



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



A incidência de enchentes e inundações em Belo Horizonte, Minas Gerais, entre o período de 2009 a 2023

Antoniél Silva Fernandes¹, Jonathan Fabrício Romualdo Alves², Francielen Esterlane de Oliveira Bispo³

¹ Departamento de Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil. E-mail: antoniell@pucminas.br

² Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil. E-mail: jonathan.fabricioromualdo@gmail.com

³ Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil. E-mail: fbispo.esterlane@gmail.com

Artigo recebido em 18/02/2025 e aceito em 01/08/2025

RESUMO

As enchentes e inundações representam desafios recorrentes nas cidades brasileiras, com impactos significativos sobre a população, a infraestrutura urbana e os sistemas ambientais. Em Belo Horizonte, esses eventos têm se intensificado nas últimas décadas, revelando limitações nas estratégias de drenagem adotadas pelo poder público. Este estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial das enchentes e inundações no município entre os anos hidrológicos de 2009 a 2023, relacionando sua ocorrência com o grau de antropização das sub-bacias, a presença de bacias de contenção e as diretrizes adotadas pela gestão urbana. Para tanto, adotou abordagem geoespacial, com uso de dados da Defesa Civil de Belo Horizonte tratados em ambiente de geoprocessamento. Aplicaram-se técnicas de estimativa de densidade de Kernel, matriz de hexágonos e classificação supervisionada, permitindo a análise integrada de variáveis físicas e antrópicas. Os resultados revelaram que os maiores índices de inundações ocorrem em áreas densamente urbanizadas, com elevada impermeabilização do solo, especialmente ao longo de corredores viários canalizados. Identificou-se também um padrão cíclico associado a anomalias positivas de precipitação. Conclui-se que as medidas estruturais, como canalizações e bacias de contenção, embora relevantes, são insuficientes quando não articuladas a soluções sustentáveis. Estratégias como a ampliação de áreas permeáveis, o controle do uso do solo e a adoção de soluções baseadas na natureza são alternativas para ampliar a resiliência urbana e mitigar os impactos decorrentes de eventos extremos.

Palavras chave: Hidrogeografia, Planejamento Urbano, Drenagem Urbana, Controle de Cheias, Bacia de Detenção.

The incidence of floods and flooding in Belo Horizonte, state of Minas Gerais, from 2009 to 2023

ABSTRACT

Floods and flooding are recurring challenges in Brazilian cities, with significant impacts on the population, urban infrastructure, and environmental systems. In Belo Horizonte city, such events have intensified in recent decades, exposing limitations in the stormwater drainage strategies adopted by local authorities. This study aimed to analyze the spatial distribution of floods and flooding in the municipality between the hydrological years of 2009 and 2023, relating their occurrence to the degree of anthropization of sub-basins, the presence of detention basins, and the guidelines implemented by urban management. A geospatial approach was adopted, using data from the Belo Horizonte Civil Defense processed in a geoprocessing environment. Kernel density estimation, hexagonal grid analysis, and supervised classification techniques were applied, enabling an integrated analysis of physical and anthropogenic variables. The results revealed that the highest flooding incidences occur in densely urbanized areas with a high degree of soil impermeabilization, especially along canalized road corridors. A cyclical pattern associated with positive rainfall anomalies was also identified. It is concluded that structural measures, such as stream channeling and detention basins, although relevant, are insufficient when not combined with sustainable solutions. Strategies such as the expansion of permeable areas, land use control, and the adoption of nature-based solutions are essential to enhance urban resilience and mitigate the impacts of extreme weather events.

Keywords: Hydrogeography, Urban Planning, Urban Drainage, Floods and flooding, Maintenance Costs, Detention Basins.

Introdução

A cidade de Belo Horizonte, capital das Minas Gerais, é um exemplo de planejamento urbano que enfrenta desafios complexos relacionados à gestão dos recursos hídricos, especialmente no que diz respeito à drenagem urbana. Fundada no final do século XIX, a capital mineira foi projetada para ser uma cidade moderna e funcional, mas devido ao seu rápido crescimento populacional e a expansão urbana ao longo do século XX, que ocorreu de forma descontrolada para além da área planejada, (Lucas, *et al.*, 2015; Fernandes, *et al.*, 2024) enfrenta desafios que expõem a população ao risco, principalmente ao risco hidrometeorológico. Em decorrência do aumento da impermeabilização do solo, ocupação desordenada em áreas de preservação permanente e a implementação de infraestrutura nos moldes do higienismo, intensificaram problemas relacionados à drenagem urbana, como alagamentos, enchentes e inundações (Anchieta; *et al.*, 2020; Sírío *et al.* 2024).

Nas duas primeiras décadas do século XXI as enchentes e inundações em Belo Horizonte têm sido recorrentes e têm gerado impactos significativos na vida da população, causando danos sociais, econômicos e ambientais (Lucas, *et al.*, 2015; Dias & Santos, 2023). A topografia acidentada da cidade, aliada à urbanização acelerada e à inadequada gestão dos sistemas de drenagem contribuem para o aumento do escoamento superficial e para a ocorrência de enchentes e inundações em diversos pontos da capital.

Os problemas mencionados são agravados pela adoção de um modelo de planejamento que visa disciplinar as águas urbanas através das canalizações de cursos d'água e pela ausência de políticas efetivas de preservação das áreas de recarga hídrica e da manutenção de espaços verdes ao longo da trama urbana (Borsagli, 2016; Fernandes, *et al.*, 2024), potencializados ainda pela construção de habitações irregulares e o descarte inadequado de resíduos (Polycarpo *et al.*, 2023). Ações que comprometem a capacidade natural de absorção da água da chuva pelo solo e amplifica os impactos decorrentes das chuvas severas.

A gestão das águas urbanas pautadas nas canalizações ainda predomina em Belo Horizonte e nas cidades brasileiras (Canholi, 2005; Farias & Mendonça, 2022), entretanto, como esse modelo de planejamento mostrou-se ineficaz para a efetiva contenção das enchentes e inundações, haja visto o processo rápido de expansão urbana, e muitas

vezes, desordenados, as gestões municipais tiveram que buscar medidas complementares para mitigar esse problema (Luz & Rodrigues, 2020; Rodriguez & Teixeira, 2021). Assim, buscou alternativas complementares às canalizações pautadas na contenção temporária das águas após eventos pluviométricos extremos, essa medida estrutural iniciou nos anos 1990 nas cidades brasileiras (Canholi, 2005, Luz & Rodrigues, 2020), inspiradas em outras realidades mundiais (Rodriguez & Teixeira, 2021; Davidovitsch *et al.*, 2023), e a partir daí foram ganhando escala. Porém, o que nota é a preferência de um sistema de retenção em detrimento de outras possibilidades e alternativas.

Nesse contexto, a geografia tem desempenhado um papel fundamental ao fornecer conhecimentos e ferramentas essenciais para a gestão sustentável das águas urbanas. Mendonça (2021) lembra que a geografia é um campo da ciência que tem como essência a abordagem da relação sociedade-natureza, e que os estudos geográficos evidenciam problemas advindos dessa relação. A análise geoespacial, o mapeamento de áreas de risco e a compreensão dos processos hidrológicos são algumas das contribuições que a ciência geográfica oferece para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de planejamento urbano e controle de inundações. Além disso, a abordagem geográfica permite uma visão holística e sistêmica (Rosa, 2011), e, portanto, integrada dos aspectos físicos, sociais e econômicos, facilitando a formulação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade hídrica e para a mitigação dos impactos das enchentes e inundações na cidade.

Este artigo tem por objetivo analisar a distribuição espacial das enchentes e inundações em Belo Horizonte ao longo do recorte temporal de 2009 a 2023. O estudo correlacionou as medidas de contenção implementadas pela gestão municipal ao processo de urbanização de Belo Horizonte sob a perspectiva da gestão das águas urbanas. Além disso foi realizado a caracterização do atual estado e os desdobramentos da política de gestão no município e mapeado a incidência de enchentes e inundações no recorte temporal adotado.

Caracterização da área de estudo

A Comissão Construtora da nova capital de Minas Gerais ao final do século XIX tinha, entre seus objetivos, encontrar um sítio que proporcionasse ao território da nova cidade não apenas o potencial de expansão, mas também, amenidades que pudessem atender às demandas da população e dos empreendimentos que ali se

estabeleceriam (Borsagli, 2016; Henriques, 2016). O sítio do Arraial de Curral del Rei foi escolhido dentre todas as candidatas devido às condições topográficas do terreno e, principalmente, à abundância hídrica proporcionada pela quantidade de rios e córregos que cortam seu território (Ferreira & Magalhães Jr., 2018). Ideal controverso que 127 anos após sua construção se mostra negligenciado dado aos direcionamentos tomados pela gestão pública em prol da tentativa de controle da expansão desordenada provocada pelo crescimento exponencial da área urbanizada da cidade, principalmente após a segunda metade do século XX com o êxodo rural e a industrialização do país (Henriques, 2016).

Entre retificações, canalizações e tamponamentos, os cursos d'água de Belo Horizonte foram sendo 'encaixotados' sob a lógica da necessidade de suprimento, regularização da expansão da cidade e do desenvolvimento econômico, potencializado pela abertura de ruas e avenidas sanitárias para atender à veículos automotores e estimular o transporte individual.

Assim, o potencial hídrico do município foi deixado de lado, este mesmo atributo julgado anteriormente como fator determinante para a escolha do sítio da nova capital (Ferreira & Magalhães Jr., 2018; Borsagli & Castro, 2021). As alterações nos cursos d'água em Belo Horizonte foram intensificadas à medida que o Estado intervém no desenvolvimento da capital na década de 1920, cuja gestão administrativa já não sustentava a rápida expansão da malha urbana da cidade (Borsagli, 2016; Sales, *et al.* 2025).

O surgimento da implementação da primeira avenida sanitária veio logo neste período, e visou o tamponamento do córrego da Lagoinha (Borsagli, 2016) o que gerou prerrogativas para novas vias sanitárias que foram construídas nas décadas seguintes, com o pressuposto de implementação de infraestrutura viária e de saneamento básico (Nogueira & Camargo, 2025). Atualmente, a capital possui mais de 310 km de seus cursos d'água canalizados entre leitos abertos e tamponados, isso representa mais de 45% do total de 699,62 km da malha hídrica (BHMap, 2024). Grande parte dos cursos canalizados estão na porção central de Belo Horizonte, principalmente nas áreas historicamente mais adensadas pela ocupação urbana (Figura 1).

Em Belo Horizonte, conforme apontamos (Fernandes, *et al.* 2024), nas duas primeiras décadas do século XXI o modelo de planejamento que disciplina as águas urbanas foi priorizado através da adoção de bacias de contenção. Nesta

cidade, em 2025 há em operação 19 estruturas para contenção das águas pluviais, sendo que 15 são bacias de detenção e 4 bacias de retenção (Figura 1). Somadas a capacidade de reserva equivale a 1.539,24 m³ de água, além disso há 6 estruturas que estão em processo de implantação, assim, quando inauguradas totalizaram 25 estruturas de contenção das águas pluviais.

A hidrogeografia de Belo Horizonte é dividida em duas bacias hidrográficas que confluem para o Rio da Velhas, este é afluente do alto Rio São Francisco, a do Ribeirão Arrudas, onde há 64 sub-bacias hidrográficas, e onde também se estruturou o centro planejado da capital, tendo o perímetro da Avenida do Contorno a delimitação da área central planejada (Figura 2).

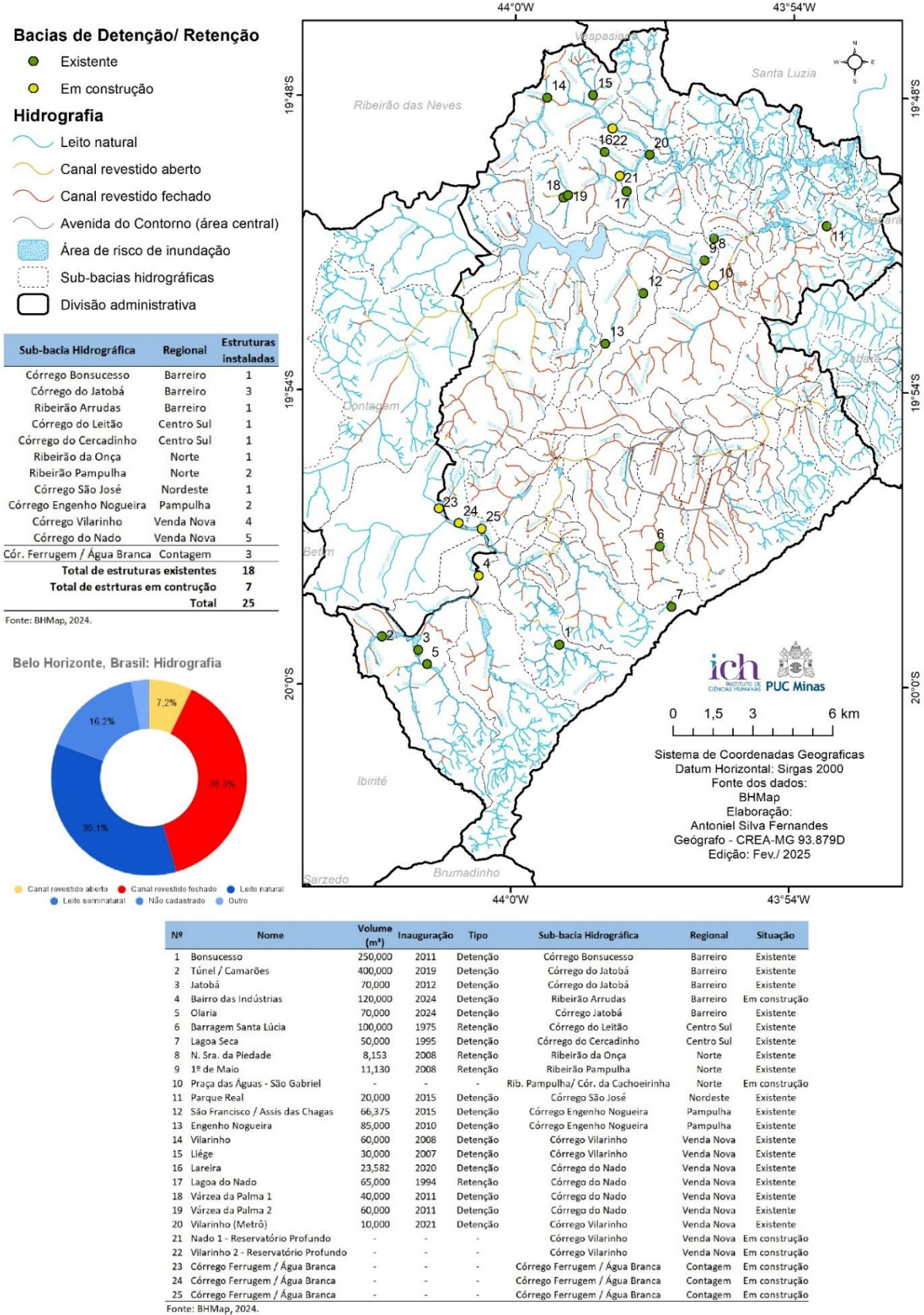
Já a porção norte da cidade contém 42 sub-bacias integrantes da bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça, local onde estão instalados os equipamentos públicos do complexo da Lagoa da Pampulha no entorno da represa projetada por Oscar Niemeyer e inaugurado na década de 1940, além das regionais administrativas conhecidas como Venda Nova, Norte e Nordeste, onde localiza-se parte da periferia da Capital (Figura 3).

Material e métodos

A realização desta pesquisa centrou-se na abordagem holística e sistêmica com análise espacial apoiada no uso de geotecnologias. Utilizou-se da pesquisa quali-quantitativa com métodos apoiados no levantamento documental e bibliográfico, coleta primária de informações em visitas de campo e produção de dados por meio da elaboração de mapas temáticos, parte segue no auxílio à exposição dos resultados.

No levantamento documental foi realizada a tabulação de dados principalmente da planilha de registros de enchentes e inundações fornecida pela Superintendência de Defesa Civil de Belo Horizonte (SUPDEC), órgão integrante da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) (após requerimento via e-mail). O período de recorte do estudo (2009 a 2023) foi adotado devido ser este o intervalo da série temporal fornecida pela SUPDEC/PBH.

Uma vez que o objetivo central da pesquisa é analisar a distribuição espacial das enchentes e inundações, para espacialização dos dados optou-se por excluir o período de estiagem prolongada de Belo Horizonte (abril a setembro), dado que estes, de acordo com a distribuição pluviométrica não apresentam eventos de impactos hidrometeorológicos significativos em Belo Horizonte (Fernandes & Moreira, 2022).



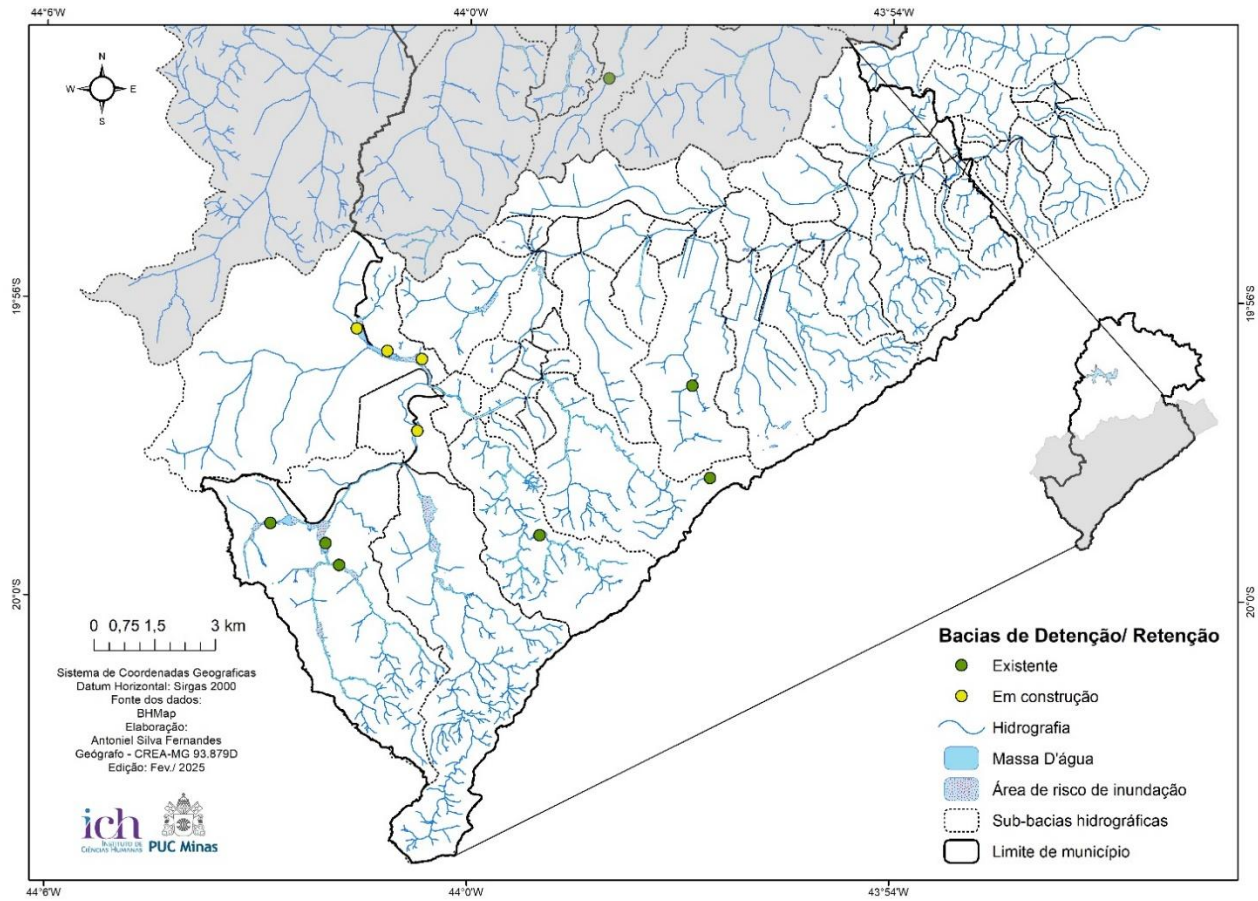


Figura 2 - Bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas em Belo Horizonte, Brasil.

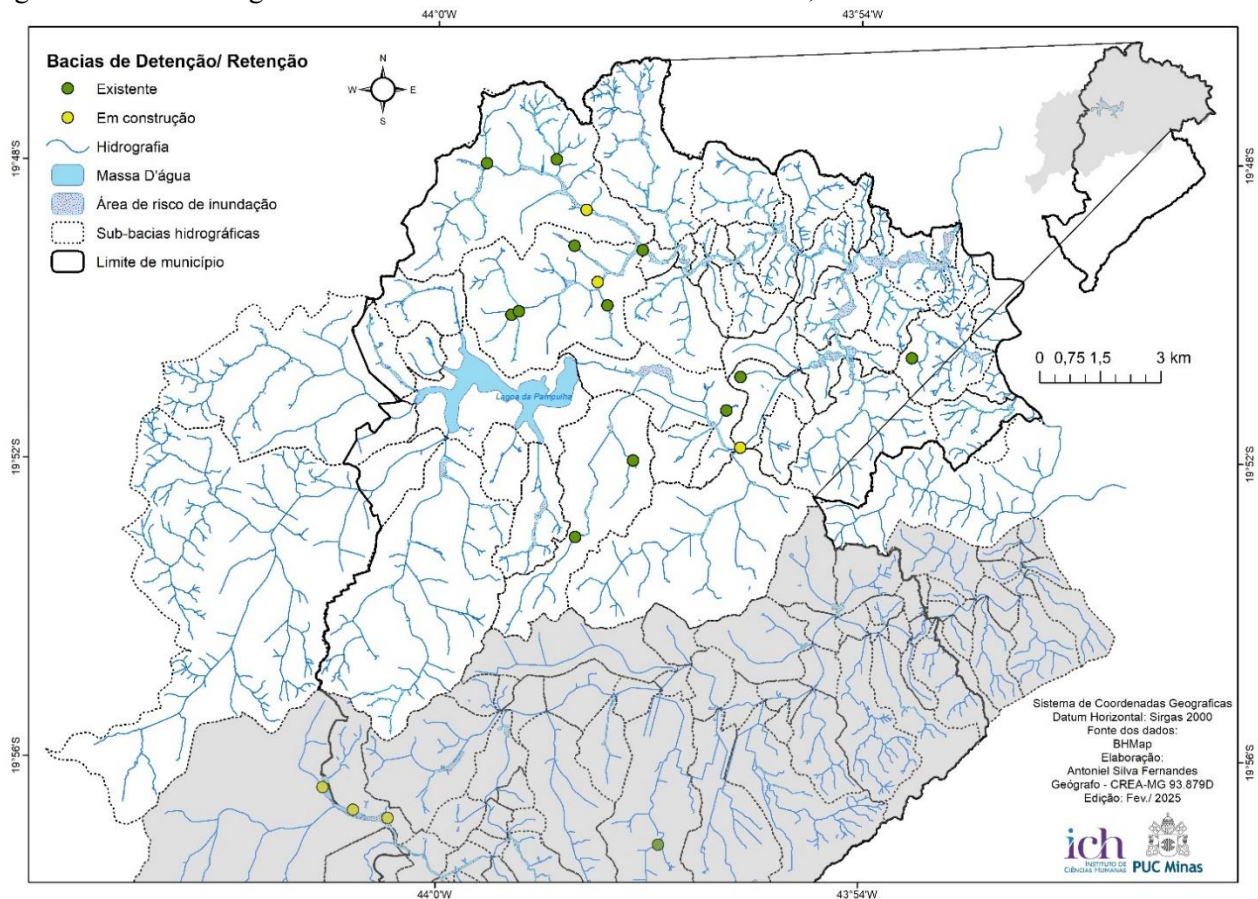


Figura 3 - Bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça em Belo Horizonte, Brasil.

Tratadas as planilhas, foram espacializados os dados no *software* de geoprocessamento de dados livres Qgis (versão 3.30). Utilizou-se o recorte para anos hidrológicos iniciados no mês de outubro, início do período chuvoso na cidade, até março, mês que marca o fim do período chuvoso.

Foram realizadas duas saídas de campo (abril e agosto de 2024) onde foi possível identificar as estruturas de contenção de enchentes e inundações dispostas ao longo dos ribeirões e córregos de Belo Horizonte.

As metodologias de mapeamento utilizadas foram aplicadas a partir dos filtros e tratamento das planilhas de dados e do *download* das bases geoespaciais disponíveis na Infraestrutura de Dados Espaciais da PBH (BHMap, 2024). A partir disso foi possível a elaboração de mapas temáticos.

O mapa de densidade de kernel foi elaborado para identificar o comportamento padrão da incidência de inundações. Já o mapa que contém a matriz de hexágonos foi elaborado com o intuito de atestar a ocorrência de enchentes e inundações, ele possibilitou ainda localizar pontualmente (em um raio de 200m² de determinado ponto) a frequência do risco hidrometeorológico.

Os volumes de precipitação foram extraídos dos dados da Estação Meteorológica Automática A521 Pampulha (Belo Horizonte), que é gerida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), através da consulta a seu repositório de dados históricos anuais disponível no site do órgão (Inmet, 2024). Após o tratamento dos dados e agrupamento por anos hidrológicos, período chuvoso (setembro a março), foi aplicado a técnica dos quartis (Monteiro & Zanella, 2014; Gouvea *et al.* 2018), com a ordem quartílica Q(0,25) e Q(0,75), ou quartil inferior e quartil superior, que foram entendidos como o limiar de períodos excepcionalmente secos ou chuvosos.

A taxa de antropismo foi baseada na proposta metodológica de Caldas *et al.* (2008) com adaptações. Assim, o mapa da Taxa de Antropismo por sub-bacias no município de Belo Horizonte foi elaborado, em um primeiro momento, pelo tratamento de imagens de satélite CBERS 4A, de agosto de 2024, e disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024), no *software* Qgis. Os métodos de composição colorida e posteriormente o “*pansharpening*”, que consiste em melhorar a qualidade de imagens

multiespectrais de baixa resolução utilizando uma imagem pancromática de alta resolução, foram utilizados nesta primeira etapa visando o tratamento da imagem. Na sequência, foi realizada classificação supervisionada da imagem de satélite, segregando a imagem em áreas vegetadas e áreas antropizadas, o processo foi refeito repetidas vezes a fim de obter um melhor resultado e refinamento do produto final, sendo essa etapa realizada no *software* Arcgis, versão 10.5, da Esri. Por fim, foram feitos os cálculos de área referente a cada uma das 106 sub-bacias, tendo obtido a porcentagem da taxa de antropismo para todas elas. O agrupamento utilizado foi por meio da Quebra Natural.

Os cálculos de custos de manutenção das estruturas foram baseados na proposta de Souza *et al.* (2013), a área das estruturas foi calculada a partir das suas poligonais sobre a imagem no *software* Arcgis. A base de dados utilizada foi a denominada ‘represa’ disponível no BHMap (2024), para aquelas estruturas que não dispunham de dados espaciais foi realizada a sua vetorização seguido pelo cálculo da área em metros quadrados, posteriormente os valores foram convertidos em hectare. O cálculo de custo de manutenção foi realizado para as estruturas de detenção. Devido a tipologia construtiva em que mantém o espelho d'água permanente as estruturas de retenção não foram consideradas no custo, porém, entende que é fundamental realizar manutenção constante nessas estruturas, e que a manutenção irá envolver principalmente a dragagem de sedimentos, a manutenção de taludes e o controle de erosão, o que pode significar em custos maiores em comparação às estruturas de detenção.

Resultados e discussão

Em Belo Horizonte, a região do alto Ribeirão Arrudas (do Barreiro a Av. Teresa Cristina no bairro Salgado Filho) e o entorno do bairro São Gabriel, seguido pela região de Venda Nova, concentraram no intervalo de 2009 a 2023 as maiores incidências de enchentes e inundações (Figura 4). Essas são as regiões que vêm sendo priorizadas pela gestão municipal para a implementação das estruturas de contenção, apresentando, atualmente, o maior número de bacias de detenção.

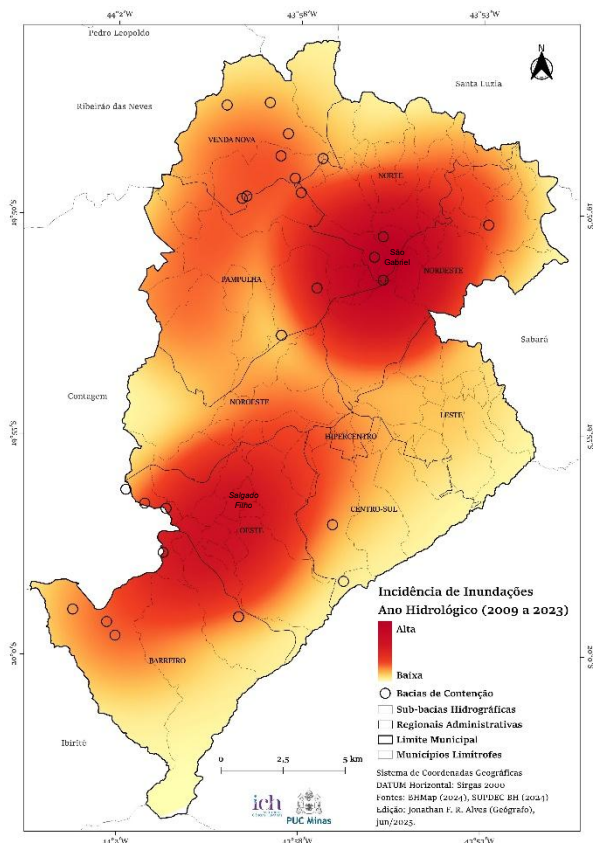


Figura 4 - Incidência de enchentes e inundações no intervalo de 2009 a 2023 em Belo Horizonte, Brasil

Ao analisar a incidência de enchentes e inundações por sub-bacia hidrográficas e por ano hidrológico nota-se que as sub-bacias do alto Ribeirão Arrudas (extremo sul - Córrego do Jatobá e Ribeirões Barreiro e Bonsucesso) e do alto Ribeirão da Onça (extremo norte - Córregos da Vilarinho e do Nado) apresentaram maiores registros de ocorrência com destaque para os anos hidrológicos 2009-2010, 2010-2011 e 2019-2020 (Figura 5). Todas as sub-bacias citadas receberam intervenção por parte da gestão municipal através da construção de estruturas de contenção das enchentes e inundações ao longo do intervalo em análise, o que pode caracterizar em uma preocupação por parte do município de buscar melhorar a resiliência em relação ao risco hidrometeorológico.

Outra sub-bacia que se destaca na análise por sub-bacia em relação ao número de ocorrências de enchentes e inundações na série investigada é a bacia do Córrego da Cachoeirinha, localizado na porção central de Belo Horizonte. Ela apresentou registros de ocorrência acima de 6 em metade dos

14 anos hidrológicos investigados. A taxa de antropismo dessa sub-bacia é superior a 85% (Figura 6), reflexo da ocupação consolidada que remonta às primeiras décadas da capital mineira, com a constituição dos bairros da Renascença, Cachoeirinha, Santa Cruz e Aparecida, e que por isso, é umas das sub-bacias que não há intervenção para controle das enchentes e inundações, visto a indisponibilidade de terrenos livres para receber estruturas de contenção e do custo elevado da terra, fato que pode ser atribuído devido à proximidade da área central e no qual recebe maior infraestrutura e investimentos.

Ao investigar a taxa de antropismo (Figura 6), que se refere ao percentual de área com interferência antrópica em relação à área total de cada sub-bacia (Caldas, *et al.*, 2008), identificou-se que a sub-bacia do Córrego Açudinho (Av. Saramenha), localizada no bairro Guarani, na região Norte de Belo Horizonte, apresenta o maior índice do município, superior a 85%. Além disso, 23 sub-bacias possuem taxas de antropismo entre 75% e 84%, com maior concentração nas regiões Noroeste, Nordeste, Norte e Venda Nova. Outras 35 sub-bacias registram índices entre 65% e 74%, o que corresponde a percentuais elevados de antropização. Em contraponto, apenas 17 sub-bacias registraram o menor índice (entre 0% e 35% de antropização).

A taxa de antropismo de Belo Horizonte é reflexo do alto grau de modificação humana sobre o ambiente natural, e indica altos níveis de urbanização, impermeabilização do solo e redução da cobertura vegetal. Para a drenagem urbana irão resultar em maior escoamento superficial da água pluvial ocasionando enchentes e inundações.

A partir desses resultados nota-se que grande parte das sub-bacias belo-horizontinas estão significativamente antropizadas, principalmente na porção central e norte do município. As sub-bacias que estão mais ao sul e são limítrofes aos municípios de Nova Lima, Brumadinho e Ibiturê não demonstram números muito elevados, sendo tal fato atribuído pelas escarpas da Serra do Curral e Serra do Rola Moça, que são elementos naturais limitantes à ocupação.

De um modo geral, o mapa da figura 6 demonstra que as regiões Leste, Nordeste, Norte e Venda Nova são as que mais apresentam menores áreas permeáveis e com maior alteração do tecido urbano, necessitando de uma atenção especial por parte do poder público.

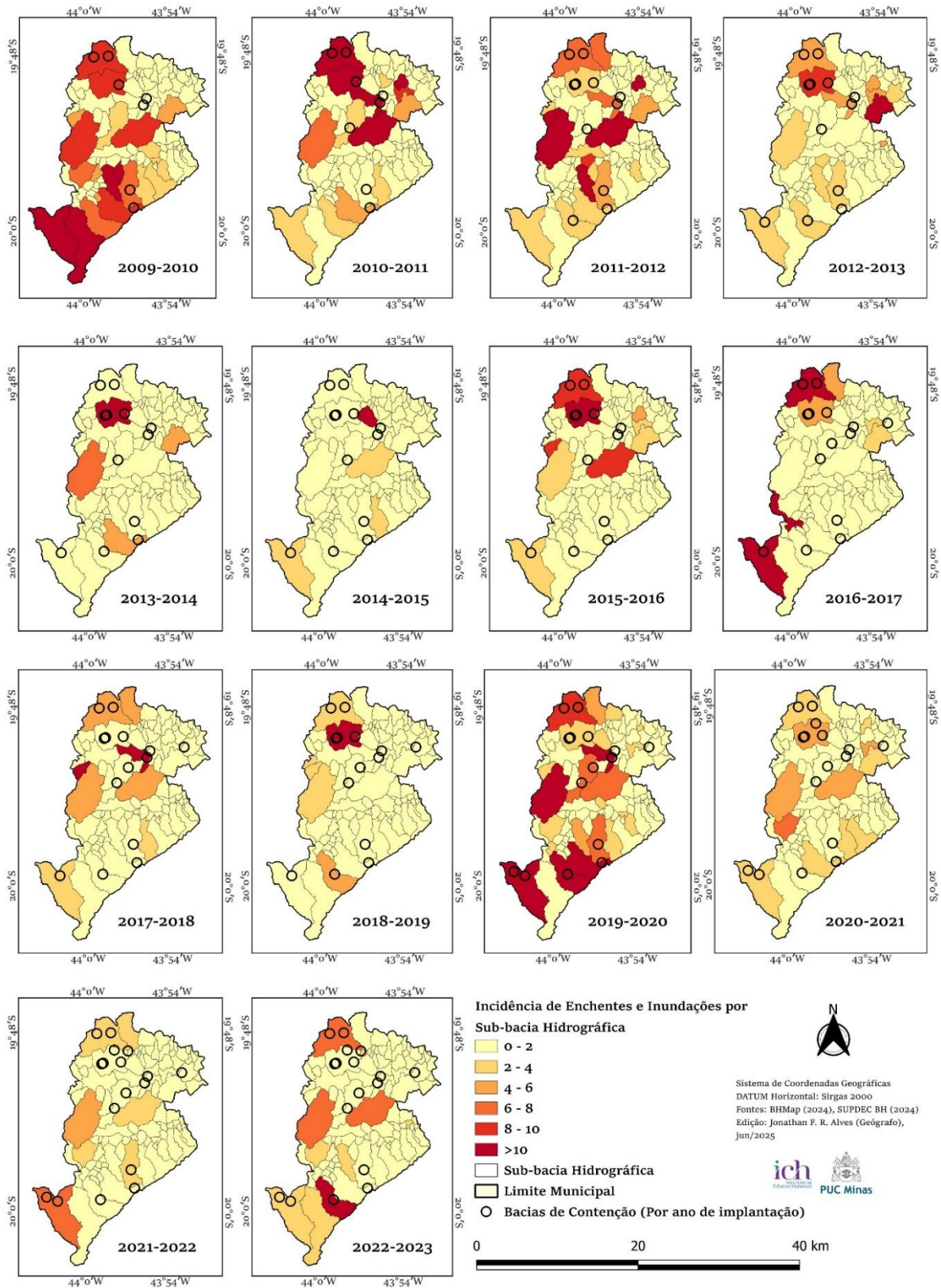
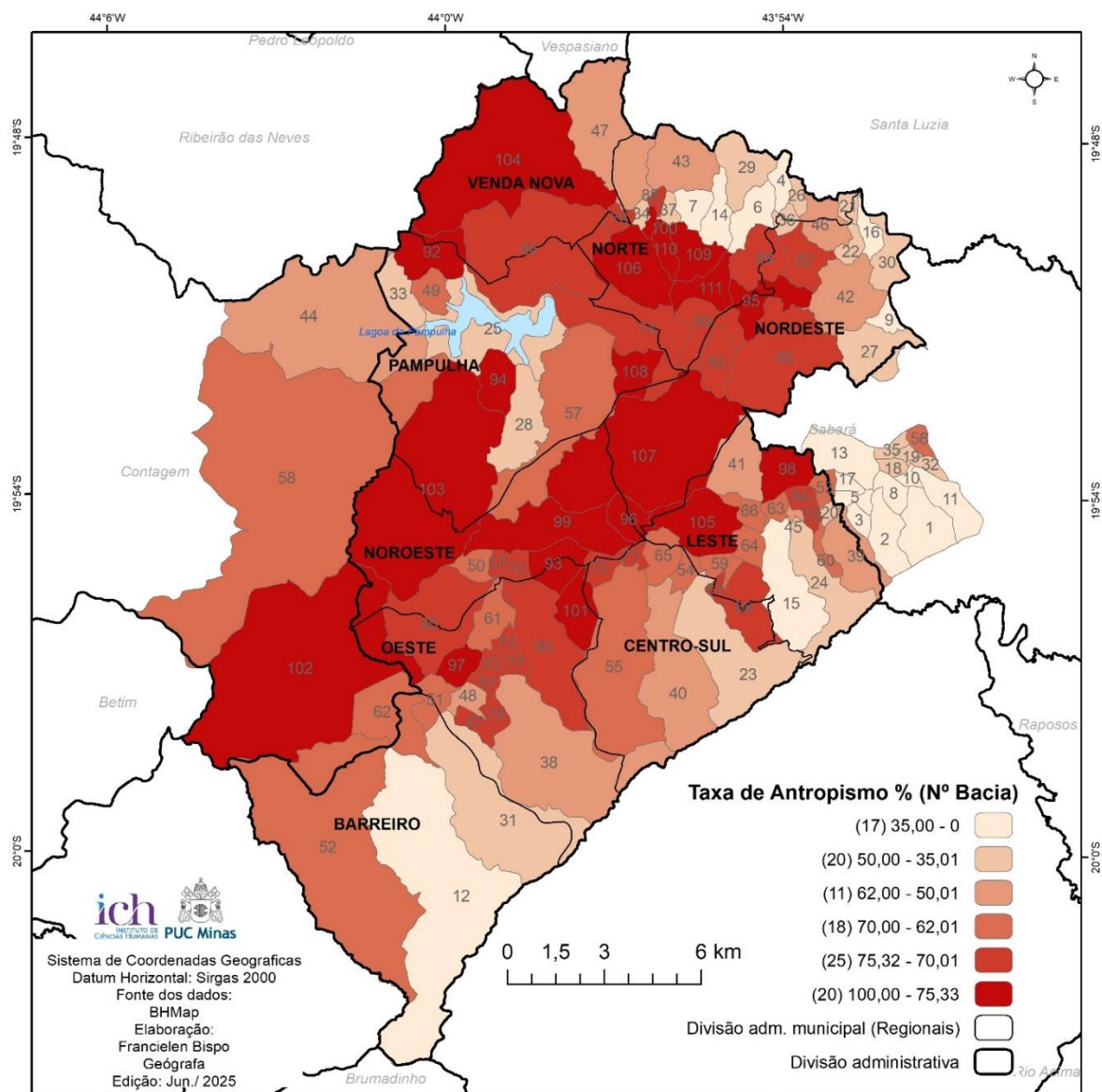


Figura 5 - Incidência de enchentes e inundações por sub-bacias hidrográficas em Belo Horizonte, Brasil. Recorte temporal de 2009 a 2023 por ano hidrológico (outubro a março).



Nº	Nome	Área (m²)	Antropismo (%)	Nº	Nome	Área (m²)	Antropismo (%)	Nº	Nome	Área (m²)	Antropismo (%)
1	Córrego do Meio	277	4,73	38	Córrego do Corcadinho	1230	50,08	75	Ribeirão Arrudas	117	71,52
2	Córrego do Cafundó	209	10,51	39	Córrego Olaria	299	52,53	76	Ribeirão do Isidoro	69	71,77
3	Córrego Sem Nome	52	12,70	40	Córrego Acaba Mundo	870	53,12	77	Córrego da Av. Frei Andreoni	50	71,88
4	Córrego do Angi	88	17,56	41	Córrego Santa Inês (Rua Conceição do Pará)	299	55,58	78	Ribeirão Arrudas	41	73,11
5	Ribeirão Arrudas	57	18,54	42	Córrego São José	399	56,09	79	Córrego D. João VI	67	73,15
6	Ribeirão do Isidoro	175	24,71	43	Córrego da Terra Vermelha	346	57,97	80	Córrego Gorduras - Av. Belmonte	750	73,28
7	Ribeirão do Isidoro	112	27,69	44	Córrego D'Água Funda	1666	61,07	81	Córrego Santa Efigênia	36	73,39
8	Ribeirão Arrudas	86	29,06	45	Ribeirão Arrudas	19	61,66	82	Córrego Sem Nome	200	73,70
9	Córrego Sem Nome	63	29,78	46	Ribeirão da Onça	190	61,67	83	Córrego Sem Nome	167	74,06
10	Ribeirão Arrudas	32	29,87	47	Córrego Floresta	788	61,76	84	Córrego São Geraldo	52	74,68
11	Córrego Bernardo Pereira	199	30,26	48	Ribeirão Arrudas	95	62,00	85	Córrego das Pterias	506	74,73
12	Ribeirão Barreiro	2114	31,04	49	Córrego da AARB	119	62,86	86	Córrego do Nado	1234	74,75
13	Córrego da Av. Marzagânia	268	32,42	50	Ribeirão da Av. Rescata	99	63,29	87	Ribeirão Balança	75	74,87
14	Ribeirão do Isidoro	152	32,67	51	Ribeirão Arrudas	150	63,59	88	Córrego Sem Nome	30	75,02
15	Córrego do Mavio (Av. Belém)	474	33,49	52	Córrego do Jatoá	2326	64,23	89	Ribeirão da Onça	255	75,14
16	Córrego Sem Nome	80	34,65	53	Córrego Cachorro Magro	66	65,00	90	Córrego do Tejuco	640	75,31
17	Córrego Sem Nome	39	34,73	54	Ribeirão Arrudas	78	65,15	91	Ribeirão Arrudas	27	75,32
18	Córrego Sem Nome	41	35,01	55	Córrego do Leiteão	992	65,21	92	Córrego Olhos d'Água - (Av. Francisco Nogueira de Lima)	282	75,84
19	Ribeirão Arrudas	28	35,81	56	Ribeirão Arrudas	53	65,28	93	Ribeirão Arrudas	206	75,96
20	Ribeirão Arrudas	29	38,89	57	Córrego Engenho Nogueira	990	65,17	94	Córrego do Tijoco	186	76,13
21	Ribeirão da Onça	58	38,90	58	Córrego Sarandi	4074	66,77	95	Ribeirão da Onça	232	76,33
22	Córrego Cibola	64	39,05	59	Ribeirão Arrudas	69	67,04	96	Córrego Jaguinha (Av. Pres. Antônio Carlos)	124	76,37
23	Córrego da Serra	723	40,20	60	Córrego Freixas (Av. Sta. Tereza)	58	67,44	97	Córrego Freixas	124	76,74
24	Córrego do Taquari (Av. Jequitinhonha)	404	40,30	61	Ribeirão Arrudas	181	67,47	98	Córrego Itabira	218	76,81
25	Lagoa da Pampulha	803	40,42	62	Ribeirão Arrudas	412	67,79	99	Córrego Pastinho (Av. D. Pedro II)	545	76,86
26	Córrego do Monjolo	50	40,87	63	Ribeirão Arrudas	51	68,02	100	Ribeirão do Isidoro	31	77,08
27	Córrego do Espia	307	44,07	64	Ribeirão Arrudas	100	68,04	101	Córrego Petas (Av. Francisco Sá)	231	77,08
28	Córrego do Mergulhão	335	45,14	65	Ribeirão Arrudas	157	68,15	102	Ribeirão Água Branca	3079	77,29
29	Córrego dos Marcãos	260	46,53	66	Ribeirão Arrudas	80	68,39	103	Córrego da Branca	2046	77,35
30	Córrego Sem Nome	169	46,96	67	Córrego da Av. dos Esportes	37	70,17	104	Córrego Marmelo	1803	77,92
31	Ribeirão Bonsucesso	1171	47,68	68	Córrego da Av. Men de Sá (Córrego do Cardoso)	300	70,39	105	Córrego da Mata ou da Av. Silveira Brandão	388	76,36
32	Córrego Sem Nome	42	48,33	69	Ribeirão da Onça	244	70,57	106	Córrego Encosta	410	76,41
33	Córrego Baraúna	181	48,87	70	Ribeirão Arrudas	55	70,93	107	Córrego Cachoeirinha	1379	76,84
34	Ribeirão do Isidoro	37	48,88	71	Ribeirão Arrudas	44	71,00	108	Córrego Suzana (Av. Sebastião de Brito)	177	81,47
35	Córrego Sem Nome	44	49,05	72	Ribeirão Arrudas	64	71,20	109	Córrego Fazenda Velha	180	81,76
36	Ribeirão da Onça	52	49,36	73	Córrego da Av. Magi Salomom	63	71,41	110	Ribeirão da Capota	46	82,32
37	Ribeirão do Isidoro	43	50,00	74	Ribeirão Pampulha	827	71,45	111	Córrego Aquilino (Av. Sacramento)	123	85,26

Figura 6 - Taxa de antropismo por sub-bacias hidrográficas em Belo Horizonte, Brasil.

Analizando a distribuição espacial das incidências de enchentes e inundações no intervalo de 2009 a 2023 (Figura 7) nota-se que as maiores frequências de registros estão associadas aos principais corredores viários da cidade (principalmente nas Avenidas Cristiano Machado e Teresa Cristina) o que reflete o modelo de planejamento adotado pela gestão municipal associada a canalizações e construções de avenidas sanitárias em um primeiro momento, seguido por tamponamentos da malha hídrica visando duplicar as vias já implementada.

O mapa evidencia a escolha desse modelo de planejamento urbano eleito pelos diversos dirigentes públicos ao longo das décadas ao demonstrar que são nas avenidas as maiores ocorrências de enchentes e inundações, como é o caso das Avenidas do Canal e Afonso Vaz de Melo na regional Barreiro, Avenidas Silva Lobo, Francisco Sá e Prudente de Moraes na área central, na região da Pampulha as Avenidas Heráclito Mourão de Miranda, Santa Terezinha e Professor Clóvis Salgado, e Avenida Vilarinho em Venda Nova.

Nos últimos 14 ciclos hidrológicos, anos do recorte temporal em análise (2009 a 2023), nota-se correlação direta entre a intensidade das ocorrências de enchentes e inundações (Figura 8) e os volumes anuais de precipitação (Gráfico 1), ou

seja, em anos de anomalias positivas de chuvas há também maiores incidências de enchentes e inundações (2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 e 2019/2020) e elas apresentam maior distribuição espacial pela cidade, já nos anos de anomalias negativas de chuvas a incidência de enchentes e inundações ficaram concentradas nos pontos que historicamente são observadas.

Também é possível notar que as anomalias positivas de chuvas (extremo pico) foram décadas, nos anos de 2009/2010 e 2019/2020 (Figura 8). Em observação aos volumes pluviométricos (Gráfico 1) os primeiros anos da série foram marcados por anomalias positivas, seguido por um ciclo de anomalias negativas de chuvas, para posteriormente ser caracterizados por anos normais, com exceção ao ano hidrológico de 2019/2020 que apresentou volumes de anomalias positivas de chuvas.

A eficiência das estruturas de contenção é de difícil comprovação, porém nos últimos 3 ciclos hidrológicos os volumes de chuvas ficaram dentro da normal climatológica esperada para a região, assim, o conjunto das 25 estruturas de contenção ainda não foram colocadas a prova na sua capacidade máxima de reservação em anos em que o volume de chuva ultrapassa a capacidade média esperada.

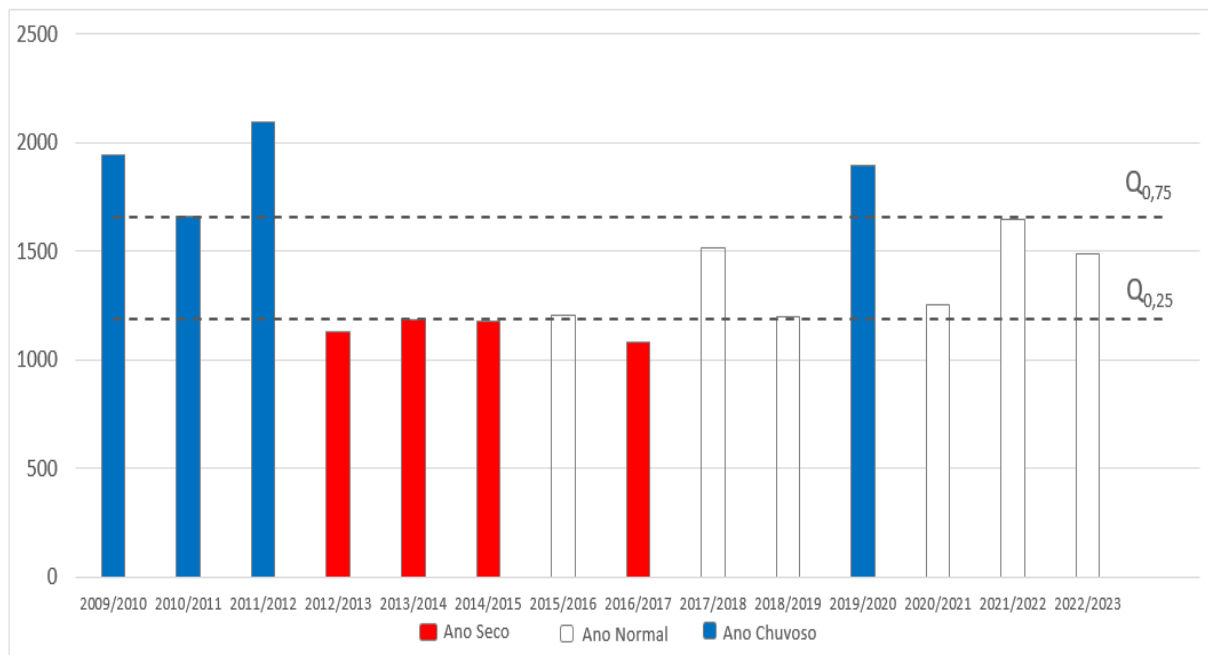


Gráfico 1 - Precipitação nos períodos de chuvas no recorte de anos hidrológicos, Estação Pampulha em Belo Horizonte, Brasil.

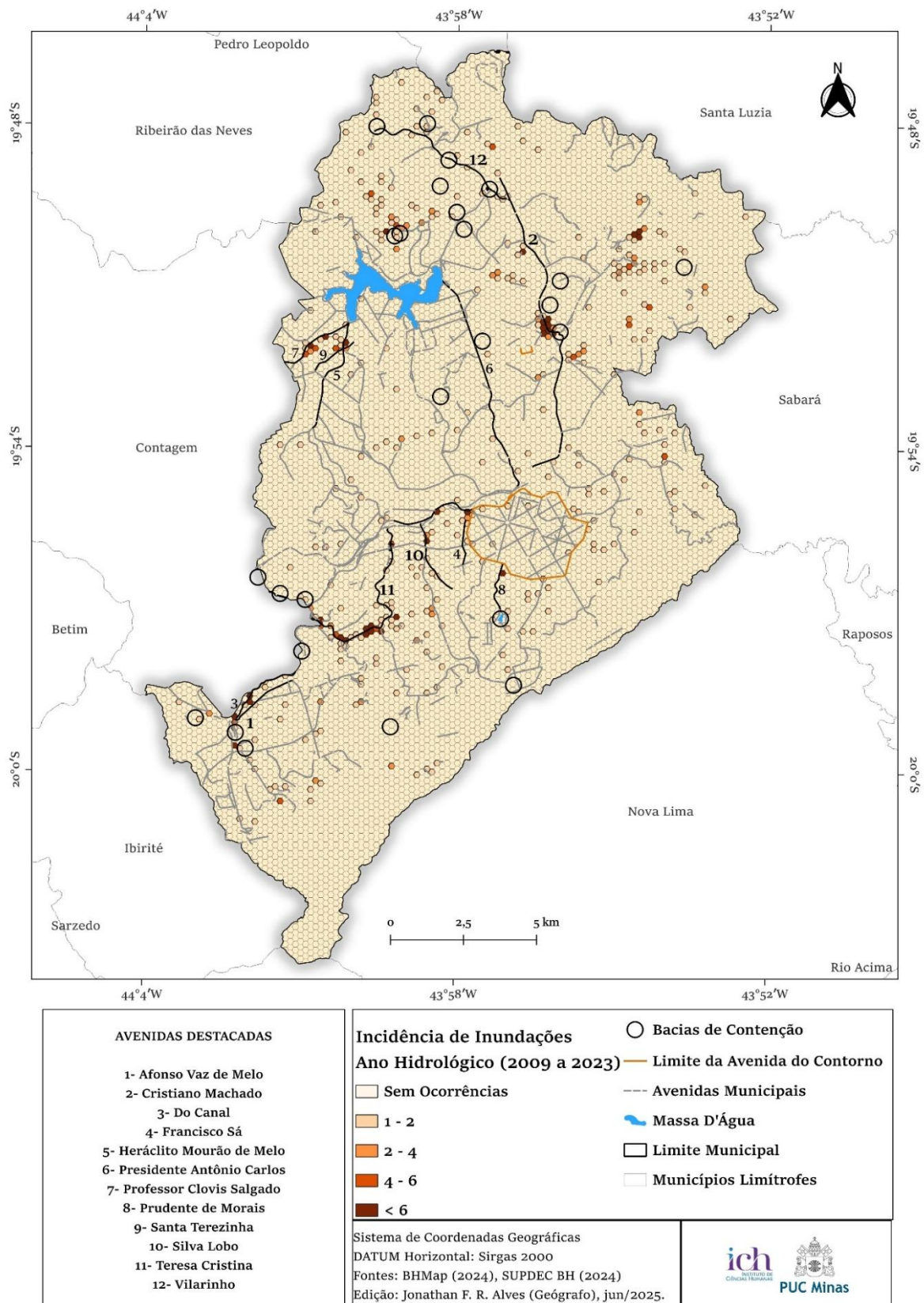


Figura 7 - Matriz de hexágonos da incidência de enchentes e inundações no período de 2009 a 2023 em Belo Horizonte, Brasil.

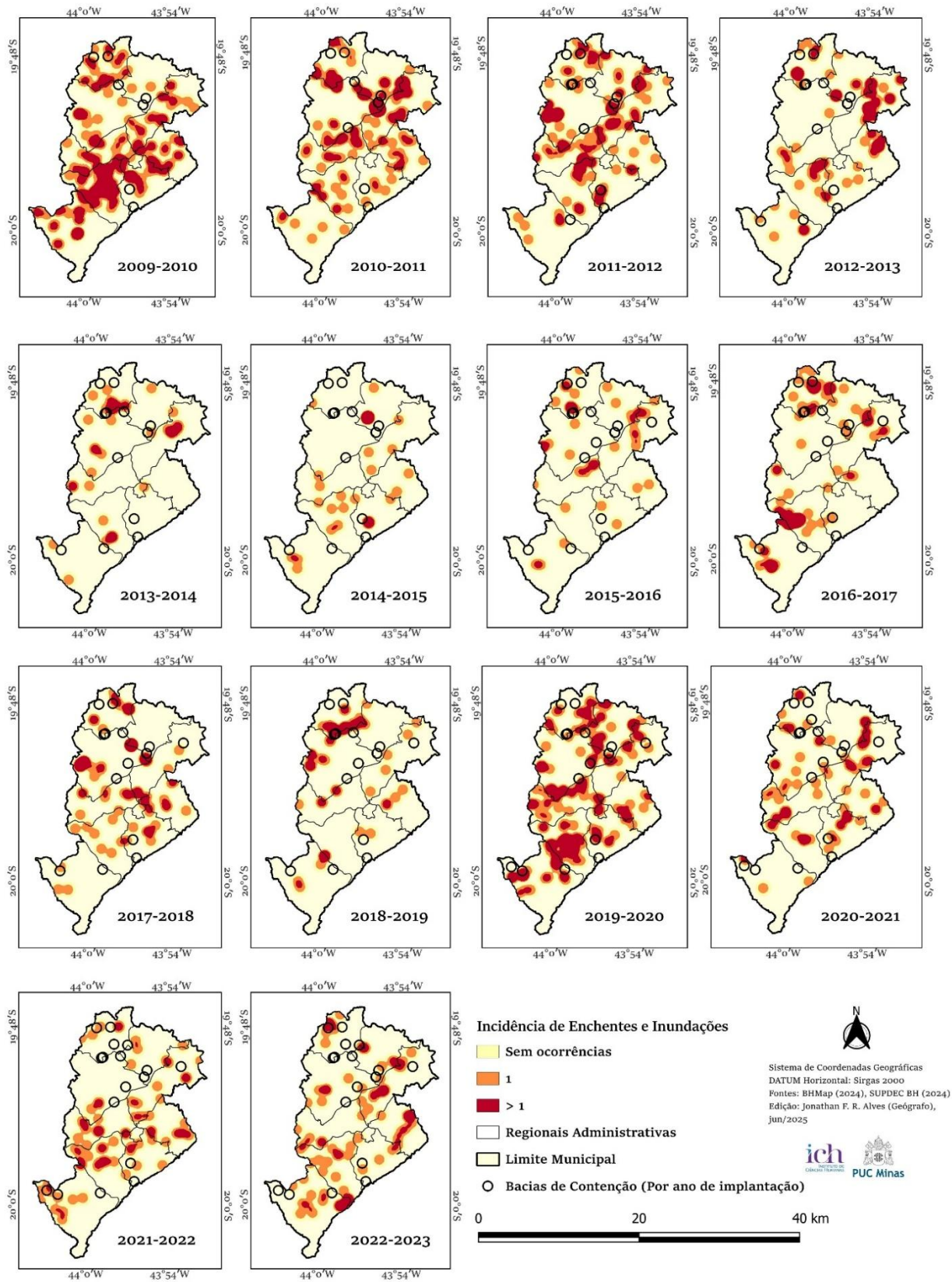


Figura 8 - Zonas de calor da incidência de enchentes e inundações no período de 2009 a 2023 em Belo Horizonte, Brasil. Recorte por ano hidrológico (outubro a março).

Não há dúvidas que as estruturas de contenção contribuem para mitigação das ocorrências de enchentes e inundações, porém como já apontamos (Fernandes, *et. al*, 2024) são estruturas que necessitam de recurso monetário elevado para sua implantação. Em um novo levantamento realizado para esta pesquisa, identificou-se que as últimas estruturas que foram implementadas ou estão em implantação (11 estruturas ao todo) irão custar o montante superior a 300 milhões de reais aos cofres públicos (Tabela 1).

A nível de comparação, dois parques implementados em 2008 na cidade custaram 12 milhões de reais cada, estes parques além de aumentar os terrenos livres e que possibilitam a infiltração de água tiveram a implementação de

bacia de retenção com capacidade de reservação de aproximadamente 8 mil m³ de água (no Parque Nossa Senhora da Piedade) e 11 mil m³ de água (no Parque 1º de Maio).

Ainda visando realizar uma comparação em relação aos custos de implementação de medidas que visam contribuir para atenuar as enchentes e inundações, em 2023, a prefeitura municipal implementou os 60 primeiros jardins de chuvas na cidade a um custo de 760 mil reais (PBH, 2023), esses espaços permeáveis e drenantes das águas superficiais visam contribuir para a prevenção de enchentes e inundações uma vez que absorve parte da água em eventos de chuva e apresentam custo bem reduzido em comparação a implementação de estruturas de contenção.

Tabela 1 - Custos de implementação das estruturas de contenção de enchentes e inundações em Belo Horizonte, Brasil.

Nome	Volume (m ³)	Inauguração	Tipo	Sub-bacia Hidrográfica	Regional	Custo Implantação (R\$ milhões)
Praça das Águas - São Gabriel	-	-	-	Rib. Pampulha/ Córrego da Cachoeirinha	Norte	72,9 ¹
Nado 1 - Reservatório Profundo	-	-	-	Córrego Vilarinho	Venda Nova	62,316 ¹
Vilarinho 2 – Reservat. Profundo	-	-	-	Córrego Vilarinho	Venda Nova	62,316 ¹
Cór. Ferrugem / Água Branca B3	-	-	-	Cór. Ferrugem / Água Branca	Contagem	24,957 ¹
Cór. Ferrugem / Água Branca B5	-	-	-	Cór. Ferrugem / Água Branca	Contagem	84,846 ¹
Córrego Ferrugem / Água Branca	-	-	-	Cór. Ferrugem / Água Branca	Contagem	66 ¹
Bairro das Indústrias	120,000	2024	Detenção	Ribeirão Arrudas	Barreiro	28.9
Olaria	70,000	2024	Detenção	Córrego Jatobá	Barreiro	73
Vilarinho (Metrô)	10,000	2021	Detenção	Córrego Vilarinho	Venda Nova	12.8
Lareira	23,582	2020	Detenção	Córrego do Nado	Venda Nova	40
Túnel / Camarões	400,000	2019	Detenção	Córrego do Jatobá	Barreiro	152
N. Sra. da Piedade	8,153	2008	Retenção	Ribeirão da Onça	Norte	12 ²
1º de Maio	11,130	2008	Retenção	Ribeirão Pampulha	Norte	12 ²

Fonte: BHMap, 2024.

¹: estimado uma vez que as estruturas ainda estão em construção. As fontes para esses dados foram extraídos dos sites e informes da PBH.

²: por parque implementado, sendo que neles foram construídos bacia de retenção.

Além de resultarem em estruturas com alto valor para implementação necessitam de manutenção constante. Nesse sentido, em relação aos custos de manutenção a principal ação consiste na remoção de sedimentos depositados na bacia de detenção que pode ser realizada de forma mecanizada ou manual. Rodriguez e Teixeira (2021) lembram que a frequência irá depender do

aporte de sedimentos depositados pelos eventos pluviométricos e que a ausência de manutenção compromete a capacidade de reservação da estrutura. As ações de manutenção também contemplam o reparo dos taludes e pavimentos, a remoção de vegetação, a contenção de processos erosivos, o controle da ocupação pela população e o depósito de resíduos indevidos, dentre outros.

Visando estimar os custos de implementação, considerou o valor médio proposto por Souza *et. al.* (2013) de R\$794,65/ha.ano (atualizado pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA para setembro de 2024) e considerando as 15 estruturas de retenção em operação em 2025, que somadas possuem área de reservação de 47,4295 ha, o custo médio por ano para manutenção dessas estruturas foi estimado em R\$37.689,84, deste montante conforme aponta os autores do estudo 75% (o equivalente a R\$28.267,38) são destinados a retirada de resíduos sólidos depositados nas estruturas e sua destinação para aterros sanitários. Cabe pontuar, que esse valor representa um custo médio e considerando apenas uma manutenção anual. A tipologia

construtiva da bacia, como por exemplo: com ou sem pavimentação de fundo, forma de remoção de resíduos, manual ou mecanizado, e o valor com fretamento/transporte e mão de obra são fatores que causam variação no custo de manutenção e devem ser pontuados no planejamento das manutenções.

Durante as etapas de campo para esta pesquisa constatou estruturas de retenção que necessitavam de manutenção, são exemplo as bacias Túnel/Camarões, Liége e Várzea da Palma (Figura 9), onde havia vegetação crescente, ocupações irregulares e animais pastando dentro das bacias, isso compromete a capacidade de reservação de água nas estruturas e expõe ainda mais a população ao risco.



Figura 9 – A: Bacia de retenção Túnel/Camarões em agosto de 2024, notar a presença de animais pastando no interior da bacia. B: bacia de retenção Liége em abril de 2024, notar vegetação ruderal em crescimento e retenção de água o que favorece a proliferação de animais vetores de doenças. C: bacia de retenção Várzea da Palma em abril de 2024, notar a presença de animais pastando, vegetação em crescimento, retenção de água e ocupação irregular. Fonte: registros de campo obtidas pelos autores, 2024.

Mendonça e Buffon (Mendonça, 2021) lembram que os riscos são produto de uma construção social, que é possível evidenciá-los e avaliá-los antes que se materializem em desastres, é possível também os prevenir, controlá-los e

reduzi-los por meio da gestão. Acrescentamos ainda, por meio da investigação científica, foi o que essa pesquisa visou corroborar. Cabe lembrar, que conforme apontado por Gonçalves *et al.* (2022) os riscos são dinâmicos e as mudanças que se

apresentam em seu contexto territorial e social podem sofrer alterações. Deste modo, os apontamentos aqui apresentados representam um retrato, em 2025, e que se configura em um recorte temporal mais recente com dados disponíveis (2009 a 2023) sobre a situação da gestão das águas em Belo Horizonte.

Considerações Finais

A cidade de Belo Horizonte, como muitas outras cidades brasileiras (Gouvea, et al, 2018; Luz & Rodrigues, 2020; Rodriguez & Teixeira, 2021; Gonçalves, et al, 2022; Polycarpo, et al., 2023; Sirio, et al., 2024), enfrenta problemas severos decorrentes das enchentes e inundações que muitas das vezes são atribuídas aos eventos extremos de chuvas, entretanto, a pesquisa buscou demonstrar que os desastres ambientais decorrentes dos riscos hidrometeorológicos vivenciados pela população são, em grande parte, decorrência da adoção de um planejamento pautado na tentativa frustrada de domar a natureza e seus ciclos naturais, o que evidencia um conflito da relação sociedade-natureza, foco central da Geografia, e, portanto, tema de investigação dos geógrafos.

Nesta cidade, as medidas estruturais de drenagem urbana visaram canalizar os cursos d'água, em um primeiro momento, e implementar bacias de contenção das cheias nas últimas décadas. Ambas medidas foram adotadas por gestores municipais com a premissa de solucionar os problemas das enchentes e inundações. Como essas são medidas mitigatórias e paliativas, quando há situações onde elas demonstram não suportar, culpabilizam eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas. Cabe aqui destacar que a adoção dessas medidas partiu de uma escolha em planejar o espaço urbano pelos gestores públicos.

Outras alternativas, que entendermos serem mais assertivas, já foram implantadas (parques lineares) ou vem sendo implementadas (jardins de chuvas e aumento de áreas permeáveis) na cidade, porém de forma tímida e sem os volumosos investimentos aplicados nas canalizações, tamponamentos e estruturas de contenção como se destacou nesta pesquisa.

Acredita-se que a manutenção dos espaços verdes, principalmente aqueles que margeiam os cursos d'água resultará em soluções mais eficazes e duradouras para os riscos aplicados às enchentes e inundações, assim, espera-se que essa seja uma política de planejamento para as próximas gestões municipais, e não configure em ações pontuais pouco expressivas para tratar os riscos

hidrometeorológicos que expõe a população. Alternativas baseadas na natureza vem sendo apontadas por pesquisadores (Kõiv-Vainik, *et al.* 2022; Davidovitsch, *et al.* 2023) com resultados promissores para atenuar eventos hidrometeorológicos intensos em ambientes urbanos como jardins de chuvas, telhados verdes e pisos drenantes que visam aumentar o tempo de retenção e absorção da água no solo. Assim espera-se que medidas como essas ganhe mais protagonismo e seja estimulada pela gestão municipal.

Agradecimentos

A pesquisa foi financiada pelo Fundo de Incentivo à Pesquisa - FIP / PUC Minas (Edital nº 067/2023), no qual os autores agradecem. Os autores agradecem também às Diretorias de Gestão de Águas Urbanas - DGAU e de Meteorologia e Alerta de Risco - DMAR da Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura SMOBI/ PBH e a Defesa Civil Municipal de Contagem por disponibilizar as bases de dados espaciais.

Referências

- Anchieta, T. F. de F., Lima, F. N., Monte-Mor, R. C. de A., & Vieira, E. M. (2020). 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*, 13(3), 1348–1367. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1348-1367>
- BHMAP. Infraestrutura de Dados Espaciais da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte - PBH. (2024). *Bases de dados espaciais*. Belo Horizonte: PBH. Dado em formato vetorial (shapefile). <https://bhmap.pbh.gov.br/>
- Borsagli, A. (2016). *Rios invisíveis da metrópole mineira*. Editora do Autor, Belo Horizonte.
- Borsagli, A., Castro, J. F. M. (2021). Do protagonismo à invisibilidade: Geografia Histórica do córrego do Acaba Mundo e a sua relação com o sítio de Belo Horizonte-MG (1716/1973). *Caderno de Geografia*, 31(65), 557–585. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2021v31n65p557>
- Caldas, M. F., Mendonça, J. G., do Carmo, L. N. (2008). *Estudos Urbanos: Belo Horizonte 2008 - transformações recentes na estrutura urbana*, Prefeitura de Belo Horizonte, Belo Horizonte.

- Canholi, A. P. (2005). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Davidovitsch, L., Silva, B. C. da., Marciano, A. G., Santos, M. G. N. (2023). Tendências recentes na aplicação de técnicas de desenvolvimentos de baixo impacto (LID) para o controle da drenagem urbana. *Caderno de Geografia*, 33(73), 336-365. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n73p336>
- Dias, A. de M., Santos, L. C. G. de S. (2023). Captação de águas pluviais em Belo Horizonte/MG. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/10.61164/rmm.v12i1.1728>
- Farias, A.; Mendonça, F. (2022) Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. *Sociedade & Natureza*, 34(1), 1-18, <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63717>.
- Fernandes, A. S., Moreira, A. A. M. (2022). A pluviometria do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 31(2), 753-775. <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.16218>
- Fernandes, A., Assunção, G. B., Borsagli, A. (2024). Contribuições da Geografia para a gestão sustentável das águas na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. In **Pluris'24 - Planejamento Urbano, Regional, integrado e Sustentável**, Guimarães, Portugal. Anais. Guimarães: Universidade do Minho. Disponível em: <https://www.civil.uminho.pt/planning/Pluris2024/Atas/Papers/Paper838.pdf>
- Ferreira, L. L. B., Magalhães Jr., A. O. (2018). Inventário das áreas úmidas urbanas em parques municipais de Belo Horizonte/MG. *Caderno de Geografia*, 28(54), 702-730. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2018v28n54p702-730>
- Gonçalves, E. de O.; Grigio, A.M.; Souza Neto, L.T. de & Diodato, M.A. (2022). Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental no espaço urbano de Russas, Ceará, Brasil: Uma integração de dados sociodemográficos e ambientais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(04), 1800-1814. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.4.p1800-1814>
- Gouvea, R. L., Campos, C. C., Menezes, J. T., Moreira, G. F. (2018). Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do rio Itajaí. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22(1), 309-323. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55276>
- Henriques, R. J. (2016). Aspectos Geomorfológicos que influenciaram (e influenciam) a ocupação urbana histórica de Belo Horizonte em Minas Gerais. *Revista de Geografia*, 6(4), 363-376. <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18039>
- Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). (2024). Históricos de dados Meteorológicos: *Dados históricos anuais*. *Dado em formato xls*. <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (2024). Catálogo de imagens CBERS. Brasília: INPE. *Dado em formato raster*. <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>.
- Kõiv-Vainik, M.; Kill, K.; Espenberg, M.; Uuemaa, E.; Teemusk, A.; Maddison, M.; Palta, M. M.; Torok, L.; Mander, U.; Scholz, M.; Kasak, K. (2022). Urban stormwater retention capacity of nature-based solutions at different climatic conditions. *Nature-based Solutions*, 2(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100038>
- Lucas, T. P. B., Augusto, P., Reis, S., Rocha, S. C., (2015). Impactos hidrometeorológicos em Belo Horizonte, MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, 16(2), 7-28. <https://doi.org/10.5380/abclima.v16i0.37051>
- Luz, R. A.; Rodrigues, C. (2020). O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais. *Geosp – Espaço e Tempo* (On-line), 24(2), 340-360. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2020.164499>
- Mendonça, F. (Org.). (2021). *Riscos Híbridos: concepções e perspectivas socioambientais*, Oficina de Textos, São Paulo.
- Monteiro, J. B., Zanella, M. E. (2014). Eventos pluviométricos extremos e impactos associados em Fortaleza-Brasil: uma análise a partir da técnica dos quantis. In: Silva, C. A., Fialho, E. S., Steinke, E. T. (Orgs.). *Experimentos em climatologia geográfica*, (cap. 9. pp. 165-186) UFGD, Dourados, MS.
- Nogueira, F. J. M.; Camargo, P. L. T. de C. (2025) Desafios urbano-ambientais e a formação de Belo Horizonte: planejamento, impactos e gestão. *Revista Cerrados*, 23(1), 159-185, <https://doi.org/10.46551/rc24482692202507>.
- Polycarpo, J. S. M., Mendes, I. de S., Correa, M. M., Mercante, E., Moura, A. E. S. S. de, &

- Rolim Neto, F. C. (2023). Geotecnologias para identificação de áreas sujeitas à enchentes na bacia do rio Una, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(6), 3469–3493. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.6.p3469-3493>
- Prefeitura Municipal de Belo Horizonte - PBH. (2023). PBH investe na implantação de jardins de chuva para prevenir inundações e alagamentos. PBH. <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/informes-tecnicos/pbh-investe-na-implantacao-de-jardins-de-chuva-para-prevenir-inundacoes-e-alagamentos>
- Rodriguez, C. A. M; Teixeira, B. A. N. (2021). Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil. *Eng. Sanit. Ambient.* 26(1), 143-150. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190034>
- Rosa, R. (2011). Análise espacial em geografia. *Revista da ANPEGE*. 7(1), 275-289. <https://doi.org/10.5418/RA2011.0701.0023>
- Sales, E. H. S., Almeida, L. F. de, Santos, R. L. dos, & Amaral, T. M. de S. (2025). Análise espacial das áreas verdes de Belo Horizonte e sua relação com a qualidade de vida. *Revista Contemporânea* 5(6), 1-20. <https://doi.org/10.56083/RCV5N6-030>
- Sírio, D. de L; De Souza, C. J. da S.; Pinheiro, K. S. F. (2024). Compensatory drainage systems a local and regional drainage solution with a sustainable bias– case study on the UFSCAR campus, SP. *Aracê* 6(4), 15484-15513. <https://doi.org/10.56238/arev6n4-261>
- Souza, M. F de., Coelho, M. L. P., Moura, P. M., Baptista, M. B., Menezes, M. V. de. (2013). Custos de manutenção de bacias de retenção para controle de cheias na cidade de Belo Horizonte-MG. In *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves, RS. Anais. Bento Gonçalves: ABRHidro. <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=155&SUMARIO=3374>