



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



Bárbara Giarola Figueiredo

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA
ARMEZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL E MODELAGEM
HIDROLÓGICA DE CENÁRIOS – ESTUDO DE CASO NA
REGIÃO DO BARREIRO - BELO HORIZONTE**

Ouro Preto

2022

Dimensionamento de reservatório para armazenamento de água pluvial e
modelagem hidrológica de cenários – estudo de caso na região do Barreiro – Belo
Horizonte

Bárbara Giarola Figueiredo

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: 24/07/2022

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof^a. D.Sc. Ana Leticia Pilz de Castro - UFOP

Co-orientador: Prof. M.Sc. Mateus Oliveira Xavier - UFOP

Ouro Preto

2022



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bárbara Giarola Figueiredo

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA ARMEZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL E MODELAGEM HIDROLÓGICA DE CENÁRIOS – ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DO BARREIRO - 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 24 de junho de 2022

Membros da banca

Dra. - Ana Letícia Pilz de Castro - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. - Aníbal da Fonseca Santiago - Universidade Federal de Ouro Preto
Msc. - Maria Luiza Teófilo Gandini - Universidade Federal de Ouro Preto

Ana Letícia Pilz de Castro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 29/07/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Letícia Pilz de Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/07/2022, às 10:49, 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, informando o código verificador **0370258** e o código CRC **2F3D5822**.

*Este trabalho é dedicado à
minha avó Joana Emília, que apesar
de não saber ler e escrever, me
ensinou minhas maiores lições.*

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho contou com a ajuda de diversas pessoas. Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças de chegar até aqui; a Universidade Federal de Ouro Preto, por ter me concedido a honra de ter um ensino público e de qualidade; à professora Ana Letícia, por me auxiliar em tantas conquistas; ao professor Mateus, por todo o suporte durante as análises e aos professores Aníbal e Malu por fazerem parte da banca avaliadora.

RESUMO

A primeira inundação registrada em Belo Horizonte ocorreu em 1928 e, até 2012, já haviam sido registrados mais de 200 casos de inundações na cidade. A primeira inundação registrada foi devido ao transbordamento do Ribeirão Arrudas. É evidente que a problemática envolvendo a drenagem urbana é antiga e ainda não foi resolvida. Nesse sentido, o presente estudo vem como uma alternativa para minimizar os efeitos do transbordamento do Ribeirão Arrudas na região do Barreiro. O objetivo é analisar, calcular e dimensionar um reservatório de retenção de água para a região, melhorando a qualidade de vida e a segurança da população local. Durante o estudo de caso será apresentado o contexto histórico da região, justificando sua atual ocupação e esclarecendo o motivo do seu protagonismo em casos de enchentes e inundações em Belo Horizonte. Serão apresentados conceitos básicos essenciais para o desenvolvimento do estudo, casos evidenciando a periodicidade dos eventos, cálculos que envolvem a caracterização da bacia hidrográfica e o dimensionamento do reservatório de retenção e sugestão de possíveis volumes para reservatórios. Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado o software QGis a fim de gerar mapas e obter informações sobre a forma e relevo da bacia, o site da prefeitura de Belo Horizonte para a geração das camadas geológicas utilizadas nas análises do QGis e a ferramenta Excel para calcular e analisar dados. Sobre os resultados, foram estipulados diferentes volumes do reservatório para diferentes períodos de retorno. Como forma de viabilidade do projeto, foram propostas ainda diferentes alturas e áreas de base do reservatório para o mesmo volume de água, obtidos para o período de retorno de 50 e 100 anos, como recomendado pelo DAEE. Ao final, é possível concluir a inviabilidade do projeto na região do Barreiro devido à inexistência de áreas disponíveis para a implementação do reservatório, porém, o trabalho sugere ainda maneiras alternativas de mitigar o problema.

Palavras chave: Enchentes urbanas; Belo Horizonte; Barreiro; Água de chuva; Reservatório de retenção.

ABSTRACT

The first recorded flood in Belo Horizonte occurred in 1928 and, by 2012, more than 200 cases of flooding had been recorded in the city. The first recorded flood was due to the overflow of Ribeirão Arrudas. It is evident that the problem involving urban drainage is old and has not yet been resolved. In this sense, the present study comes as an alternative to minimize the effects of the Ribeirão Arrudas overflow in the Barreiro region. The objective is to analyze, calculate and size a water retention reservoir for the region, improving the quality of life and safety of the local population. During the case study, the historical context of the region will be presented, justifying its current occupation and clarifying the reason for its role in cases of floods and floods in Belo Horizonte. Basic concepts essential for the development of the study will be presented, cases evidencing the periodicity of the events, calculations that involve the characterization of the hydrographic basin and the dimensioning of the detention reservoir and suggestion of possible volumes for reservoirs. For the development of the study, the QGis software was used in order to generate maps and obtain information about the shape and relief of the basin, the Belo Horizonte city hall website to generate the geological layers used in the analysis of the QGis and the Excel tool to calculate and analyze data. On the results, different volumes of the reservoir were stipulated for different return periods. As a form of project feasibility, different heights and base areas of the reservoir were also proposed for the same volume of water, obtained for the return period of 50 and 100 years, as recommended by DAEE. In the end, it is possible to conclude the infeasibility of the project in the Barreiro region due to the inexistence of available areas for the implementation of the reservoir, however, the work still suggests alternative ways to mitigate the problem.

Keywords: Urban floods; Belo Horizonte; Barreiro; Rain water; Detention Reservoir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução de Belo Horizonte entre os anos de 1918 e 1995. Fonte: (SANTOS, 2017)	4
Figura 2 - Cidade de Belo Horizonte: áreas edificadas em 1964. Fonte: Villaça, 2001.	5
Figura 3 - Movimentação de bombeiros perto do local onde homem havia desaparecido. Fonte: Reprodução/TV Globo, 2016	9
Figura 4 - Asfalto danificado pela inundação na região do Barreiro. Fonte: Estado de Minas, 2017	10
Figura 5 - Moradores da região do Barreiro limpando a sujeira causada pela inundação. Fonte: Estado de Minas, 2017	10
Figura 6 - Estrago causado pela inundação na região do Barreiro. Fonte: Estado de Minas, 2017	11
Figura 7 - Estrago feito pela inundação na região do Barreiro. Fonte: Estado de Minas, 2017	11
Figura 8 - Morador registra momento da forte chuva. Fonte: Reprodução/BHAZ, 2020	12
Figura 9 - Efeito da urbanização sobre a vazão máxima. Fonte: TUCCI, 2009 ..	15
Figura 10 - Esquema da Bacia Hidrográfica. Fonte: Autor.....	18
Figura 11 - Corte transversal de uma bacia. Fonte: Villela, 1975 (Adaptada pelo autor)	19
Figura 12 - Percurso da gota d'água do ponto mais remoto ao exutório. Fonte: Autor.....	20
Figura 13 - Modelo esquemático de uma bacia de detenção. Fonte: SUDERSHA, 2002	25
Figura 14 - Localização da região do Barreiro, Belo Horizonte – MG. Fonte: Autor, 2022	27

Figura 15 - Localização da Bacia do Ribeirão Arrudas. Fonte: Autor, 2022	28
Figura 16 - Limite da área de inundação na região do Barreiro. Fonte: Autor, 2022	29
.....	29
Figura 17 – Ábaco para determinação de K	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formas de redução e retenção em diferentes áreas urbanas. Fonte: RAMOS, 1999	17
Tabela 2 - Quantis adimensionais $\mu_{(T,d)}$, Pinheiro e Naghettini (1998).....	30
Tabela 3 - Valores recomendados pelo DAEE para o coeficiente C. Fonte: (DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - DAEE/CETESB, 1980).....	34
Tabela 4 - Dados da Bacia em estudo.....	36
Tabela 5 - Estabelecimentos atingidos pela mancha de inundação. Fonte: Autor (2021).....	39
Tabela 6 - Intensidade de chuva.....	39
Tabela 7 - Vazão de Pico.....	40
Tabela 8 - Volume do Reservatório	41
Tabela 9 - Medidas sugeridas para o reservatório; Tempo de Concentração = 1 hora	42
Tabela 10 - Medidas sugeridas para o reservatório; Tempo de Concentração = 2 horas	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivo	2
1.1.2	Objetivos Específicos.....	2
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Contexto Histórico	3
2.1.1	Surgimento da capital mineira e seu processo de urbanização	3
2.1.2	Da antiga fazenda do Barreiro à região do Barreiro.....	5
2.2	Histórico de inundações na região	8
2.3	Conceitos Básicos	13
2.3.1	Enchentes e inundações.....	13
2.3.2	Saneamento Básico	14
2.3.3	Drenagem Urbana	14
2.3.4	Medidas para armazenamento de água.....	16
2.3.5	Bacia Hidrográfica.....	17
2.3.6	Período de retorno	19
2.3.7	Tempo de concentração	19
2.4	Microdrenagem e Macrodrenagem	20
2.5	Medidas estruturais e não estruturais	21
2.6	Técnicas Compensatórias.....	24
2.6.1	Reservatórios de retenção e detenção	24
3	Metodologia	26

3.1	Estudo de Caso	26
3.2	Uso e ocupação do solo.....	28
3.3	Obtenção das intensidades de precipitação	29
3.4	Cálculo das Vazões de Pico	30
3.5	Dimensionamento do Reservatório de Detenção.....	34
4	Resultados e discussões	36
4.1	Características da Bacia.....	36
4.2	Número de estabelecimentos atingidos.....	38
4.3	Dimensionamento do Reservatório.....	39
4.4	Viabilidade de implantação	43
5	Conclusões e Recomendações	44
	Referências	46

1 INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada traz consigo fatores que prejudicam os limites das margens dos ciclos hídricos, causando o aumento do escoamento superficial e inundações. As inundações, por sua vez, fazem parte de um dos maiores impactos ambientais sobre o meio urbano, resultando em prejuízos financeiros, sociais e humanos. A intensidade das ações antrópicas faz com que as áreas de solos permeáveis sejam substituídas por solos impermeáveis, facilitando com o que o lixo produzido pela população chegue aos rios canalizados e mude suas características naturais, alterando, conseqüentemente, seu ciclo.

Segundo Tucci (2009), o aumento das cidades no Brasil se intensificou por volta dos anos 70 e aconteceu sem planejamento urbano adequado. O planejamento inicial das cidades não comportou seu crescimento, o que resultou em zonas periféricas com a infraestrutura extremamente deficiente quando comparada a área central. Pelo baixo valor aquisitivo, a população mais carente se alocou em regiões ribeirinhas, sem tratamento adequado para recebê-los.

Em Belo Horizonte a situação não é diferente. Segundo o IBGE (2019), a cidade ocupa o sexto lugar entre as maiores cidades do Brasil. Nos anos 50 sua ocupação já ultrapassava o limite projetado e, como consequência, a cidade vem sofrendo com os altos índices de inundações.

Conhecendo um pouco sobre o crescimento desordenado da capital mineira, a região do Barreiro se destaca nas pesquisas sobre enchentes e inundações. Sendo mais antiga que a própria Belo Horizonte, a antiga Fazenda do Barreiro teve seu crescimento marcado por obras sem fiscalização e por ocupações irregulares. Nesse sentido, o presente trabalho propõe medidas de armazenamento de água como forma de solucionar o problema.

1.1 Objetivo

O objetivo geral da pesquisa foi dimensionar um reservatório de detenção para a região do Barreiro em Belo Horizonte – MG.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Determinar o número de edificações atingidas pela inundação.
- b) Dimensionar um reservatório capaz de solucionar as condições estabelecidas.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Contexto Histórico

2.1.1 Surgimento da capital mineira e seu processo de urbanização

De 1823 a 1897 Ouro Preto foi a capital do estado de Minas Gerais. No final do século XVIII, com a mineração em decadência no Brasil, a até então capital mineira foi perdendo sua expressão econômica e, adicionado a distância da cidade ao litoral e a precariedade do sistema viário, a cidade foi perdendo seu poder político (SITE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO).

Neste contexto, a ideia de uma nova capital para o estado foi se fortalecendo. Planejava-se que a nova capital fosse localizada em uma região de maior dinamismo econômico e pudesse centralizar a nova economia mineira. Deveria ser uma região localizada no centro no estado e que oferecesse vantagens para o setor agrícola e industrial. Nesse sentido, através de um congresso eleitoral, decidiu-se que a nova capital mineira seria localizada no Sítio Curral Del Rey (CARDOSO, 2007). O projeto da nova capital era inspirado em modelos modernistas de cidades como Paris e Washington e visada uma cidade higiênica, com saneamento adequado e com técnicas aliadas à infraestrutura sofisticada (AGUIAR, 2006).

De acordo com o projeto, a cidade foi delineada em zona urbana, suburbana e rural. Planejava-se que a zona urbana iniciaria o processo de ocupação da cidade e seria sede para a população de classes socioeconômicas mais altas. A zona urbana foi então “separada” das demais áreas da cidade pelo traçado da Avenida do Contorno, com a ideia de ruas e quarteirões ordenados.

O Estado tinha como finalidade controlar a ocupação de terra da nova capital através da diferenciação nos preços de venda dos terrenos. O preço dos terrenos da área urbana correspondia a altos valores e, desta forma, visava impedir a presença da população de baixa renda. A zona suburbana, por sua vez, seria uma área de transição entre a zona urbana e a rural e se estenderia além da avenida que contornava a cidade.

A população rural, inicialmente, seguiu como esperado e se instalou nas áreas mais periféricas da cidade. Era composta cinco colônias agrícolas, que tinham como objetivo abastecer a nova capital. Essas colônias eram compostas por pequenos agricultores, operários e imigrantes que vieram para a cidade devido ao incentivo do Estado de estimular a modernização agrícola.

Contudo, a população da cidade cresceu de forma significativa em pouco tempo. A cidade, criada em dezembro de 1897, foi projetada de forma que atingiria seus 200 mil habitantes somente ao contemplar 100 anos. Mas atualmente, o núcleo metropolitano é formado por 24 cidades que abrigam mais de 3 milhões de habitantes.

A Figura 1 mostra a ocupação da cidade de Belo Horizonte ao longo dos anos. A partir de 1920, a cidade tinha sua ocupação além da Avenida do Contorno, com a ocupação das áreas suburbanas e rurais no sentido Leste-Oeste. Em 1930, a cidade já apresentava problemas com a ocupação desordenada e sentia deficiência em projetos de infraestrutura básica, como água, luz e esgoto. Entre 1930 e 1940, com a finalidade de preparar a cidade para o processo de industrialização que aconteceria em 1950, foi realizado o prolongamento da Avenida Amazonas, concedendo acesso a Cidade Industrial e impulsionando o crescimento no vetor Oeste.

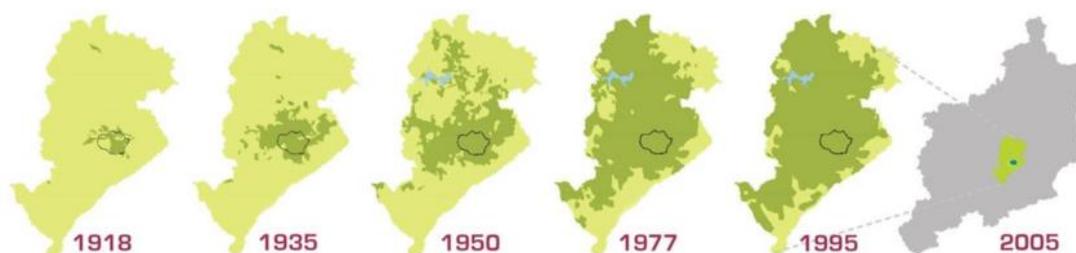


Figura 1 – Evolução de Belo Horizonte entre os anos de 1918 e 1995. Fonte: (SANTOS, 2017)

A Figura 2 ilustra o crescimento do tecido urbano de Belo Horizonte em 1964, em seu sentido Leste-Oeste. Tal expansão está relacionada à extensão de acesso a rede ferroviária e rodoviária do município e pela ocupação de loteamentos clandestinos.

Segundo o PBH e IBGE consolidados em FJP (1979), em 1940, a população de Belo Horizonte era 211.377 habitantes; em 1950, 352.724 habitantes; em 1960, 693.328 habitantes e em 1970, 1.255.415 habitantes.

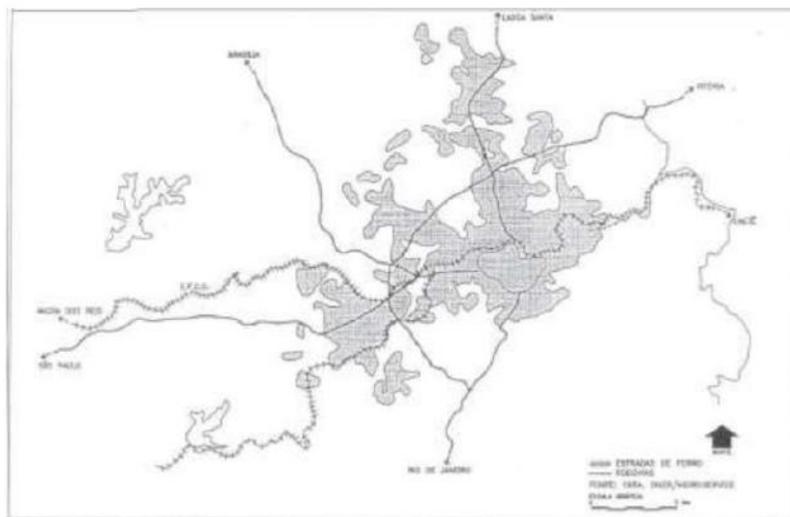


Figura 2 - Cidade de Belo Horizonte: áreas edificadas em 1964. Fonte: Villaça, 2001.

2.1.2 Da antiga fazenda do Barreiro à região do Barreiro

A região do Barreiro se iniciou antes mesmo da construção de Belo Horizonte. A Fazenda do Barreiro se estendia por uma grande área, e por volta do ano de 1880, foi dividida. Sua divisão deu origem a três fazendas: a Fazenda do Pião, a Fazenda do Barreiro e Fazenda do Jatobá.

A antiga Fazenda do Barreiro, que correspondia a região sul, deu origem aos bairros Araguaia, Barreiro de Cima, Brasil Industrial, Cardoso, Conjunto Habitacional Flávio de Oliveira, Conjunto Habitacional Teixeira Dias, Diamante, Flávio Marques Lisboa, Milionários, Pongelupe, Santa Helena, Serra do José Vieira, Solar e Urucuia.

No início da construção da cidade de Belo Horizonte, a Fazenda do Barreiro era um lugar distante do centro da capital, mas com características naturais interessantes

para benfeitorias. A região era privilegiada por muitos cursos de água de boa qualidade e contava com terras férteis para a produção de alimentos, que poderiam ser usufruídos para abastecer Belo Horizonte mesmo depois do seu desenvolvimento. Nesse contexto, com a finalidade de garantir o abastecimento da capital, o Estado passou a apoiar colonos a ocuparem a região e cultivarem produtos agrícolas.

Por falta de investimentos locais, a colônia foi extinta e somente em 1907 voltou a ter destaque. A Fazenda do Barreiro passou a se chamar Vargem Grande e atraiu novos moradores. Com o seu crescimento e a dificuldade de acesso para a capital Belo Horizonte, a região passou a precisar de uma escola, o que somada a posterior construção do Palácio dos Governadores, impulsionou a ocupação da área por ainda mais habitantes.

Em 1948 a região foi transformada em cidade satélite de Belo Horizonte. Como a capital crescia descontroladamente, a região do Barreiro ficou responsável pelo fornecimento de alimentos à capital.

No contexto de expansão do Barreiro, as ruas avançavam sobre as antigas plantações. A abertura da Via do Minério, também chamada Avenida Waldir Soeiro Emrich, impulsionou a ocupação de novos bairros. Com seu crescimento, a região começou a enfrentar desafios relacionados a ocupação irregular. Como tentativa de amenizar o problema, foram construídos conjuntos habitacionais, tais como Bonsucesso, Flávio de Oliveira e Teixeira Dias.

A região norte, antiga Fazenda do Pião, compreende atualmente o Bairro das Indústrias, o Barreiro de Baixo, o Conjunto Habitacional Átila de Paiva, o Conjunto Habitacional João Paulo II, o Maldonado, o Novo das Indústrias, o Olaria e a Vila Santa Margarida. Essa região foi responsável por compreender as primeiras fábricas. O destino da região foi um pouco diferente da Fazenda do Barreiro, pois sua extensão continuou com os primeiros proprietários, que cultivavam feijão, café, milho e demais suprimentos.

A ocupação da região norte começou antes mesmo do meado do século XX devido à criação da estação de trem, atual Estação BHBUS Barreiro. Logo de início a região foi ocupada por trabalhadores da estação da Estrada de Ferro Central do Brasil

e no final de 1910 já tinha seu primeiro bairro. Por volta de 1920, parte da Fazenda do Pião foi vendida a uma família italiana de sobrenome Gatti, que iniciou ali fábricas de pedra e cerâmica, originando o bairro Olaria.

Com a expansão de Belo Horizonte, o Barreiro foi se tornando mais acessível. A região ganhou estradas, ruas e avenidas. Na mesma época, a região recebeu a indústria siderúrgica Mannesmann, o que trouxe ainda mais destaque para a região.

Com o crescimento do Barreiro tornou-se necessária a criação de um centro urbano, vez que a região não era tão próxima da capital. Para suprir suas necessidades, foram então construídos estabelecimentos comerciais e postos de serviços. Novos bairros também surgiram com a criação de programas de moradia popular nos anos de 1970 e 1980. Dessa forma, a antiga Fazenda do Pião se tornava o principal centro do Barreiro.

Por fim, houve a formação dos bairros localizados na região da antiga Fazenda do Jatobá, que corresponde ao atual limite com Ibirité e engloba os bairros Mangueiras, Jatobá, Mineirão, Independência, Castanheira, Vila Pinho e Vila Santa Rita. Essa região chegou a receber alguns colonos, mas o povoamento se intensificou somente em 1960, com a construção do Conjunto Habitacional Vale do Jatobá, criado pela Companhia de Habitação de Minas Gerais – COHAB–MG.

Como a procura por moradia em Belo Horizonte era cada vez maior, foi se tornando necessário a construção de casas e conjuntos habitacionais em regiões vizinhas, o que tornou a região da antiga Fazenda do Jatobá uma solução. Vários bairros se formaram nesse contexto, tais como Jatobá I (atual Vila Santa Rita), Jatobá II (atual Vila Pinho), Jatobá III (atual Vila Castanheira) e Jatobá VI.

Os novos bairros tinham a desvantagem de não serem tão próximos das outras regiões do Barreiro, sofrendo com o distanciamento de um centro regional. Neste contexto, os moradores da área viram a necessidade de se organizarem e buscarem por melhorias. O crescimento fez-se de forma tão acelerada que lotes já haviam sido ocupados antes mesmo de receberem a autorização da prefeitura, com suas moradias construídas de forma desordenada e sem planejamento. Como consequência, a

população passou a enfrentar problemas com a falta de serviço de água, energia e transporte coletivo.

2.2 Histórico de inundações na região

Embora os canais fluviais do município de Belo Horizonte tenham sido um atrativo para a escolha do sítio Curral Del Rey como capital do estado, a sua ocupação acelerada e desordenada tornou o fator um grande problema logo nos primeiros anos. Os recursos hídricos de Belo Horizonte sofreram impactos ambientais ocasionados pela urbanização, em evidência a degradação da qualidade das águas e assoreamento do canal, trazendo consequências como a dificuldade de abastecimento de água e frequentes inundações. Tais problemas são consequência da intervenção predatória do homem sobre recursos naturais dos municípios, que foram induzidos por questões políticas, sociais e econômicas presentes desde o início da história da capital (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1997).

Com a expansão de Belo Horizonte foram adotadas e construídas medidas preventivas de inundação pela prefeitura, e destas tomou destaque a canalização dos rios. A canalização do Rio Arrudas e seus afluentes, por exemplo, foi planejada no início da formação da cidade e tinha como objetivo o controle do fluxo de água, porém, foram desconsiderados os problemas futuros que tal ação traria consigo.

À medida que Belo Horizonte aumentava seu tamanho e os ajustes na macrodrenagem eram realizados, os problemas de projetos foram ficando pequenos quando comparados ao descontrole do uso e ocupação do solo da bacia. A redução do poder de infiltração do solo se intensificou, o pico das cheias foi ampliado, a vazão diminuiu, a água foi perdendo sua qualidade devido aos lixos e sedimentos, entre outros (TUCCI e CLARK, 1998).

Estudando de forma mais aprofundada o Rio Arrudas, é possível notar que ele é um dos principais cursos de água de Belo Horizonte. Sua nascente fica localizada em Contagem e sua foz em Sabará. Devido ao saneamento básico precário da cidade, os eventos de inundações se intensificaram. Adicionado a isso, os moradores passaram

também a sofrer com os riscos de doenças sanitárias, tais como cólera e leptospirose. Nesse sentido, os eventos podem ser considerados uma calamidade de saúde pública (BRAGA & CARVALHO, 2003).

Os estudos meteorológicos na cidade de Belo Horizonte começaram em 1912 e vem alertando a população sobre cuidados que devem ser tomados com relação aos altos índices pluviométricos. Há relatos sobre inundações em Belo Horizonte desde o ano de 1923 (LUCAS, AUGUSTO, *et al.*, 2011).

Os desafios enfrentados pela população residente da região do Barreiro são frequentes. É muito comum encontrar matérias de jornais e pesquisas englobando os assuntos de inundações, a se saber:

Setembro de 2016: A região do Barreiro acumulou aproximadamente 51,4 mm em 24 horas, alagando diversas áreas. Uma moradora do bairro Santa Helena registrou momento em que motoristas de carros e ônibus se arriscam na travessia da Avenida Olinto Meireles. Além disso, conta-se que um carro e um homem foram levados pela correnteza (G1, 2016). Na Figura 3 é possível ver os bombeiros a procura do homem desaparecido.



Figura 3 - Movimentação de bombeiros perto do local onde homem havia desaparecido. Fonte: Reprodução/TV Globo, 2016

Março de 2017: Com a forte chuva que caiu na madrugada de domingo, o Córrego Ferrugem, afluente do Ribeirão Arrudas, transbordou e provocou alagamentos em

residências e ruas. Foram registradas queda de postes, carros arrastados e buracos nas ruas. Moradores da região cobraram um posicionamento da prefeitura, relatando que o lixo acumulado da linha de trem desceu junto com a enxurrada, entupindo bueiros (Estado de Minas, 2017). Os estragos causados pelas inundações são mostrados nas figuras Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7.



Figura 4 - Asfalto danificado pela inundação na região do Barreiro. Fonte: Estado de Minas, 2017



Figura 5 - Moradores da região do Barreiro limpando a sujeira causada pela inundação. Fonte: Estado de Minas, 2017



Figura 6 - Estrago causado pela inundação na região do Barreiro. Fonte: Estado de Minas, 2017



Figura 7 - Estrago feito pela inundação na região do Barreiro. Fonte: Estado de Minas, 2017

Novembro 2019: Quatro pessoas ficaram ilhadas dentro de casa no bairro Bonsucesso, na região do Barreiro, e foram resgatadas por bombeiros. De acordo com a Defesa Civil de BH, a região sofreu uma chuva extremamente forte com volume acima de 5mm na região (Estado de Minas, 2019).

Janeiro 2020: Belo Horizonte registra a maior chuva dos últimos 110 anos. A Defesa Civil de BH registou, em apenas 1 hora e 30 minutos de chuva (entre 20h30 e 22h) 75mm de precipitação na região Noroeste e Oeste da capital, sendo superior ao que chove em todos os meses de período seco, como citado:

- Abril – 74,7 mm
- Maio – 28,1 mm
- Junho – 9,7 mm
- Julho – 7,9 mm
- Agosto – 14,8 mm
- Setembro – 55,5 mm

Um dos lugares mais atingidos foi a região do Vale do Jatobá. Uma das moradoras apresentou o seguinte depoimento: “Aqui no Vale não pode chover que tudo alaga. As inundações são constantes, mas dessa vez foi pior. O grande problema é que as autoridades não fazem nada para melhorar a situação. Hoje estamos fazendo a limpeza, pois a igreja foi tomada pela água, até mesmo no escritório lugar onde nunca inundou”, afirma Lorraine Sabrine (BHAZ, 2020). A Figura 8 mostra o registro de um morador do Barreiro no momento da chuva.



Figura 8 - Morador registra momento da forte chuva. Fonte: Reprodução/BHAZ, 2020

2.3 Conceitos Básicos

Para o aprofundamento do estudo, é necessário saber alguns conceitos fundamentais, tais como a diferenciação de enchentes e inundações, saneamento básico, drenagem urbana, medidas para armazenamento de água, bacia hidrográfica, período de retorno, tempo de concentração, medidas estruturais e não estruturais, microdrenagem e macrodrenagem, técnicas compensatórias, e reservatórios de detenção e retenção.

2.3.1 Enchentes e inundações

Enchente é a elevação do nível d'água em um canal de drenagem devido o aumento da vazão ou descarga. A cota máxima do canal é atingida, porém, não há extravasão da água. Já a inundação é a elevação do nível d'água de um canal de drenagem de forma haja a extravasão da água para as áreas marginais. Tucci defende ainda que a inundação acontece quando as águas dos rios, galerias pluviais, riachos saem do seu leito de escoamento devido



Figura 9 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação. Fonte: Adaptado de Min. Cidades/IPT (2007)

2.3.2 Saneamento Básico

De acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS, saneamento é a gestão de todos os fatores que englobam o meio físico do homem, podendo influenciar no seu bem-estar físico, mental e social. Pode-se afirmar que o saneamento é responsável pela caracterização do conjunto de ações socioeconômicas responsáveis pelo estado de salubridade ambiental. O saneamento básico está diretamente ligado ao estado de saúde normal em que vive a população urbana e rural, interferindo na capacidade de inibir, prevenir e impedir a ocorrência de epidemias e pandemias difundidas pelo meio ambiente.

O saneamento básico tem como objetivo mitigar os impactos causados ao meio ambiente e à sociedade pela ocupação do homem. Visa promover um ambiente equilibrado, salubre e disponível para todos. Está diretamente ligado à saúde, a qualidade de vida e desenvolvimento da sociedade, vez que o contato do homem com o esgoto ou águas sem o tratamento apropriado podem proporcionar o aparecimento de doenças, tais como diarreia, febre tifoide e leptospirose, podendo até mesmo levá-lo à morte.

Atualmente, as questões de saneamento básico têm uma dimensão muito maior, principalmente após a promulgação da Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 que regulamenta as áreas desse setor em quatro elementos: abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais.

2.3.3 Drenagem Urbana

O termo drenagem urbana é dado como sendo o conjunto de medidas com o objetivo de minimizar os riscos sofridos pela população, diminuir os danos causados por inundações e proporcionar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (TUCCI, 2009).

O aumento da urbanização nas cidades brasileiras tem bastante influência para o aumento da frequência e do nível de inundações, para a redução da qualidade da água e aumento dos materiais sólidos nos corpos receptores.

Por muito tempo o enfoque principal da drenagem urbana foi remover o excesso de águas pluviais de forma a evitar quaisquer tipos de transtornos para a população (TUCCI, 2009). Nesse sentido, as medidas se voltaram para a execução de projetos e obras e na análise econômica dos benefícios e custos das medidas estruturais (TUCCI, 2009).

Segundo Tucci (2009), as alterações do escoamento superficial direto são as consequências que apresentam maior interferência na drenagem urbana. Ainda de acordo com ele, pode-se relacionar o crescimento das vazões máximas de cheia com a área urbanizada da bacia e a área servida por obras de drenagem. É possível concluir que o pico da cheia em uma bacia urbanizada pode chegar a ser 6 vezes maior do que o pico desta mesma bacia em condições naturais, conforme a Figura 10.

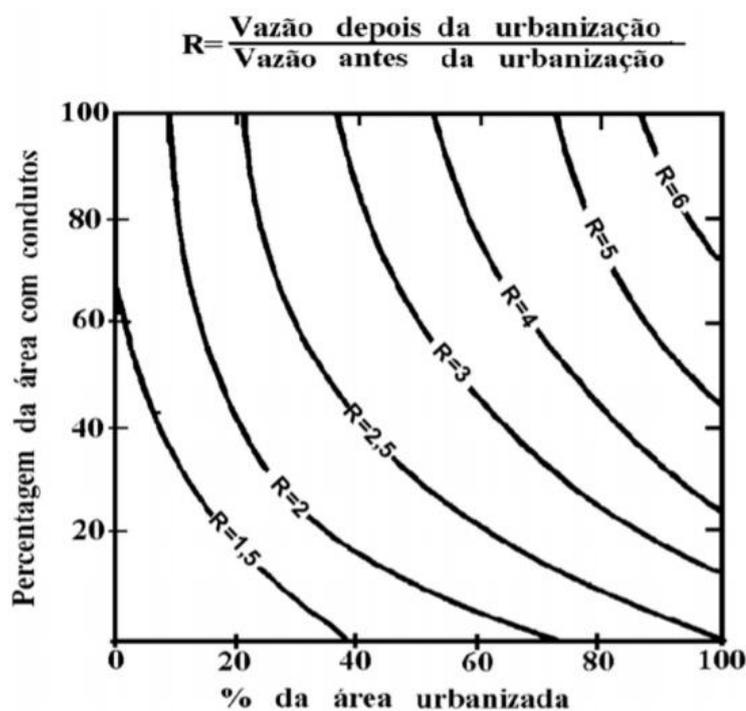


Figura 10 - Efeito da urbanização sobre a vazão máxima. Fonte: TUCCI, 2009

Tucci (2009) apresenta ainda fatores que podem interferir na drenagem urbana, tais como: aumento de loteamentos executados sem condições técnicas adequadas, ocupação de áreas impróprias, aumento de favelas e invasões e ocupação extensa e adensada, vez que dificultam a construção de canalizações e eliminam áreas de armazenamento.

2.3.4 Medidas para armazenamento de água

As medidas de armazenamento de água têm como função a estocagem temporária das águas do escoamento fluvial direto no ponto de origem ou próximo a ele, e posteriormente a liberação dessas águas a jusante, em galerias ou canais.

Segundo Ramos (1999) as tendências mais modernas de armazenamento de águas pluviais já vêm sendo utilizadas ou recomendadas internacionalmente e focam, principalmente, na estocagem das águas por estruturas de detenção ou retenção. A estrutura de detenção é basicamente aquela que armazena água nos períodos chuvosos e, em períodos de estiagem, ficam vazias e podem ser utilizadas como praças, pista de skate, entre outros. Já os reservatórios de retenção possuem a lâmina d'água até mesmo em períodos de estiagem. O ideal é utilizar destas técnicas em áreas urbanas ainda em expansão, mas podem ser utilizadas também nas demais, desde que haja locais (superficiais ou subterrâneos) que sejam apropriados para a introdução dos armazenamentos apresentados.

Na Tabela 1 é apresentado algumas medidas para a redução ou retardamento do escoamento superficial direto.

Tabela 1 - Formas de redução e retenção em diferentes áreas urbanas. Fonte: RAMOS, 1999

ÁREA	REDUÇÃO	RETARDAMENTO DE DEFLÚVIO DIRETO
Telhado plano de grandes dimensões	1 – Armazenamento em cisternas 2 – Jardim suspenso 3 – Armazenamento em tanque ou chafariz	1 – Armazenamento no telhado, empregando tubos condutores verticais estreitos 2 – Aumentando a rugosidade do telhado 3 – Cobertura ondulada 4 – Cobertura com cascalho
Estacionamento	1 – Pavimento permeável 2 – Cascalho 3 – Furos no pavimento impermeável	1 – Faixas gramadas no estacionamento 2 – Canal gramado drenando o estacionamento 3 – Armazenamento e detenção para áreas impermeáveis 4 – Pavimento ondulado 5 – Depressões 6 – Bacias
Residencial	1 – Cisternas para casas individuais, ou grupo de casas 2 – Passeios com cascalho 3 – Áreas ajardinadas em redor 4 – Recarga do lençol subterrâneo <ul style="list-style-type: none"> a) Tubos perfurados b) Cascalhos (areia) c) Valeta d) Cano (tubo) poroso e) Poços secos f) Depressões gramadas 	1 – Reservatório de detenção 2 – Utilizando gramas espessas (alta rugosidade) 3 – Passeios com cascalhos 4 – Sarjetas ou canais gramados 5 – Aumentando o percurso da água através de sarjeta, desvios, etc.
Geral	1 – Vielas com cascalhos 2 – Calçadas permeáveis 3 – Canteiros cobertos com palhas ou folhas	1 – Vielas com cascalhos

2.3.5 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica (Figura 11) é definida como sendo a “área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água tal que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída (secção de referência da bacia)” (JR e LEWIS, 1977).

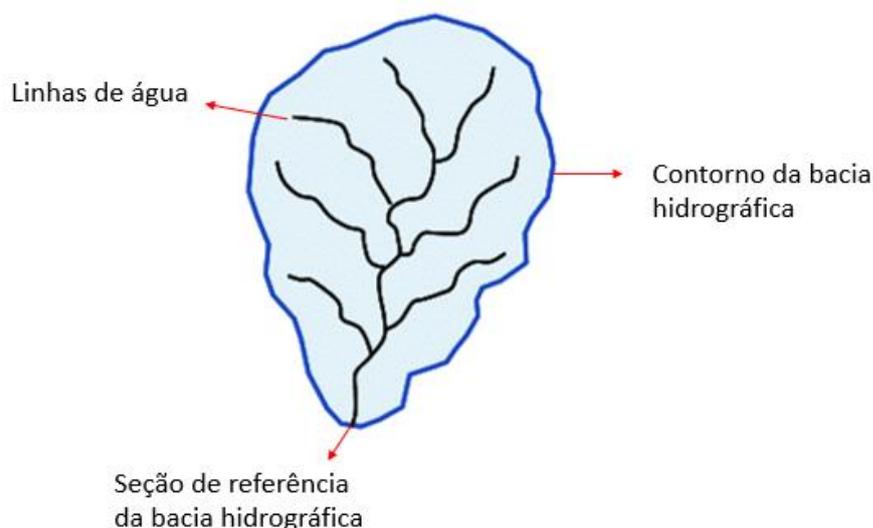


Figura 11 - Esquema da Bacia Hidrográfica. Fonte: Autor

Como Viessman *et al.* (1977) definiram, a delimitação da bacia é feita através das cristas das elevações topográficas que a circundam. No entanto, o seu curso d'água é originado tanto do escoamento superficial que cai direto sobre a bacia quanto do escoamento subterrâneo de águas de outras bacias. Da mesma forma, parte do escoamento superficial da bacia em estudo poderá se concentrar em lenções subterrâneos e migrarem para outras bacias vazias, não contribuindo, então, para sua vazão. Vale pontuar ainda que o conceito de delimitação da bacia ainda é discutido, dadas as dificuldades de delimitá-la através do divisor topográfico, divisor freático e divisor geológico, como demonstrado na Figura 12.

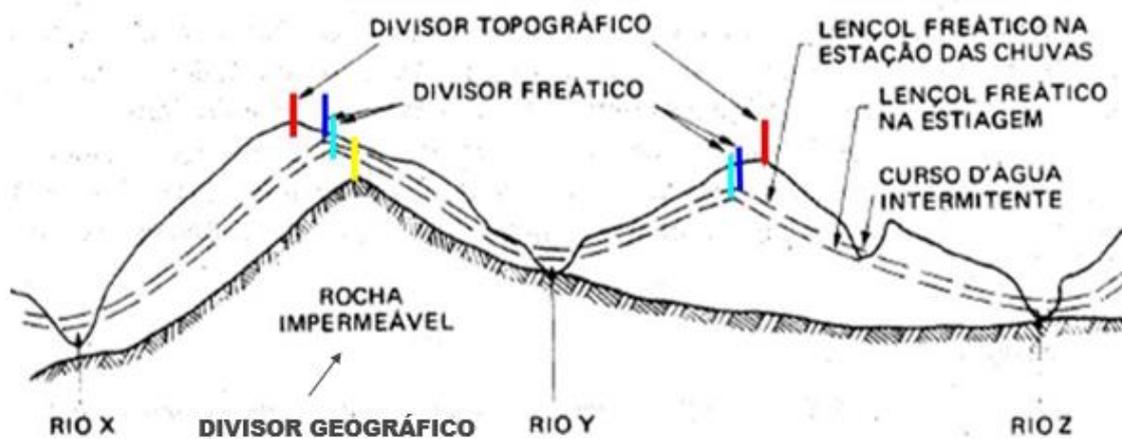


Figura 12 - Corte transversal de uma bacia. Fonte: Villela, 1975 (Adaptada pelo autor)

2.3.6 Período de retorno

O período de retorno é definido como sendo a frequência de ocorrência de determinado evento. Em Física, este conceito é introduzido cedo, como por exemplo, um carro rodando a frequência de 2000 rotações por minuto (rpm), que indica que a cada minuto, o eixo de manivelas do carro realiza 2000 rotações. Caso o dado a se saber fosse quanto tempo leva para que ocorresse cada a rotação, bastaria tomar o inverso de 2000, ou seja, $1/2000$ minutos, que informaria que no período de 3 centésimos de segundo, uma rotação acontece.

De forma análoga, em Hidrologia, trabalha-se com a frequência de ocorrência de um evento chuvoso excepcional e/ou períodos de seca.

2.3.7 Tempo de concentração

De acordo com Pinto (1976), o tempo relativo a uma seção de um curso de água é dado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir, em vazão, na seção em estudo. Seria o tempo de

percurso de uma gota de água do ponto mais remoto da bacia até atingir o exutório como demonstrado na Figura 13.

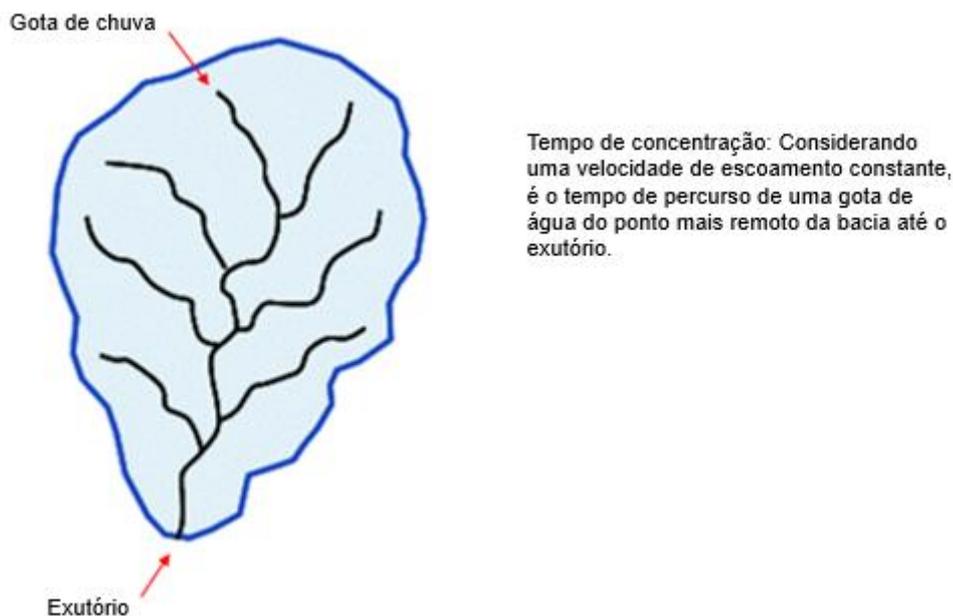


Figura 13 - Percurso da gota d'água do ponto mais remoto ao exutório. Fonte: Autor

A partir dessa compreensão, Giordani (2016) afirma que:

É importante conhecer o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica ou de uma área em estudo, uma vez que, para chuvas que durem menos que o tempo de concentração, o volume de água que caiu em um ponto mais afastado da seção de controle só chegará a ela depois que o volume de água que caiu em um ponto mais próximo já tenha escoado. Entretanto, para chuvas com duração igual ou maior que o tempo de concentração, quando o volume de água que caiu sobre uma região mais distante chegar à seção de controle, ainda haverá volumes de água de seções mais próximas chegando à seção, o que incorre em picos de cheia (GIORDANI, 2016) p.47

2.4 Microdrenagem e Macrodrenagem

A macrodrenagem é caracterizada como sendo os escoamentos em fundo de vales bem definidos e não necessariamente correspondem a um curso de água perene. Ela abrange os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem e envolve áreas superiores a 4 km², sendo que estes valores não devem ser tomados

como absolutos, vez que a malha urbana pode ter diferentes configurações (SUDERSHA, 2002). As obras de macrodrenagem têm por objetivo evitar inundações devido à bacia urbana, isto é, construções de canais, revestidos ou não, com maior capacidade de transporte que o canal natural e bacias de retenção (TUCCI, 2009).

A microdrenagem, por sua vez, é aplicada às áreas onde o escoamento natural não é bem definido e é determinado pela ocupação do solo. Na área urbana, por exemplo, é definida pelo traçado das ruas (TUCCI, 2009).

2.5 Medidas estruturais e não estruturais

Ao se tratar de técnicas de controle do escoamento superficial direto, faz-se distinção entre duas medidas complementares: estruturais e não estruturais. Macedo (2004) diz que as medidas estruturais são constituídas por medidas físicas de engenharia que tem por objetivo desviar, impedir, diminuir ou escoar mais rapidamente baixos níveis as águas do escoamento superficial direto, de forma a impedir os danos e interrupções causadas pelas inundações. São medidas que modificam o sistema fluvial objetivando evitar danos causados por enchentes e inundações (TUCCI, 2009). Em sua maioria, as medidas estruturais são obras hidráulicas de grande porte e com grande aplicação de recursos e tem por finalidade afastar as águas precipitadas.

No geral, Tucci (2009) aponta as medidas estruturais como tendo as principais características:

- Controle da cobertura vegetal: A cobertura vegetal interfere no processo precipitação-vazão diminuindo as vazões máximas devido ao amortecimento do escoamento. Reduz a erosão do solo, que por sua vez, aumenta o nível dos rios e conseqüentemente agrava o risco de inundação. Porém, tal medida normalmente é inviável devido ao alto custo do reflorestamento de bacias;

- Controle da erosão do solo: Pode ser realizado pelo reflorestamento, por pequenos reservatórios, por estabilização das margens e por práticas agrícolas corretas;
- Dique e Polders: São muros laterais de terra ou concreto, que podem ser inclinados ou retos. São localizados a certa distância da margem a fim de proteger as áreas ribeirinhas contra o extravasamento. A redução da largura do escoamento resulta no confinamento do fluxo e consequente aumento do nível de água na seção para uma mesma vazão, na erosão das margens e da seção, na redução do tempo de viagem da onda de cheia e no resultante agravamento da situação dos locais a jusante. Na construção do dique tem-se o grave risco ao se definir o nível correto da enchente máxima provável, vez que se deve considerar a possibilidade de um colapso.
- Modificações no rio: Acontece com o objetivo de aumentar a vazão para um mesmo nível.

As medidas extensivas são aquelas que atuam diretamente na bacia e buscam modificar as relações entre precipitação e vazão, alterando a cobertura vegetal do solo, reduzindo e retardando os picos de enchente e controlando a erosão da bacia (TUCCI, 2009).

Canholi (2015) diz que medidas intensivas são aquelas que agem diretamente no rio e podem ser:

- De aceleração do escoamento: canalização e obras correlatas, como o corte de meandros, aumentando a capacidade de descarga dos rios e reduzindo o pico das cheias no local da obra;
- De retardamento do fluxo: reservatórios (bacias de detenção/retenção para amortecimento de pico), restauração de calhas naturais;
- De desvio do escoamento: túneis de derivação e canais de desvio.

Como medidas não estruturais, Tucci (2009) define como aquelas que, em conjunto ou não com as medidas estruturais, minimizam consideravelmente os prejuízos devido a inundações com um custo menor.

De acordo com Righetto, Moreira e Sales (2009), “são denominados sistemas de controle na fonte, pois atuam no local ou próximo das fontes de escoamento, estabelecendo critérios de controle do uso e ocupação do solo nessas áreas”.

Segundo Tucci (2009), as medidas não estruturais podem ainda ser agrupadas em:

- Regulamentação do uso da terra ou zoneamento das áreas inundáveis: é necessário que se estabeleça o risco de inundação das diferentes cotas das áreas ribeirinhas, onde fica proibida a habitação nas áreas de risco. Estas áreas, no entanto, poderão ser utilizadas para a recreação, como parques e campos de esportes. Além disso são feitas recomendações relacionadas aos sistemas de esgoto cloacal, pluvial e viário, que devem estar contidos no Plano Diretor da cidade.
- Construção à prova de enchente: É definida como o conjunto de medidas que são projetadas para diminuir as perdas de prédios localizados nas áreas de inundação durante as cheias.
- Seguro de enchente como forma de proteção econômica para indivíduos e empresas em eventuais perdas.
- Previsão e alerta: Sistema composto de obtenção de dados em tempo real e Plano de Defesa Civil que envolve todas as ações individuais ou de comunidade para reduzir as perdas durante as enchentes.

Righetto, Moreira e Sales (2009) apresentam outras medidas não estruturais e as classificam da seguinte forma:

- Planejamento e manejo de água: com uma equipe técnica capacitada, superfícies com vegetação, telhados verdes e urbanização de pequeno impacto;
- Reuso de água pluvial: jardinagem, lavagem de veículos, sistema predial, fontes e lados;
- Controle de conexão ilegal do esgoto: medidas de prevenção para a conexão ilegal, fiscalização, controle do sistema de coleta de esgoto e tanques sépticos.

2.6 Técnicas Compensatórias

As Técnicas Compensatórias (TC's) são medidas que visam facilitar a infiltração das águas pluviais e o aumento da capacidade de armazenamento de água, diminuindo a vazão de pico e escoamentos superficiais.

A fim de mitigar os malefícios da urbanização sobre os processos hídricos, as TC's se baseiam em novos conceitos e trabalham de forma positiva para aumentar a qualidade de vida e a preservação ambiental nos meios urbanos. Na utilização das TC's são levadas em consideração os impactos de urbanização de forma global, utilizando a bacia de contribuição como base de estudo. A utilização das TC's na drenagem urbana propicia a continuação do processo de expansão urbana e evita que sejam feitos altos investimentos em obras de infraestrutura de drenagem, vez que possibilitam a adequação desse sistema em função do crescimento e tratamento, ajustando as questões de drenagem pluvial urbanísticas (BAPTISTA et al., 2011).

Exemplos dessas técnicas são as bacias de retenção, planos de infiltração, pavimentos porosos, poços, trincheiras, valas gramadas e valetas.

2.6.1 Reservatórios de retenção e detenção

As obras de retenção são aquelas que auxiliam a estocagem de águas de escoamento superficial, projetadas para “deter” temporariamente as águas, durante ou logo após o acontecimento do evento. Como exemplo de dispositivos de retenção temos as valas naturais em levantamento transversal atuando como estrutura de controle, depressões naturais ou escavadas, caixas ou reservatórios subsuperficiais, armazenamento em telhado e bacias de infiltração (RAMOS, 1999).

Já os reservatórios de retenção possuem uma lâmina d'água mesmo nos períodos de estiagem. Têm ainda um volume livre, não ocupado inicialmente, que serve para armazenar o volume de água adicionado nos períodos chuvosos. A água de escoamento superficial será armazenada a um nível acima do normal de retenção, durante e após a precipitação. Exemplos dessas obras são os pequenos lagos (RAMOS, 1999).

Tais reservatórios tem como função diminuir as cheias geradas em contexto urbano como forma de controle de inundações, reduzir os volumes de escoamento artificial nos casos de bacia de infiltração e diminuir a poluição difusa de origem pluvial no contexto urbano (BAPTISTA, DE OLIBEIRA NASCIMENTO, & BARRAUD, 2011).

Quando ocorre um evento chuvoso, os reservatórios de detenção e retenção regularizam a vazão da água de escoamento superficial, vez que a água é temporariamente armazenada acima do seu nível normal durante e imediatamente após a chuva.

A composição básica do reservatório é composta por um volume deixado livre para armazenamento de águas de escoamento e/ou infiltração, definido como volume de espera. Além disso, compreende uma estrutura hidráulica de saída, uma estrutura de descarga no fundo, controlada ou não por comportas ou válvulas e um vertedor de emergência, como mostra a Figura 14.

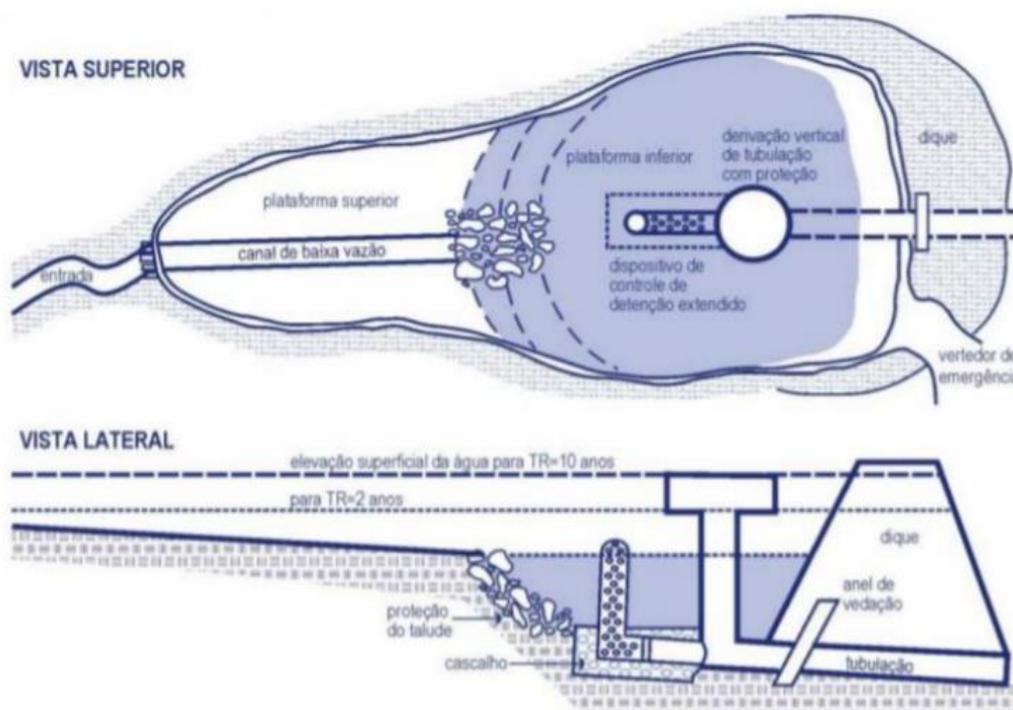


Figura 14 - Modelo esquemático de uma bacia de detenção. Fonte: SUDERSHA, 2002

3 Metodologia

Este trabalho foi executado com formação teórica sobre o tema, iniciando-se com o estudo da área a ser abordada e com os métodos que poderiam ser aplicados para mitigar o problema. Foi utilizado o *software* QGis para a caracterização da área em estudo e a ferramenta Excel para análises dos dados.

Para fins didáticos, o estudo abordou a região do Barreiro, em Belo Horizonte – MG, em especial a área de inundação decorrente do transbordamento da Bacia do Ribeirão Arrudas. A escolha da região aconteceu devido à grande frequência de inundação da área decorrente da ocupação indevida da superfície, o que prejudica o sistema de drenagem natural dos seus rios e afluentes. Foi apresentada uma medida diferente àquela já abordada pela prefeitura da cidade, que tenta tratar o problema com placas de sinalização e obras (Prefeitura de Belo Horizonte, 2019).

3.1 Estudo de Caso

A região do Barreiro é localizada a sudoeste de Belo Horizonte (Figura 15) e faz limite com os municípios de Contagem, Ibirité, Brumadinho e Nova Lima. Sua população é de aproximadamente 300 mil habitantes em seus 53 km² e compreende os bairros Araguaia, Barreiro de Cima, Bonsucesso, Brasil Industrial, Cardoso, Conjunto Habitacional Bonsucesso, Conjunto Habitacional Flávio de Oliveira, Conjunto Habitacional Teixeira Dias, Diamante, Flávio Marques Lisboa, Milionários, Olhos D'Água, Pilar, Pongelupe, Santa Helena, Serra do José Vieira, Solar, Urucaia e Vila Cemig (Bairros da região do Barreiro, s.d.).

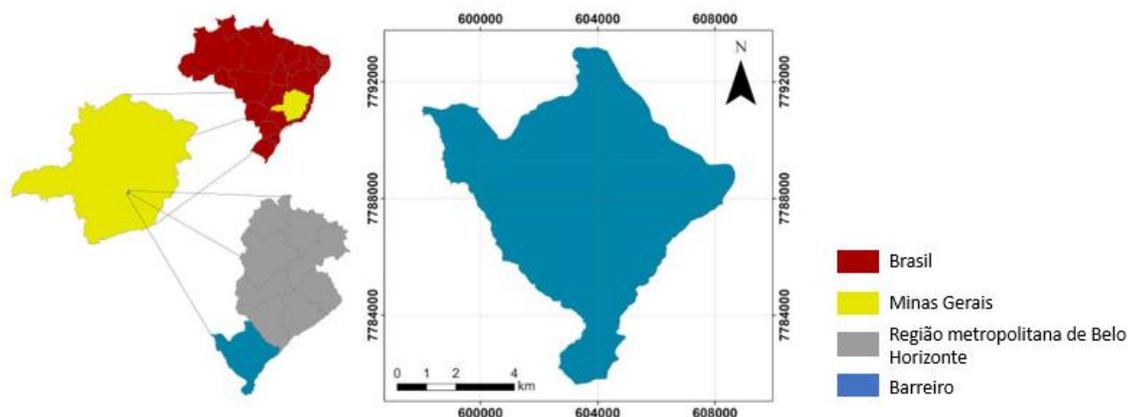


Figura 15 - Localização da região do Barreiro, Belo Horizonte – MG. Fonte: Autor, 2022

A região é caracterizada, além pela grande atividade industrial e comercial, por conter diversas áreas verdes e nascentes, tendo como destaque o Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, o terceiro maior parque em área urbana do país, que abriga mananciais importantes que abastecem parte da região metropolitana de Belo Horizonte.

O Barreiro é cortado pelo Ribeirão Arrudas, na Bacia do Ribeirão Arrudas, como demonstrado na Figura 16, que tem sua nascente em Contagem e desaba em Sabará, totalizando 40 km de extensão. Devido a ocupação indevida que acontece há anos na região, a presença de inundações é constante, o que faz com que a população sofra com esse desastre diversas vezes, todos os anos.



Figura 16 - Localização da Bacia do Ribeirão Arrudas. Fonte: Autor, 2022

3.2 Uso e ocupação do solo

Para se obter informações que abordem a quantidade de comércios, residências ou qualquer outro tipo de edificação que corre o risco de sofrer com inundações na região do Barreiro, foram utilizados o *software* QGis e o site da prefeitura BhMap. Fazendo o *download* das camadas *hasters* encontradas no site BhMap e fazendo sua sobreposição, análise e manipulação utilizando o *software* QGis, foi possível encontrar os bairros que são atingidos pela mancha de inundação, sendo eles Bairro Novo das Indústrias, Milionários, Barreiro, Santa Helena, Miramar, Araguaia e Cardoso. Pelo QGis foi possível delimitar a mancha de inundação da área de interesse, como mostrado na Figura 17.



Figura 17 - Limite da área de inundação na região do Barreiro. Fonte: Autor, 2022

3.3 Obtenção das intensidades de precipitação

Foi sugerido pelo manual de instrução técnica para a elaboração de estudos e projetos de drenagem urbana no município de Belo Horizonte utilizar a seguinte equação de Pinheiro e Naghettini (1998) para o cálculo de intensidade de precipitações:

$$I = 0,76542 \times D^{-0,7059} \times P^{0,5360} \times \mu_{T,d} \text{ (eq.1)}$$

Onde:

I = intensidade da chuva (mm/h);

P = precipitação total anual (mm);

D = duração da chuva (horas);

$\mu_{T,d}$ = quantil adimensional de frequência regional associado ao período de retorno T e à duração d (tabelado).

Na Tabela 2 é apresentado diferentes valores de quantis adimensionais para diferentes períodos de retorno e durações de chuvas.

Tabela 2 - Quantis adimensionais $\mu_{(T,d)}$, Pinheiro e Naghettini (1998)

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

Para o estudo de projetos de drenagem na região de Belo Horizonte é recomendado utilizar a média de precipitação anual de 1500mm. Neste trabalho, foram seguidas as diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo, adotando períodos de retorno de 50 a 100 anos.

3.4 Cálculo das Vazões de Pico

Para o cálculo da vazão em bacias hidrográficas, foi necessário considerar a área da bacia. A bacia em estudo tem área de 20,188 km², portando, foi utilizado o Método I-Pai-Wu.

3.4.1 Método I – Pai – Wu

O método I-Pai-Wu é um aperfeiçoamento do Método Racional. É recomendado a sua utilização em bacias com áreas até 200 km².

O método é aplicado através da equação:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A^{0,9} \cdot K$$

Onde:

Q = vazão em m³/s;

C = coeficiente de escoamento;

I = intensidade em mm/h

A = área da bacia em km²

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva

O coeficiente de distribuição espacial da chuva foi calculado de acordo com a Figura 18.

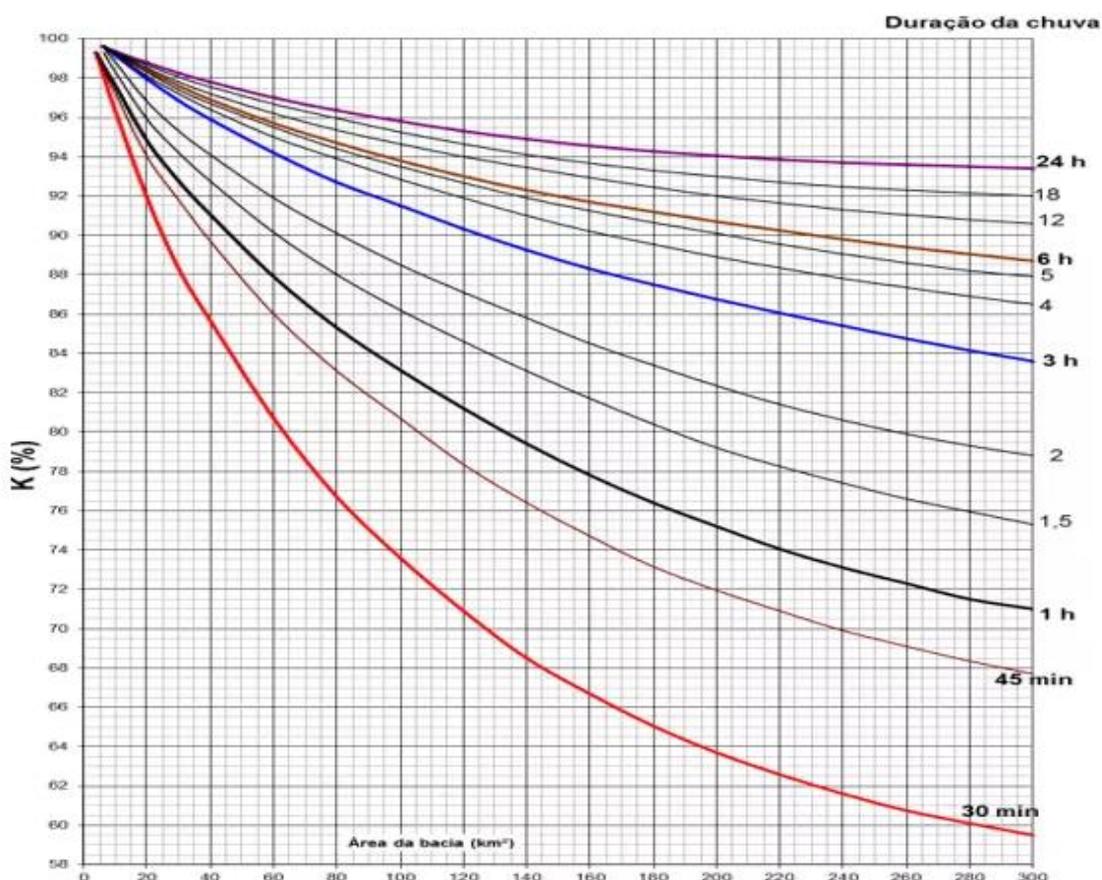


Figura 18 – Ábaco para determinação de K

3.4.2 Coeficiente de Escoamento Superficial adotado no Método I – Pai – Wu

De acordo com DAEE, os principais fatores a serem analisados na bacia hidrográfica são:

- Forma, área e declividade da bacia hidrográfica
- Intensidade e distribuição da chuva crítica
- Características da superfície da bacia
- Provável utilização futura do terreno
- Grau de impermeabilização do solo
- Existência de depressões ou bacias de acumulação que diminuam os picos de cheias

- Grau de saturação do solo devido às chuvas anteriores
- Tempo de concentração (t_c)
- Tempo de pico (t_p);

O Método I – Pai – Wu admite bacias maiores e mais longas e considera o tempo de concentração da chuva superior ao tempo de maior intensidade da chuva (pico), diferente do Método Racional, que admite que a chuva crítica de determinada bacia tenha tempo de duração igual ao tempo de concentração.

Para o cálculo do coeficiente da bacia, será utilizada a seguinte equação:

$$C = \frac{2}{1 + F} * \frac{C2}{C1}$$

Tem-se o coeficiente de forma (C1):

$$C1 = \frac{t_p}{t_c}$$

Onde:

t_p = Tempo de pico;

t_c = Tempo de concentração;

Admite-se ainda coeficiente de forma calculado pela equação abaixo:

$$C1 = \frac{4}{2 + F}$$

Onde:

F = Fator de forma da bacia;

O fator de forma (F) é uma relação direta da bacia com um círculo perfeito de mesma área, onde, se estabelecida a condição F = 1 significaria que a bacia admitira forma circular, F > 1 indicaria uma bacia mais estreita e F < 1 uma bacia mais circular.

$$F = \frac{L}{2 * \frac{A^{0,5}}{\pi}}$$

Onde:

L = Comprimento da bacia (km);

A = Área de Contribuição da bacia (Km)

O Coeficiente Volumétrico de Escoamento é calculado considerando o grau de impermeabilidade do solo, que é classificado como baixo, médio e alto, conforme a Tabela 3:

Tabela 3 - Valores recomendados pelo DAEE para o coeficiente C. Fonte: (DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - DAEE/CETESB, 1980)

Uso do solo ou Grau de Urbanização	Valores de C	
	Mínimos	Máximos
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plastações, pastos, etc.	0,20	0,35

3.5 Dimensionamento do Reservatório de Detenção

O volume do reservatório de detenção foi calculado baseando-se no Método de Muller – Neuhaus, dado por:

$$V = Q_p * t_c * K$$

Onde:

V = Volume do Reservatório (m³)

Q_p = Vazão calculada (m³/s)

t_c = Tempo de concentração (minutos)

K = Fator de volume

O fator de volume K é calculado pelas seguintes equações:

$$K = \log \frac{1}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{Q_e}{Q_p}$$

Onde:

Q_e = vazão do efluente (m³/s)

Q_p = vazão calculada (m³/s)

A vazão do efluente Q_e é calculada a partir do dispositivo de saída do reservatório, que no caso, é dada por um orifício. A vazão Q_e foi calculada pela seguinte equação:

$$Q_e = C_d * A_0 * \sqrt{2gh}$$

Onde:

Q_e = Vazão efluente (m³/s)

C_d = Coeficiente de descarga

A_0 = Área do orifício (m)

G = Aceleração da gravidade (m/s²)

h = Altura média de lâmina d'água acima o eixo central do eixo central do orifício(m)

De acordo com a equação de Kirpich, o tempo de concentração é calculado através da seguinte equação:

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

Onde:

t_c = Tempo de concentração (min)

L = Comprimento do talvegue (km)

H = Diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exultório (m)

4 Resultados e discussões

4.1 Características da Bacia

Com o auxílio do software QGis e da ferramenta Excel foi possível ainda gerar a Tabela 4, com dados sobre a bacia relacionados a sua forma, ao relevo e a rede de drenagem.

Tabela 4 - Dados da Bacia em estudo. Fonte: Autor (2021)

Caracterização física de bacias hidrográficas		
Quanto à Forma	Área total (m ²)	20.878.376,987
	Perímetro (m)	37.128,998
	Comprimento axial a bacia (La)	9.840,824
	Coefficiente de compacidade (Kc)	2,275
	Fator de forma (Kf)	0,151
	Índice de circularidade (IC)	0,190
Características de Relevo	Orientação	S-N
	Altitude mínima (m)	918,796
	Altitude média (m)	1.126,859
	Altitude máxima (m)	1.502,813
	Amplitude altimétrica da bacia	584,016
	Declividade mínima (%)	0,013
	Declividade média (%)	17,870
	Declividade máxima (%)	109,873
Declividade média do curso d'água principal (m/m)	0,050	
Características da Rede de Drenagem	Número de ordens de cursos d'água	4,000
	Comprimento do curso d'água principal (m)	11.776,300
	Comprimento total dos cursos d'água (m)	16.653,400
	Densidade de drenagem	0,001

Sobre a forma da bacia, foi possível obter a área total, o perímetro, o comprimento axial da bacia (La), o comprimento de compacidade (Kc), o Fator de Forma (Kf) e o índice de circularidade (IC). Alguns destes dados, tais como a área total, o perímetro e o comprimento axial da bacia foram retirados diretamente do software QGis, já outros foram manipulados por fórmulas.

O coeficiente de compacidade (K_c), é definido como sendo a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área da bacia (SILVA e BATISTA, 2006).

$$K_c = \frac{P_{BH}}{P_c}; \quad K_c = 0,258 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

P_{BH} = Perímetro da Bacia Hidrográfica

P_c = Perímetro do círculo de área equivalente à Bacia

P = Perímetro da Bacia Hidrográfica

A = Área da Bacia Hidrográfica

O valor de K_c é interpretado a partir do valor 1 – para caso a bacia tivesse a forma de um círculo perfeito, seu valor de K_c seria equivalente a 1. Logo, quanto mais próximo de 1 for o resultado, mais circular é a forma da bacia, e à medida que o resultado se afasta para valores maiores a 1, entende-se que a bacia tende a ser mais estreita (SILVA e BATISTA, 2006).

O índice de circularidade (IC) é responsável por relacionar a área total da bacia à área de um círculo de mesmo perímetro à área da bacia. À medida que a bacia se aproxima da forma circular, o resultado de IC tende para a unidade e, de forma análoga, diminui de acordo com que ela se torna alongada (CARDOSO, DIAS, *et al.*, 2006).

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2}$$

Onde:

A = Área de drenagem da Bacia (m^2)

P = Perímetro (m^2)

O fator de forma (K_f) é a razão entre a largura média da bacia (\bar{L}) e o comprimento do eixo da bacia (L). Pode ser calculado da seguinte forma:

$$Kf = \frac{L}{L}; \quad L = \frac{A}{L}; \quad Kf = \frac{A}{L^2};$$

Logo, quanto maior o valor de Kf, menor é o tamanho da bacia e, conseqüentemente, mais sujeita a bacia é a picos de enchentes (SILVA e BATISTA, 2006).

Em relação ao relevo, as análises também aconteceram de forma semelhante: pelo *software* QGis e pela manipulação de fórmulas no Excel. Os dados relacionados à direção do curso d'água da bacia, altitude mínima, média e máxima e declividade mínima, média e máxima são retirados diretamente do QGis.

A amplitude altimétrica da bacia e declividade média do curso d'água principal (S1) foram calculados pela ferramenta Excel, obedecendo as fórmulas indicadas:

Altitude altimétrica da bacia = Altitude máxima – Altitude mínima;

$$S1 = \frac{\Delta H}{L}$$

Onde:

ΔH = Diferença entre as cotas do ponto mais distante e da seção considerada

L = Comprimento do canal (talvegue) principal

O resultado obtido com o cálculo da declividade média do curso d'água principal influência no escoamento da água da bacia e, conseqüentemente, no tempo de concentração. Pode-se afirmar que quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento, menor tempo de concentração e maior as perspectivas de picos de cheia (PALARETTI).

4.2 Número de estabelecimentos atingidos

De acordo com análises realizadas no *software* QGis através da sobreposição, análises e manipulação das camadas *hasters* encontradas no site BhMap, foi obtida a área atingida pela inundação da bacia, que gira em torno de 335.450,49 m², atingindo de forma direta as construções apresentadas na Tabela 5:

Tabela 5 - Estabelecimentos atingidos pela mancha de inundação. Fonte: Autor (2021)

Academia	1
Atividades Economicas	236
Empresa de pequeno porte	23
Empresas outros portes	23
Escola Municipal Ensino Fund	1
Quadra Poliesportiva	1

4.3 Dimensionamento do Reservatório

De acordo com Moreira (2019) a média pluviométrica (P) de Belo Horizonte é de 1500 mm/ano. Com a ajuda da ferramenta Excel, foi possível encontrar diferentes intensidades de precipitação ($i_{T,t_r,j}$) para diferentes tempos de retorno (T) e duração de chuva (t_r), conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Intensidade de chuva

Intensidade de chuva (mm/h)								
Duração (h)	Período de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
0,167	94,419	113,139	138,418	195,124	216,713	244,724	265,767	286,673
0,25	71,329	85,184	103,965	145,941	161,952	182,683	198,283	213,781
0,5	44,484	52,600	63,737	88,464	97,965	110,171	119,357	128,544
0,75	32,608	39,083	47,873	67,580	75,094	84,829	92,107	99,384
1	26,191	31,669	0,540	55,738	62,103	70,319	76,490	82,662
2	16,151	19,462	0,331	34,029	37,884	42,873	46,586	50,322
3	12,060	14,582	0,249	25,666	28,596	32,380	35,221	38,063
4	9,974	11,975	0,188	20,760	23,065	26,066	28,313	30,561
8	5,990	7,270	0,124	12,896	14,380	16,300	17,740	19,171
14	3,808	4,772	0,096	8,999	10,119	11,562	12,645	13,723
24	2,468	3,188	0,070	6,343	7,178	8,255	9,065	9,871

Considerando os valores de intensidade calculados na Tabela 6, foi possível ainda definir as vazões de pico considerando diferentes períodos de retorno. Foi utilizado o Método I - Pai - Wu, que é recomendado para bacias com áreas maiores que 2 km² e menores que 200 km.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A^{0,9} \cdot K$$

$$F = \frac{L}{2 * \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}} = \frac{11,78}{2 * \left(\frac{20,88}{\pi}\right)^{0,5}} = 2,284$$

$$C1 = \frac{4}{2 + F} = \frac{4}{2 + 2,284} = 0,934$$

Observando o local de estudo pelo site Google Earth, é possível notar que a região é bastante urbanizada. Nesse sentido, considerando a pior situação, será considerado para C2 o valor de 0,80.

$$C = \frac{2}{1 + F} * \frac{C2}{C1} = \frac{2}{1 + 2,284} * \frac{0,80}{0,934} = 0,522$$

$$K = 0,96$$

Com o auxílio da ferramenta Excel, foi possível calcular a Tabela 7:

Tabela 7 - Vazão de Pico

Vazão de pico pelo Método I-Pai Wu (m³/s)								
Duração	Período de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
10 minutos	202,599	242,767	297,009	418,686	465,011	525,116	570,269	615,128
15 minutos	153,053	182,783	223,083	313,153	347,507	391,992	425,465	458,719
30 minutos	95,451	112,867	136,763	189,821	210,208	236,399	256,111	275,822
45 minutos	69,969	83,862	102,723	145,008	161,132	182,021	197,637	213,254
1 hora	56,200	67,953	1,159	119,600	133,257	150,886	164,129	177,372
2 horas	34,657	41,761	0,710	73,017	81,288	91,995	99,961	107,979
3 horas	25,878	31,290	0,534	55,072	61,361	69,478	75,576	81,674
4 horas	21,402	25,695	0,404	44,546	49,492	55,932	60,753	65,575
8 horas	12,854	15,600	0,267	27,672	30,857	34,976	38,066	41,136
14 horas	8,171	10,239	0,206	19,309	21,712	24,808	27,133	29,446
24 horas	5,295	6,841	0,149	13,611	15,403	17,712	19,451	21,181

Para o dimensionamento do reservatório, foram realizados os cálculos da vazão do efluente (Q_e) e do tempo de concentração (t_c), apresentados a seguir, respectivamente:

$$V = Q_p * t_c * K$$

$$K = \log \frac{1}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{Q_e}{Q_p}$$

$$Q_e = C_d * A_0 * \sqrt{2gh} = 2,74 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} = 84,71 \text{ minutos}$$

Para o valor de Q_e , foi utilizado como C_d o valor médio de 0,62 (PORTO, 2006), $A_0 = 0,5 \text{ m}^2$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ e altura $h = 4 \text{ m}$. Para a área do orifício A_0 , foi considerado o estudo do Piscinão de Pacaembu, vista que se comporta de forma semelhante ao reservatório em estudo. Com o auxílio da ferramenta Excel foi possível montar a Tabela 8, com diferentes volumes do reservatório para diferentes períodos de retorno.

Tabela 8 - Volume do Reservatório

Volume do Reservatório (m ³)				
Duração	Período de retorno (anos)			
	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
10 minutos	77.729,716	88.131,456	101.879,357	112.375,995
15 minutos	54.780,038	62.125,004	71.820,668	79.240,662
30 minutos	29.697,678	33.678,712	38.899,774	42.900,438
45 minutos	21.245,133	24.234,474	28.195,347	31.214,862
1 hora	16.672,026	19.107,637	22.327,607	24.796,957
2 horas	8.848,436	10.172,721	11.932,760	13.272,562
3 horas	6.100,345	7.041,841	8.292,137	9.254,624
4 horas	4.585,608	5.287,132	6.227,564	6.949,878
8 horas	2.362,200	2.758,161	3.288,162	3.697,554
14 horas	1.391,858	1.659,018	2.017,684	2.296,552
24 horas	805,429	981,737	1.220,293	1.407,322

Para que o reservatório funcione de forma eficaz, é aconselhado que utilize o tempo de retorno de 50 a 100 anos (DAEE/CETESB, 1980). A utilização de tais períodos, considerados longos, prevê maior confiabilidade ao projeto, prevendo possíveis eventos de enchentes e inundações.

Nesse sentido, foi utilizada a ferramenta Excel para montar uma tabela com sugestões de áreas de base e alturas para o reservatório, considerando os períodos de retorno de 50 e 100 anos. Como o tempo de concentração de chuva de calculado

foi de 84,71 minutos, foram calculadas áreas sugeridas do reservatório considerando alturas com valores e 2 metros a 4,5 metros, conforme as tabelas Tabela 9 e Tabela 10. Embora o tempo de concentração de chuva calculado seja de 84,71 minutos, este valor não se encontra na Tabela 2 - Quantis adimensionais $\mu(T,d)$, Pinheiro e Naghettini (1998) e, por este motivo, foi utilizado o tempo de concentração de 1 hora e 2 horas. Vale ainda pontuar que, no caso, é mais viável superdimensionar o reservatório, levando em consideração que o objetivo é reduzir ao máximo os eventos de inundações.

Tabela 9 - Medidas sugeridas para o reservatório; Tempo de Concentração = 1 hora

Medidas sugeridas para o reservatório		
Alturas (m)	Tempo de Concentração = 1 hora	
	ÁREA DA BASE (m ²)	
	Período de retorno (anos)	
	50 anos	100 anos
2	11.163,81	12.398,48
2,5	8.931,04	9.918,78
3	7.442,54	8.265,65
3,5	6.379,32	7.084,85
4	5.581,90	6.199,24
4,5	4.961,69	5.510,44

Tabela 10 - Medidas sugeridas para o reservatório; Tempo de Concentração = 2 horas

Medidas sugeridas para o reservatório		
Alturas (m)	Tempo de Concentração = 2 horas	
	ÁREA DA BASE (m ²)	
	Período de retorno (anos)	
	50 anos	100 anos
2	5.966,38	6.636,28
2,5	4.773,10	5.309,02
3	3.977,59	4.424,19
3,5	3.409,36	3.792,16
4	2.983,19	3.318,14
4,5	2.651,72	2.949,46

4.4 Viabilidade de implantação

O piscinão do Pacaembu, localizado na Praça Charles Muller, em São Paulo, teve sua construção iniciada em 1992 e foi inaugurado em agosto de 1995. Seu projeto é considerado de sucesso e responsável pela expansão da técnica no Brasil (SANTOS e MAMEDE, 2013). O piscinão comporta até 74.000 m³, tem área de base de 15.000 m² e o seu custo foi de cerca de 8 milhões de dólares (CANHOLI, 2014). A cidade do Rio de Janeiro também tem investido em reservatórios de detenção. De acordo com a Revista Veja (2018), a cidade prevê a construção do piscinão da Rua Heitor Beltrão, na Tijuca, que armazenará 70 milhões de litros de água e custará cerca de R\$2,6 milhões. A construção faz parte do Programa de Controle de Enchentes da Grande Tijuca, que já conta com reservatórios (piscinões) nas praças da Bandeira, Varnhagen e Niterói (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2019). Nesse sentido, nota-se que os recursos financeiros para a construção de piscinões são altos, porém, trazem um benefício ímpar para a população.

Outro ponto a ser analisado é a disponibilidade da área de construção do reservatório. Visto que o Barreiro é uma região populosa, pode acontecer de não ser encontrada a área disponível para a sua implementação, vez que este requer grandes áreas de base, as quais variam de 4.961,69 m² até 12.398,48 m² para o tempo de concentração de 1 hora e período de retorno de 50 e 100 anos e 2.652,72 m² até 6.636,28 m² para tempo de concentração de 2 horas e período de retorno de 50 e 100 anos. Nesse sentido, instiga-se que sejam realizados demais estudos que viabilizem a subdivisão do reservatório calculado em reservatórios menores. Mesmo não erradicando o problema de imediato, a medida proposta já melhoraria a qualidade de vida na região.

5 Conclusões e Recomendações

No seguinte trabalho foi apresentada a história da região, abordando o contexto de ocupação da área e vinculando tal ocupação a atual distribuição populacional do Barreiro. Foi comentado também sobre os motivos que fazem a região ser destaque no que diz respeito a inundações e enchentes.

Como objetivo principal do trabalho estava o pré-dimensionamento de um reservatório de retenção para a área, sendo possível estudar a viabilidade de tal obra, analisar as edificações atingidas pela área de inundação, pontuar os casos de prejuízos financeiros e psicológicos dos últimos anos e a importância da obra civil em âmbito social. Considerando somente a área da mancha de inundação atingida pela inundação, o evento ocasionaria danos em, pelo menos 285 estabelecimentos, além de inúmeras edificações residenciais, atingindo uma área de 335.450,49 m².

A área da bacia em estudo é de 20.878.376,987 m², o que equivale a aproximadamente 20,88 km². De acordo com estes dados, foi utilizado método I – Pai – Wu para o cálculo da sua vazão, vez que admite bacias maiores e mais longas. Foi encontrado então diferentes valores de vazão para diferentes períodos de retorno e duração de chuva.

Para o cálculo do volume do reservatório, o ideal seria utilizar para o cálculo do tempo de concentração de chuva de 84,71 minutos, mas como o valor não é apresentado na Tabela 2 - Quantis adimensionais $\mu(T,d)$, Pinheiro e Naghettini (1998), foi utilizado o tempo de concentração de chuva de 60 e 120 minutos. Como a finalidade é diminuir consideravelmente os problemas de inundações na região, é mais viável que a obra seja superdimensionada, considerando, portanto, os resultados considerados para o tempo de concentração de 120 minutos. Para o cálculo de Q_e foi utilizado o valor de $C_d = 0,62$, utilizando como base para o valor a bibliografia de Porto (2006), $A_0 = 0,5$, $g = 9,8\text{m/s}^2$ e $h = 4\text{m}$ e K tabelado. Foi então possível dimensionar o volume do reservatório para diferentes períodos de retorno e chuva de diferentes períodos de duração.

Foram ainda construídas duas tabelas, uma considerando chuvas com 1 hora de duração e outra 2 horas de duração. Como sugerido pelo DAEE/ CETESB (1998), foi

fixado o período de retorno de 50 a 100 anos afim de garantir sua efetividade. Nas tabelas foram apresentadas sugestões para possíveis áreas de bases e alturas para os reservatórios.

Logo, pode-se concluir que atual trabalho, no mínimo, instiga um estudo mais aprofundado sobre a solução. Vale considerar ainda que, em períodos de estiagem, o reservatório de poderia ser utilizado para recreação da população local, sendo, então, além de uma medida de prevenção de danos, um estímulo para a melhora da qualidade de vida da região.

Para complementar o estudo poderiam ser feitas análises de viabilidade da construção, abordado a localização do reservatório e a divisão da bacia em sub-bacias, tratando o problema de forma separada. Há ainda a possibilidade de outros estudos considerando a divisão do reservatório calculado em reservatórios menores, vez que seriam necessárias menores áreas para a construção e viabilizaria ainda mais a sua implementação.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, T. F. R. , **Vastos Subúrbios da Nova Capital**: Formação do Espaço Urbano na Primeira Periferia de Belo Horizonte. Belo Horizonte, MG: Tese (Doutorado em História) Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

BAIRROS DE BELO HORIZONTE. Bairros da região do Barreiro. **Bairros de Belo Horizonte**. Disponível em: <https://bairrosdebelohorizonte.webnode.com.br/bairros%20da%20regi%C3%A3o%20do%20barreiro/>. Acesso em: 12 Maio 2022.

BAPTISTA, Márcio B.; NASCIMENTO, Nilo D. O.; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. [S.l.]: ABRH, 2011.

BHAZ. Regiões de BH recebem, em 1h30, (muito) mais chuva do que todos os meses do período seco: 'Caos total'. **BHAZ**, 2020. Disponível em: <https://bhaz.com.br/2020/01/16/chuva-bh-estragos/#gref>. Acesso em: 01 maio 2020.

BRAGA, R.; CARVALHO, P. **Recursos Hídricos e Planejamento Regional**. 1ª. ed. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Regional (DEPLAN), 2003.

BRENNEISEN, S. Green roofs - how nature returns to the city. [S.l.]: Acta Horticulturae, ISHS, International Conference on Urban Horticulture, 2004. p. 289-293.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARDOSO, Christiany A. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan. **Revista Árvore**, 2006.

CARDOSO, Leandro. **Transporte Público, Acessibilidade Urbana e Desigualdades Socioespaciais na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, MG: Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

DAEE/CETESB. **Drenagem Urbana**. São Paulo: [S.n.], 1980.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - DAEE/CETESB. Drenagem Urbana, Manual de Projeto. In: _____ **Campanha Ambiental do Estado de São Paulo**. [S.l.]: [s.n.], 1980.

ESTADO DE MINAS. Chuva em BH provoca alagamentos e causa prejuízo a moradores e comerciantes. **Estado de Minas**, 2017. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/03/19/interna_gerais,855483/chuva-em-bh-provoca-alagamentos-e-prejuizo-a-moradores-e-comerciantes.shtml. Acesso em: 01 Maio 2020.

ESTADO DE MINAS. Família fica ilhada em casa após forte chuva no Barreiro. **Estado de Minas**, 2019. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/11/19/interna_gerais,1102199/familia-fica-ilhada-em-casa-apos-forte-chuva-no-barreiro.shtml. Acesso em: 01 maio 2020.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Saneamento Básico em Belo Horizonte: Trajetória em 100 anos - os serviços de água e esgoto**. Belo Horizonte: [S.n.], 1997.

G1. Bombeiros fazem buscas por homem que teria sido levado por correnteza. **G1**, 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2016/09/bombeiros-fazem-buscas-por-homem-que-teria-sido-levado-por-correnteza.html>. Acesso em: 09 Abril 2020.

GIORDANI, Lídio C. **Dimensionamento de Reservatório de Detenção para Controle**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 47. 2016.

HOLTZ, Antonio C. T. *et al.* Hidrologia Básica. [S.l.]: Edgard Blücher, 1976. p. 278.

J.CORR, David *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.

JR, Warren V.; LEWIS, Gary L. **Introduction to Hydrology**. 2ª. ed. New York: [S.n.], 1977.

LUCAS, Taíza D. P. B. *et al.* Impactos Hidrométricos em Belo Horizonte - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Belo Horizonte, v. 16, 2011.

MACEDO, R. F. **Medidas Estruturais Intensivas**. Reflexões sobre impactos das inundações e propostas. [S.l.]: USP/EESC. 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/ INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: [S.n.], 2007.

MOREIRA, Karine C. **Dimensionamento de um Reservatório de Detenção: Estudo de caso na região do Vilarinho**. Ouro Preto. 2019.

PALARETTI, Prof. L. F. **Notas de Aula – Manejo de Bacias Hidrográficas**. [S.l.].

PORTO, Rodrigo D. M. Hidráulica básica. São Carlos: [s.n.], 2006.

PREFEITURA da Cidade do Rio de Janeiro. **Prefeitura inaugura maior túnel de drenagem urbana do país, ao fazer desvio do Rio Joana**, 2019. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/rio-aguas/exibeconteudo?id=9541042>. Acesso em: 2022.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Prefeitura executa obra de prevenção de enchentes na região do Barreiro. **Prefeitura Belo Horizonte**, 2019. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/prefeitura-executa-obra-de-prevencao-de-enchentes-na-regiao-do-barreiro>. Acesso em: 05 Abril 2020.

RAMOS, C. L. E. A. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. SP: [S.n.], 1999.

RAMOS, Maria H. D. **Drenagem Urbana: aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.

REVISTA VEJA. **Veja Rio**, 2018. Disponível em: <https://vejario.abril.com.br/cidade/prefeitura-quer-fazer-piscinao-para-evitar-inundacoes-na-tijuca/>. Acesso em: 01 Junho 2022.

S.W. PECK, C. C. M. E. K. B. B. **Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada**. Ottawa, Canada: Canada Mortgage and Housing Corporation, 1999.

SANTOS, Adriane A. D. **Cursos d'água e cidades na produção do espaço urbano: A historicidade da Microbacia do Córrego Olhos d'Água-Pampulha/BH-MG**. Universidade Federal de Minas Gerais. [S.l.]. 2017.

SANTOS, Lydyanne B. D.; MAMEDE, Bruno B. urbanos, Automação em drenagem pluvial e controle de enchentes: aproveitamento das águas nos grandes centros. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, 2013. 457 - 475.

SILVA, Daniel F. D. C.; BATISTA, Leonardo D. Bacia Hidrográfica. In: _____ **Hidrologia**. [S.l.]: [s.n.], 2006.

SITE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **ouopreto.com.br**. Disponível em: <https://www.ouopreto.com.br/apresentacao>.

STUDART, Ticiania M. D. C. **Ticiania Marinho de Carvalho**. [S.l.]: [S.n.], 2015.

SUDERSHA. **Manual de drenagem urbana da região metropolitana de Curitiba**. Curitiba: [S.n.], 2002.

TERRA. BH atrasa e reduz contratos de obras contra enchentes. **TERRA**, 2020. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/bh-atrasa-e-reduz-contratos-de-obras-contra-enchentes,c18a9d2d00bcb70ca087575ec40e4a67lvgaarx4.html>. Acesso em: 03 Abril 2020.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 1. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: UFRGS, 2009.

TUCCI, C. E. M.; CLARK, R. T. Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: revisão. In: _____ **Fórum Geo-Bio-Hidrologia**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998. p. 39-48.

WERNECK, Gustavo. A BH das 200 enchentes. **Estado de Minas**, 7 Janeiro 2012. Disponível em:

https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/01/07/interna_gerais,271132/a-bh-das-200-enchentes.shtml.