



**UFOP**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



**Gabriela Rosa Oliveira**

**MODELAGEM HIDROLÓGICA COM O USO DE  
INFRAESTRUTURAS VERDES: ESTUDO DE CASO DO  
CÓRREGO JATOBÁ, EM BELO HORIZONTE.**

Ouro Preto

2022

Modelagem hidrológica com o uso de infraestruturas verdes: Estudo de caso do Córrego Jatobá, em Belo Horizonte.

Gabriela Rosa Oliveira

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 28/10/2022

Área de concentração: Drenagem Urbana

Orientadora: Prof. D.Sc. Ana Letícia Pilz de Castro – UFOP

Ouro Preto

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O48m Oliveira, Gabriela Rosa.  
Modelagem hidrológica com o uso de infraestruturas verdes  
[manuscrito]: estudo de caso do Córrego Jatobá em Belo Horizonte. /  
Gabriela Rosa Oliveira. - 2022.  
45 f.: il.: , gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Letícia Pilz de Castro.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Bacias hidrográficas - Modelagem hidrológica. 2. Drenagem -  
Drenagem urbana. 3. Serviços ambientais - Infraestruturas verdes. I.  
Castro, Ana Letícia Pilz de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III.  
Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Gabriela Rosa Oliveira**

### **Modelagem hidrológica com uso de infraestruturas verdes: estudo de caso do córrego Jatobá, em Belo Horizonte**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil.

Aprovada em 28 de outubro de 2022

#### Membros da banca

Dra. - Ana Letícia Pilz de Castro - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dra. - Clívia Dias Coelho - Universidade Federal de Ouro Preto  
Msc. - Marllus Henrique Ribeiro de Paiva - Universidade Federal de Ouro Preto

Ana Letícia Pilz de Castro, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/11/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Letícia Pilz de Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/11/2022, às 18:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0421104** e o código CRC **1E191758**.

*Dedico este trabalho aos meus avós, que  
pela oração me guiaram até aqui.*

*Em memória, minha avó Licinha, que tanto  
torceu e hoje me guia ao lado de Deus.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus o maior dos meus agradecimentos, pelo amparo em todos os recomeços, pela força sempre renovada e por sempre me guiar.

À minha mãe, Stefania, por sempre ter acreditado em mim mesmo quando eu desacreditei, pelos vários colos durante essa trajetória, por todas as apresentações teste assistidas, pelo incentivo, e pelo amor incondicional.

Ao meu pai, Geraldo, pelos ensinamentos de fé que me trouxeram até aqui com a confiança de que os planos de Deus não falham. Por cada conversa e abraço, por todo o esforço em me manter calma e confiante na caminhada, por cada visita em obra e estudos compartilhados.

Às minhas irmãs, Karina e Isabela, pelo companheirismo, pelas milésimas leituras de trabalhos e todo o carinho e paciência.

À minha orientadora, Prof. Ana Letícia Pilz de Castro, pelos ensinamentos, incentivo, amizade e parceria.

Ao meu trio, Maria Eduarda e Chrystian, por compartilharem essa conquista e toda a graduação comigo, sem dúvidas meu maior apoio dentro da Universidade, e hoje também fora dela.

Ao PET Civil, grande responsável pela minha evolução durante a graduação, como pessoa e profissional.

Ao FNDE, pelo apoio financeiro aos alunos do Programa de Educação Tutorial.

À Escola de Minas pelo ensino público de qualidade.

À UFOP e a todos os professores que de alguma forma contribuíram para minha formação.

## RESUMO

O desenvolvimento urbano acarreta grandes mudanças no uso da terra, principalmente no que se refere à infiltração da água no mesmo. Dessa forma, a drenagem urbana fica comprometida, precisando conduzir maiores vazões em menos tempo. Por isso, este trabalho foi desenvolvido com o intuito de realizar simulações hidrológicas da bacia do Córrego Jatobá – Belo Horizonte - MG, obtendo seu hidrograma de cheias para a sua situação natural, como se encontra atualmente, e para uma situação futura, implantando-se técnicas compensatórias, com a finalidade de se avaliar a eficiência dessas técnicas para o local. O modelo computacional ABC6 foi utilizado para simulação das vazões de pico para os tempos de retorno (TR) de 5, 10 e 50 anos, e para tal, foi realizada a caracterização física da bacia a fim de se obter os parâmetros necessários para o modelo, além da determinação dos valores de *Curve Number* (CN) para a condição atual e após a implementação de telhados verdes e pavimentos permeáveis. A partir das análises, percebeu-se que a implantação das técnicas é eficiente, visto a redução da vazão de pico em 21,4% no melhor resultado, para o TR de 5 anos. Este resultado é mais influenciado pela implantação de telhados verdes, que abrange cerca de 20% da área de estudo. Além disso, foi percebido que quanto maior o TR, menos eficazes são as técnicas, isso devido a capacidade de retenção da própria bacia, que é reduzida com o passar do tempo. Ressalta-se ainda, a importância de serem estudadas outras técnicas que podem ser melhor aplicadas ao local, abrangendo maiores áreas e obtendo resultados ainda mais satisfatórios.

Palavras-chaves: Modelagem hidrológica, Drenagem urbana, Infraestruturas verdes.

## **ABSTRACT**

Urban development causes major changes in land use, especially with regard to water infiltration in it. Thus, urban drainage is compromised, needing to drive higher flows in less time. Therefore, this work was developed with the purpose of performing hydrological simulations of the Jatobá Stream – Belo Horizonte basin, obtaining its flood hydrogram for its natural situation, as it is currently, and for a future situation, implementing compensatory techniques, in order to evaluate the efficiency of these techniques for the site. The ABC6 computational model was used to simulate the peak flow rates for the return times of 5, 10 and 50 years, and for this purpose, the physical characterization of the basin was performed in order to obtain the necessary parameters for the model, in addition to the determination of curve number (CN) values for the current condition and after the implementation of green roofs and permeable floors. From the analyses it was noticed that the implementation of the techniques is efficient, since the reduction of the peak flow rate by 21,4% in the best result, for the 5 yearsTR. This result is influenced by the implementation of green roofs, which covers about 20% of the study area. In addition, it was perceived that the longer the return time, the less effective the techniques are, due to the retention capacity of the basin itself, which is reduced over time. It is also important to study other techniques that can be better applied to the site, covering larger areas and obtaining even more satisfactory results.

Keywords: Hydrological modeling, Urban Drainage, Green infrastructures.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – a) Hidrograma hipotético. b) Hidrograma Arroio Dilúvio.....	4
Figura 2 – Função e composição das coberturas verdes .....	9
Figura 3 – a) concreto ou asfalto poroso, b) blocos de concreto vazados .....	11
Figura 4 – Localização da bacia hidrográfica do Córrego Jatobá .....	14
Figura 5 – Sub-bacias da bacia hidrográfica do Córrego Jatobá. ....	15
Figura 6 – Mapa do zoneamento de Belo Horizonte na bacia do Córrego Jatobá .....	18
Figura 7 – Parâmetros de escoamento superficial para o zoneamento urbano de Belo Horizonte .....	18
Figura 8 – Mapa de áreas disponíveis para implantação de pavimentos permeáveis. ....	23
Figura 9 – Mapa de áreas disponíveis para implantação de telhados verdes. ...	24
Figura 10 – Hidrograma para os cenários 1 e 2, considerando tempo de retorno de 5 anos. ....	25
Figura 11 – Hidrograma para os cenários 1 e 2, considerando tempo de retorno de 10 anos. ....	26
Figura 12 – Hidrograma para os cenários 1 e 2, considerando tempo de retorno de 50 anos. ....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para modelagem hidrológica de cada sub bacia do Córrego Jatobá. ....	15
Tabela 2 – Morfometria da Bacia Hidrográfica do Córrego Jatobá. ....	16
Tabela 3 – Valores de <i>Curve Number</i> para as técnicas compensatórias. ....	20
Tabela 4 – Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia principal. ....	21
Tabela 5 - Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia 1.....	22
Tabela 6 - Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia 2.....	22
Tabela 7 - Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia 3.....	22
Tabela 8 - Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia 4.....	22
Tabela 9 – Parâmetro CN de cada bacia para o cenário 1. ....	23
Tabela 10 – Áreas disponíveis para implantação de pavimentos permeáveis em cada bacia.....	24
Tabela 11 – Áreas disponíveis para implantação de telhados verdes em cada bacia. ....	24
Tabela 12 - Parâmetro CN de cada bacia para o cenário 2. ....	25
Tabela 13 – Redução das vazões de pico para os tempos de retorno de 5, 10 e 50 anos. ....	27

# SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
1.1	Objetivo .....	3
1.1.1	Objetivos Específicos .....	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Relação entre a urbanização e os cursos d'água .....	4
2.2	Drenagem Urbana .....	6
2.3	Técnicas Compensatórias .....	7
2.3.1	Telhados Verdes .....	8
2.3.2	Pavimentos Permeáveis.....	10
2.4	Modelagem hidrológica.....	11
3	Metodologia.....	14
3.1	Caracterização do local de estudo.....	14
3.2	Modelagem hidrológica a partir do software ABC-6.....	16
3.2.1	Determinação do Curve Number para o cenário 1 .....	17
3.2.2	Determinação do <i>Curve Number</i> para o cenário 2.....	19
4	Resultados .....	20
4.1	Caracterização do local de estudo.....	20
4.2	Determinação do Curve Number (CN) para o cenário 1 .....	21
4.3	Determinação do <i>Curve Number</i> (CN) para o cenário 2.....	23
4.4	Modelagem hidrológica dos cenários propostos.....	25
5	Conclusão .....	28
5.1	Sugestões para trabalhos futuros .....	28

Referências.....30

# 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população em áreas mais urbanizadas se intensificou em escala mundial, tendo um avanço maior a partir da segunda metade do século XX. Com isso as cidades, juntamente com os cursos d'água, vêm se alterando com o passar dos anos (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2002) influenciado pelas ações antrópicas. Esse aumento das áreas urbanizadas e conseqüentemente impermeabilizadas, ocorreu a partir das zonas mais baixas, próximas às várzeas dos rios ou à beira-mar, em direção aos morros, visto que a população tinha a necessidade de estar próxima dos corpos hídricos, que são utilizados como fonte de alimento, descarte de resíduos, além de transporte e comunicação (CANHOLI, 2014).

Sabe-se que em 2010, 84,36% da população brasileira já vivia em áreas urbanas (IBGE, 2010). Mas essa evolução das cidades trouxe consigo problemas resultantes da precariedade da infraestrutura de controle da presença de águas, hoje chamada de drenagem urbana (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2002). Segundo Tucci (2007), as enchentes podem ocorrer por motivos naturais ou pelo processo de urbanização. Em bacias hidrográficas rurais, o fluxo é retido pela vegetação, infiltrado no solo e apenas o que resta escoar pela superfície, produzindo um hidrograma de lenta variação e com picos de enchente moderados (TUCCI, 2007). A combinação dos aspectos urbanos e a falta de infraestrutura hídrica adequada leva a má eficiência das redes de drenagem (TUCCI, 2012), visto que as altas taxas de impermeabilização do solo juntamente com os altos índices pluviométricos aumentam o volume e a velocidade de escoamento superficial, levando as inundações nas cidades (MORAIS, *et al.*, 2021).

Apesar de os métodos de drenagem clássicos, como as canalizações, ainda serem considerados meios satisfatórios de controle das águas pluviais (NUNES, 2018), estão sendo criadas novas técnicas a fim de auxiliar no processo de infiltração da água da chuva no solo, retardando os escoamentos, aumentando os tempos de concentração, reduzindo as vazões máximas e conseqüentemente os volumes de enchentes (CANHOLI, 2014), e resgatando o hidrograma nas condições pré-urbanização, sem que prejudique a população (MOURA, 2004). Essas técnicas são chamadas de Técnicas Compensatórias (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2011).

Desta forma, vários são os novos conceitos de técnicas de drenagem aplicáveis, como jardins de chuva, ou sistemas de biorretenção, trincheiras de infiltração,

pavimentos permeáveis, que também possibilitam a infiltração da água, poços de infiltração, reservatórios individuais e telhados verdes, que além de auxiliarem no controle de enchentes, também possuem outros benefícios para as cidades (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2011).

Sendo assim, foram escolhidas duas técnicas compensatórias, pavimentos permeáveis e telhados verdes, para serem estudadas como medidas de controle das águas em Belo Horizonte - MG, especificamente na bacia do Córrego Jatobá, situado em sua maior parte na região do Barreiro. O local de estudo foi escolhido devido aos seus períodos de cheia, em sua maioria com ocorrências nas estações primavera e verão, que proporcionam à cidade eventos de inundações.

O telhado verde, uma das técnicas escolhidas, é uma cobertura vegetal implantada sobre os telhados convencionais, constituído por camadas de filtro, dreno, proteção e impermeabilização (MORAIS, *et al.*, 2021). Além dos benefícios para a drenagem urbana, de acordo com Nunes (2018), os telhados verdes também ajudam na distribuição de calor nos prédios e nas cidades, melhora as condições ambientais, insere vegetação no meio urbano, melhora a qualidade do ar, contribuindo, portanto, como mais uma ferramenta no combate a mudanças climáticas.

Segundo Araújo, *et al.*, (2000), os pavimentos permeáveis são dispositivos que permitem desviar o escoamento superficial para um reservatório de pedras inserido sob a superfície. Sua composição se dá por camadas de agregados finos e graúdos, além da camada do próprio pavimento (ARAÚJO, *et al.*, 2000).

## **1.1 Objetivo**

O objetivo geral consiste em aplicar duas técnicas compensatórias à bacia do Córrego Jatobá, em Belo Horizonte – MG, a fim de avaliar se as medidas são eficientes para reduzir as vazões de pico no período mais chuvoso

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos consistem em:

- Caracterizar a área de estudo;
- Executar a simulação hidrológica em diferentes cenários, com e sem influência das técnicas compensatórias;
- Avaliar os impactos das técnicas escolhidas em relação as vazões no local.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Relação entre a urbanização e os cursos d'água

Segundo Baptista e Nascimento (2002), sempre houve uma grande ligação entre o processo de urbanização e os cursos d'água, visto que estes são essenciais para o desenvolvimento da vida humana, seja para consumo próprio, ou na utilização como via de transporte e comunicação. Porém, com o desenvolvimento das cidades, transformação do meio rural para urbano industrial, os papéis desempenhados pelos cursos d'água também se modificaram (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2002).

À medida que se desenvolvem as cidades, as áreas impermeabilizadas aumentam, maiores são os escoamentos superficiais, menores os tempos de concentração nas bacias (TUCCI, 2007), ou seja, leva-se menos tempo para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial no seu exultório (SILVEIRA, 2005).

O hidrograma de uma bacia natural e o resultante dos processos de urbanização são demonstrados por Tucci (2007) e representado na Figura 1.

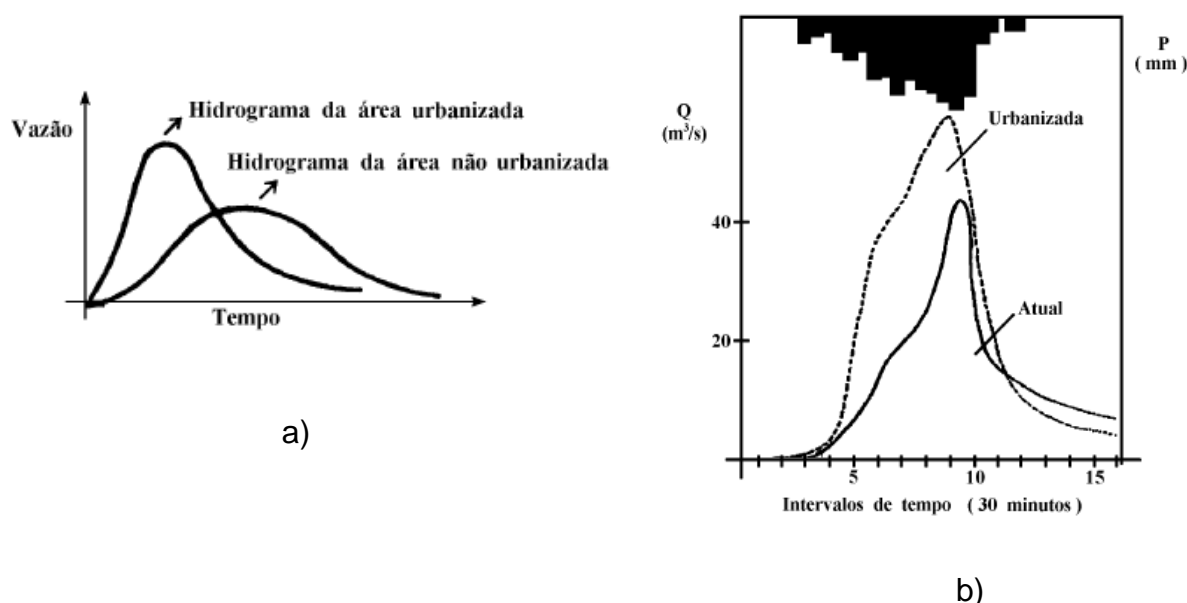


Figura 1 – a) Hidrograma hipotético. b) Hidrograma Arroio Dilúvio. (TUCCI, 2007).

A figura 1-a apresenta o impacto da urbanização na influência direta na vazão das bacias, havendo um aumento da mesma, com a redução do tempo de ocorrência da vazão máxima. A figura 1-b consiste em um exemplo prático de aplicação do Plano



Diretor da cidade de Porto Alegre para uma urbanização planejada. Observa-se as mesmas características citadas no hidrograma hipotético (TUCCI, 2007).

Segundo Santos (2007), as bacias urbanizadas podem apresentar até 20 vezes um menor tempo de resposta hidrológica comparado às bacias naturais. Barros, (2005) relata que o aumento no volume de escoamento superficial para uma mesma precipitação faz com que os sistemas de drenagem deixem de ser eficientes, sendo incapazes de suportar as chuvas para as quais foram projetados. Além do aumento no escoamento superficial relacionado a impermeabilização do solo, a urbanização gera um maior volume de sedimentação nos canais de drenagem, maior lançamento de lixos e resíduos em córregos e galerias, além de ocupações não controladas em áreas de várzeas (BARROS, 2005).

Com o aumento da vazão das bacias e o aumento do escoamento superficial, entre outros fatores que resultam em inundações, é necessário um maior controle das águas pluviais já que o crescimento urbano é contínuo. Segundo Tucci (2007), a tendência desse controle é que aconteça, em sua maioria, através de canalizações nos trechos críticos. Isso ocorre com uma visão particular para cada situação, e não sob planejamento para toda a bacia. Logo as inundações apenas são transferidas para outros pontos, e não solucionadas (TUCCI, 2007).

Tucci (2007) relata ainda que, com a execução das canalizações em trechos, sem uma visão sistêmica do todo, em certo momento elas não serão mais eficazes, sendo necessário aplicar outros métodos nos cursos d'água para reduzir os efeitos já citados anteriormente, sendo uma das medidas o aprofundamento do canal, que possui custos extremamente altos.

Logo, é necessário que as políticas de drenagem sejam alteradas para se obter um maior resultado de melhoria, e que obras de manutenção não sejam apenas feitas em caráter emergencial, após eventos chuvosos, mas como ação preventiva (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2002). Mas, segundo Baptista e Nascimento (2002), para que a gestão global ocorra, é necessário que haja participação da população na busca pelas soluções de controle do escoamento, visto que o poder público não é capaz de interferir nas referidas áreas sem participação do responsável.

Outro ponto citado pelos autores corresponde a incorporação de novas tecnologias, revalorizando o ambiente natural e a gestão do risco de inundações. A

associação de obras de drenagem clássicas com a incorporação de técnicas compensatórias já vêm sendo adotado em Bordeaux, na França com resultados satisfatórios, e dessa forma, torna-se uma possível estratégia para ser reestruturado o sistema de drenagem no Brasil (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2002).

## **2.2 Drenagem Urbana**

Entende-se como drenagem urbana, o gerenciamento das águas da chuva. Como citado por Tucci (2007) e Canholi (2014) também expõem que a urbanização desordenada e o uso inadequado do solo provocam a redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios, que necessariamente precisarão ocupar outros lugares. Dessa forma, são feitos usos de canalizações para aumentar a velocidade dos escoamentos. Porém sabe-se que quanto menor o tempo de concentração, maior o pico de vazão a jusante (CANHOLI, 2014).

Deve-se saber ainda que a melhor drenagem é aquela que não produz impactos negativos, nem no local e nem a jusante da bacia hidrográfica (FILHO, *et al.*, 2000).

Segundo Tucci (2012), às águas pluviais podem gerar dois tipos de inundações: as ribeirinhas e as inundações devido à urbanização. As inundações ribeirinhas ocorrem devido ao excesso de chuva que não consegue ser drenado, inundando o leito maior dos rios. Já as inundações devido à urbanização ou à drenagem urbana ocorrem à medida que ocorre a impermeabilização do solo, além do desenvolvimento urbano causar obstruções ao escoamento, como aterros, pontes e drenagens inadequadas (SECRETARIA DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO, 2017).

O planejamento de drenagem, dessa forma, deve ser entendido como parte do processo de planejamento urbano, coordenado com os demais planos, principalmente com o saneamento básico, uso da terra e transportes, com objetivos de manter as regiões ribeirinhas ainda não urbanizadas em condições que minimizem as interferências com a capacidade de escoamento e armazenamento do talvegue, assegurar que os projetos de prevenção e correção sejam consistentes com os objetivos gerais do planejamento urbano, além de incentivar a utilização alternativa das águas de chuva coletadas, para uso industrial, irrigação e abastecimento (CANHOLI, 2014).

As medidas de controle de inundações são classificadas em medidas não estruturais e estruturais. As medidas de controle não estruturais se tratam de prevenção ou redução dos danos, pela introdução de normas, regulamentos, alertas, seguros e capacitação da população e profissionais para disciplinamento do uso e ocupação da terra e manutenção dos dispositivos de drenagem (CANHOLI, 2014). Enquanto as medidas estruturais fazem uso de obras que evitem que as mesmas ocorram, ou que façam correção do problema, como diques, barragens, canalizações, entre outros, que além de tudo são medidas mais caras, de alto investimentos, e geralmente pouco viáveis economicamente (TUCCI, 2012).

As medidas estruturais podem ser compreendidas como medidas intensivas ou extensivas. As intensivas podem ser de quatro tipos: aceleração do escoamento, de retardação do fluxo, de desvio do escoamento, e que englobem a introdução de ações individuais tornando as edificações à prova de enchentes, enquanto as extensivas correspondem ao pequenos armazenamentos disseminados na bacia, à recomposição de cobertura vegetal, controle de erosão ao longo da bacia de drenagem (CANHOLI, 2014).

Segundo Tucci (2012), na drenagem urbana existem dois cenários típicos: para as áreas ainda não construídas são utilizadas medidas não estruturais, como fiscalização, enquanto para áreas já construídas utilizam-se de medidas estruturais que amortecem o escoamento na fonte ou na macrodrenagem.

Com o intuito de aumentar a infiltração da água no solo, buscar uma melhoria no equilíbrio do ciclo hidrológico e incentivar o uso de água pluvial, surge o conceito de SUDS (*Sustainable Urban Drainage System*), uma evolução do conceito antigo de drenagem (AGOSTINHO e POLETO, 2012). Ainda segundo os autores, com o conceito ambiental de drenagem, aparecem soluções alternativas, compensatórias ou ambientais, agindo em conjunto com as estruturas convencionais, que procuram compensar sistematicamente os efeitos da urbanização.

### **2.3 Técnicas Compensatórias**

Os sistemas clássicos de drenagem das águas pluviais se tratam da captação das águas para serem conduzidas por condutos artificiais, sendo lançadas em corpos d'água rapidamente (MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007). Contudo, outras abordagens, as chamadas

técnicas compensatórias, como implantação de reservatórios individuais e bacias de retenção, vêm ganhando destaque a partir dos anos 70, principalmente na Europa.

As técnicas compensatórias, ao contrário dos sistemas clássicos, propõem um arranjo lento para infiltração e retenção das águas das chuvas, diminuindo o volume de escoamento superficial e um hidrograma com menor vazão de pico (MOURA, 2004). Essas técnicas podem ser classificadas em três tipos, de acordo com o controle de vazão utilizado: técnicas de controle na fonte; técnicas lineares; e, técnicas para controle centralizado (MARTINS, 2017).

As técnicas para controle na fonte consistem em poços de infiltração, micro reservatórios individuais, valas, telhados armazenadores, entre outros, enquanto as técnicas lineares são os pavimentos porosos, áreas de armazenamento em pátios ou estacionamento, e as técnicas para controle centralizado são as bacias de retenção (MOURA, 2004).

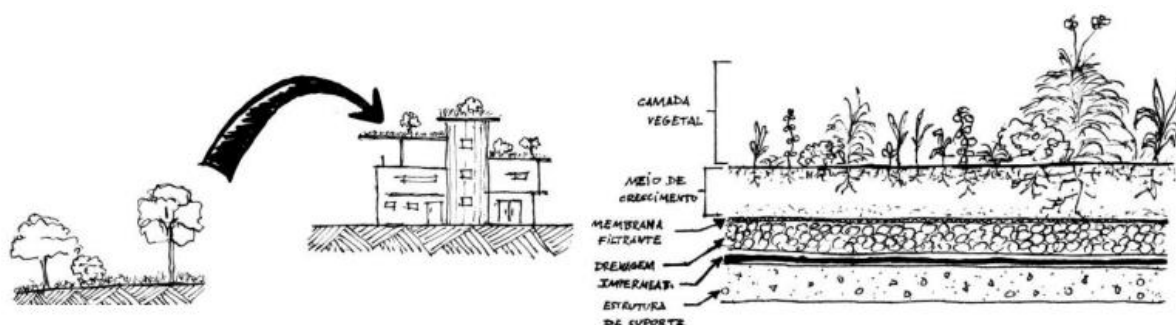
Segundo Baptista e Nascimento (2011), com a evolução da drenagem para uso das técnicas compensatórias, a escolha dos métodos ficou ainda mais complexa, devendo ser considerados aspectos ambientais, sociais e econômicos, sendo considerado um processo multitécnico.

Considerando-se o exposto, é necessário fazer a escolha de métodos que melhor se apliquem em cada região; Para isso, primeiramente é feita a eliminação das técnicas que se tornam inviáveis, seja por motivos hidrológicos, geotécnicos, ambientais, sociais ou econômicos, e em seguida faz-se a elaboração dos cenários das possíveis alternativas de projetos (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2011). Segundo os autores, o passo final consiste em identificar os métodos mais adequados para o contexto local para a construção de cenários.

### **2.3.1 Telhados Verdes**

O telhado verde consiste em uma cobertura vegetal implantada sobre a superfície dos telhados convencionais, composto por camadas de impermeabilização, camada protetora, camada drenante, filtrante, substrato e revestido por vegetação (MORAIS, *et al.*, 2021).

Esta técnica traz consigo a ideia de recomposição da vegetação original do solo, sendo entendida ainda como a realocação da vegetação que foi retirada para implantação dos edifícios (CAETANO, *et al.*, 2010). Além disso, a técnica contribui para a absorção das águas pluviais, sendo capaz de escoar menos volume de água decorrente de precipitações que um telhado convencional (GONÇALVES, *et al.*, 2021).



**Figura 2 – Função e composição das coberturas verdes. (CAETANO, TIBIRIÇÁ e SANTOS, 2010)**

Segundo Caetano *et al.* (2010), um ponto que também chama atenção para a implantação da técnica, diz respeito ao uso e ocupação da terra, visto a implantação se dá a partir das coberturas dos edifícios.

Além disso, tal técnica proporciona outros benefícios de acordo com Martins (2017), como: isolamento térmico das edificações, economia de energia, redução da poluição do ar, redução das ilhas de calor, entre outros.

Outros trabalhos relatam a experiência positiva da implantação de telhados verdes em relação a minimização do aumento das temperaturas nos centros urbanos, além do armazenamento de águas pluviais (NIQUINI, *et al.*, 2019). Catuzzo (2013) relata os resultados obtidos em experimento na cidade de São Paulo, fazendo um comparativo entre um edifício com uso do telhado verde e outro com cobertura em laje de concreto. O autor verificou que a temperatura no topo do edifício com cobertura verde apresentou 5,3°C a menos que edifício com laje de concreto.

Além deste estudo, várias iniciativas vêm sendo tomadas a nível nacional. Destaca-se o projeto de lei nº 1013/2014, em Belo Horizonte, com a proposta de instalação de telhados verdes em novos empreendimentos com mais de três pavimentos (DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO, 2014). Também em tramitação, o

projeto de lei nº 179/2019 propõe descontos no IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) de imóveis que adotarem medidas de redução de impacto ambiental e eficiência energética (CÂMARA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2017; NIQUINI, NUNES, *et al.*, 2019).

A obrigatoriedade de telhados verdes já acontece no estado da Paraíba e no município do Recife, que além dos telhados verdes, também é necessária a instalação de reservatórios de águas pluviais de acumulação em lotes com áreas maiores que 500m<sup>2</sup>, e que possuam área impermeabilizada superior a 25% da área total (DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO, 2015).

### **2.3.2 Pavimentos Permeáveis**

Os pavimentos permeáveis são definidos como pavimentos que possuem espaços livres em sua estrutura, permitindo que a água infiltre, além de ter a função de suporte ao transporte de veículos (MARTINS, 2017). Segundo Araújo *et al.* (2000), os pavimentos permeáveis são compostos por duas camadas de agregados, sendo uma camada de agregado fino ou médio, e outra de agregado graúdo, além da camada de pavimento permeável.

A utilização da técnica pode proporcionar uma redução do escoamento superficial e também do tempo de resposta da bacia para condições similares, ou até condições melhores que as de pré-desenvolvimento dependendo das características do subsolo (ARAÚJO, *et al.*, 2000), além de melhorar a qualidade da água e contribuir para o aumento da recarga de água subterrânea (NIQUINI, *et al.*, 2019).

Segundo Araújo *et al.* (2000), os pavimentos permeáveis se classificam em três tipos: pavimentos de concreto poroso, pavimentos de asfalto poroso e pavimentos de blocos de concreto vazados. Os pavimentos porosos têm como camada superior uma camada similar aos pavimentos convencionais, porém sem a fração de areia fina, enquanto os blocos de concreto vazado são colocados acima de uma camada de base granular, com filtros geotêxteis sob a areia fina para prevenir a migração da areia fina para a camada granular (ARAÚJO, *et al.*, 2000).

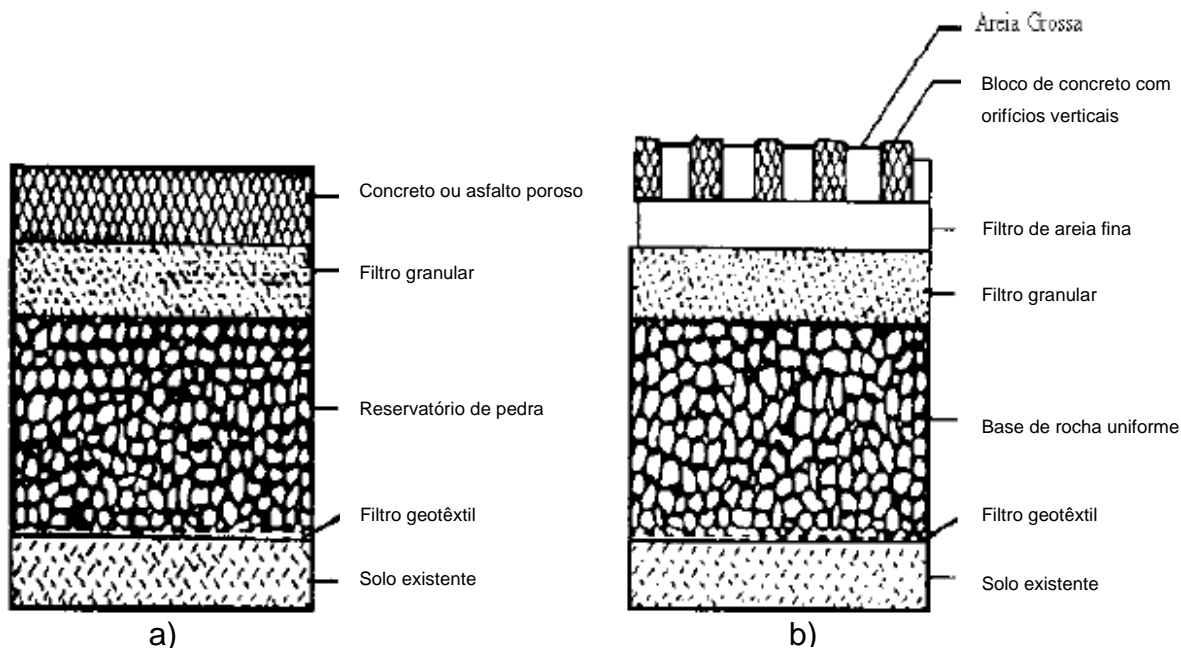


Figura 3 – a) concreto ou asfalto poroso, b) blocos de concreto vazados (ARAÚJO, *et al.*, 2000).

Em relação ao desenvolvimento da técnica de pavimentos permeáveis, no Brasil existem projetos de lei em tramitação, como o novo Plano Diretor da cidade de Belo Horizonte, que desde 2015 tramita na Câmara Municipal. As mudanças propostas giram em torno da exigência de áreas permeáveis nos terrenos, que hoje em dia pode ser substituída por reservatórios de captação de águas pluviais (CÂMARA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2019).

## 2.4 Modelagem hidrológica

O entendimento em relação aos processos hidrológicos é de fundamental importância em estudos ambientais, em projetos de obras hidráulicas e gestão de recursos hídricos, visto que o tempo em que a água permanece no ambiente, em qualquer parte dele, influencia na disponibilidade de abastecimento, e entre outros influencia ainda na ocorrência de inundações (FILHO, *et al.*, 2012), que é o objeto de estudo neste trabalho.

Segundo Tucci (2005), citado por Filho, *et al.*, (2012), os modelos hidrológicos surgiram com a necessidade do homem de se obter séries hidrológicas mais longas e representativas de vazões para projetos de recursos hídricos. Almeida e Serra (2017) *apud* Tucci (2010), cita que os modelos hidrológicos buscam representar a parte terrestre do ciclo hidrológico, transformando a precipitação em vazão em determinada

seção da bacia que recebe o volume de água. A concepção da modelagem advém da representação por meio de equações do comportamento de uma estrutura, esquema ou procedimento, que num dado intervalo de tempo inter-relaciona-se com uma entrada e saída de energia (FILHO, *et al.*, 2012) *apud* (TUCCI, 1987).

Segundo Almeida e Serra (2017), a bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, visto que, segundo a Lei Federal nº 9.433 (Lei das águas) de 8 de janeiro de 1997, bacia hidrográfica é a unidade territorial adotada para fins de planejamento da gestão hídrica do Brasil, reunindo todas as superfícies que despejam água sobre os canais de escoamento que extravasam por uma única saída. Sendo assim, as modelagens são representações de um potencial retrato da paisagem e são cada vez mais utilizadas para auxiliar no entendimento acerca dos impactos das mudanças no uso da terra e para prever futuras alterações no ecossistema (FILHO, *et al.*, 2012) *apud* (SILVA, 2007). Dessa forma, elas têm sido utilizadas em várias aplicações diferentes (FILHO, *et al.*, 2012), como análise de consistência e preenchimento de falhas, previsão de vazão, dimensionamento e previsão de cenários de planejamento e efeitos resultantes da modificação do uso da terra (ALMEIDA e SERRA, 2017), além de projeções de mudanças climáticas

Atualmente, diversos são os modelos que realizam transformação chuva-vazão para aplicação na simulação de vazões de cheias, como o *Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS), *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), *TOPography-based hydrological MODEL* (TOPMODEL), Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH), Análise de Bacias Complexas (ABC-6), entre outros (NIQUINI, *et al.*, 2019). Segundo Bedient, *et al.* (2008), para a escolha do modelo mais conveniente para o estudo, alguns pontos são levados em consideração, como os objetivos da modelagem, características da área, disponibilidade de dados, proximidade com o modelo e aspectos econômicos.

O *software* ABC-6, utilizado neste trabalho, utiliza de métodos sintéticos para o dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias sem dados, facilitando o planejamento quando se há escassez de informações ou quando não se tem os dados específicos da região (NIQUINI, *et al.*, 2019).

O estudo de Dias (2015), utilizou-se o *software* ABC-6 na bacia hidrográfica do córrego Jataí, em Uberlândia, Minas Gerais, para simular a implantação de um



reservatório de amortecimento próximo ao exultório da microbacia, levando-se em consideração também os reservatórios já existentes.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização do local de estudo

Para a elaboração deste trabalho, realizou-se levantamentos bibliográficos relativos ao tema, a fim de caracterizar a área de estudo em relação ao seu uso e ocupação da terra e outras características físicas, e levantar dados relativos à bacia, como área, declividade média e comprimento do curso d'água. Para isso foi utilizado como fonte de dados o BHMap e o projeto TOPODATA do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Tais informações foram trabalhadas no ambiente do *software* de código livre QGis.

O Córrego Jatobá, localizado ao sul do município de Belo Horizonte, é formado pelo encontro de várias nascentes localizadas na Serra do Rola Moça, bem como em seu vale, e é um dos afluentes do Ribeirão Arrudas, um dos principais canais de drenagem do município. A Figura 4 apresenta a localização da bacia.

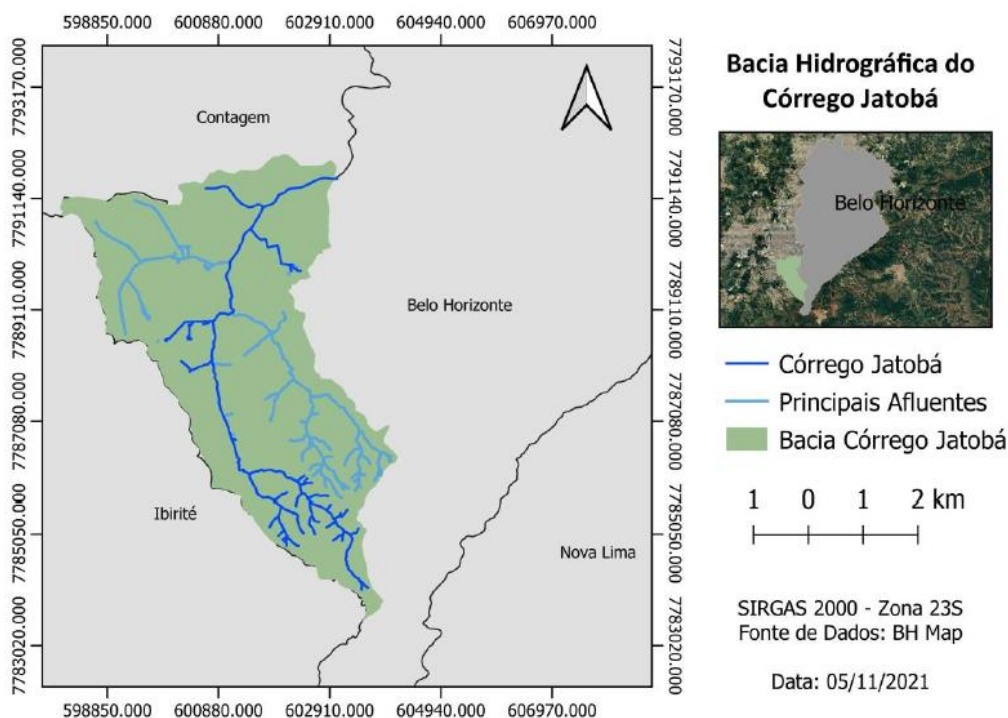
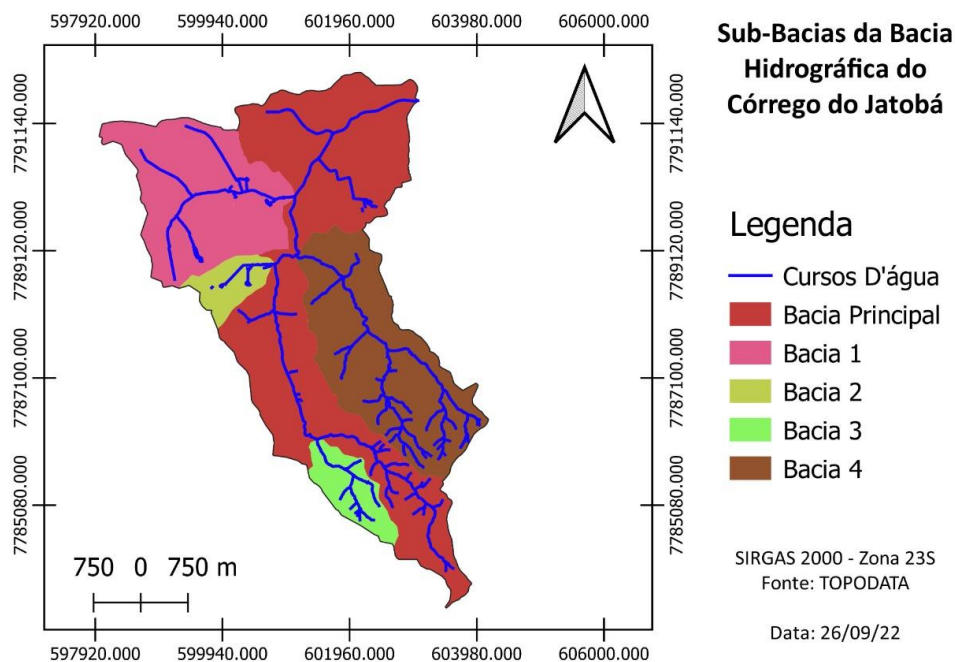


Figura 4 – Localização da bacia hidrográfica do Córrego Jatobá (BHMap).

A fim de se representar a rede hidrográfica, indicou-se a bacia principal e outras 4 sub-bacias, que também contribuem para a vazão no exultório, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5 – Sub-bacias da bacia hidrográfica do Córrego Jatobá (TOPODATA).**

A fim de se caracterizar as bacias no *software* ABC-6 para executar a simulação hidrológica foram extraídos os dados de cada uma delas no *software* QGis, dados estes apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Parâmetros para modelagem hidrológica de cada sub bacia do Córrego Jatobá.**

Bacia	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Comprimento do curso d'água principal (m)	Declividade média (m/km)
Bacia Principal	10,714	10,9300	0,0145
Bacia 1	4,960	3,3070	0,0280
Bacia 2	0,813	1,0524	0,0644
Bacia 3	1,109	1,7883	0,1288
Bacia 4	5,786	4,9789	0,0317

A seguir, na Tabela 2, também foram calculados os dados morfométricos da bacia principal, bacia do Córrego Jatobá.

**Tabela 2 – Morfometria da Bacia Hidrográfica do Córrego Jatobá.**

<b>QUANTO A FORMA</b>	Área	23,381 km <sup>2</sup> .
	Perímetro	28,09 km
	Comprimento Axial	8,55 km
	Fator de forma	0,19
	Coeficiente de compacidade	1,62
	Índice de Circularidade	0,37
<b>CARACTERÍSTICAS DO RELEVO</b>	Altitude mínima	914,8 m
	Altitude média	1004,8 m
	Altitude máxima	1410,8 m
	Declividade mínima	0,02 %
	Declividade média	10,83%
	Declividade máxima	87,80%
	Amplitude altimétrica da bacia	496 m
	Ordem dos cursos d'água	3
<b>CARACTERÍSTICA DA REDE DE DRENAGEM</b>	Comprimento do curso d'água	10,93 km
	Comprimento total dos cursos d'água	18,47 km
	Densidade de drenagem	0,78 km/km <sup>2</sup>

### 3.2 Modelagem hidrológica a partir do software ABC-6

Após a demarcação da área de estudo, seguiu-se para a simulação hidrológica da bacia hidrográfica utilizando-se o software ABC-6. Primeiramente construiu-se a rede hidrográfica, indicando a bacia principal, suas sub-bacias, o fluxo de escoamento, além de indicar para o sistema, a área de drenagem, comprimento do curso d'água principal e sua declividade média.

Para determinar o hidrograma de cheias foi necessário definir a precipitação de projeto a partir da equação IDF (Intensidade, duração e frequência). A mesma é disponibilizada no próprio *software* ABC-6. Optou-se em escolher para tal os tempos de retorno (TR) de 5, 10 e 50 anos, visto que para obras pequenas de drenagem o tempo de retorno indicado é de 20 a 100 anos, e o tempo de concentração foi calculado pela equação de Kirpich I (Equação 1), para bacias rurais com poucas informações, também já disponibilizada no software.

**Equação 1 – Fórmula de Kirpich I para cálculo do tempo de concentração.**

$$tc = 57 * \left( \frac{L^3}{Dh} \right)^{0,385}$$

Onde,

tc = tempo de concentração (min)

L = comprimento do curso d'água principal (km)

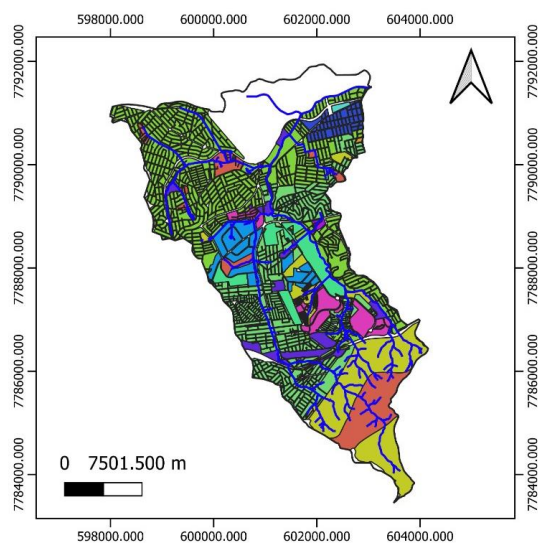
Dh = diferença de altitude (m)

Em seguida, escolheu-se utilizar o método da Chuva Excedente SCS – *Soil Conservation Service*, e o modelo do Hidrograma Triangular do SCS, visto que o método leva em consideração o grupo hidrológico do solo, seu tipo de cobertura e foi concebido para pequenas bacias, sendo necessário, portanto, determinar o método de Curve Number (CN) de cada área. O Curve Number é um parâmetro empírico utilizado para se obter previsões de escoamento superficial, ou infiltração, em função do volume excedente de precipitação, que se relaciona ao uso e ocupação da terra

Para a determinação do CN foram considerados dois cenários, sendo o atual para o ano de 2022 (cenário 1), sem a implantação de técnicas compensatórias, e o cenário futuro (cenário 2), considerando-se a implantação das técnicas compensatórias de telhados verdes e pavimentos permeáveis.

### **3.2.1 Determinação do Curve Number para o cenário 1**

Tratando-se do cenário 1 sendo o cenário atual da bacia (2022), é necessário avaliar o uso e ocupação da terra atualmente, determinando-se separadamente o CN para cada tipo de situação encontrada. A partir do mapa de zoneamento urbano de Belo Horizonte, Figura 6, disponibilizado no BHMap, juntamente com o estudo hidrológico do SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital), Figura 7, disponibilizado também no estudo de Ramos (1998), determinou-se o CN de cada área.



**Legenda**

Bacia do Córrego do Jatobá	ZAR2	ZEIS3	SIRGAS 2000 - Zona 23S Fonte de Dados: BH Maps Data: 31/07/2022
Córrego do Jatobá	ZCBA	ZEJAT	
<b>Zoneamento</b>			
ZA	ZE	ZP1	
ZAP	ZEBAR	ZPAM	
	ZEDMT	ZEIS1	

**Figura 6 – Mapa do zoneamento de Belo Horizonte na bacia do Córrego Jatobá (BHMap).**

N.	Código da Zona	Grupo Hidrológico		IMP
		GH - B*	GH - D**	
1	ZPAM	55-73	77-86	5%
2	ZP - 1	60-75	80-87	30%
3	ZP - 2	72	82	70%
4	ZP - 3	78	85	70%
5	ZAR - 1	86	88	80%
6	ZAR - 2	87	89	80%
7	ZA	88	90	80%
8	ZAP	88	90	80%
9	ZHIP	92	94	80%
10	ZCBA	92	94	80%
11	ZCBH	92	94	80%
12	ZCVN	92	94	80%
13	ZEIS	85	90	70%
14	ZE	60-90	80-94	30%-80%

**Figura 7 – Parâmetros de escoamento superficial para o zoneamento urbano de Belo Horizonte (SUDECAP - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL, 2017).**

O cálculo do CN consistiu em uma média ponderada, Equação 2, utilizando-se a área e o CN de cada região de interesse.

**Equação 2 – Determinação do CN a partir de média ponderada.**

$$CN_{orig} = \frac{CN_{z1} * AZ_1 + CN_{z2} * AZ_2 + \dots + CN_{zn} * AZ_n}{A_{total}}$$

Onde:

$A_{zn}$ = área do tipo de zoneamento identificado (km<sup>2</sup>);

$CN_{zn}$ = CN referente ao zoneamento da  $A_{zn}$  (parâmetro adimensional).

### **3.2.2 Determinação do *Curve Number* para o cenário 2**

Para as condições futuras, que preveem a implantação de técnicas compensatórias, modificou-se o valor do Curve Number (CN) para as áreas com potencial em receber cada tipo de técnica. Dessa forma, o CN foi recalculado a partir da Equação 3. Para determinação das áreas disponíveis para aplicação, foi gerado o mapa de cada sub-bacia e filtrados seus critérios para implantação de cada técnica.

Para implantação de pavimentos permeáveis considerou-se as restrições relacionadas à profundidade do lençol freático, e conforme Costa (2002), à medida que se aproximam do leito dos cursos d'água a profundidade vai reduzindo. Logo, faz-se necessário admitir uma distância mínima de 30 metros dos canais para a implantação da técnica, visando reduzir inclusive a percolação de contaminantes. Além disso, considerou-se excluir as vias arteriais da bacia, visto que nestas há um grande tráfego de veículos que podem comprometer a estrutura do pavimento, e foram excluídas ruas com largura menor que 10 metros, visando potencializar a técnica.

Já para implantação de telhados verdes, fez-se uma seleção de edificações com área de cobertura maior ou igual a 100m<sup>2</sup>. Além desse aspecto, seria fundamental avaliar ainda a capacidade da estrutura de receber o peso da instalação, porém, a partir dos dados disponibilizados não foi possível fazer essa análise.

Ressalta-se que os valores de CN para cada técnica foram recomendados pela literatura, como exposto por Niquini, *et al.*, (2019), e são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Valores de *Curve Number* para as técnicas compensatórias.**

TÉCNICA	CN
Telhados verdes	86
Pavimentos permeáveis	91

**Equação 3 – Determinação do CN com utilização de técnicas compensatórias a partir de média ponderada.**

$$CN_{fut} = \frac{CN_{tv} * A_{tv} + CN_{pp} * A_{pp} + CN_a * A_a}{\sum Areas}$$

$A_{tv}$ = área disponível para implantação de telhados verdes (km<sup>2</sup>);

$CN_{tv}$ = CN referente a implantação de telhados verdes (parâmetro adimensional);

$A_{pp}$ = área disponível para implantação de pavimentos permeáveis (km<sup>2</sup>);

$CN_{pp}$ = CN referente a implantação de pavimentos permeáveis (parâmetro adimensional);

$A_a$ = área restante da sub-bacia, correspondente ao cenário atual (km<sup>2</sup>);

$CN_a$ = CN referente ao cenário atual da sub-bacia (parâmetro adimensional).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização do local de estudo

Avaliando-se o potencial de ocorrência para inundações foram avaliados os índices de forma referentes a bacia, apresentados na Tabela 2. O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) é sempre um valor maior que 1, e quanto mais próximo da unidade, mais circular é a bacia, logo, maior é a tendência de ocorrência picos de enchentes. A bacia do Córrego Jatobá apresentou um  $K_c$  elevado, indicando que é pouco propensa a inundações.

Em relação ao fator de forma ( $K_f$ ), sabe-se que quanto menor o  $K_f$  mais alongada é a bacia, logo, menos sujeita a picos de enchentes, visto que o tempo de



concentração é maior. Entende-se que este seja o caso da bacia do Córrego Jatobá, com um baixo  $K_f$ , ou seja, uma bacia alongada e pouco propensa a inundações.

Além disso, quanto maior a densidade de drenagem, menor a capacidade de infiltração de água nos solos ou nas rochas locais. A densidade de drenagem apresentada para a bacia é considerada pequena, logo a mesma possui boa capacidade de infiltração de água no solo/rochas locais, e, portanto, uma baixa propensão a inundações.

Apesar de suas características morfométricas não apresentarem resultados propensos a inundações, a bacia sofre com ocorrências durante o período chuvoso, recorrentemente entre os meses de novembro e janeiro, o que pode ser explicado pelo crescimento desordenado da cidade no seu entorno, aumentando a impermeabilização da área, reduzindo a infiltração da precipitação pelo solo e aumentando o escoamento superficial.

#### 4.2 Determinação do Curve Number (CN) para o cenário 1

Foi obtido para cada sub bacia a área referente aos tipos de zoneamento e seu referido CN, como mostram as tabelas 4, 5, 6, 7 e 8.

**Tabela 4 – Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia principal.**

ZONEAMENTO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	CN
ZEIS1	0,489	90
ZA	0,009	90
ZAP	1,195	90
ZAR2	2,762	89
ZCBA	0,411	94
ZE	0,22	87
ZEBAR	0,037	94
ZEIS3	0,388	90
ZEJAT	0,821	87
ZP1	1,205	84
ZPAM	2,447	81

**Tabela 5 - Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia 1.**

ZONEAMENTO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	CN
ZAP	3,21	90
ZAR2	0,055	90
ZE	0,093	90
ZEIS1	0,108	89
ZP1	0,246	94

**Tabela 6 - Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia 2.**

ZONEAMENTO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	CN
ZAP	0,357	90
ZE	0,098	90
ZEJAT	0,371	90
ZPAM	0,027	89

**Tabela 7 - Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia 3.**

ZONEAMENTO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	CN
ZAR2	0,653	90
ZEIS1	0,018	90
ZP1	1,041	90
ZPAM	1,716	89

**Tabela 8 - Zoneamentos e seus respectivos CN para a bacia 4.**

ZONEAMENTO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	CN
ZAP	0,967	90
ZAR2	1,305	90
ZE	0,628	90
ZEDMT	0,044	89
ZEIS1	0,34	94
ZEIS3	0,671	87
ZEJAT	0,23	94
ZP1	1,041	90
ZPAM	2,032	87

Resumidamente, a Tabela 9 apresenta o CN encontrado para cada bacia de estudo, aplicando-se a Equação 2.

Tabela 9 – Parâmetro CN de cada bacia para o cenário 1.

BACIA	CN
Bacia principal	87
Bacia 1	90
Bacia 2	90
Bacia 3	89
Bacia 4	89

### 4.3 Determinação do *Curve Number* (CN) para o cenário 2

Para a simulação hidrológica da bacia com o uso de infraestruturas verdes, o que corresponde ao cenário 2 de estudo, foram modificados os valores de Curve Number (CN) de cada bacia de acordo com a área disponível para receber pavimentos permeáveis (Figura 8) e telhados verdes (Figura 9).

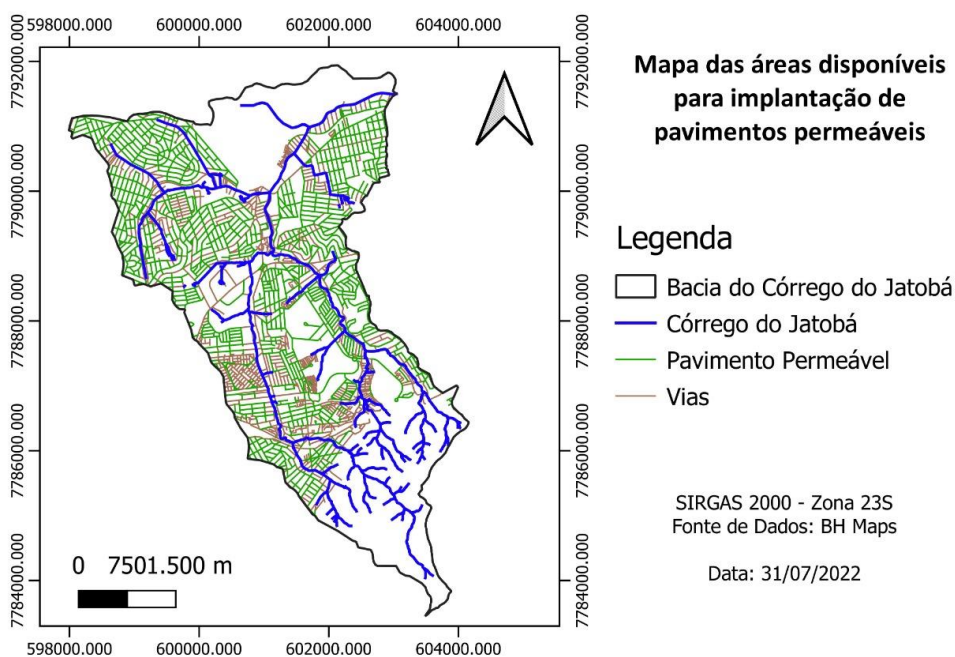
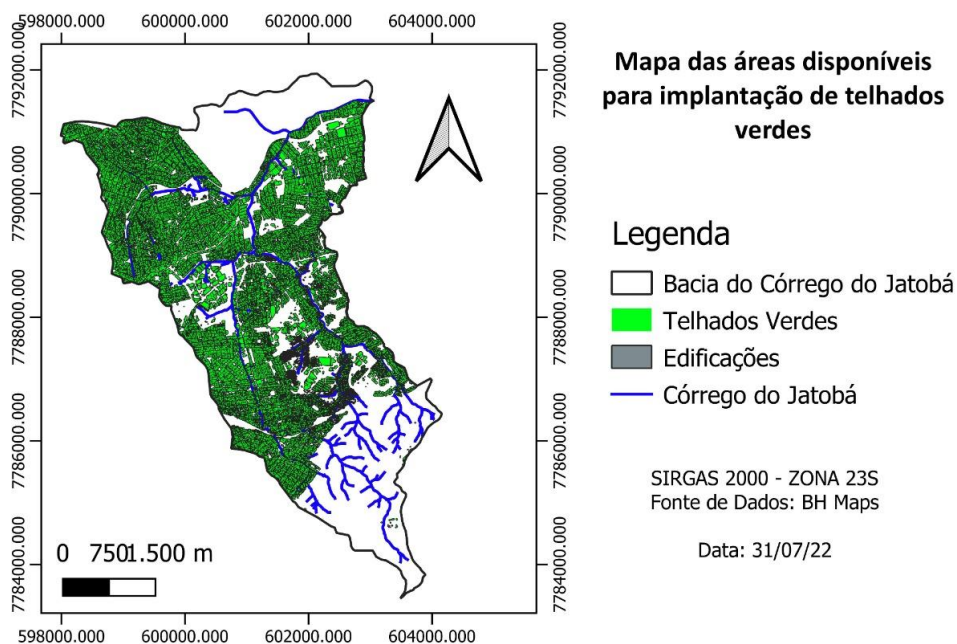


Figura 8 – Mapa de áreas disponíveis para implantação de pavimentos permeáveis.



**Figura 9 – Mapa de áreas disponíveis para implantação de telhados verdes.**

As tabelas 10 e 11 apresentam as áreas disponíveis para implantação das técnicas após feito o filtro com restrição para cada implantação.

**Tabela 10 – Áreas disponíveis para implantação de pavimentos permeáveis em cada bacia.**

BACIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Bacia principal	0,900
Bacia 1	0,795
Bacia 2	0,090
Bacia 3	0,076
Bacia 4	0,543

**Tabela 11 – Áreas disponíveis para implantação de telhados verdes em cada bacia.**

BACIA	ÁREA (km <sup>2</sup> )
Bacia principal	1,950
Bacia 1	1,450
Bacia 2	0,207
Bacia 3	0,180
Bacia 4	0,802

Para cada bacia foi feito média ponderada, como é apresentado na Equação 2, resultando nos CN apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetro CN de cada bacia para o cenário 2.

BACIA	CN
Bacia principal	87
Bacia 1	89
Bacia 2	89
Bacia 3	89
Bacia 4	89

#### 4.4 Modelagem hidrológica dos cenários propostos

A partir do *software* ABC-6 foram obtidos os hidrogramas no exultório da bacia para tempo de concentração de 40 minutos e tempos de retorno (TR) de 5, 10 e 50 anos. Na Figura 10 tem-se o hidrograma para TR de 5 anos.



Figura 10 – Hidrograma para os cenários 1 e 2, considerando tempo de retorno de 5 anos.

Neste é possível identificar uma vazão de pico de 47,73 m³/s para o cenário atual (1) e 37,50 m³/s para o cenário futuro (2), com a implantação das técnicas compensatórias. Logo, obteve-se uma redução de 21,4% na vazão de pico.

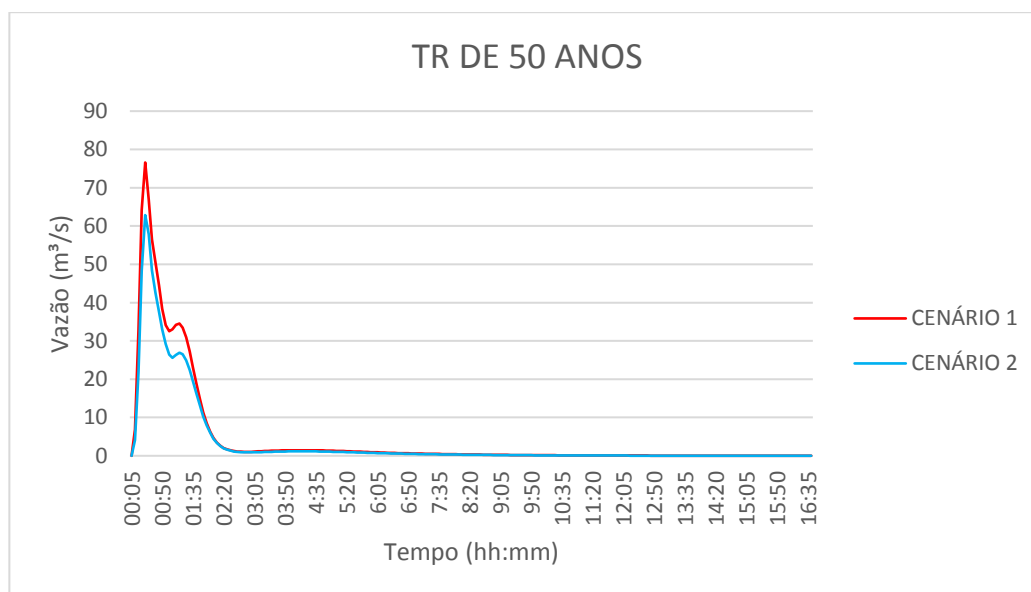
Na Figura 11 tem-se o hidrograma para o tempo de retorno de 10 anos.



**Figura 11 – Hidrograma para os cenários 1 e 2, considerando tempo de retorno de 10 anos.**

Neste, percebe-se uma redução na vazão de pico de 20,3%, sendo a vazão de pico no cenário atual (1) de 55,34 m<sup>3</sup>/s e no cenário futuro (2) de 44,10 m<sup>3</sup>/s.

A seguir, a Figura 12 apresenta o hidrograma para o tempo de retorno de 50 anos.



**Figura 12 – Hidrograma para os cenários 1 e 2, considerando tempo de retorno de 50 anos.**

, Observou-se uma redução da vazão de pico de 17,9%, saindo de um cenário atual (1) de 76,59 m<sup>3</sup>/s para o cenário futuro (2) de 62,86 m<sup>3</sup>/s.

Vale ressaltar que a maior contribuição para redução da vazão de pico dos hidrogramas apresentados foi representada pela instalação hipotética da técnica

compensatória de telhados verdes, por apresentar uma maior área disponível para implantação.

A seguir, tem-se a Tabela 13, apresentando os dados expostos anteriormente relativos à vazão de pico.

**Tabela 13 – Redução das vazões de pico para os tempos de retorno de 5, 10 e 50 anos.**

CENÁRIOS	VAZÃO DE PICO (m <sup>3</sup> /s)		
	TR DE 5 ANOS	TR DE 10 ANOS	TR DE 50 ANOS
Cenário 1	47,73	55,34	76,59
Cenário 2	37,5	44,1	62,86
Redução da vazão de pico (%)	21,4%	20,3%	17,9%

Nota-se então uma redução da vazão de pico para todos os tempos de retorno, mas nota-se ainda que, quanto maior o tempo de retorno, que equivale a chuvas de projeto de maior magnitude, menor é a eficiência das técnicas adotadas. Isso pode ser explicado pela capacidade de retenção das bacias, que é reduzida com o passar do tempo, e não à área impermeabilizada tratada.

É possível perceber ainda, com outros estudos, as potencialidades da implantação das técnicas compensatórias, estudos estes que obtiveram resultados semelhantes aos aqui apresentados. Por exemplo, Versini (2015) simulou a implantação de telhados verdes em uma bacia urbana e constatou uma redução de pico de até 60%, considerando que foram implantados telhados verdes em 100% das áreas disponíveis. Em Belo Horizonte, Rosa (2017) também avaliou o Córrego Leitão em cenários com implantação de infraestruturas verdes em 100%, 50% e 10% da área impermeável da bacia, chegando a reduções de 60%, 30% e 5% da vazão de pico. Além disso, nos dois estudos apresentados também houveram menores resultados para maiores tempos de retorno, também explicado pelos autores como redução da capacidade das bacias.

Dessa forma, mostra-se que a implantação das técnicas compensatórias é viável e pode ser utilizada conjuntamente às técnicas convencionais de drenagem urbana, reduzindo, portanto, os índices e frequências de inundações, visto que as mesmas ocorrem a partir do grande volume de água que escoam superficialmente, e com as implantações estes volumes seriam reduzidos.

## **5 CONCLUSÃO**

Este estudo avaliou, por meio de simulações hidrológicas, o impacto da implantação de técnicas compensatórias na bacia do Córrego Jatobá, na região do Barreiro em MG. As técnicas escolhidas foram pavimentos permeáveis e telhados verdes, e foram selecionadas todas as áreas disponíveis para implantação dentro das restrições apresentadas.

Foram analisados dois cenários, o cenário atual (2022) e o cenário futuro, com as possíveis técnicas implantadas, com tempo de concentração de 40 minutos para tempos de retorno de 5, 10 e 50 anos. Para o tempo de retorno de 5 anos obteve-se uma redução da vazão de pico de 21,4%, enquanto para TR de 50 anos obteve-se uma redução de 17,9%. Vale ressaltar que essas reduções da vazão de pico se devem principalmente à implantação de telhados verdes, que atingiria cerca de 20% da área total da bacia, enquanto os pavimentos permeáveis seriam aplicados em apenas 10% da área. Além disso, percebe-se que para maiores tempos de retorno, menor é a redução das vazões de pico, que é explicado pela menor capacidade das bacias de receberem as precipitações futuras, visto as degradações naturais e humanas pelas quais elas passam. Por isso é de suma importância a manutenção dos canais para além de manter a limpeza e a desobstrução de todas as vias que recebem as contribuições. É possível ainda, melhorar a eficiência das técnicas compensatórias avaliando os melhores métodos a serem aplicados no local, de forma que sejam aplicados em maiores áreas e sejam de fácil aplicação para a realidade da população local.

Ressalta-se ainda que não foram estudadas as situações econômicas e o custo benefício associado à implantação das técnicas, possibilitando novos estudos para viabilizar as implantações.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

O estudo é de grande importância para a sociedade e para o meio ambiente, podendo contribuir para o conforto e a segurança da população, e conjuntamente, reduzir os impactos das cheias às cidades. Dessa forma, é válido que outros estudos sejam feitos, podendo-se avaliar as melhores técnicas a serem implantadas no local, tanto relativo aos custos, quanto às áreas disponíveis para receber as técnicas propostas. Além disso, para a implantação de telhados verdes é interessante que



outros estudos sejam feitos para avaliar ainda a capacidade das edificações de receberem o peso da instalação.

## REFERÊNCIAS

[S.l.]: [s.n.].

AGOSTINHO, M. D. S. P.; POLETO, C. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. **HOLOS Environment**, v. 12, 2012.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **FAE**, Curitiba, v. 20, p. 129-137, junho 2017.

ANCHIETA, T. F. D. F. Simulação da área de inundação por meio da modelagem hidráulica em canal urbano: Estudo de caso Córrego Jatobá, em Belo Horizonte, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 1348-1367, Junho 2020.

ARAÚJO, P. R. D.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, p. 21-29, Setembro 2000.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. D. O. Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 29-49, Março 2002.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. D. O. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: [s.n.], 2011.

BARROS, M. T. L. D. Drenagem Urbana: Bases Conceituais e Planejamento. In: PHILIPPI, J. A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: [s.n.], 2005. p. 221-265.

CAETANO, F. D. N.; TIBIRIÇÁ, A. C. G.; SANTOS, G. L. A. A. Sistema de cobertura verde para uma edificação da área de saúde numa IFES. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído 2010**, Canela RS, Outubro 2010.

CÂMARA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Projeto de Lei nº 179/2017, Belo Horizonte, p. 15, 2017. Disponível em:<. Acesso em: junho 2022.

CÂMARA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Política Urbana. **Câmara Municipal de Belo Horizonte**, 2019. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/comunica%C3%A7%C3%A3o/not%C3%ADcias/2019/>

08/plano-diretor-de-bh-%C3%A9-sancionado-pelo-executivo>. Acesso em: junho 2022.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CATUZZO, H. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

CORR, D. J. et al. Investigating entrained air voids and Portland cement hydration with low-temperature scanning electron microscopy. **Cement & Concrete Composites**, v. 26, p. 1007–1012, 2004.

COSTA, W. D. **Caracterização das Condições de Uso e Preservação das Águas Subterrâneas do Município de Belo Horizonte - MG**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO. Ementas de Projetos de Lei. **Prefeitura Municipal de Belo Horizonte**, 2014. Disponível em: <<http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1116158>> . Acesso em: junho 2022.

DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO. Lei nº 18112 de 12/01/2015. **LEGISWEB**, 2015. Disponível em: <>. Acesso em: junho 2022.

DIAS, V. S. **Uso do modelo hidrológico em bacia hidrográfica urbana para previsão de enchentes. Estudo de caso: Microbacia do córrego Jataím, Uberlândia/MG**. Faculdade de Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação. Uberlândia. 2015.

FILHO, A. G. D. A.; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. Estudo de medidas não estruturais para controle de inundações urbanas, 2000.

FILHO, G. M. M. et al. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidade. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012. ISSN 1981-8858.

GIRUNDI, D. et al. Chuva provoca inundação e deixa moradores desabrigados em Ouro Preto, na região Central. **Portal G1**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/10/19/chuva-provoca->

inundacao-e-deixa-moradores-desabrigados-em-ouro-preto-na-regiao-central-videos.ghtml>. Acesso em: 11 Junho 2022.

GONÇALVES, T. J.; NUNES, A. D. A.; CASTRO, A. L. P. D. Simulação do hidrograma de cheias da bacia do Santa Inês com uso de técnicas compensatórias. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, novembro 2021.

IBGE. Sinopse do Censo Demográfico 2010. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 08 junho 2022.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Águas pluviais: técnicas compensatórias para controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento., Belo Horizonte, p. 52, 2007.

MORAIS, B. R. et al. Os telhados verdes nas políticas ambientais e como medida mitigadora das inundações urbanas: uma revisão sistemática. **Labor & Engenho**, São Paulo, v. 15, p. 1-12, dezembro 2021. ISSN 21768846.

MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 164. 2004.

NIQUINI, L. L. et al. Modelagem hidrológica com o uso de infraestruturas verdes: Estudo de caso para a bacia do Córrego Ressaca, situada no município de Belo Horizonte. **Sustentare**, Três Corações, v. 3, p. 42-63, Julho 2019.

NUNES, A. D. A. **Tendências em eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade**. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte, p. 207. 2018.

RAMOS, M. H. D. **Drenagem Urbana: aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte**. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1998.

ROSA, D. W. B. **Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana – Bacia do Córrego do Leitão, Belo Horizonte, Minas Gerais.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2017.

SANTOS, R. F. D. Vulnerabilidade Ambiental. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, n. 2, 2007.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO. **Manual de drenagem urbana.** [S.l.]. 2017.

SILVEIRA, A. L. L. D. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, p. 5-23, Março 2005.

SUDECAP - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL. Hidrologia, Belo Horizonte, Abril 2017.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. **ABRH/RHAMA**, Porto Alegre, v. 11, 2007.

TUCCI, C. E. M. Gestão da Drenagem Urbana. **Textos para Discussão CEPAL-IPEA**, Brasília, 2012.

VERSINI, P. A. Use of green roofs to solve storm water issues at the basin scale - Study in the Hauts-de-Seine County (France). **Urban Water Journal**, 2015.