreas urbanas alcançou cerca de 84,72% da população brasileira. O deslocamento da população da área rural aos grandes centros urbanos promoveu alteração no ciclo hidrológico, resultando em enchentes e mudança na qualidade das águas pluviais (ARAÚJO *et al.*, 2000).

Diante do problema citado acima, faz-se necessário uma compreensão mais abrangente acerca da drenagem urbana e seus sistemas, a fim de obter melhores soluções em relação aos problemas existentes, uma vez que envolvem aspectos sociais, tecnológicos, legais e institucionais. Além disso, destaca-se que há um tempo deixou de ser um assunto exclusivo da engenharia, justamente devido à falência de soluções técnicas e também da problemática ambiental envolvida (TUCCI, 2012; POMPÊO, 2000).

Devido ao cenário atual, a busca por medidas alternativas para o manejo de águas pluviais está sendo cada vez mais fundamentais para o controle dos problemas originados pela constante urbanização, que altera o ciclo hidrológico. Segundo Martins (2012, p. 6), “políticas de implantação de técnicas compensatórias que favoreçam a permeabilidade, a detenção e a depuração são exemplos de procedimentos sustentáveis a serem executados de forma permanente”. Dessa forma, essas técnicas podem ser efetivadas na própria fonte do problema ou nos sistemas de micro e macrodrenagem (TUCCI, 2003).

## 2 OBJETIVOS

Os itens 2.1 e 2.2 descrevem respectivamente o objetivo geral e objetivos específicos deste estudo.

### 2.1 Objetivo geral

Analisar a drenagem urbana do município de Paraisópolis – MG, na região do cruzamento entre a Rua Capitão Antônio Augusto de Almeida com a Avenida Avelina Ribeiro e Travessa Arnóbio Dantas, devido ao aumento do escoamento superficial.

### 2.2 Objetivos específicos

- Delimitar a bacia de drenagem que incide sobre a região do cruzamento entre Rua Capitão Antônio Augusto de Almeida com a Avenida Avelina Ribeiro e Travessa Arnóbio Dantas;
- Determinar coeficiente de *runoff*;
- Comparar o aumento do volume de escoamento superficial devido à substituição do pavimento da via, baseado no coeficiente de *runoff*;
- Propor solução alternativa ao problema de escoamento superficial no cruzamento aplicando drenagem sustentável.

### 3 JUSTIFICATIVA

A modificação da condição da superfície em companhia às medidas de canalização de escoamento é feita de modo insustentável, fazendo com que ocorra a alteração significativa no ciclo hidrológico e gerando inúmeros transtornos para a população urbana. Como consequência, o aumento da vazão máxima em uma bacia urbana pode alcançar mais de seis vezes em relação à situação anterior, sendo este fato já constatado por países desenvolvidos os quais utilizam há mais de 30 anos técnicas de caráter sustentável para mitigar os problemas provenientes das consequências da urbanização (TUCCI, 2003).

Mediante aos problemas ocasionados pela indevida ocupação do solo em áreas urbanas em períodos de chuvas de grande intensidade, a substituição do pavimento permeável pelo impermeável aumenta o escoamento superficial, sobrecarregando o sistema de drenagem, o qual não é capaz de atender a demanda e conseqüentemente, podendo formar inundações que resultam em desconforto e perdas materiais para a população. Sendo assim, as consequências para a população de maneira geral são relacionadas às questões sociais e econômicas.

A realização deste trabalho está relacionada à importância que o local do estudo representa para o município, pois além de abrigar uma boa parcela da população, contém uma avenida de grande movimento e a região em volta do cruzamento possui empresas, comércios e residências. Além disso, em função de estar situado no trajeto de veículos que tanto se deslocam dentro da cidade, quanto para outras cidades da região, torna-se relevante, pois os surgimentos de alagamentos causam transtornos à população local e a mobilidade urbana geral. Portanto, diante ao presente estudo é esperado encontrar alternativas sustentáveis a fim de promover o bem-estar da população afetada pela ineficiência do sistema de drenagem urbana.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é retratado tópicos relacionados ao tema, contendo técnicas relevantes para solucionar os problemas indicados no estudo.

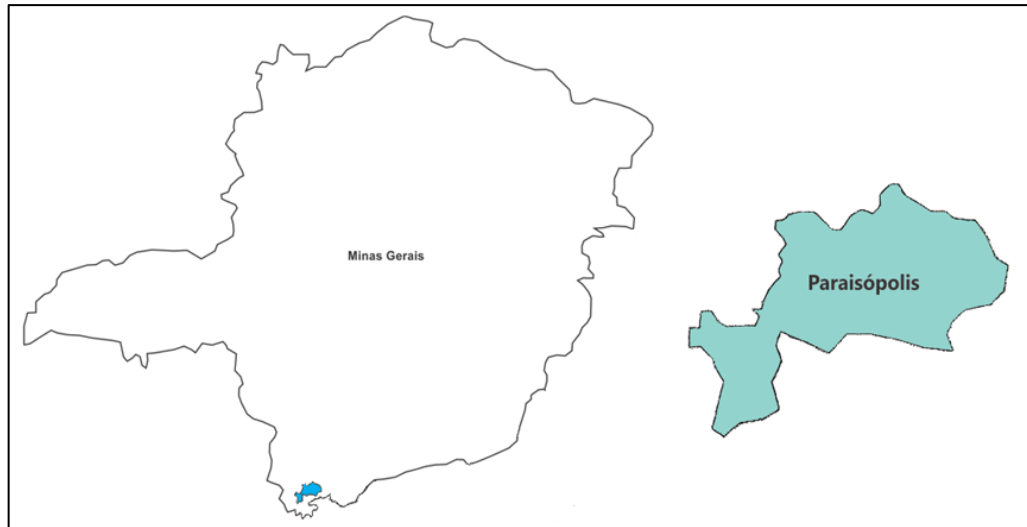
### 4.1 Sobre o município

A cidade de Paraisópolis – MG, fundada em 25 de janeiro de 1873, está localizada na Serra da Mantiqueira e posicionada ao sul do estado Minas Gerais entre as coordenadas geográficas 22° 33' 5" sul e 45° 46' 45" oeste, fazendo parte da microrregião de Itajubá - MG. Segundo o IBGE, o município possui uma população de 21.353 habitantes e sua área estimada em 331,238 km<sup>2</sup> (PREFEITURA DE PARAISÓPOLIS – MG, 2021; CIDADE BRASIL, 2021; IBGE, 2021).

O relevo do município encontra-se em uma área muito acidentada, a qual sua altitude mínima é de 845 metros e a máxima atingindo 2010 metros, na divisa com a cidade de Camanducaia – MG. Aos 1410 metros de altitude, situa-se o Parque Ecológico do Brejo Grande, o qual está localizada a represa mais alta do Brasil, funcionando como fonte secundária de abastecimento de água na região (INPE, 2011; IBGE, 2021).

De acordo com a empresa NS Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), ao tangenciar a área urbana da cidade, encontra-se o Rio Sapucaí Mirim, sendo este o principal rio da região, o qual sua nascente está localizada na cidade de Sapucaí Mirim – MG e a sua foz na cidade de Pouso Alegre – MG, afluindo no rio Sapucaí, o qual banha os estados de Minas Gerais e de São Paulo. A localização do município conforme sua região é apresentada na Figura 1.

**Figura 1 - Posicionamento do município de Paraisópolis – MG.**

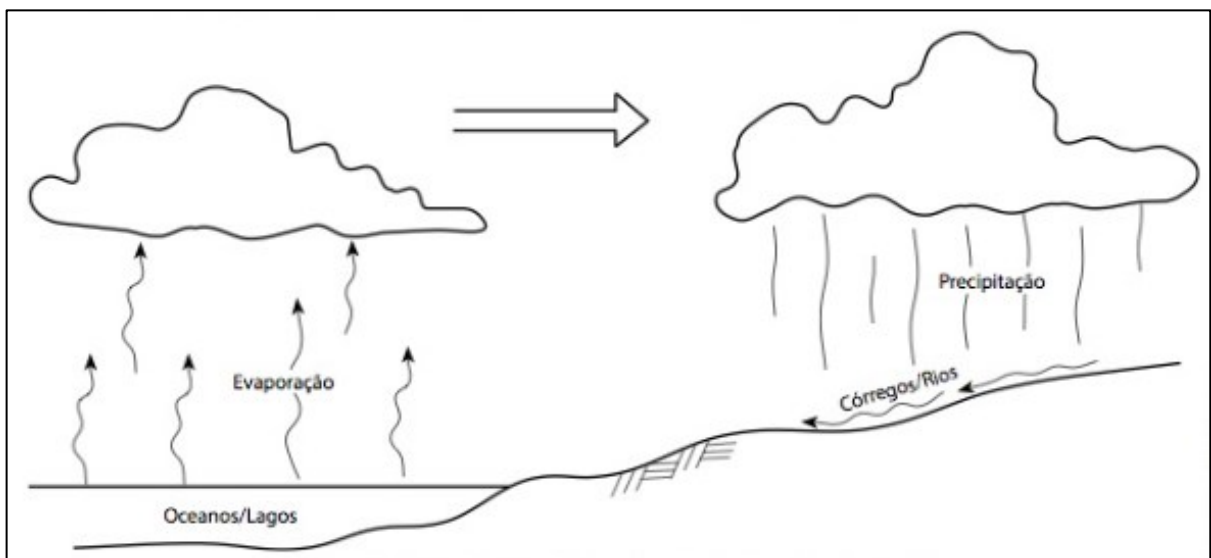


Fonte: Adaptado de Grupo Dispersores (2019).

#### 4.2 Bacias hidrográficas

Em virtude da relevância do ciclo hidrológico para os estudos relacionados ao planejamento urbano, principalmente no caso de drenagem, é preciso contextualizar os elementos que o compõem para a realização da fundamentação teórica do trabalho em questão. Mais especificamente, é possível observar a esquematização do ciclo hidrológico na Figura 2 e posteriormente, como a água da chuva pode alcançar o curso d'água na Figura 3.

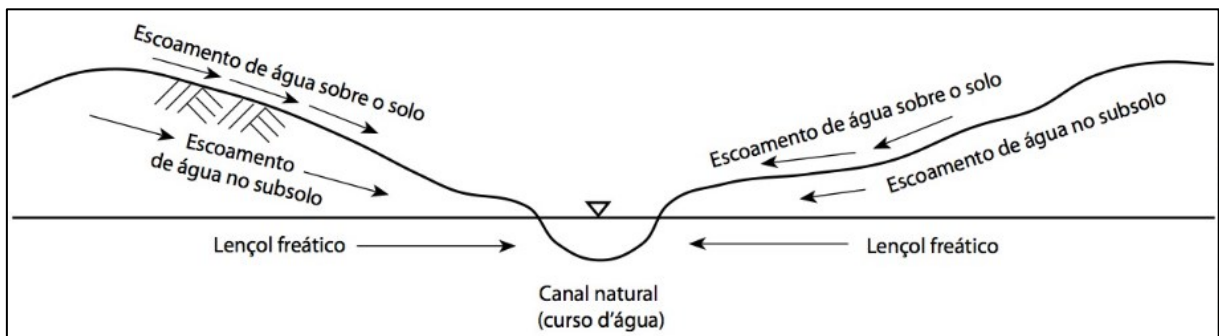
**Figura 2 - Diagrama esquemático do ciclo hidrológico.**



Fonte: Gribbin (2014, p. 162).



**Figura 3 - Seção transversal de formas da precipitação alcançar um curso d'água.**



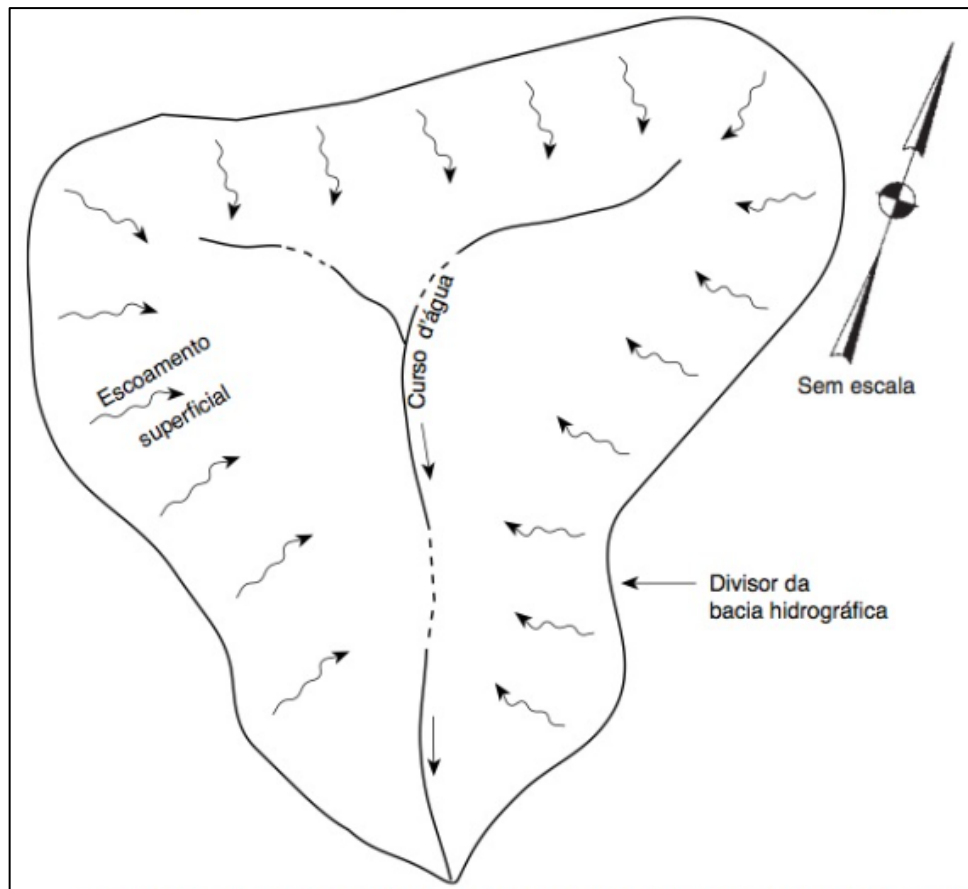
Fonte: Gribbin (2014, p. 162).

De um modo simplificado, antes da água pluvial precipitada afluir em um canal hídrico, primeiramente, seu surgimento se dá pela evaporação da água presente oceanos e lagos, formando nuvens as quais se deslocam pela atmosfera. A partir da evaporação, a água condensa e precipita em forma de chuva, podendo também assumir a configuração de neve ou granizo. Com a precipitação atingindo o solo, parte do volume sofre infiltração até a saturação e outra parte fica retida superfície terrestre, onde escoam até córregos que redirecionarão o volume de água até os oceanos e rios, fechando assim, o ciclo hidrológico (GRIBBIN, 2014).

Em decorrência dos fenômenos do ciclo hidrológico, surgem então as chamadas bacias hidrográficas, que correspondem às áreas de drenagem das quais as chuvas incidem. A bacia hidrográfica é entendida como uma área onde há convergência da captação de água pluvial em um ponto específico denominado exutório. Dessa forma, os limites da bacia são determinados a partir de pontos culminantes, os quais representam os locais de maiores altitudes, funcionando como um divisor de águas (TUCCI *et al.*, 2001; SILVA, 2015).

O escoamento sobre o solo é então dirigido pela gravidade para longe do divisor e em direção ao curso d'água, sendo apresentado na Figura 4.

**Figura 4 - Vista plana de uma típica bacia de drenagem.**



Fonte: Gribbin (2014, p. 163).

Sendo assim, relevância da determinação dos limites da bacia hidrográfica está diretamente ligada à necessidade da quantificação da área para o cálculo de vazão em um curso d'água. E para isso, é necessário o conhecimento das curvas de nível da região para sua determinação (GRIBBIN, 2014).

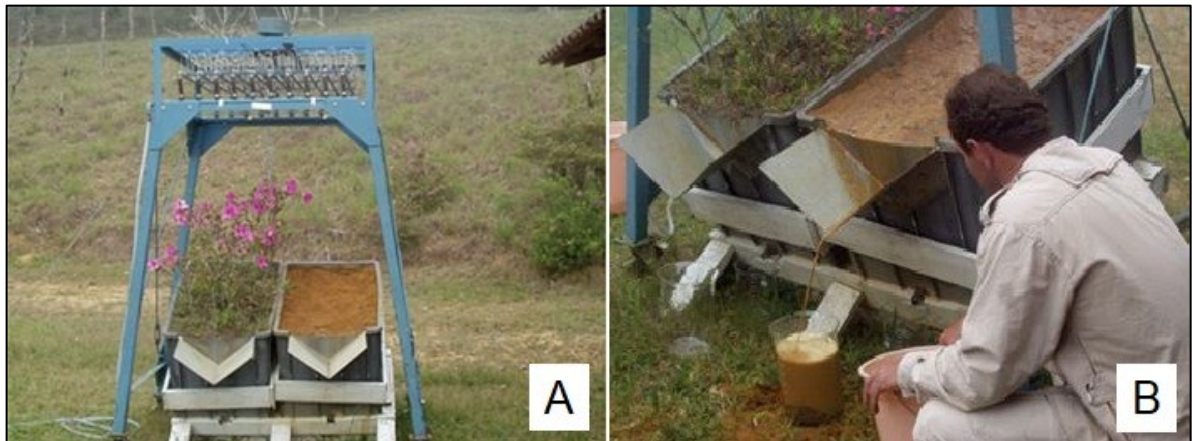
### 4.3 Escoamento superficial

Dentre as fases do ciclo hidrológico, uma das mais importantes é o escoamento superficial, o qual está associado ao transporte de água precipitada na superfície terrestre. Conforme contextualizado por Tucci (2012), em áreas rurais onde a bacia possui cobertura vegetal, a vegetação interfere no escoamento e a maior parte sofre infiltração. No entanto, em áreas urbanas o escoamento superficial sofre interferência por conta de superfícies impermeáveis.

Em uma bacia urbana, o planejamento de áreas cobertas pela vegetação é essencial. Para Alves (2015, p. 2), “além da permeabilidade do solo, a existência de

uma cobertura vegetal composta por vegetações rasteiras, arbustos e árvores que podem influenciar diretamente no escoamento por meio da interceptação”. Este processo pode ser exemplificado pelas Figuras 5A e 5B, onde é possível identificar que em uma área a qual não há existência de vegetação, o escoamento ocorre de forma mais rápida em relação à área vegetada.

**Figura 5 - Impacto da vegetação no controle do escoamento superficial no Instituto Florestal Cunha – SP.**



Fonte: Silva (2015, p. 159).

#### 4.3.1 Coeficiente de *runoff*

Tratando-se de escoamento superficial, é imprescindível a discussão a respeito do coeficiente de *runoff*, que também é conhecido como coeficiente de deflúvio ou coeficiente de escoamento superficial. Este coeficiente é caracterizado pela relação entre o volume do escoamento superficial e volume total precipitado, e é utilizado em cálculos de dimensionamento de sistemas de drenagem pluvial urbana (MARUYAMA E FRANCO, 2016).

Ainda de acordo com as autoras acima, o propósito da determinação do coeficiente é justamente mensurar o quanto a superfície de drenagem está escoando ou infiltrando, sendo um valor aproximado de 0 indicando uma maior infiltração por meio de superfícies permeáveis e o valor mais próximo de 1 sinalizando uma maior impermeabilização. De acordo com Costa *et al.* (2007), para determinação do coeficiente de *runoff*, utiliza-se a Equação

1.

$$C = \frac{C_1A_1 + \dots + C_nA_n}{\Sigma A} \quad (1)$$

onde “C” refere-se ao coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) final; “C1”, coeficiente do material; “Cn”, Coeficiente de escoamento das áreas de contribuição e “An”, Áreas de contribuição.

Além do cálculo do coeficiente de *runoff*, também existem outras formas de determinar o coeficiente. Um exemplo ocorre na cidade de São Paulo – SP, onde utiliza-se os valores explícitos no Quadro 1, e também é possível utilizar valores em relação ao material definidos experimentalmente, conforme demonstrado nos Quadros 2 e 3.

**Quadro 1 - Valores de "C" adotados pela Prefeitura Municipal de São Paulo.**

	ZONAS	C
1	DE EDIFICAÇÃO MUITO DENSA Partes centrais, densamente construídas, de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
2	DE EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSA Partes adjacentes do centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
3	DE EDIFICAÇÕES COM POUCAS SUPERFÍCIES LIVRES Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
4	DE EDIFICAÇÕES COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES Partes residenciais do tipo Cidade-Jardim, ruas pavimentadas ou com mistura de brita com asfalto	0,25 a 0,50
5	DE SUBÚRBIO COM ALGUMA EDIFICAÇÃO Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,10 a 0,25
6	DE MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORETES Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 a 0,20

Fonte: Adaptado de Wilken (1978, p. 132).

**Quadro 2 - Resultados das simulações de chuva nas superfícies simuladas.**

MATERIAL DO PAVIMENTO	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO
Solo Compactado	0,66
Concreto	0,95
Bloco de Concreto	0,78
Paralelepípedo	0,60
Concreto Poroso	0,005
Blocos Vazados	0,03

Fonte: Adaptado de Araújo et al., (2000, p. 27).

Quadro 3 - Valores de “C”.

SUPERFÍCIE	C	
	Intervalo	Valor
<b>Pavimento</b>		
Asfalto	0,70 – 0,95	0,83
Concreto	0,80 – 0,95	0,88
Calçadas	0,75 – 0,85	0,80
Telhados	0,75 – 0,95	0,85
<b>Cobertura: grama em solo arenoso</b>		
plano (menor que 2%)	0,05 – 0,10	0,08
declividade média (2 a 7%)	0,10 – 0,15	0,13
Declividade alta (maior que 7%)	0,15 – 0,20	0,18
<b>Cobertura: grama em solo pesado</b>		
Plano (menor que 2%)	0,13 – 0,17	0,15
Declividade média (2 a 7%)	0,18 – 0,22	0,20
Declividade alta (maior que 7%)	0,25 – 0,35	0,30

Fonte: Adaptado de ASCE (1969 apud COSTA *et al.*, 2007, p. 36).

#### 4.4 Método racional

O método racional surgiu através de Mulvaney em 1851 e foi utilizado pela primeira vez por Emil Kuichling em 1889. Consiste em um procedimento o qual estabelece uma relação entre o coeficiente de *runoff*, intensidade de chuva e a área, através do cálculo da vazão. Apesar de ser simples, o método é prático e de fácil entendimento. Sendo assim, pode ser aplicado em bacias menores que 500 hectares, sendo a aplicação em grandes bacias insatisfatória e exigindo a utilização de outros métodos. A fórmula do método racional é representada por meio da Equação 2 (MIGUEZ *et al.*, 2015; TOMAZ, 2002; WILKEN, 1978).

$$Q = C i A \quad (2)$$

onde “Q” é a vazão em L/s; “C” é o coeficiente de *runoff*; “i” é a intensidade de chuva em mm/h; e “A”, a Área em ha.

Além do coeficiente de *runoff* e a área de contribuição, no cálculo da vazão pelo método racional utiliza-se a intensidade de chuva. Segundo Tucci *et al.* (2001), a equação da intensidade da chuva é empregada em projetos hidráulicos e obtido por meio das curvas IDF (intensidade-duração-frequência) a partir da análise de dados de

precipitações. Uma precipitação de maior intensidade ocasionará em uma duração curta. Ainda segundo o autor, as curvas podem ser representadas genericamente pela Equação 3.

$$i = \frac{a Tr^b}{(t + c)^d} \quad (3)$$

onde “i” é a intensidade da chuva, geralmente expressa em mm/h; “Tr” o tempo de retorno, em anos; “t” é a duração da chuva, em minutos; e os parâmetros a, b, c e d são expressos de acordo com cada local da coleta dos dados.

#### 4.5 Drenagem urbana e urbanização

A origem do sistema de drenagem pluvial teve início no século XVII através de valas abertas, as quais transferiam as águas pluviais dos centros urbanos até o receptor mais próximo. Este sistema, além de transportar o volume de água precipitada, também se encarregou do sistema de águas residuais, o que gerou problemas higiênicos e mau odor. Como consequência, surgiu o método higienista, onde canalizavam tanto as águas pluviais quanto as residuais. A partir deste conceito, a drenagem urbana evoluiu até o modelo presente na atualidade, constituindo-se de um sistema separado. No entanto, apesar da evolução dos métodos adotados, ainda é recorrente os problemas relacionados à drenagem urbana (LOURENÇO, 2014).

Como definição tradicional de drenagem urbana, Miguez *et al.* (2015) descreve como um sistema composto por elementos interligados que visam coletar e conduzir, de forma segura, as águas pluviais precipitadas até um destino final. Em melhor entendimento a respeito da drenagem urbana, é que a mesma é compreendida em minimizar riscos e prejuízos as quais as comunidades estão sujeitas e além disso, integrar um plano de desenvolvimento harmônico e sustentável (TUCCI *et al.*, 2001).

A drenagem é dividida entre microdrenagem e macrodrenagem. Em relação à microdrenagem, pode-se dizer que esse sistema pertence às áreas urbanas, compostas pelas vias, sarjetas, bocas de lobo e galerias de drenagem, as quais são responsáveis por garantir o funcionamento das cidades, conduzindo a água pluvial ao sistema da macrodrenagem. Já a macrodrenagem representa as áreas compostas por rios, riachos, córregos, além dos itens contidos na microdrenagem. Assim, existe uma

interconectividade entre os sistemas resultando na transferência de água pluvial de uma para outra. Dessa maneira, a drenagem urbana deve ser controlada a partir da microdrenagem, em detrimento das práticas de controle existentes, que podem resultar em prejuízos (MARTINS, 2012; TUCCI, 2012).

A bacia urbana é composta por edificações, vias e calçadas impermeáveis. De fato, o crescimento da população na área urbana causou uma grande mudança nos centros urbanos, já que o processo de impermeabilização é o responsável pelo aumento da vazão máxima e frequência de inundações; aumento da velocidade de escoamento, ocasionando erosão do solo e transportando sedimentos para o sistema de drenagem, que conseqüentemente, obstruem condutos, diminuindo a capacidade do escoamento; e além disso, compromete a qualidade da água pluvial (TUCCI, 2012).

Diante dos problemas originados pela urbanização, medidas estruturais foram tomadas a fim de amenizar os problemas. Entretanto, tais medidas não representam uma solução eficaz e sustentável. Segundo Braga (1994 apud CANHOLI, 2014, p. 22), “A falha em incorporar a drenagem na fase inicial do desenvolvimento urbano em geral resulta em projetos muito dispendiosos ou, em estágios mais avançados, na sua inviabilidade técnico-econômica”. Desta forma, apesar de medidas estruturais serem fundamentais para mitigar problemas de drenagem urbana, é necessário ter uma compreensão mais abrangente a fim de compreender as complexidades dos sistemas e desenvolver medidas as quais sejam menos nocivas ao meio ambiente e funcionem a curto e longo prazo (TUCCI *et al.*, 2001).

## 4.6 Drenagem sustentável

A abordagem sobre o sistema de drenagem urbana sustentável surgiu a partir dos anos 60, através de países desenvolvidos que identificaram o conflito entre o sistema de drenagem e o meio ambiente, surgindo assim, uma evolução do conceito do sistema e atribuindo à questão ambiental. Nas últimas décadas, novas concepções começaram a ser estudadas em diferentes partes do mundo, tendo diferentes denominações, sendo a nomenclatura utilizada no Reino Unido a referência mundial, o Sustainable Urban Drainage System – SUDS, devido ao fato de enxergar as vantagens financeiras como a redução dos custos em manutenções nas redes que o sistema poderia proporcionar (POLETO, 2011).

Ainda de acordo com o autor acima, apesar dessa questão estar sendo desenvolvida há algumas décadas, os países em desenvolvimento ainda estão atrasados pelo motivo de o controle da drenagem urbana ser limitado nesses países. À frente um cenário com constantes inundações urbanas, surge então a importância de projetar um sistema de drenagem mais eficiente e sustentável, a fim de mitigar problemas que surgiram após as medidas convencionais não suprirem a demanda do sistema após a urbanização. Conforme contextualizado por Miguez *et al.* (2015, p. 6):

A concepção tradicional vem sendo complementada ou substituída por conceitos que buscam soluções sistêmicas para a bacia, com intervenções distribuídas, procurando resgatar padrões de escoamento próximos daqueles anteriores à urbanização. A nova abordagem agrega preocupações de manejo sustentável das águas pluviais urbanas, integrando as soluções com o próprio tratamento do espaço urbano. Medidas de armazenamento de água e incremento da infiltração aparecem como alternativas para tratar as modificações introduzidas pelo processo de urbanização sobre o ciclo hidrológico.

Diferentemente da adoção de medidas estruturais convencionais, os quais consistem em canalizar as águas pluviais direcionando-as de montante à jusante, a proposta da drenagem sustentável é controlar o escoamento superficial da bacia através de ações como infiltração ou armazenamento, evitando assim a transferência do escoamento para jusante (TUCCI, 2012).

Na atualidade estão sendo desenvolvidos e utilizados dispositivos capazes de suprir a demanda desejada, amenizando os efeitos da urbanização por meio da diminuição do escoamento superficial. Devido à falta de padronização em



terminologias dos tipos de métodos de controle de inundações, este trabalho seguirá o conceito proposto por Miguez *et al.* (2015), que classificou as mesmas em dois grupos, sendo o primeiro relacionado às técnicas de armazenamento e o segundo em técnicas de infiltração.

#### **4.6.1 Técnicas de armazenamento**

As técnicas de armazenamento visam controlar o escoamento superficial de uma bacia da mesma forma como acontecia antes do processo de urbanização, consistindo em armazenar as águas pluviais de modo temporário ou permanente. Neste trabalho, as técnicas abordadas são: reservatórios de detenção, reservatórios de retenção e reservatórios de lote (MIGUEZ *et al.*, 2015).

##### **4.6.1.1 Reservatórios de detenção**

O reservatório de detenção, também conhecido como bacia de detenção, é um meio utilizado como armazenamento do volume de precipitações de alta intensidade em curtos períodos de tempo, no qual existe a possibilidade de inundações. O efeito causado pelo sistema em questão, é a redução da vazão de pico de hidrogramas em fases de cheias, ocasionando assim, o aumento do tempo de base. Vale ressaltar que o escoamento superficial direto não é reduzido, no entanto, os volumes são distribuídos em um tempo maior, diminuindo a ocorrência de inundações e custos relacionados à manutenção de galerias pluviais, além de melhorar o caso do escoamento superficial e qualidade da água (TUCCI *et al.*, 2001).

O emprego deste tipo de sistema depende do propósito de sua aplicação, podendo ser o controle da vazão, volume e material sólido, sendo o último associado à retenção da entrada de potenciais sedimentos no sistema de drenagem. Além disso, a localização das bacias de detenção em áreas urbanas depende de espaço disponível e a eficiência, uma vez que está relacionada à necessidade da execução em regiões mais baixas. A Figura 6 exemplifica o reservatório de detenção (MIGUEZ *et al.*, 2015).

**Figura 6 - Exemplo de reservatório de detenção.**



Fonte: Miguez *et al.* (2015, p. 262).

#### **4.6.1.2 Reservatórios de retenção**

O reservatório de retenção é uma técnica muito utilizada para controle da drenagem urbana e rural, mediante a lagos permanentes. De acordo com AMEC Earth & Environmental GmbH *et al.* (2001), sua origem está associada por questões tanto naturais, causada por depressões, quanto propositalmente, por meio de aterros. Neste método, o escoamento superficial da precipitação é então armazenado e tratado nas próprias bacias por meio de sedimentação e recursos biológicos existentes.

Neste contexto, de acordo com Kobayashi *et al.* (2008), com as vantagens, englobam questões como a redução da velocidade de deflúvio e também o fato de promover eventos recreativos no local. Em contrapartida, no caso de implementação, é necessária uma quantidade de área considerável, onde o custo demanda um alto investimento, além do tempo de execução ser demorada. No Brasil, as primeiras bacias de retenção foram implementadas no ano de 1953, na cidade de Belo Horizonte – MG e até hoje o sistema de armazenamento funciona, sendo um dos locais turísticos da cidade conhecidas como Pampulha e Santa Lúcia. A Figura 7 exemplifica um reservatório de detenção, sendo este a Lagoa da Pampulha localizada no município de Belo Horizonte–MG (BAPTISTA *et al.*, 2005 apud MIGUEZ *et al.*, 2015).

**Figura 7 - Exemplo de reservatório de retenção**



Fonte: Lagoa da Pampulha (2021).

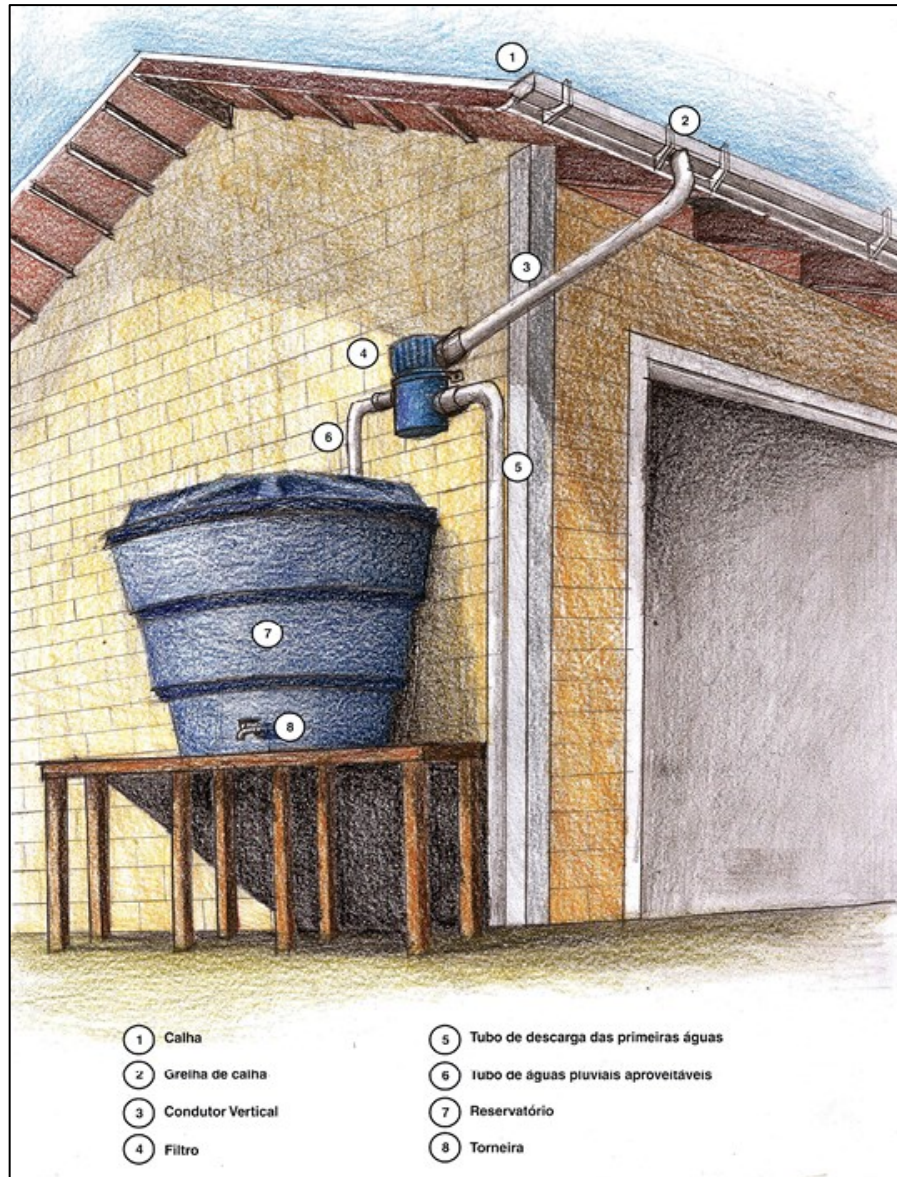
#### **4.6.1.3 Reservatórios de lote**

O reservatório de lote é um modelo de armazenamento de água pluvial que controla o escoamento em escala local. Este, pode tanto funcionar retendo água pluvial antes de ser lançado no sistema de drenagem convencional, quanto na reutilização em residências para fins não potáveis (MIGUEZ *et al.*, 2015).

Dessa forma, o funcionamento do método fundamenta-se na captação da água da chuva pelas calhas projetadas nas residências e posteriormente a encaminhando à uma cisterna a fim de armazenar o volume de água coletado. O sistema deve dispor de filtros capazes de reter possíveis resíduos desta maneira, evitando possíveis contaminações no reuso (ALMEIDA, 2020).

A exemplificação do sistema de reservatório de lote mencionado, é ilustrada na Figura 8.

**Figura 8 – Exemplo de reservatório de lote.**



Fonte: Silva (2015, p. 159).

#### 4.6.2 Técnicas de infiltração

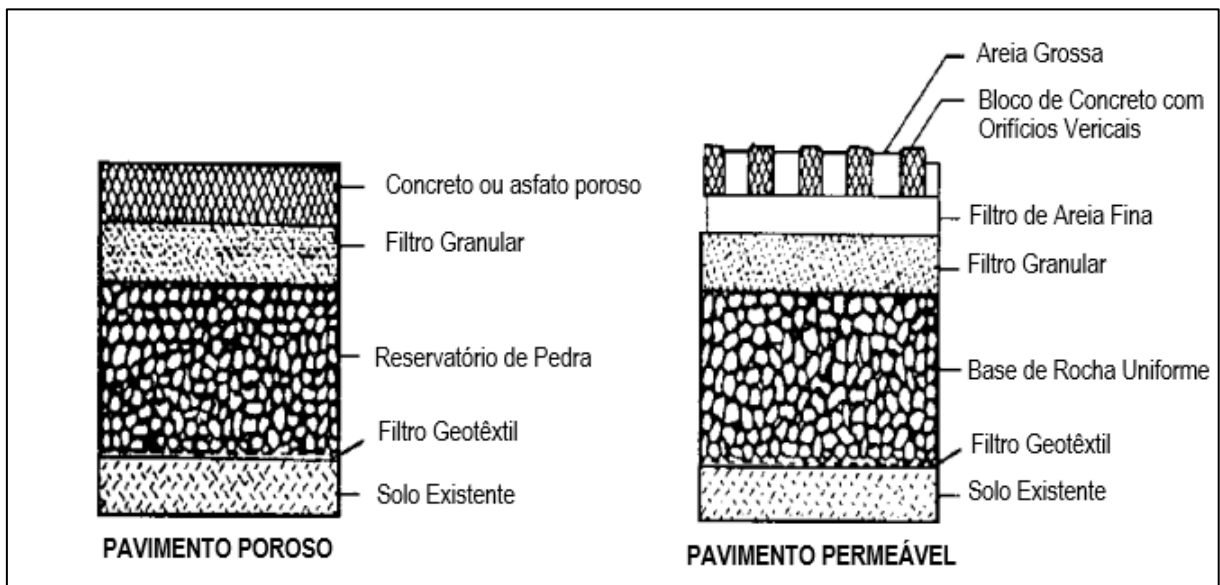
O processo de urbanização provocou mudança no comportamento do escoamento superficial devido à impermeabilização dos solos. Desse modo, as técnicas de infiltração visam controlar o escoamento de uma bacia através de medidas que viabilizam uma superfície permeável, permitindo que águas pluviais infiltrem no solo. Neste trabalho, as técnicas abordadas são: pavimento permeável, vala de infiltração, trincheira de infiltração e telhado verde (MIGUEZ *et. al.*, 2015).

#### 4.6.2.1 Pavimento permeável

A utilização de pavimento permeável nas áreas urbanas permite o redirecionamento das águas pluviais que caem diretamente na superfície do pavimento, sendo oriundo de áreas adjacentes, como o caso de telhados, para as camadas inferiores, armazenando-as temporariamente até que ocorra a infiltração no solo ou redirecionamento para outros elementos da drenagem (BALLARD *et al.*, 2007 apud LOURENÇO, 2014, p. 57).

De acordo com Vasco (2016), os pavimentos podem ser divididos entre porosos e permeáveis, no qual o primeiro é atribuído à capacidade de todo material sofrer infiltração como asfalto poroso, concreto poroso, cascalhos, dentre outros; e o segundo é onde a infiltração ocorre nos vazios ocasionados pela distribuição do material como nos casos da utilização de blocos de concreto. Na Figura 9 é possível observar as camadas do pavimento poroso e permeável.

**Figura 9 - Tipos de pavimentos.**



Fonte: Adaptado de Urbonas e Stahre (1993, apud Araújo *et al.*, 2000, p. 23).

Dentre as principais vantagens, é possível citar a redução significativa do escoamento superficial, a desnecessidade de áreas extras para a execução de pavimentos permeáveis, a diminuição de áreas impermeáveis, a contenção de possível erosão do solo, a probabilidade de recarga em aquíferos pela infiltração, dentre outros. Contudo, no que se refere às desvantagens, destacam-se a alta

frequência de manutenção, os problemas ocasionados por falha de execução devido mão de obra desqualificada, o maior risco de contaminação em aquíferos em caso de acidentes e maior custo de implantação (LOURENÇO, 2014).

#### 4.6.2.2 Vala de infiltração

O propósito em utilizar valas de infiltração como técnica de drenagem urbana está associado ao transporte das águas pluviais no sentido longitudinal ao decorrer das vias, contribuindo com a redução da velocidade do escoamento superficial e a devida possibilidade de infiltração. No entanto, apesar de ser um sistema de fácil execução, para sua adoção é necessário que o local não se apresente em grandes declividades em razão de ser um procedimento de escoamento lento (MIGUEZ *et al.*, 2015).

Um mecanismo de conservação bastante utilizado neste tipo de técnica de drenagem é o revestimento das valas com cobertura vegetal em pequena quantidade conhecida como *Swales*. A vantagem da vegetação, além de ser de baixo custo de manutenção, possui uma importância no tratamento da água pluvial drenada. A Figura 10 exemplifica a vala de infiltração (LOURENÇO, 2014).

**Figura 10 - Exemplo de vala de infiltração.**



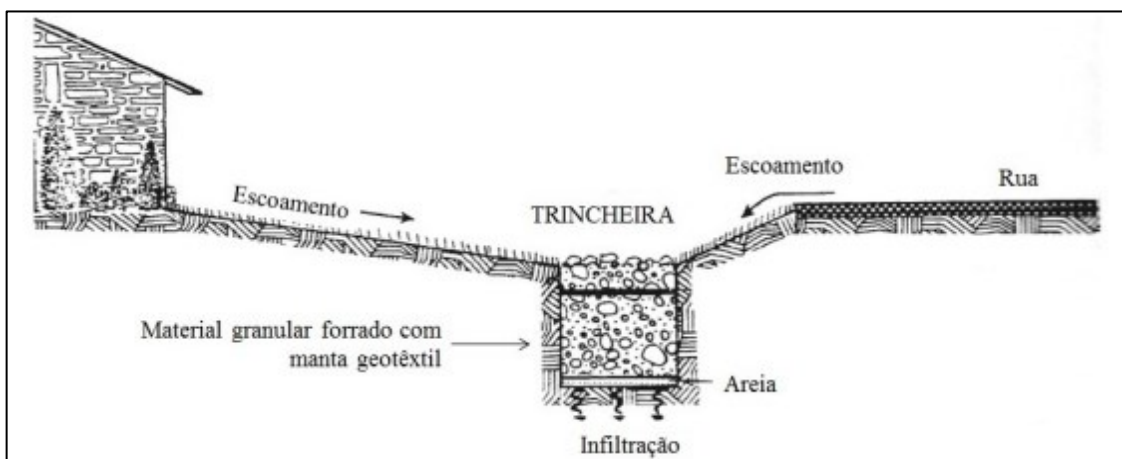
Fonte: Certu (1998, apud Brito, 2006, p. 24).

### 4.6.2.3 Trincheira de infiltração

Assim como valas de infiltração, as trincheiras também são dispositivos longitudinais com a finalidade de suprir a demanda da drenagem pluvial. Conforme a descrição feita por Miguez *et al.* (2015), o funcionamento deste sistema consiste na diminuição de volumes escoados e vazões máximas, fornecendo tempo o suficiente para que a água seja infiltrada no solo. Mais especificamente, é possível observar técnicas de cobertura vegetal em trincheira de infiltração nas Figuras 11 e 12 mais à frente. Com relação à composição, Lourenço (2014, p. 39) define da seguinte maneira:

São estruturas constituídas por valetas cobertas com material granular com porosidade à volta dos 35% (dependendo do material utilizado). Embora reduza o volume útil de armazenamento da trincheira, o preenchimento da vala deve ser realizado tanto para segurança como para a estabilização dos taludes, evitando desabamentos. As valas são preenchidas total ou parcialmente com material granular, como brita, seixo, cascalho ou blocos de drenagem (e.g. blocos de material plástico com elevado volume de vazios). Todo o material deverá estar envolvido em geotêxtil para impedir a migração de materiais finos, detritos e/ou sujidades para o seu interior e evitar a contaminação do solo. No entanto, a finalidade principal deste material, que funciona como filtro, é evitar a colmatagem da estrutura, que causaria a perda de permeabilidade e de eficiência/desempenho.

**Figura 11 - Trincheira de infiltração e técnicas de cobertura vegetal.**



Fonte: Schueler (1987, apud Rossi *et al.*, 2012, p. 10).

**Figura 12 - Exemplo de trincheira de infiltração.**



Fonte: Aquafluxus (2012).

Perante às vantagens oferecidas pela técnica proposta, pode-se citar redução do escoamento superficial e o amortecimento causado pelo armazenamento da água. Entretanto, como desvantagem, ao longo do tempo a eficiência pode ser reduzida caso não forem realizadas as devidas manutenções (KOBAYASHI *et al.*, 2008).

#### **4.6.2.4 Telhado verde**

Os telhados verdes, também referenciados como coberturas vivas, coberturas verdes e até mesmo ecotelhados, são mecanismos de drenagem de controle local onde são aplicadas coberturas vegetais cuja vantagem está diretamente ligada à redução do volume da precipitação na drenagem urbana, além do aumento de área verde útil (MIGUEZ *et al.*, 2015).

De acordo com Tassi *et al.* (2014), a cobertura é dividida entre:

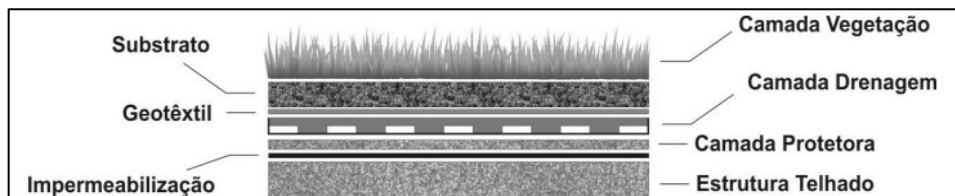
- a) Camada de vegetação: local onde acontece os fenômenos de evapotranspiração e a velocidade de escoamento é reduzida até a saturação do substrato;
- b) Substrato: camada de solo utilizada para fixação da cobertura vegetal, armazenamento da água de chuva, além de fornecer nutrientes para as plantas;
- c) Geotêxtil: material responsável pela separação do substrato e camada de drenagem visando a filtração da água para posterior drenagem;



- d) Camada de drenagem: matéria porosa encarregada de recolher e conduzir a água precipitada para os deságuas;
- e) Camada protetora: responsável pela proteção física e retenção de umidade;
- f) Impermeabilização: sistema que impede o transporte de água para a estrutura do telhado, evitando patologias;
- g) Estrutura do telhado: cobertura projetada para atender às solicitações do sistema de cobertura verde.

A estrutura do sistema de telhados verdes é ilustrada na Figura 13.

**Figura 13 - Camadas que compõem o telhado verde.**



Fonte: Tassi (2014, p. 143).

Apesar do sistema ser indicado para telhados com pequena inclinação, as respectivas vantagens englobam benefícios causados no controle de drenagem urbana, além do telhado verde proporcionar melhoria na questão de ruídos e também na temperatura interna das edificações, impactando positivamente nas despesas energéticas. Além disso, pode-se contar com a vantagem de possuir um sistema de armazenamento de água para fins não potáveis e efeitos paisagísticos. As Figuras 14 e 15 exemplificam a técnica de telhado verde (SILVA, 2015).

**Figura 14 - Exemplo de telhado verde.**



Fonte: Ecogreen (2017).

**Figura 15 - Ponto de ônibus com telhado verde na cidade de Caxias do Sul – RS.**



Fonte: Menegon (2019).

#### **4.7 QGIS®**

O Quantum GIS® – QGIS® é um *software* gratuito de código aberto a partir do Free and Open Source Software – FOSS composto por um Sistema de Informação Geográfica – SIG, promovido por voluntários que contribuem para o funcionamento e desenvolvimento do programa. A interface descomplicada e a versatilidade de incorporar novas ferramentas, além da integração com outros *softwares* fazem com que profissionais de diversas áreas o utilize devido à variedade de informações existentes (CORTE *et al.*, 2020).

O sistema de informação geográfica SIG surgiu na década 1970 e o uso era limitado a universidades e empresas que possuíam computadores. Atualmente, seu uso é acessível a qualquer pessoa provida de um dispositivo com Linux®, Unix®, Mac® OSX®, Windows® ou Android®. Os dados do sistema SIG permite a associação entre dados geográficos e dados não geográficos, sendo possível a armazenagem de dados associados a cada lugar. Esses dados podem ser dados vetoriais as quais

representam pontos, linhas, áreas e também podem ser dados *raster*, os quais são colhidos por satélites e formados por pixels, sendo que cada um deles representa uma área coberta (QGIS Development Team, 2022).

Ainda de acordo com QGIS Devopment Team (2022), no QGIS® é possível criar mapas, visualizar, editar, gerir, exportar e analisar dados espaciais. Além disso, sua funcionalidade pode ser estendida através de plug-ins que auxiliam ainda mais na utilização do programa.

## 5 METODOLOGIA

A realização deste trabalho foi feita a partir de um estudo de caso na cidade de Paraisópolis – MG, baseando-se os cálculos no método racional. Como mencionado no referencial teórico por Wilken (1978), este método, além de ser simples, é de fácil entendimento, podendo ser aplicado na área de estudo, devido ao fato de ser satisfatório na utilização em bacias de menos de 500 hectares. Em termos de contextualização, inicialmente foi realizada uma fundamentação teórica acerca da temática do estudo para familiarizar com a metodologia empregada.

### 5.1 Delimitação da bacia de drenagem

A área de captação de precipitações que influenciam sobre o cruzamento foi delimitada através do *software* QGIS® mediante de um Modelo Digital de Elevação – MDE, em forma de arquivo, com informação de altitude e fornecido pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, no projeto Topodata, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; arquivo de divisão político administrativo, disponibilizado pelo IBGE; e imagens de satélite, pelo Google Sattelite®.

A partir dos dados adquiridos, foi possível gerar as curvas de nível do município, identificação de córregos e a delimitação da bacia hidrográfica a partir do exutório mais próximo do local de estudo. As imagens geradas pelo programa estão inseridas no capítulo de resultados e discussões.

### 5.2 Determinação do Coeficiente de *runoff*

Tendo em vista a área delimitada da bacia de drenagem, determinou-se uma via inserida nela, a qual representa a situação mais crítica da bacia, com o propósito de analisar os parâmetros que influenciam o surgimento de alagamentos na região do cruzamento.

Com base nessa via crítica, o coeficiente de *runoff* foi determinado para cada tipo de pavimento que foi substituído ao longo dos últimos vinte anos. Em sua determinação, foram identificados seus respectivos materiais, a fim de determinar seus valores. Tais valores estão expressos nos Quadros 2 e 3 do referencial teórico.

### **5.3 Comparação do aumento do escoamento superficial**

Fundamentando-se no método racional, a comparação do aumento escoamento superficial foi estabelecida por meio da equação da vazão abordada no referencial teórico do presente trabalho como Equação 2.

Em virtude da inexistência de uma equação da intensidade da chuva específica para o município de Paraisópolis – MG, utilizou-se a equação de um município com características semelhantes.

Com os valores dos coeficientes e da intensidade da chuva, calculou-se a vazão para cada material de pavimento abordado. A comparação foi realizada segundo o aumento da vazão, de acordo com as substituições de pavimentos, sendo os cálculos expressos para uma unidade de hectare (ha).

Além disso, por meio de visitas em loco na via crítica, foram identificadas as bocas de lobos presentes e medida as distâncias entre elas, a fim de averiguar as distâncias máximas de 60 metros proposta por Tucci *et al.* (2001). As distâncias foram medidas através do *website* Google Earth®.

### **5.4 Solução alternativa**

A partir das técnicas de drenagem sustentável abordadas no referencial teórico deste estudo, foi proposto métodos aplicáveis na bacia para a solução do problema, juntamente com a indicação dos locais apropriados para a execução das técnicas.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

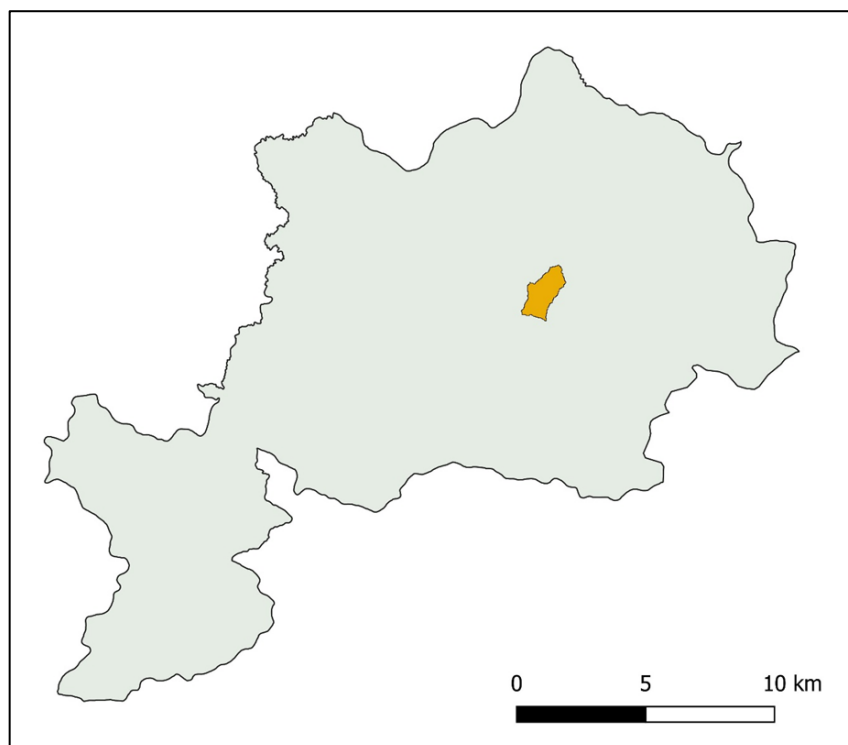
Neste capítulo foi apresentado os resultados das ações descritas na metodologia deste estudo, assim como uma análise baseando-se em conceitos que envolvem a hidrologia e drenagem urbana.

### 6.1 Delimitação da bacia de drenagem

A bacia de drenagem foi determinada a partir do exutório mais próximo do cruzamento em estudo, em função de ser o local à jusante da bacia onde as tubulações do sistema de drenagem são direcionadas e conseqüentemente sobrecarrega o sistema, originando o surgimento de alagamentos.

Com base na bacia gerada pelo programa QGIS®, determinou-se que a área da bacia é de 1,901 km<sup>2</sup>, representando um percentual de aproximadamente 0,6% em relação à área do município. O Mapa 1 expressa a área da bacia de drenagem, em amarelo, e a área do município, em azul claro.

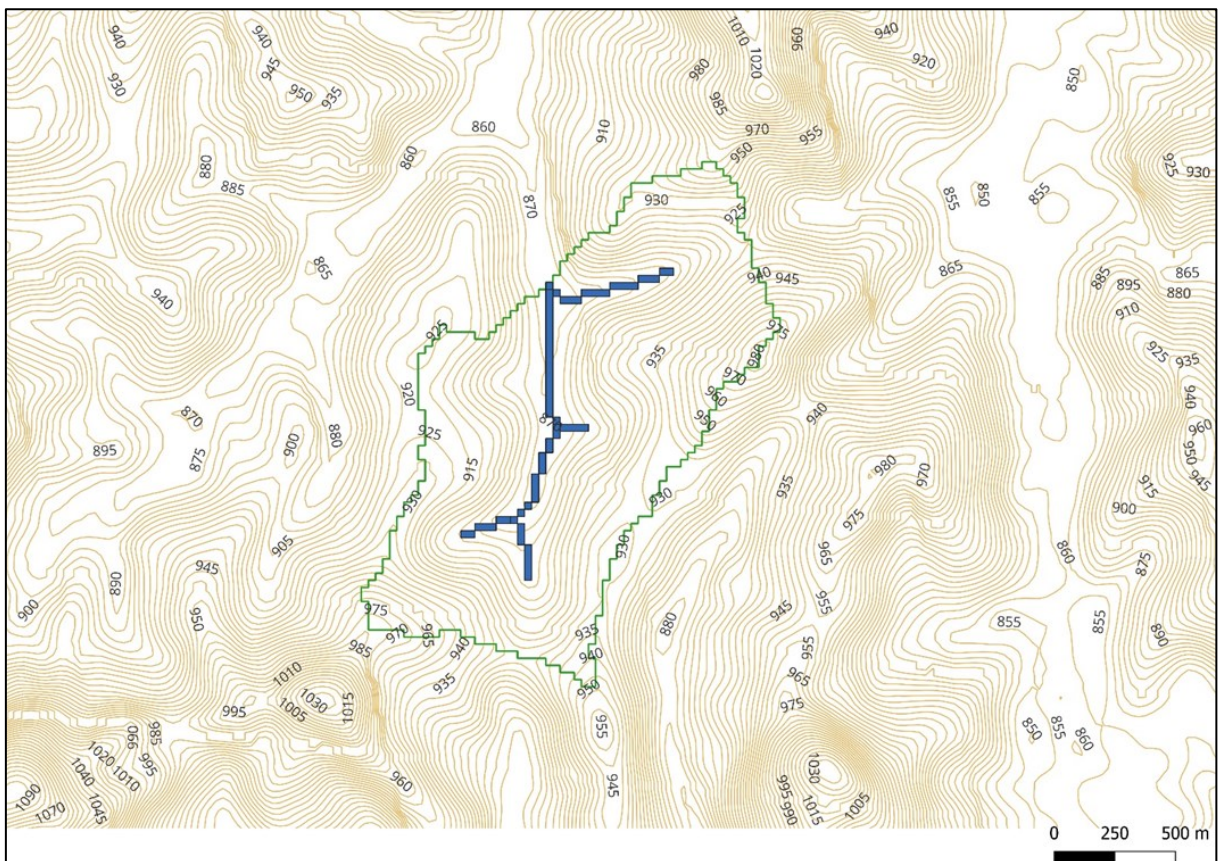
**Mapa 1 - Representação da área da bacia de drenagem em relação ao limite do município.**



Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).

O Mapa 2 caracteriza a delimitação da bacia de drenagem em verde, a qual foi determinada a partir das curvas de nível, estas representadas na cor marrom. Os córregos pertencentes à bacia estão retratados em azul. Através do mapa, é perceptível que o ponto mais baixo da bacia está localizado a 870 metros, sendo este o local do estudo onde aparecem os problemas. Já a maior cota situa-se na curva de 980 metros, resultando em uma diferença 110 metros entre os pontos mais alto e baixo.

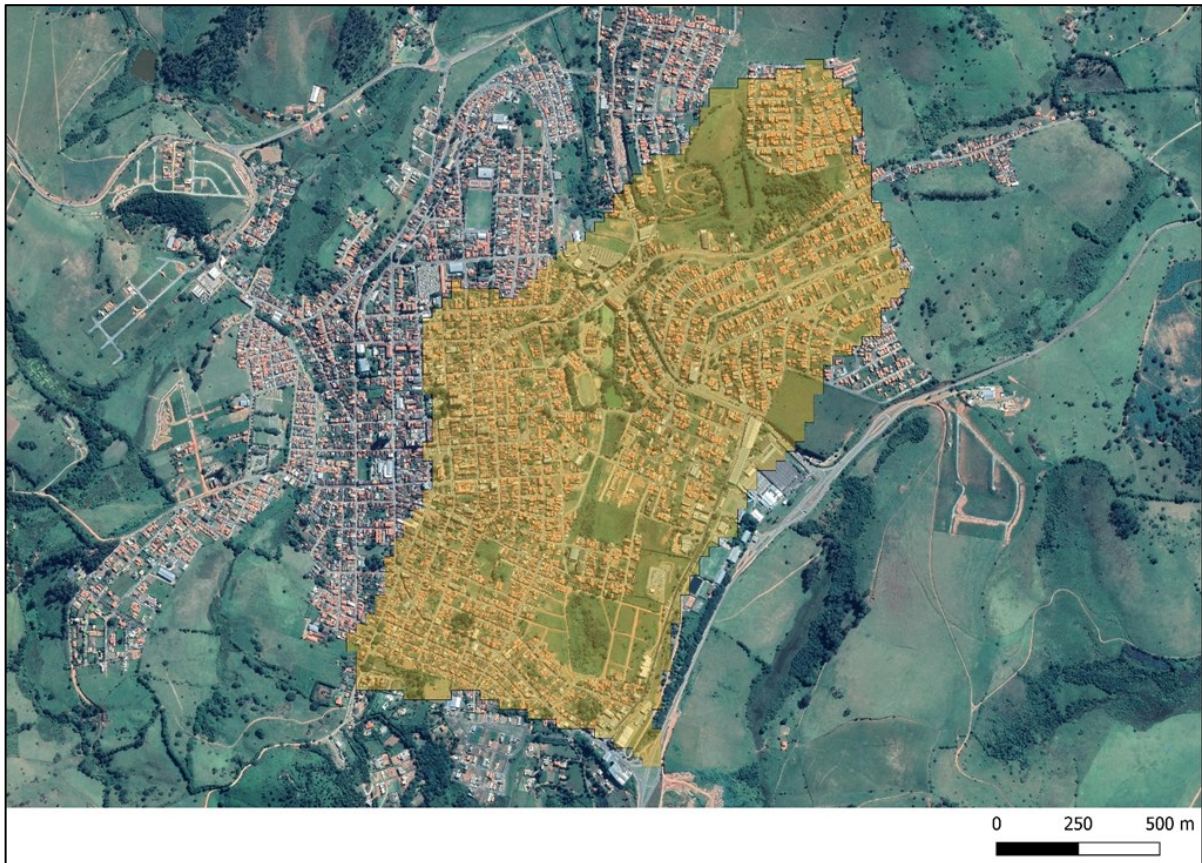
**Mapa 2 - Representação da delimitação da bacia de drenagem, curvas de nível e córregos.**



Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).

Por meio de imagens de satélite fornecidas pelo Google Sattelite®, é possível comparar visualmente o tamanho da bacia em relação à área urbana. Nota-se no Mapa 3 que sua área, representada pela cor amarela, ultrapassa a metade da área urbana.

**Mapa 3 - Área da bacia de drenagem em relação a área urbana.**

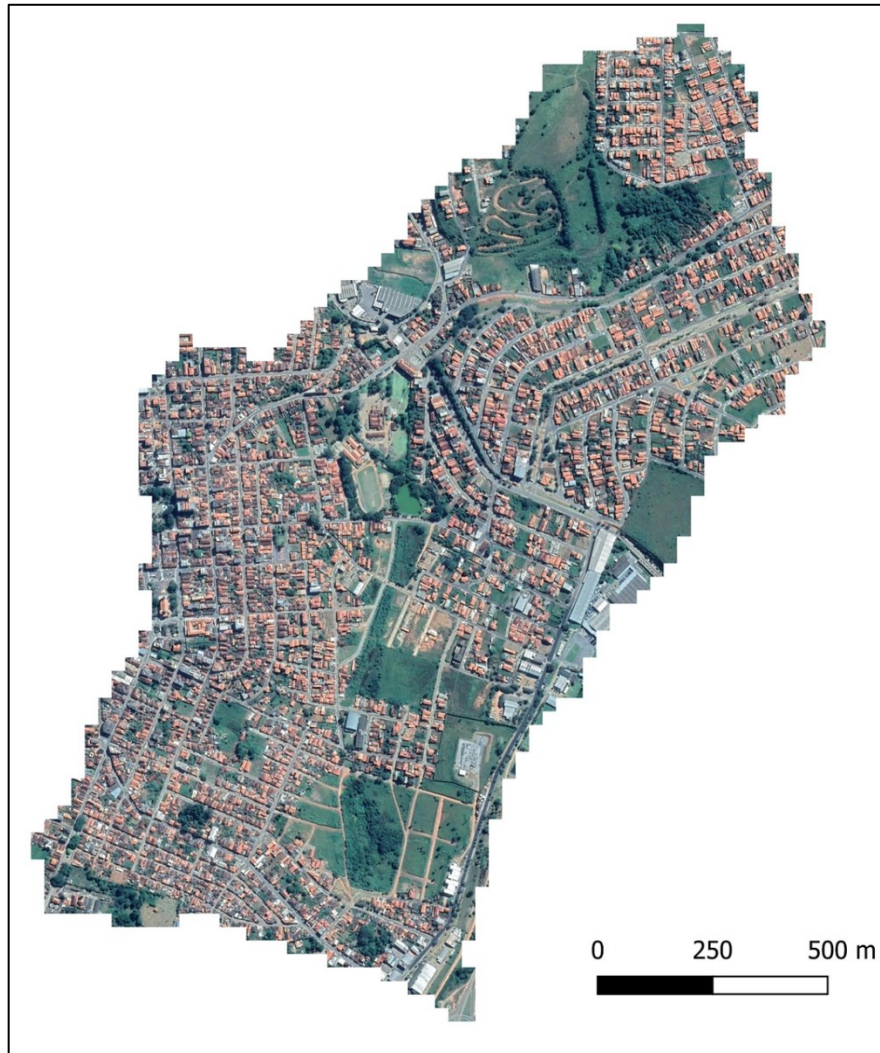


Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).



O Mapa 4 representa a área da bacia de drenagem em forma de imagem de satélite.

**Mapa 4 - Imagem de satélite da área da bacia de drenagem.**



Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).

## 6.2 Determinação do coeficiente de *runoff*

A escolha da via crítica, a fim de representar a situação da bacia, foi determinada baseando-se nos seguintes critérios: maior quantidade de substituições do pavimento e proximidade com o cruzamento em estudo onde surgem os problemas. Dessa maneira, a via crítica adotada é a Rua Capitão Antônio Augusto de Almeida, representado em amarelo no Mapa 5. O cruzamento em estudo está em azul.

**Mapa 5 - Representação da via crítica e o cruzamento.**



Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).

A Figura 16 mostra o cruzamento representado em azul no Mapa 5, em um momento de alagamento após precipitação intensa.

**Figura 16 - Cruzamento alagado.**



Fonte: Blog Paraíso Informa (2021).

Nos últimos vinte anos, constatou-se que o material do pavimento da via foi alterado em dois momentos. Inicialmente, era revestida por paralelepípedos e posteriormente, foi substituído para blocos de concreto sextavados. Por fim, foi empregado revestimento asfáltico e assim permanece até o presente momento do estudo. As Fotografias 1, 2 e 3 exemplificam os materiais da via.

**Fotografia 1 - Exemplo de pavimento composto por paralelepípedo.**



Fonte: Autoria própria (2022).

**Fotografia 2 - Exemplo de pavimento composto por bloco de concreto sextavado.**



Fonte: Autoria própria (2022).

### Fotografia 3 - Via crítica com revestimento asfáltico na situação atual.



Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com o Quadro 2, os valores do coeficiente de *runoff* para o pavimento constituído de paralelepípedo é de 0,60 e o bloco sextavado (bloco de concreto) é 0,78. Já no Quadro 3, nota-se que o revestimento asfáltico possui um coeficiente de valor médio de 0,83. Analisando os valores, conclui-se que à medida em que os pavimentos foram substituídos, devido ao material utilizado, os valores do coeficiente aumentaram, causando o aumento do escoamento superficial da via, dado que os valores mais próximos de 1 indicam uma maior impermeabilidade na superfície do pavimento.

### 6.3 Comparação do aumento do escoamento superficial

Conforme mencionado na metodologia deste trabalho, para comparar o aumento do escoamento superficial foi necessário realizar o cálculo da vazão para cada situação da pavimentação da via. Dado a inexistência de equação da intensidade da chuva para o município de Paraisópolis – MG, a equação utilizada pertence à

Pouso Alegre – MG, município o qual além da proximidade geográfica, compartilha o mesmo clima tropical de altitude e temperaturas semelhantes. Segundo Furtunato *et al.* (2021), a equação da intensidade da chuva utilizada no município de Pouso Alegre – MG é válida para tempos de retorno de até 100 anos e é expressa pela Equação 4.

$$i = \frac{1747,1T^{0,1703}}{(t+15,2)^{0,8814}} \quad (4)$$

onde “T” corresponde ao período de retorno, expresso em anos; “t” é a duração da precipitação, em minutos; resultando em uma intensidade de chuva “i”, em mm/h.

Por se tratar de uma área residencial e comercial e além disso, fazer parte da microdrenagem, o período de retorno “T” utilizado neste estudo refere-se ao tipo de ocupação da área a qual a via pertence. Portanto o valor utilizado é de 5 anos, conforme indicado por Tucci *et al.* (2001) exemplificado no Quadro 4.

**Quadro 4 - Períodos de retorno para diferentes ocupações de área.**

<b>Tipo de Obra</b>	<b>Tipo de ocupação da área</b>	<b>T (anos)</b>
<b>Microdrenagem</b>	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e residenciais	5-10
<b>Macro drenagem</b>	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Adaptado de DAEE/CETESB (1980, apud Tucci *et al.*, 2001, p. 815).

A respeito da duração da precipitação, utilizou-se o valor do tempo de concentração, por ser o parâmetro para cálculos de sistemas de drenagem. Portanto, fixou-se o valor em 5 minutos indicado por Azevedo Netto e Araújo, conforme mostra o Quadro 5.

**Quadro 5 - Tempos de concentração para poços de visita situados em cabeceira de rede.**

<b>Autor/Instituição</b>	<b>Tci (min)</b>
Valor recomendado pelos autores	5
Azevedo Netto e Araújo (1998)	5
Tucci et al. (2000)	10
Wilken (1978)	5 até 15

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2007, p. 30).

Tendo em vista um período de retorno “T” de 5 anos e duração da chuva “t” de 5 minutos, o resultado da intensidade de chuva “i” é de 162,5 mm/h.

Dado a intensidade de chuva, o cálculo da vazão da via é expresso pela Equação 2: ( $Q = CiA$ ), onde “Q” é a vazão da via, em L/s; “C” é o Coeficiente de *runoff*; “i” representa a Intensidade de Chuva, em mm/h; e “A”, a Área em ha.

Conforme mencionado na metodologia, a vazão é calculada para cada valor do coeficiente de escoamento superficial obtido e uma unidade de área em hectare. Os resultados das vazões estão explícitos no Quadro 6.

**Quadro 6 - Resultados das vazões.**

<b>Pavimento</b>	<b>Coeficiente de <i>runoff</i> “C”</b>	<b>Intensidade de chuva “i” em mm/h</b>	<b>Área “A” em ha</b>	<b>Vazão “Q” em L/s</b>
<b>Paralelepípedo</b>	0,60	162,5	1	<b>270,81</b>
<b>Bloco sextavado</b>	0,78	162,5	1	<b>352,05</b>
<b>Revestimento asfáltico</b>	0,83	162,5	1	<b>374,62</b>

Fonte: Autoria própria (2022).

Com base nos resultados das vazões, verifica-se que à medida em que os pavimentos foram substituídos, as vazões aumentaram aproximadamente 30% do paralelepípedo para o bloco sextavado e 38% do paralelepípedo para o revestimento asfáltico. Este fato está diretamente relacionado aos valores do coeficiente de *runoff*, uma vez que a alteração dos materiais tornou a via menos permeável.

Além da verificação das vazões, as bocas de lobo foram identificadas na rua e encontram-se em vermelho na disposição ilustrada no Mapa 6, enquanto o cruzamento é representado na cor azul.

**Mapa 6 - Posicionamento das bocas de lobo na via crítica.**



Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).

Analisando o Mapa 6, observa-se que o início da via é desprovido de bocas de lobo, o que justifica a ausência das distâncias iniciais constatadas no Quadro 7.

**Quadro 7 - Verificação das distâncias entre as bocas de lobo.**

TRECHO		DISTÂNCIA (m)
BL inicial	BL final	
-	BL1	-
BL1	BL2	94,86
BL2	BL3	36,29
BL3	BL4	47,35
BL4	BL5	179,67
BL5	BL6	35,29
BL6	BL7	13,74
BL7	BL8	58,18
-	BL9	-
BL9	BL10	67,73
BL10	BL11	100,66
BL11	BL12	163,49
BL12	BL13	14,53
BL13	BL14	36,37
BL14	BL15	22,96
BL15	BL16	26,14
BL16	BL17	29,77
	Conforme	
	Não conforme	

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir dos valores do Quadro 7, verifica-se que de quinze distâncias entre bocas de lobo, cinco delas ultrapassam o valor limite de 60 metros proposto por Tucci *et al.* (2001). Além disso, constatou-se que a distância entre o início da via e BL1 é cerca de 57 metros de um lado e do outro, 76 metros entre o início da via e BL9. Sendo assim, a ausência destes dispositivos de drenagem no início da via indica a não conformidade com a distância máxima estabelecida de 60 metros. Para a adequação da via, seria necessária a implantação de bocas de lobo no início da mesma, entre os trechos BL1-BL2, BL9-BL10, BL10-BL11 e duas bocas de lobo entre BL4-BL5 e BL11-BL12.

Além do aumento na vazão, os valores excedentes entre bocas de lobo revelam uma deficiência no sistema de captação de água pluvial, sendo mais um fator para agravar os problemas de alagamentos na região do cruzamento em estudo. Essa deficiência, apesar de ter sido verificada apenas na via, também representa as demais vias contidas na bacia.



## 6.4 Solução alternativa

Fundamentando-se nas técnicas de soluções sustentáveis apresentadas, o melhor método para mitigar os problemas de alagamentos ocasionados pela mudança de pavimento e deficiência no sistema de drenagem pluvial do município é incorporar reservatório de retenção e/ou detenção na bacia, cuja utilização resulta na amortização das vazões do escoamento. O Quadro 8 exemplifica a diferença entre as duas técnicas de reservatórios, sendo, segundo Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP *et al.* (2013), o termo *on-line* ou *in-line* referindo-se ao reservatório ser implantado ao longo do curso d'água; e o *off-line*, reservatório implantado em paralelo ou nas margens do curso d'água.

**Quadro 8 - Classificação de reservatórios urbanos de amortecimentos de cheias.**

Reservatórios de retenção (com lago permanente)		Reservatórios de detenção (sem lago permanente)	
<b>Localização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praça;</li> <li>• Parque;</li> <li>• Conectado a trechos de rios.</li> </ul>	<b>Localização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encosta;</li> <li>• Parque;</li> <li>• Praça;</li> <li>• Lote;</li> <li>• Passeio;</li> <li>• Ao longo de rios.</li> </ul>
<b>Vegetação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem vegetação;</li> <li>• Com vegetação.</li> </ul>	<b>Cobertura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A céu aberto;</li> <li>• Coberto (enterrado).</li> </ul>
		<b>Posição relativa à rede de drenagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>On-line</i>;</li> <li>• <i>Off-line</i>.</li> </ul>
		<b>Infiltração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Com estrutura de infiltração;</li> <li>• Sem estrutura de infiltração.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Miguez *et al.* (2015, p. 262).

De acordo com Olival *et al.* (2017) nos reservatórios de retenção, os quais possuem um lago permanente, o escoamento é retido e não há o descarregamento no sistema de drenagem à jusante da bacia. Apesar de ser uma técnica compensatória a qual promove eventos recreativos para a população, é necessária manutenção periódica devido ao acúmulo de sedimentos e resíduos que se depositam no local. Alguns exemplos onde essa técnica compensatória é utilizada, localiza-se no Parque

Ibirapuera, em São Paulo – SP; e no Parque Campolim, em Sorocaba – SP, conforme demonstram as Figuras 17 e 18.

**Figura 17 - Exemplo de reservatório de retenção localizado no Parque Ibirapuera.**



Fonte: São Paulo in foco (2013).

**Figura 18 - Exemplo de reservatório de retenção localizado no Parque Campolim.**



Fonte: Tripadvisor (2017).

Ainda de acordo com Olival *et al.* (2017), no que se refere ao reservatório de detenção, é uma técnica de armazenamento temporário de águas pluviais com o objetivo de evitar inundações urbanas, retardando o escoamento superficial da bacia de drenagem. Além disso, o método também pode colaborar com a captação de sedimentos a fim de melhorar qualidade da água em córregos e rios. As Figuras 19,

20 e 21 mostram exemplos de reservatórios de detenção, sendo as Figuras 19 e 20 dois exemplos a céu aberto, localizadas respectivamente no Praça Júlio Andreatta e loteamento Ecoville, ambas em Porto Alegre – RS; 21A e 21B, mostrando um exemplo de reservatório coberto, localizado na Praça Celso Luft em Porto Alegre – RS, geralmente utilizado quando não há espaço adequado para execução do reservatório em céu aberto, aproveitando para transformá-lo em área de lazer.

**Figura 19 - Exemplo de bacia de detenção a céu aberto na Praça Júlio Andreatta.**



Fonte: GZH Porto Alegre (2021).

**Figura 20 - Exemplo de bacia de detenção a céu no loteamento Ecoville.**



Fonte: Martins (2015, p. 47).

**Figura 21 - Exemplo de bacia de detenção coberto na Praça Celso Luft.**

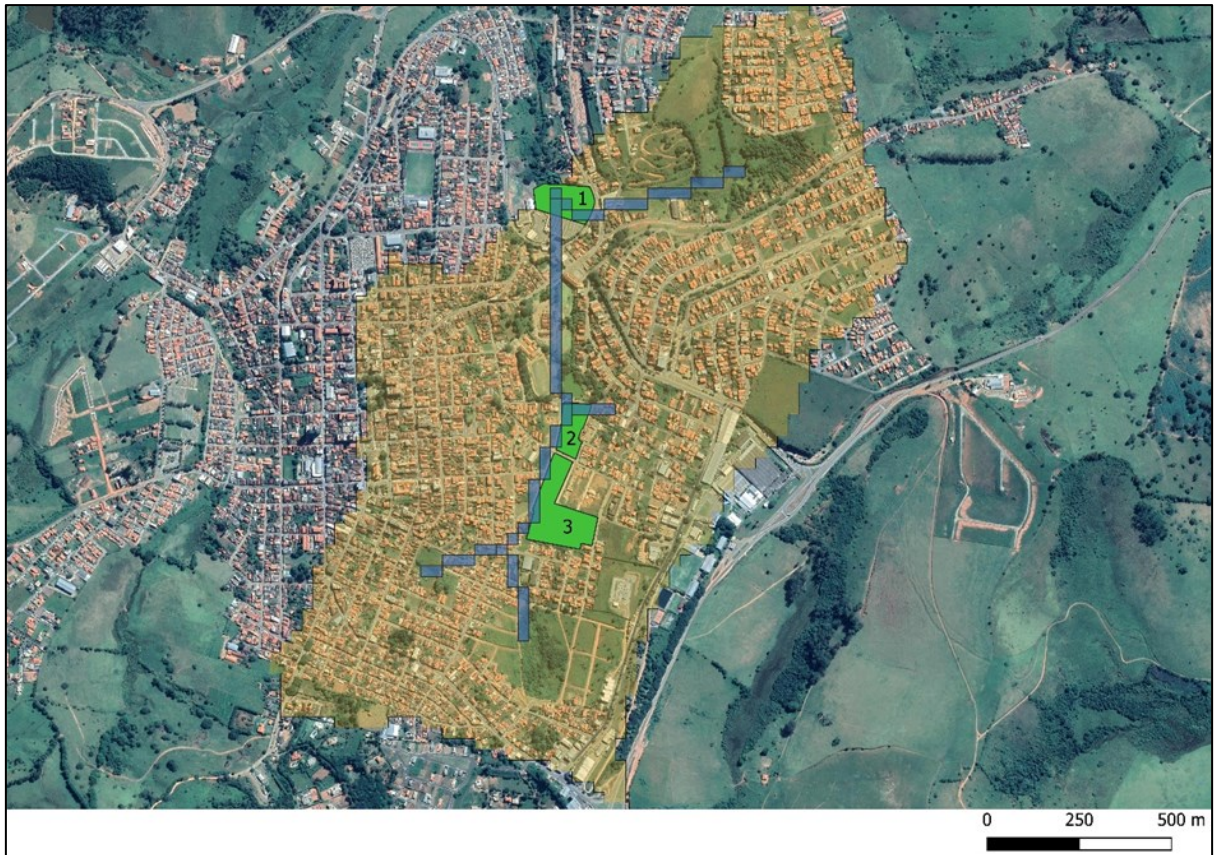


Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland *et al.* (2013, p. 9).

Com o objetivo de alocar os reservatórios em áreas disponíveis dentro da bacia do estudo, é possível observar que reservatórios podem ser executados em 3 áreas vegetadas distintas, demonstrado no Mapa 7, podendo ser efetuado em apenas uma área, ou simultaneamente em mais áreas. A área representada em verde com o número 1 está posicionada à jusante da bacia e as demais áreas verdes 2 e 3 estão localizadas ao meio da bacia.

Ao analisar as áreas indicadas para a execução dos reservatórios, nota-se que o curso dos córregos responsáveis pela drenagem da bacia as atravessam. Diante disso, uma alternativa é implementar reservatório de detenção nas possíveis áreas numeradas 1, 2 e 3, também sendo possível aplicar reservatório de retenção na área 3, por estar localizada à montante e ser um método em que não há o descarregamento do volume de água à jusante. A área da bacia de drenagem é representada em amarelo e os cursos d'água em azul.

**Mapa 7 - Possíveis áreas para implementação de reservatórios.**



**Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).**

O Mapa 8 retrata em menor escala a área numerada 1 à jusante, a qual está delimitada na cor vermelha. Nota-se que o córrego cujas galerias do sistema de drenagem são direcionadas atravessam essa área e também a proximidade com o cruzamento referência do local do estudo.

**Mapa 8 – Possível área 1 para implementação de reservatório.**



**Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).**

O Mapa 9 mostra as áreas 2 e 3 delimitadas em vermelho, localizadas ao meio da bacia de drenagem. Nesta imagem também é possível observar o curso d'água localizados à esquerda das áreas.

**Mapa 9 – Possíveis áreas 2 e 3 para implementação de reservatórios.**



**Fonte: Adaptado de QGIS Development Team® (2022).**

Tratando-se em dimensionamento, o livro “Drenagem Urbana – Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade” de Miguez *et. al.* (2015), propõe um modelo simplificado para dimensionar reservatórios de detenção e retenção, os quais podem ser considerados para um futuro complemento baseado neste trabalho.

Vale ressaltar que em 2022 Prefeitura Municipal de Paraisópolis – MG efetuou obras na região do cruzamento em estudo, a fim de melhorar a captação de águas pluviais por meio da substituição de galerias com maior diâmetro, por razão de não ter sido executado corretamente no momento do planejamento dos sistemas hidráulicos. As Fotografias 4A e 4B demonstram parte da obra sendo feita.

**Fotografia 4 - Obras de drenagem realizadas na região do cruzamento.**



Fonte: Autoria própria (2022).



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento urbano sem um planejamento adequado resulta em cidades com problemas sociais, ambientais e falta de estrutura apropriada para o bem-estar da população. Em Paraisópolis-MG, a maioria dos problemas urbanos existentes atualmente são provenientes do crescimento desenfreado de edificações que somados à falta de planejamento urbano, originou os problemas retratados neste estudo relacionados à drenagem urbana. Além disso, vale ressaltar que o plano diretor do município foi recentemente implementado, em 2019, e, portanto, as ações de desenvolvimento satisfatórias na cidade estão apenas no início.

Tucci (2003) menciona que por muitos anos a drenagem urbana foi tratada de um modo de canalizar as águas pluviais e transferir à jusante o mais rápido possível. Este conceito infelizmente ainda é utilizado para diminuir o surgimento de cheias, alagamentos e enchentes nos centros urbanos, sobrecarregando à jusante de sub-bacias e também faz com que os problemas se acumulem ou transfiram de local. Sendo assim, as medidas como técnicas compensatórias não estruturais, e conforme indicado pelo autor, o desenvolvimento de um plano diretor de drenagem urbana, auxiliariam no controle dos problemas citados e além do mais, colaborariam na prevenção dos mesmos.

A medida estrutural adotada pela prefeitura de melhorar a captação de águas pluviais é necessária, visto que conforme a análise da via crítica deste estudo, realmente há deficiência no dimensionamento do sistema. No entanto, tratar os problemas no local onde ocorrem e não na bacia como um todo ou então não abordar a causa dos mesmos, podem promover novos alagamentos em um futuro próximo.

Ainda, a substituição ao longo dos anos de pavimentos permeáveis para o pavimento asfáltico, que caracterizam um dos fatores para a contribuição dos alagamentos na região do cruzamento aumentando a vazão em cerca de 30% e 38%, sua implementação deveria ser melhor avaliada, viabilizando a substituição apenas em casos extremos e justificáveis. Por esse motivo, faz-se necessário manter os pavimentos permeáveis sempre que possível, pois assim o coeficiente de escoamento superficial da bacia mantém-se baixo, permitindo a infiltração das águas provenientes da chuva para as camadas inferiores à superfície da área abrangida pela bacia.

Apesar da proposta abordada neste estudo estar baseada na execução de reservatórios de retenção e detenção para amortizar a vazão do escoamento superficial da bacia, também é possível utilizar as demais técnicas citadas no referencial teórico, como o reservatório de lote, pavimento permeável, vala de infiltração, trincheira de infiltração e telhado verde, por meio de estratégias de incentivo propostos pela prefeitura municipal, com o propósito de retardar o escoamento superficial a partir de cada edificação existente. Um exemplo disso ocorre no município de Porto Alegre – RS. Tucci (2003) menciona que um artigo foi introduzido no plano diretor onde determina que novas edificações deverão amortecer o aumento da vazão através de técnicas compensatórias.

Diante disso, um planejamento urbano adequado visando lidar com as consequências das ações da natureza e lidando com os problemas existentes prudentemente, as questões acerca da drenagem urbana não causará incômodo à população. Uma colaboração entre o poder público e os habitantes do município podem conjuntamente efetivar soluções sustentáveis e para isso, primeiramente é necessário conscientizar e sensibilizar os cidadãos os quais não possuem uma base de conhecimento sobre o assunto. Em vista disso, este trabalho tem o potencial de sintetizar as complicações e soluções existentes, com o intuito de mitigar os problemas. E além disso, também serve como base para qualquer pessoa leiga que queira compreender o que se refere ao assunto abordado.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. C. **Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: uma proposta para a bacia hidrográfica do córrego São Pedro, em Juiz de Fora – MG.** 2020. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Juiz de Fora, 2020. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2020/10/TFC2-Isis-de-Castro-Almeida1.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

ALVES, P. L. **Capacidade de interceptação pelas árvores e suas influências no escoamento superficial urbano.** 2015. 100 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Goiás – UFG, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2015. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/104/o/Tese\\_Doutorado\\_Capacidade\\_de\\_intercepta%C3%A7%C3%A3o...\\_Patr%C3%ADcia\\_Layne.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/104/o/Tese_Doutorado_Capacidade_de_intercepta%C3%A7%C3%A3o..._Patr%C3%ADcia_Layne.pdf). Acesso em: 12 nov. 2021.

AMEC EARTH & ENVIRONMENTAL GMBH et al. **Georgia stormwater management manual.** Atlanta: Technical Handbook, v. 2, 2001. Disponível em: <https://www.lex-co.com/Departments/PublicWorks/GSMMVol2.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2021.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial.** Porto Alegre: Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/44/48ba673566bf8968f9c4c613a6f1a9af\\_f2be3ce54d1b6412ba634aca68acf5c0.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/44/48ba673566bf8968f9c4c613a6f1a9af_f2be3ce54d1b6412ba634aca68acf5c0.pdf). Acesso em: 05 nov. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA – FCTH; SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Projeto técnico: reservatórios de detenção.** São Paulo: Soluções para Cidades, 2013. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/saneamento/reservatorios-de-detencao/>. Acesso em: 06 out. 2022.

AQUAFLUXUS. **Trincheiras de infiltração.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/?lang=en>. Acesso em: 19 nov. 2021.

BRITO, D. S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem.** 2006. 131 p. Tese (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília – UNB, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2006. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3319/1/2006\\_Debora%20Silva%20de%20Brito.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3319/1/2006_Debora%20Silva%20de%20Brito.pdf). Acesso em: 10 nov. 2021.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, ed. 2, 2014. Disponível em: [https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/ofitexto.arquivos/Drenagem%20Urbana%20ed\\_deg.pdf](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/ofitexto.arquivos/Drenagem%20Urbana%20ed_deg.pdf). Acesso em: 10 nov. 2021.

CIDADE BRASIL. **Cidades e municípios brasileiros – município de Paraisópolis.** 2021. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-paraisopolis.html>. Acesso em: 01 nov. 2021.

Chuva. Paraisópolis – MG, 10 jan. 2021. Facebook: Blog Paraíso Informa. Disponível em: <https://www.facebook.com/blogparaisoinforma/posts/pfbid037iUL9vNnUjo84dxcRnGcQem2fYwcjvUWWw8qhpvLGSp7hQmHWSvawGytUXgU521wl>. Acesso em: 07 set. 2022.

CORTE, A. P. D.; Et al. **Explorando o QGIS.** Curitiba: ed. 1, 2020.

COSTA, A. R.; Et al. **Águas pluviais: guia do profissional em treinamento.** Brasília: Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA, 2007. Disponível em: [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unb\\_curso\\_basico\\_de\\_hidrologia\\_urbana\\_nivel\\_3\\_2007.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unb_curso_basico_de_hidrologia_urbana_nivel_3_2007.pdf). Acesso em: 15 nov. 2021.

GOOGLE. **Google Earth Website.** Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-22.55686611,-45.77386758,920.19268823a,4874.40193209d,35y,213.48363447h,0t,0r>. 2019.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais.** São Paulo: Cengage Learning Brasil, ed. 4, 2014.

GRUPO DISPERSORES. **Projeto de olho nos olhos: proteção e recuperação das nascentes.** Brazópolis: Escritório e Viveiro Florestal, 2019. Disponível em: <https://dispersores.org/wp/projeto-de-olho-nos-olhos/>. Acesso em: 18 nov. 2021.

ECOGREEN. **O poder dos espaços inspiradores e sustentáveis.** Recife, 2017. Disponível em: <https://www.ecogreen.com.br/o-poder-dos-espacos-inspiradores-e-sustentaveis-15032017>. Acesso em: 19 nov. 2021.

FURTUNATO, O. M.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias): município pouso alegre/mg.** Salvador: CPRM, 2021. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/22410/MG-Pouso%20Alegre\\_relatorio\\_IDF\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/22410/MG-Pouso%20Alegre_relatorio_IDF_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 12 set. 2022.

GZH PORTO ALEGRE. **Praça do 4º Distrito ganha nova academia, cachorródromo e playground.** Porto Alegre: Jornal Digital, 2021. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2021/04/praca-do-4o-distrito-ganha-nova-academia-cachorrodromo-e-playground-cknq7gwrk004r016u8m877nw7.html>. Acesso em: 07 out. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil.** São José dos Campos: 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades e estados.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/paraisopolis.html>. Acesso em: 01 nov. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha municipal.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 03 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População rural e urbana.** Rio de Janeiro: Programa Educa Brasil, 2015. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>. Acesso em: 16 nov. 2021.

KOBAYASHI, F. Y.; Et al. **Drenagem urbana sustentável.** 2008. 18 p. Tese (Doutorado em Água em Ambientes Urbanos). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP / POLI USP, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://docplayer.com.br/22711865-Drenagem-urbana-sustentavel.html>. Acesso em: 15 nov. 2021.

LAGOA DA PAMPULHA. **Curiosidades sobre a Lagoa da Pampulha.** Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://www.lagoadapampulha.com.br/curiosidades-sobre-a-lagoa-da-pampulha/>. Acesso em: 18 nov. 2021.

LOURENÇO, R. R. A. **Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis.** 2014. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra – ISEC, Programa de Especialização em Construção Urbana, Coimbra, 2014. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/14071/1/Rossana-Lourenco.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente.** São Paulo: Revista do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, v. 1, p. 1-11, 2012. Disponível em: [https://www.bariri.sp.gov.br/arquivos/28\\_gestaodrenagem.pdf](https://www.bariri.sp.gov.br/arquivos/28_gestaodrenagem.pdf). Acesso em: 02 dez. 2021.

MARTINS, L. R. **Viabilidade técnica da construção de banhados no espaço urbano para controle qualiquantitativo do escoamento pluvial.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127702/000970947.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 07 out. 2022.

MARUYAMA, C. M.; FRANCO, M. A. R. **Pavimentos permeáveis e infraestrutura verde.** São Paulo: Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, v. 4, n. 9, p. 73-86, 2016. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades\\_verdes/article/view/1384/1406](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades_verdes/article/view/1384/1406). Acesso em: 18 nov. 2021.

MENEGON, C. **Ponto de ônibus “teto verde” de Caxias do Sul é um exemplo.** Curitiba, 2019. Disponível em: <https://crismenegon.com.br/2019/02/13/ponto-de-onibus-teto-verde-de-caxias-do-sul-e-um-exemplo/>. Acesso em: 19 nov. 2021.

MIGUEZ, M.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana – do projeto tradicional à sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Elsevier, ed. 1, 2015.

NS ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Plano municipal de saneamento básico e plano municipal e gestão integrada de resíduos sólidos.** Mogi Mirim: NS Engenharia Sanitária e Ambiental S/S Ltda. EPP, v. 1, 2015. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/docs/pmsb-pmgirs/p7-sapuca-mirim-vol1.pdf>. Acesso em: 11 out. 2021.

OLIVAL, C. A.; Et al. **Sistemas de drenagem sustentáveis.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4148202/mod\\_resource/content/1/GRUPO%20F\\_RELATORIO\\_FINAL.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4148202/mod_resource/content/1/GRUPO%20F_RELATORIO_FINAL.pdf). Acesso em: 06 out. 2022.

POLETO, C. **SUDS (Sustainable urban drainage systems): uma contextualização histórica.** Pelotas: Revista Thema, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/38/38>. Acesso em: 11 nov. 2021.

POMPÊO, C. A. **Drenagem urbana sustentável.** Porto Alegre: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000. Disponível em: [http://www.reasul.org.br/files/Drenagem\\_Urbana\\_Sustent%C3%A1vel\\_.pdf](http://www.reasul.org.br/files/Drenagem_Urbana_Sustent%C3%A1vel_.pdf). Acesso em: 18 nov. 2021.

PREFEITURA DE PARAISÓPOLIS – MG. **Sobre Paraisópolis.** Paraisópolis: Município Web, 2021. Disponível em: <https://www.paraisopolis.mg.gov.br/sobre-paraisopolis>. Acesso em: 11 out. 2021.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **Versão 3.24.0.** Disponível em: [https://qgis.org/pt\\_BR/site/index.html](https://qgis.org/pt_BR/site/index.html). 2022

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **A liderança do SIG de código aberto.** Disponível em: [https://qgis.org/pt\\_BR/site/about/index.html](https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html). Acesso em: 03 set. 2022.

ROSSI, E.; GONÇALVES, L. M. **Ecotécnicas de drenagem urbana: urbanização de impacto ambiental reduzido.** 2012. 16 p. Tese (Especialização em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, São Carlos, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Luciana-Goncalves-2/publication/306108767\\_ECOTECNICAS\\_DE\\_DRENAGEM\\_URBANA\\_URBANIZACAO\\_DE\\_IMPACTO\\_AMBIENTAL\\_REDUZIDO/links/57b267ac08ae0101f17a5dcd/ECOTECNICAS-DE-DRENAGEM-URBANA-URBANIZACAO-DE-IMPACTO-AMBIENTAL-REDUZIDO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luciana-Goncalves-2/publication/306108767_ECOTECNICAS_DE_DRENAGEM_URBANA_URBANIZACAO_DE_IMPACTO_AMBIENTAL_REDUZIDO/links/57b267ac08ae0101f17a5dcd/ECOTECNICAS-DE-DRENAGEM-URBANA-URBANIZACAO-DE-IMPACTO-AMBIENTAL-REDUZIDO.pdf). Acesso em: 18 nov. 2021.

SILVA, L. P. **Hidrologia – engenharia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SÃO PAULO IN FOCO. O parque de São Paulo: **A história do Ibirapuera**. São Paulo: Blog São Paulo in foco, 2013. Disponível em: <https://www.saopauloinfoco.com.br/historia-do-parque-do-ibirapuera/>. Acesso em: 06 out. 2022.

TASSI, R.; Et al. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais**. Porto Alegre: Ambiente Construído, v. 14, n. 1, p. 139-154, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/SLTzVMTPCbKMQxxTb37FzCr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 19 nov. 2021.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. Guarulhos: Livro publicado em papel, 2002. Disponível em: [http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=livro10\\_calculos\\_hidrologicos-ler.pdf](http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=livro10_calculos_hidrologicos-ler.pdf). Acesso em: 06 set. 2022.

TRIPADVISOR. **Tripadvisor Website: Sorocaba - fotos**. 2017. Disponível em: [https://www.tripadvisor.com.br/LocationPhotoDirectLink-g303632-d8449678-i288336329-Pista\\_Caminhada\\_Campolim-Sorocaba\\_State\\_of\\_Sao\\_Paulo.html](https://www.tripadvisor.com.br/LocationPhotoDirectLink-g303632-d8449678-i288336329-Pista_Caminhada_Campolim-Sorocaba_State_of_Sao_Paulo.html). Acesso em: 06 out. 2022.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana**. São Paulo: Ciência e Cultura, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v55n4/a20v55n4.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2021.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília: Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe – CEPAL / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, n. 48, 2012. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/38004>. Acesso em: 17 nov. 2021.

TUCCI, C. E. M. Et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, ed. 2, 2001.

VASCO, J. R. J. **Sistemas urbanos de drenagem urbana**. 2016. 156 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL, Lisboa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/7168/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2021.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, ed. 1, p. 478, 1978.