

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Arquitetura**  
**Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**

Ana Lorena Demarques Moura

**Análise de fatores mitigatórios para inundação na bacia do Ribeirão Arrudas  
em Belo Horizonte: Estudo em Áreas de Risco**

Belo Horizonte  
2025

Ana Lorena Demarques Moura

**Análise de fatores mitigatórios para inundação na bacia do Ribeirão Arrudas  
em Belo Horizonte: Estudo em Áreas de Risco**

Dissertação apresentada) ao programa de Pós-Graduação de Ambiente Construído, Ambiente Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Área de Concentração: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Linha de Pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Rita Scotti Muzzi  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eliane Maria Vieira

Belo Horizonte  
2025

#### FICHA CATALOGRÁFICA

M929a

Moura, Ana Lorena Demarques.

Análise de fatores mitigatórios para inundação na bacia do ribeirão Arrudas em Belo Horizonte [recurso eletrônico] : estudo em áreas de risco / Ana Lorena Demarques Moura. - 2025.

1 recurso eletrônico (89 f. : il.), pdf.

Orientadora: Maria Rita Scotti Muzzi.

Coorientadora: Eliane Maria Vieira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Inundações - Teses. 2. Solos - Permeabilidade - Teses. 3. Arborização das cidades - Teses. 4. Parque Municipal Américo René Giannetti (Belo Horizonte, MG) - Teses. I. Muzzi, Maria Rita Scotti. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 627.42

# FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

"Análise de fatores mitigatórios para inundação na bacia do Ribeirão Arrudas em Belo Horizonte: Estudo em Áreas de Risco"

**ANA LORENA DEMARQUES MOURA**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **primeiro de dezembro de dois mil e vinte e cinco**, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

**Profª. Drª. Maria Rita Scotti Muzzi Marques Leitão**

Escola de Arquitetura/UFMG - Orientadora

**Prof. Dr. Marcos Felipe Sudre Saidler**

Escola de Arquitetura/UFMG

**Profª. Drª. Eliane Maria Vieira**

Universidade Federal de Itabira

Belo Horizonte, 01 de dezembro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Maria Rita Scotti Muzzi Marques Leitao, Professora do Magistério Superior**, em 01/12/2025, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Felipe Sudre Saidler, Professor do Magistério Superior**, em 02/12/2025, às 14:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eliane Maria Vieira, Usuária Externa**, em 02/12/2025, às 21:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_organizacao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_organizacao_acesso_externo=0), informando o código verificador 4779000 e o código CRC 55A79F15.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos que caminham em direção à própria essência, reconhecendo que a verdadeira sabedoria nasce do retorno ao que somos e ao que a natureza nos lembra todos os dias.

Àqueles que percebem que a vida pulsa nas folhas das árvores, no ar que respiramos e no solo que acolhe nossos passos, revelando, em cada detalhe, a delicadeza dos ciclos naturais e a força que sustenta nossa própria existência.

Que esta pesquisa inspire a integração com o mundo vivo, honrando a energia que nos envolve e nos convida a respeitar e celebrar a vida em todas as suas formas.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ser a fonte inesgotável de força, inspiração e sabedoria em todos os momentos deste percurso.

À minha família, pelo amor que me sustenta. Ao meu marido, Rodrigo, pelo apoio constante, paciência e companheirismo em cada etapa desta jornada. À minha filha, Esther, pela doçura que ilumina meus dias e por ser parte essencial da minha motivação para seguir sonhando e realizando.

Aos meus pais, pela vida, pelos valores transmitidos e por todo o incentivo que sempre me deram para seguir estudando e acreditando no meu potencial.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), instituição que construiu minha base técnica e ocupa um lugar essencial na minha trajetória. Primeiro como aluna do curso técnico de Edificações, que abriu portas decisivas; hoje como Servidora Técnico-Administrativa em Educação, cercada por colegas cujo incentivo diário, parceria e compreensão foram fundamentais nos momentos de maior demanda. Sem o CEFET-MG, talvez eu não tivesse ousado iniciar o mestrado. Registro, assim, minha gratidão profunda a esta instituição e a todas as pessoas que dela fazem parte.

À minha orientadora, Maria Rita Scotti Muzzi, pela condução atenciosa, generosa e comprometida desta pesquisa. À sua equipe, especialmente as biólogas Izabel e Isabela, a técnica Driene e a arquiteta Maria Tereza, pelos aprendizados, pela disponibilidade e pelo trabalho coletivo que enriqueceram de forma significativa este percurso.

À minha coorientadora, Eliane Maria Vieira, pela orientação sensível, pelas contribuições fundamentais e pelo olhar cuidadoso que ampliou e fortaleceu este trabalho.

Por fim, agradeço aos amigos e amigas que estiveram presentes com palavras de apoio, conversas, trocas e carinho, contribuindo para que esta caminhada fosse mais leve e significativa e a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta jornada. Minha sincera gratidão.

**"A sabedoria é árvore que dá vida a quem a abraça." (Provérbios 3:18)**

## RESUMO

A pesquisa investiga de forma integrada os fatores geomorfológicos, hidrológicos, ambientais e antrópicos que influenciam a recorrência de enchentes em uma das bacias mais críticas da capital mineira, marcada historicamente pela ocupação de várzeas, pela canalização rígida do ribeirão e pela crescente impermeabilização do solo. Para aprimorar a compreensão da dinâmica das inundações, foi realizado o mapeamento da suscetibilidade utilizando o programa *QGIS* e o software *HAND Model*, permitindo identificar áreas de maior vulnerabilidade. A partir do mapeamento da mancha de áreas de risco de inundação disponibilizado pela Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), foram selecionadas e amostradas, áreas urbanas altamente suscetíveis e áreas situadas fora da zona de risco, possibilitando uma comparação detalhada entre diferentes padrões de uso e cobertura do solo, graus de permeabilidade e composição da vegetação e a análise ambiental foi complementada por índices espectrais, NDVI e NDWI. Os resultados encontrados demonstram que a vegetação arbórea exerce papel essencial na regulação hídrica, especialmente espécies pertencentes às famílias *Arecaceae* e *Moraceae*, que apresentam elevado potencial de infiltração, evapotranspiração e retenção hídrica, contribuindo para amenizar a intensidade das cheias. Identificou-se também que o tipo de pavimentação e o grau de permeabilidade das superfícies influenciam diretamente o comportamento hidrológico, reforçando a necessidade de adoção de pavimentos drenantes. A pesquisa aponta para a urgência de incorporar Soluções Baseadas na Natureza ao planejamento urbano, como a recuperação da vegetação ripária, a criação de parques lineares, corredores ecológicos e a valorização de áreas verdes estratégicas. Conclui-se que a resiliência hídrica da bacia depende da integração entre cobertura vegetal, permeabilidade das superfícies e gestão eficiente das águas pluviais, associada a políticas públicas e ações urbanísticas capazes de reduzir a vulnerabilidade.

Palavras-chave: inundações; ribeirão Arrudas; índice de permeabilidade; arborização urbana; Parque Municipal Américo Renné Gianetti.

## ABSTRACT

This research investigates, in an integrated manner, the geomorphological, hydrological, environmental, and anthropogenic factors that influence the recurrence of floods in one of the most critical basins of the capital of Minas Gerais, historically marked by the occupation of floodplains, the rigid channelization of the stream, and the increasing impermeabilization of the soil. To improve the understanding of flood dynamics, susceptibility mapping was carried out using QGIS and the HAND Model, allowing the identification of areas of greater vulnerability. Based on the flood-risk mapping provided by the Municipality of Belo Horizonte (PBH), highly susceptible urban areas and areas located outside the risk zone were selected and sampled, enabling a detailed comparison of different land-use and land-cover patterns, degrees of permeability, and vegetation composition. Environmental analysis was complemented with spectral indices, NDVI and NDWI. The results demonstrate that arboreal vegetation plays an essential role in hydrological regulation, especially species belonging to the *Arecaceae* and *Moraceae* families, which exhibit high infiltration, evapotranspiration, and water-retention potential, contributing to reducing the intensity of flood events. It was also identified that pavement type and surface permeability directly influence hydrological behavior, reinforcing the need for the adoption of permeable and drainage-efficient pavements. The study highlights the urgency of incorporating Nature-Based Solutions into urban planning, such as riparian vegetation restoration, creation of linear parks, ecological corridors, and the enhancement of strategic green areas. It is concluded that the hydrological resilience of the basin depends on the integration of vegetation cover, surface permeability, and efficient stormwater management, associated with public policies and urban actions capable of reducing vulnerability.

Keywords: floods; ribeirão Arrudas; permeability index; urban arborization; Américo Renné Gianetti Municipal Park.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Registro aéreo de voluntários em busca de sobreviventes em Canoas, no Rio Grande do Sul.....	18
Figura 2 - Classificação da Dinâmica Fluvial natural de uma Bacia .....	21
Figura 3 - Bacia do Ribeirão Arrudas e sua rede de afluentes .....	23
Figura 4 - Localização das Nascentes na Bacia do Arrudas em Belo Horizonte.....	24
Figura 5 - Imagem de Belo Horizonte em 1902.....	25
Figura 6 - Ribeirão Arrudas atrás do Parque Municipal em 1929.....	26
Figura 7- Panorama do que se tornou Belo Horizonte após a década de 60 e a crescente verticalização dos edifícios na região central.....	27
Figura 8 -Obras de canalização do Ribeirão Arrudas na Avenida Tereza Cristina...	28
Figura 9 - Ocupações irregulares, como o caso da Vila Havaí bacia hidrográfica do Córrego Cercadinho, afluente do Ribeirão Arrudas e despejo de lixo e esgoto no curso d'água .....	31
Figura 10 - Layout esquemático típico de um sistema de pavimento permeável .....	36
Figura 11 - Revitalização do canal Cheonggyecheon, em Seul, e a revitalização do Rio Medellín, na Colômbia.....	40
Figura 12 - Continuum solo-planta-atmosfera e os gradientes de potencial hídrico envolvidos no transporte de água desde o solo até a liberação na atmosfera .....	42
Figura 13 - Serviços ecossistêmicos da floresta urbana em diferentes escalas.....	44
Figura 14 - Localização das 06 amostras ao longo da Bacia do Arrudas em Belo Horizonte .....	47
Figura 15 - Amostra 01, área de risco de inundação no bairro das Indústrias em Belo Horizonte .....	48
Figura 16 - Amostra 02, área de alto risco de inundação no bairro Padre Eustáquio em Belo Horizonte.....	48
Figura 17 - Amostra 03, área de alto risco de inundação no bairro Barro Preto em Belo Horizonte.....	49
Figura 18 - Amostra 04, área de baixo risco de inundação no Centro de Belo Horizonte .....	49
Figura 19 - Amostra 05, área de baixo risco de inundação no Parque Municipal Américo Renné Giannetti no Centro de Belo Horizonte .....	50
Figura 20 - Amostra 06, área de baixo risco de inundação no bairro Santa Tereza em Belo Horizonte.....	50
Figura 21 - Mapa de Susceptibilidade à Inundação da Bacia do Arrudas .....	57
Figura 22 - Localização das áreas amostrais no Mapa de Susceptibilidade à Inundação da Bacia do Arrudas.....	58
Figura 23 - Mapa de zonas geomorfológicas da bacia do Arrudas .....	59
Figura 24 - Classificação do canal do Arrudas nas áreas amostradas.....	64
Figura 25 - Comparação do Índice de Permeabilidade (%) dentro e entre setores amostrados. Análise de variância feita segundo ANOVA. Diferenças entre setores foram analisadas segundo teste de Tukey considerando significativas médias com letras diferentes a nível de $p \leq 5\%$ . Comparação dos níveis de permeabilidade dentro de cada setor são seguidas de letras minúsculas e comparação de cada índice de permeabilidade entre setores é seguida de letras maiúsculas .....	68
Figura 26 - Localização das árvores da amostra 01 no bairro das Indústrias. ....	69
Figura 27 - : Localização das árvores da amostra 02 no bairro Padre Eustáquio .....	69
Figura 28 - Localização das árvores da amostra 03, no bairro Barro Preto .....	70

Figura 29 - : Localização das árvores da amostra 04, no Centro de Belo Horizonte.	70
Figura 30 - Localização das árvores da amostra 05, no Parque Municipal Américo Renné Giannetti .....	71
Figura 31 - Localização das árvores da amostra 06, no bairro Santa Tereza .....	71
Figura 32 - Índice NDVI da Bacia do Arrudas em período chuvoso .....	73
Figura 33 - Índice NDVI das áreas amostradas em período chuvoso .....	74
Figura 34 - Índice NDWI da Bacia do Arrudas em período chuvoso .....	75
Figura 35 - Índice NDWI das áreas amostradas em período chuvoso .....	76
Figura 36 - : Porcentagem de indivíduos arbóreos por família nas áreas inundáveis e não inundáveis. Análise de variância feita segundo ANOVA. Diferenças entre famílias foram analisadas segundo teste de <i>Tukey</i> considerando significativas médias com letras diferentes a nível de $p \leq 5\%$ . Comparação entre famílias nas áreas inundáveis são seguidas de letras minúsculas e nas áreas não inundáveis estão seguidas de letras maiúsculas.....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da permeabilidade do solo .....	33
Tabela 2 - Coeficiente de permeabilidade dos pisos drenantes segundo a Norma ABNT NBR 16416 – ABCP.....	37
Tabela 3 - Amostras com alto risco de Inundação .....	51
Tabela 4 - Amostras de baixo risco de inundação.....	52
Tabela 5 - Classificação de Coeficiente de Permeabilidade K .....	55
Tabela 6 - Corpos Hídricos Tributários do Arrudas .....	60
Tabela 7 - Análise das Dimensões do Canal do Arrudas em trechos selecionados..	62
Tabela 8 - Classificação de Permeabilidade das Ruas e Passeios e Vegetação .....	65
Tabela 9 - Distribuição do número de indivíduos de planta por família encontradas nas áreas inundáveis 1, 2 e 3 e amostras não inundáveis 4,5 e 6.....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ABCP</b>	Associação Brasileira de Cimento Portland
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ALOS PALSAR</b>	Advanced Land Observing Satellite - Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
<b>ANOVA</b>	Análise de Variância ( <i>Analysis of Variance</i> )
<b>BH Maps</b>	Plataforma de mapas e dados oficiais da Prefeitura de Belo Horizonte
<b>BHICB</b>	Herbário BHICB
<b>CBH VELHAS</b>	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas
<b>CBN</b>	Cadastro de Bens Naturais ou Rede de Notícias
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>CPA</b>	Camada Porosa de Atrito
<b>FJP</b>	Fundação João Pinheiro
<b>HAND</b>	<i>Height Above Nearest Drainage</i> (Altura Acima da Drenagem Mais Próxima)
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> )
<b>IPT</b>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
<b>K</b>	Coefficiente de Permeabilidade
<b>MDEHC</b>	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>NDVI</b>	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)
<b>NDWI</b>	<i>Normalized Difference Water Index</i> (Índice de Diferença Normalizada da Água)
<b>NGDVI</b>	<i>Normalized Green Difference Vegetation Index</i> (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde)

<b>ABCP</b>	Associação Brasileira de Cimento Portland
<b>PBH</b>	Prefeitura de Belo Horizonte
<b>PLAMBEL</b>	Empresa de Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte
<b>PPS</b>	Pavimentos Permeáveis Sustentáveis
<b>PPCs</b>	Peças Pré-Moldadas de Concreto Poroso
<b>QGIS</b>	<i>Quantum GIS</i> (Sistema de Informação Geográfica de código aberto)
<b>SBN</b>	Soluções Baseadas na Natureza
<b>SIAA-BH</b>	Sistema de Informação da Arborização Urbana de Belo Horizonte
<b>SIG</b>	Sistema de Informação Geográfica
<b>SPSS</b>	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i> (Software Estatístico)
<b>SUDS</b>	Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável ( <i>Sustainable Urban Drainage Systems</i> )
<b>UFMG</b>	Universidade Federal de Minas Gerais

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
	1.1 Objetivos.....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
	2.1 Inundações em Áreas Urbanas.....	17
	2.2 A Bacia do Ribeirão Arrudas e o histórico de Canalizações e Inundações	22
	2.3 Drenagem Natural e Pavimentação Permeável .....	31
	2.3.1 Pavimentos Permeáveis .....	33
	2.4 O Papel Ecológico da Vegetação Ripária.....	37
	2.4.1 Arborização Urbana .....	40
	2.4.2 Florestas Urbanas.....	43
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>45</b>
	3.1 Potencial de inundação da Bacia do Arrudas .....	45
	3.2 Delineamento Experimental: Amostragem das áreas inundáveis e não inundáveis .....	46
	3.2.1 Descrição das áreas amostrais ( <i>Plots</i> ):.....	47
	3.3 Análise das dimensões do Canal do Ribeirão Arrudas nas áreas amostradas: .....	53
	3.4 Impacto nas áreas de estudo: Índice de vegetação e umidade (NDVI E NDWI) .....	53
	3.4.1 NDVI .....	53
	3.4.2 NDWI .....	54
	3.5 Avaliação do índice de Pavimentação (Muito Baixa, Baixa, Média e Alta) baseado no Coeficiente de Permeabilidade (K) .....	55
	3.6 Análise Florística das áreas de Estudo .....	56
	3.7 Análise estatística .....	56
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>56</b>
	4.1 Localização da área de estudo da bacia do Ribeirão Arrudas e Potencial de inundação.....	56
	4.2 Influência das dimensões do canal na susceptibilidade de inundação .....	60
	4.3 Análise do Índice de Permeabilidade .....	64
	4.4 Efeito Vegetação.....	72
	4.5 Índices Espectrais NDVI e NDWI.....	72
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a intensificação dos desastres ambientais tem evidenciado os limites do modelo de desenvolvimento baseado na supressão de ecossistemas, impermeabilização do solo e expansão urbana desordenada. Fenômenos como enchentes extremas, ondas de calor, secas prolongadas e eventos hidrológicos imprevisíveis tornaram-se recorrentes em diversas regiões do mundo, em grande parte impulsionados pelas mudanças climáticas associadas às atividades humanas (IPCC, 2022). As inundações, em particular, configuram um dos eventos naturais mais frequentes e devastadores e são agravadas pela ocupação de áreas suscetíveis, pela canalização rígida de cursos d'água e pela redução das áreas vegetadas que desempenhariam funções essenciais de regulação hídrica (Tucci, 2007). Em ambientes urbanos, esses processos se intensificam em razão do adensamento populacional e da crescente impermeabilização, ampliando os impactos hidrológicos e os desafios de manejo.

Esse panorama global encontra paralelo evidente na dinâmica fluvial do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte, um curso d'água cuja história de modificação ilustra de forma contundente as consequências das intervenções antrópicas sobre sistemas naturais. Desde o planejamento da capital, o projeto de Aarão Reis não considerou adequadamente a presença e o funcionamento dos cursos d'água locais, favorecendo a ocupação de várzeas e a descaracterização das margens já nos primeiros anos de urbanização (Borsagli, 2019). Ao longo das décadas seguintes, o Arrudas foi submetido a sucessivas obras de retificação, canalização e dragagem, que promoveram seu confinamento em estruturas rígidas e alteraram profundamente seu comportamento hidrológico, resultando em episódios recorrentes de inundação, especialmente a partir do final do século XX (Borsagli e Bernardes, 2019; Reis, 2011).

Além de sua relevância hidrográfica, o Arrudas assume papel central na conformação urbana de Belo Horizonte, uma vez que corta áreas densamente povoadas e estruturais para a cidade. Sua importância, entretanto, é marcada por contradições: ao mesmo tempo em que serve como eixo de drenagem natural e de articulação da paisagem, tornou-se foco recorrente de problemas ambientais e sociais, sobretudo relacionados às inundações e à intensa impermeabilização de sua bacia.

Nesse contexto, torna-se essencial compreender não apenas os fatores

estruturais que contribuíram para o agravamento das enchentes, mas também as condições ambientais que poderiam favorecer respostas mais resilientes. A presente pesquisa parte da hipótese de que a recorrência das inundações na bacia do Ribeirão Arrudas está associada não só às intervenções físicas históricas, mas também a fatores que afetam a vazão e a permeabilidade tais como tipo de pavimentação das ruas e passeios e da presença da vegetação e consequente perda das funções ecossistêmicas.

Essa hipótese justifica-se pela necessidade de superar a lógica tradicional de controle de cheias baseada exclusivamente em obras de engenharia cinza, que historicamente não têm impedido a repetição de eventos críticos no Arrudas. Ao reconhecer que processos geomorfológicos, hidrológicos e biológicos interagem para moldar o comportamento fluvial, torna-se possível ampliar a compreensão da dinâmica da bacia e apontar alternativas capazes de fortalecer sua resiliência. Com isso, o estudo busca contribuir para novas perspectivas de manejo que considerem tanto as características físicas da bacia quanto o papel estratégico da vegetação, oferecendo subsídios para soluções mais sustentáveis e integradas frente ao desafio das inundações urbanas.

## **1.1 Objetivos**

Avaliar a contribuição de fatores relacionados à permeabilidade e à vazão da bacia do Ribeirão Arrudas que caracterizam as áreas de risco para eventos de inundação

Para tanto propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- Aferir as áreas com maior suscetibilidade a inundações,
- Realizar um estudo comparativo entre áreas com maior e menor risco de inundação quanto a:
  1. dimensão e a capacidade hidráulica da calha do Ribeirão Arrudas;
  2. grau de permeabilidade das pavimentações e do solo na faixa ripária;
  3. presença, composição e classificação da vegetação arbórea, por espécie ou família botânica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico a seguir foi estruturado em quatro tópicos principais, a saber: Inundações em Áreas Urbanas; A Bacia do Ribeirão Arrudas e o histórico de Canalizações e Inundações; Drenagem Natural e Pavimentação Permeável e o Papel Ecosistêmico da Vegetação Ripária.

### 2.1 Inundações em Áreas Urbanas

A literatura científica é unânime em destacar a impermeabilização do solo como principal fator indutor de inundações em ambientes urbanos (Tucci, 2003; Virgillii, 2009). O asfalto, o concreto e outros revestimentos reduzem a capacidade de infiltração da água, gerando maior escoamento superficial e sobrecarga no sistema de drenagem. A impermeabilização do solo em ambientes urbanos é um dos principais fatores que agravam as enchentes, o asfalto, o concreto e outros tipos de revestimentos reduzem a capacidade de infiltração da água no solo. Isso causa um aumento significativo do escoamento superficial, sobrecarregando os sistemas de drenagem e aumentando os picos de vazão.

As abordagens convencionais de medidas estruturais, como a construção de canalizações e reservatórios de contenção, são frequentemente adotadas. No entanto, essas obras, além de terem um custo elevado, tendem a transferir o problema das inundações para outras áreas a jusante. Esse cenário evidencia a vulnerabilidade das cidades frente a um planejamento de drenagem que não considera soluções sustentáveis (Virgillii, 2009).

As inundações bruscas, decorrentes de eventos pluviométricos extremos, configuram alguns dos desastres mais recorrentes e impactantes da atualidade em áreas urbanas. Elas ocorrem, sobretudo, em pequenas bacias de relevo acidentado, sendo marcadas pela rápida elevação do nível d'água e altas velocidades de escoamento, o que as torna repentinas e de difícil enfrentamento pelas populações afetadas (Doswell, 2015).

Christofoletti (1980) aborda de forma detalhada o papel dos tributários e dos processos naturais de escoamento na dinâmica das inundações. O autor destaca que os tributários exercem papel fundamental no regime hidrológico dos rios, pois

contribuem para o aumento da vazão em períodos de chuva intensa e funcionam como corredores de drenagem que alimentam o canal principal. Essa contribuição, quando ocorre em sincronia com precipitações elevadas, potencializa a possibilidade de cheias.

Na figura 1 observa-se a busca por sobreviventes das enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul. As cheias de 2024 caracterizaram-se por rápidas elevações de nível e altas velocidades de escoamento, provocando intensa destruição na região da Serra Gaúcha e nos vales dos rios Jacuí, Taquari e Caí. Os registros das vazões máximas comparáveis a recordes globais, especialmente nos rios Jacuí, Taquari e Guaíba (Lima et al., 2024).

Figura 1 - Registro aéreo de voluntários em busca de sobreviventes em Canoas, no Rio Grande do Sul



Fonte: G1, 2024.

Como reiterado por Christofolletti (1980), as inundações naturais são processos inerentes ao funcionamento fluvial, especialmente em áreas de planícies aluviais. Elas representam mecanismos de equilíbrio dos rios, responsáveis pela deposição de sedimentos e pela manutenção da morfodinâmica da bacia hidrográfica. No entanto, quando há ocupação humana nas várzeas e planícies de inundação, esse fenômeno natural passa a ter graves consequências sociais e econômicas.

A gestão urbana, em muitos casos, não prioriza medidas preventivas, recorrendo apenas a ações emergenciais após a ocorrência de enchentes. Essa postura está associada à dificuldade política de implantar medidas não estruturais, como restrições ao uso do solo, em função de interesses econômicos e pressões sociais. Adicionalmente, a ocupação desordenada do solo e a vulnerabilidade social, temas estudados por Ana Lúcia Ribeiro de Vasconcelos (2016), agravam ainda mais o cenário, transformando fenômenos naturais em grandes desastres socioambientais.

Além disso, a impermeabilização do solo, a canalização de cursos d'água e a infraestrutura urbana desordenada intensificam o escoamento superficial, aumentam a frequência e a magnitude das vazões máximas e contribuem para a degradação da qualidade da água. A superação desse cenário exige políticas públicas articuladas em nível estadual, com foco na educação da população e no controle de financiamentos para obras em áreas de risco (Tucci, 2003).

Segundo Tucci e Bertoni (2003), a ocupação irregular de áreas de mananciais urbanos e a ausência de fiscalização adequada comprometem seriamente a qualidade da água destinada ao abastecimento público. A pressão urbana sobre as bacias hidrográficas favorece a contaminação dos reservatórios por esgoto doméstico, resíduos sólidos e práticas inadequadas de uso do solo, elevando o risco de eutrofização e a produção de toxinas prejudiciais à saúde humana. Além disso, a infiltração de poluentes provenientes de aterros sanitários, fossas sépticas e falhas nas redes de drenagem contribui para a contaminação dos aquíferos urbanos, ameaçando a segurança hídrica e evidenciando a necessidade de políticas mais eficazes de proteção e gestão ambiental.

A gestão de desastres urbanos no Brasil frequentemente se concentra em ações de resposta emergencial, negligenciando a prevenção (Tucci, 2007). Essa abordagem reativa é, em parte, resultado de desafios políticos, como a dificuldade de implementar medidas não estruturais, como restrições ao uso do solo. Tais barreiras surgem de interesses econômicos e pressões sociais que favorecem a ocupação de áreas de risco. A vulnerabilidade social e a ocupação desordenada, temas amplamente discutidos por Vasconcelos (2016), exacerbam o problema, transformando eventos naturais em desastres socioambientais de grande escala.

Além disso, a forma como as cidades se desenvolvem contribui significativamente para a intensificação desses eventos. A impermeabilização do solo, a canalização de rios e uma infraestrutura urbana mal planejada aumentam o escoamento superficial e, conseqüentemente, a magnitude das vazões máximas, o que agrava as inundações e compromete a qualidade da água. Para superar esse cenário, Tucci (2003) argumenta que são necessárias políticas públicas articuladas em nível estadual, que incluam a educação da população e o controle de financiamentos para obras em áreas de risco.

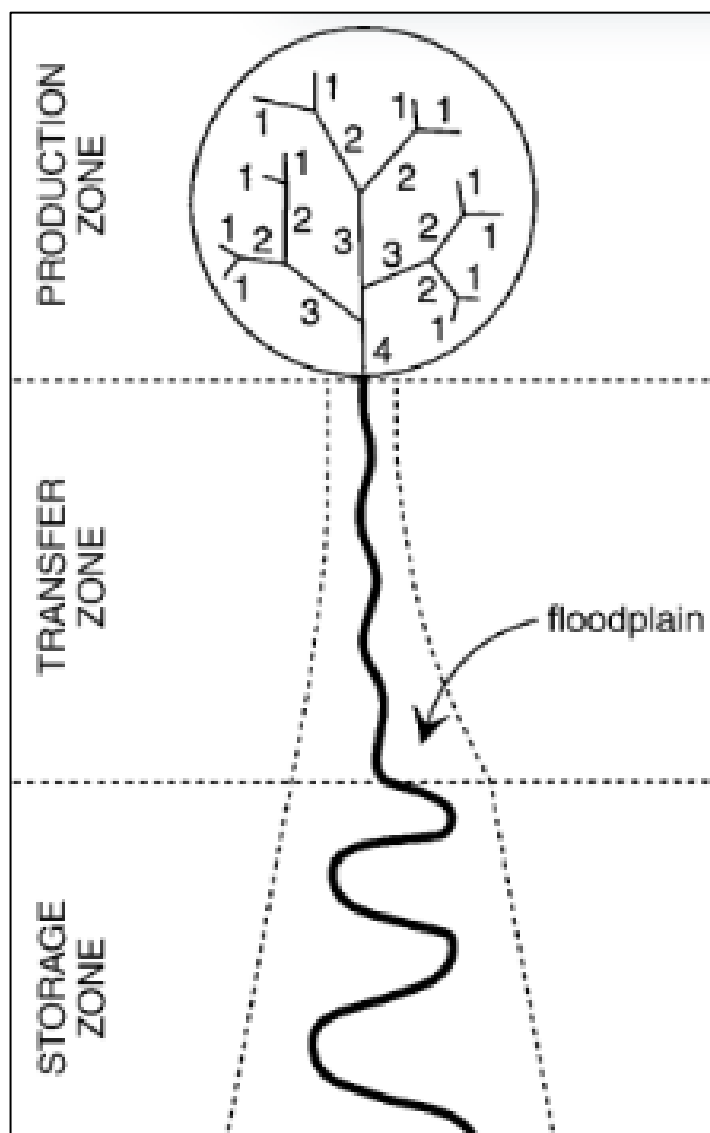
### **2.1.1. Sistema Fluvial Natural**

O sistema fluvial natural pode ser dividido em três zonas principais, conforme a classificação proposta por Burt (1996):

1. Zona de produção (ou zona de cabeceira): corresponde à região das nascentes, onde ocorre a coleta das águas precipitada por meio do escoamento superficial e subterrâneo. Essa área é caracterizada por relevo geralmente mais acidentado, maior energia do fluxo e forte erosão, sendo responsável pelo fornecimento de sedimentos ao sistema fluvial.
2. Zona de transferência (ou zona de transporte): é a parte intermediária do curso do rio, onde predominam os processos de transporte de água e sedimentos. Esta zona frequentemente abriga as planícies de inundação, regiões relativamente planas que se alagam periodicamente, geralmente em intervalos de 1 a 3 anos (Hupp & Osterkamp, 1996). A vegetação presente nessas áreas atua como proteção natural, ajudando na retenção de sedimentos e na estabilidade das margens.
3. Zona de deposição (ou zona inferior): situada nas partes mais baixas do rio, essa zona é marcada pela diminuição da energia do fluxo, favorecendo a deposição de sedimentos. Assim como a zona de transferência, essa área também pode ser sujeita a inundações, principalmente em grandes eventos de cheia.

A figura 02 a seguir representa a dinâmica fluvial descrita por Burt, subdividida em 3 zonas principais, zona de produção, zona de transferência e zona de deposição.

Figura 2 - Classificação da Dinâmica Fluvial natural de uma Bacia



Fonte: Adaptado de Schumm (1977) e Petts, (1994).

### 2.1.2. A mitigação dos riscos de inundações através de Medidas Estruturais e Não Estruturais

A mitigação dos riscos de inundações envolve duas abordagens complementares: as medidas estruturais e as não estruturais. As medidas estruturais são intervenções físicas e de engenharia projetadas para modificar ou controlar o fluxo da água. Elas incluem a construção de diques, barragens, reservatórios e a canalização de rios (Tucci, 2001), que alteram o ambiente para reduzir o risco de inundações. Embora eficazes em alguns contextos, essas soluções são geralmente

de alto custo e podem ter impactos ambientais significativos, como a alteração dos ecossistemas fluviais.

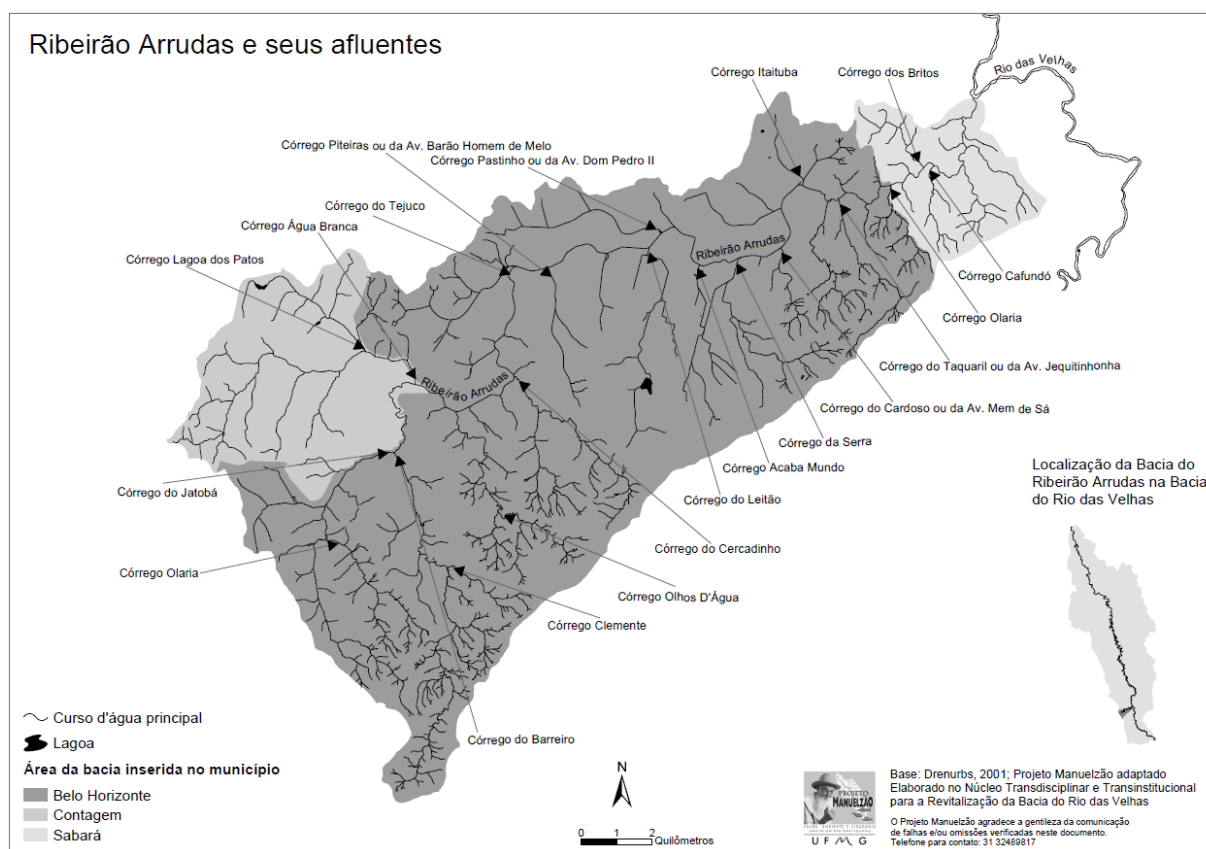
Por outro lado, as medidas não estruturais focam em políticas e ações que não exigem grandes obras. Elas buscam gerenciar o risco por meio do planejamento e da regulamentação. Exemplos incluem o zoneamento de áreas de risco, a criação de planos diretores que limitam a ocupação em leitos de inundação, a implementação de sistemas de alerta e a educação ambiental da população (Leal, 2012). Essas medidas, embora politicamente mais difíceis de serem aplicadas, são fundamentais para uma gestão de riscos mais sustentável e de longo prazo, pois atuam na causa do problema e não apenas em seus sintomas.

## **2.2 A Bacia do Ribeirão Arrudas e o histórico de Canalizações e Inundações**

O município de Belo Horizonte está localizado na região Sudeste do Brasil, constituído por bioma composto por cerrado e mata atlântica. O clima é tropical com estações úmidas e secas. Apresenta relevo constituído na sua predominância de planaltos com escarpas e depressão na região central. Apresenta duas grandes bacias principais a bacia do Ribeirão Arrudas e a bacia do Ribeirão do Onça, as quais deságuam no Rio das Velhas. Estas por sua vez estão localizadas ao sul e ao norte respectivamente do município (Souza e Gonçalves, 2018).

A bacia do Ribeirão Arrudas possui área de 208,47 km<sup>2</sup> e extensão total de 47 km, abrangendo os municípios de Contagem, Belo Horizonte e Sabará, sendo 44,7 km situados na capital (Borsagli, 2018; Reis, 2011). Suas nascentes estão situadas nas vertentes da Serra do Rola-Moça, na região do Barreiro, (FIGURA 3) formadas pela confluência dos córregos Jatobá e Barreiro (Borsagli, 2016). Apresenta vazão média de longo período de 5,9 m<sup>3</sup>/s e vazão mínima de 1,57 m<sup>3</sup>/s (CBH VELHAS, 2016).

Figura 3 - Bacia do Ribeirão Arrudas e sua rede de afluentes

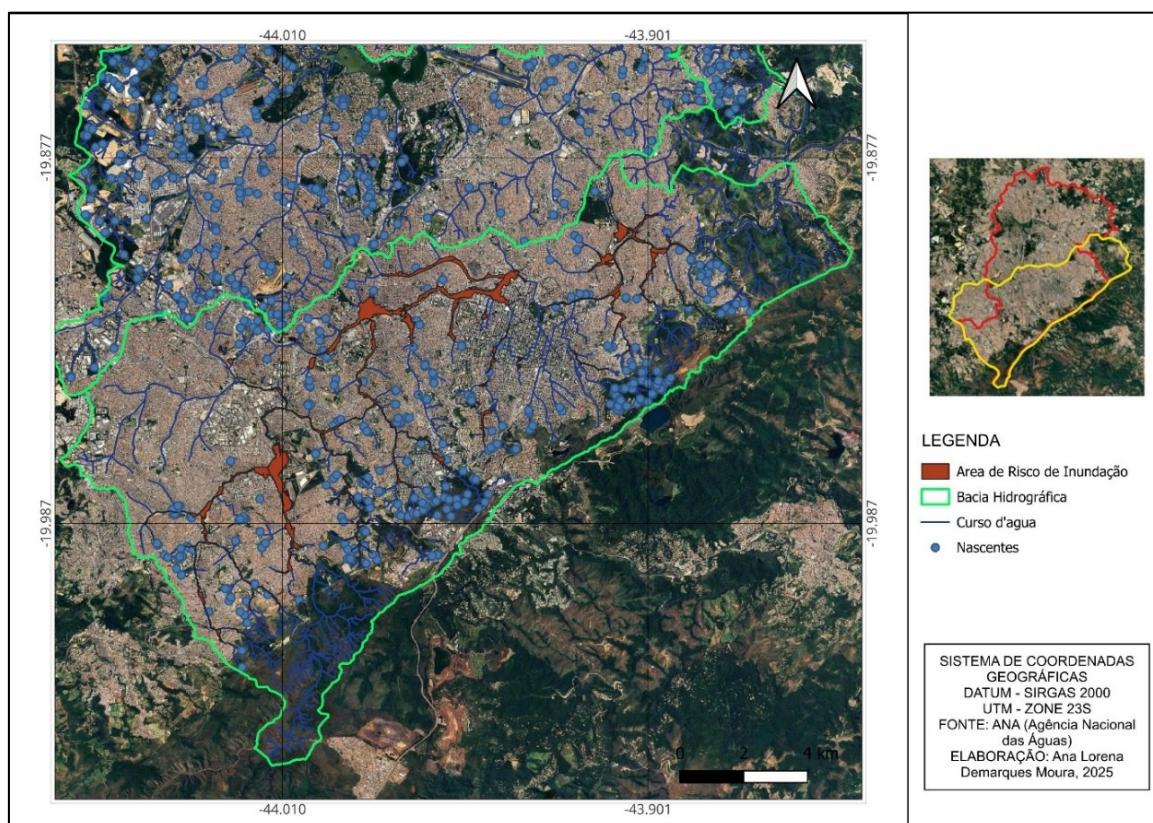


Fonte: Projeto Manuelzão (UFMG), 2001.

Conforme a geomorfologia fluvial, os rios são agentes modeladores da paisagem, atuando por meio de processos como a incisão fluvial e a migração lateral (Christofolletti, 1981). A rede de drenagem do Ribeirão Arrudas apresenta padrão próximo ao paralelo e formato elíptico a ramificado, especialmente na porção sul, influenciada pela Serra do Curral, sendo composta por sub-bacias alongadas que convergem para o curso principal (Reis, 2011).

Na figura 04, a seguir, identifica-se a área de risco de Inundação e as nascentes em Belo Horizonte, fica evidente o impacto do padrão de uso de ocupação do solo na Bacia. O padrão de uso e ocupação do solo em Belo Horizonte alterou as características naturais dos cursos d'água, gerando impactos negativos. A alteração dessas características naturais, provocada pela urbanização, gera um desequilíbrio no balanço de energia fluvial. Esse desequilíbrio pode levar ao aumento da velocidade de escoamento e do poder erosivo das águas, um problema recorrente em ambientes urbanos (Tucci, 2001).

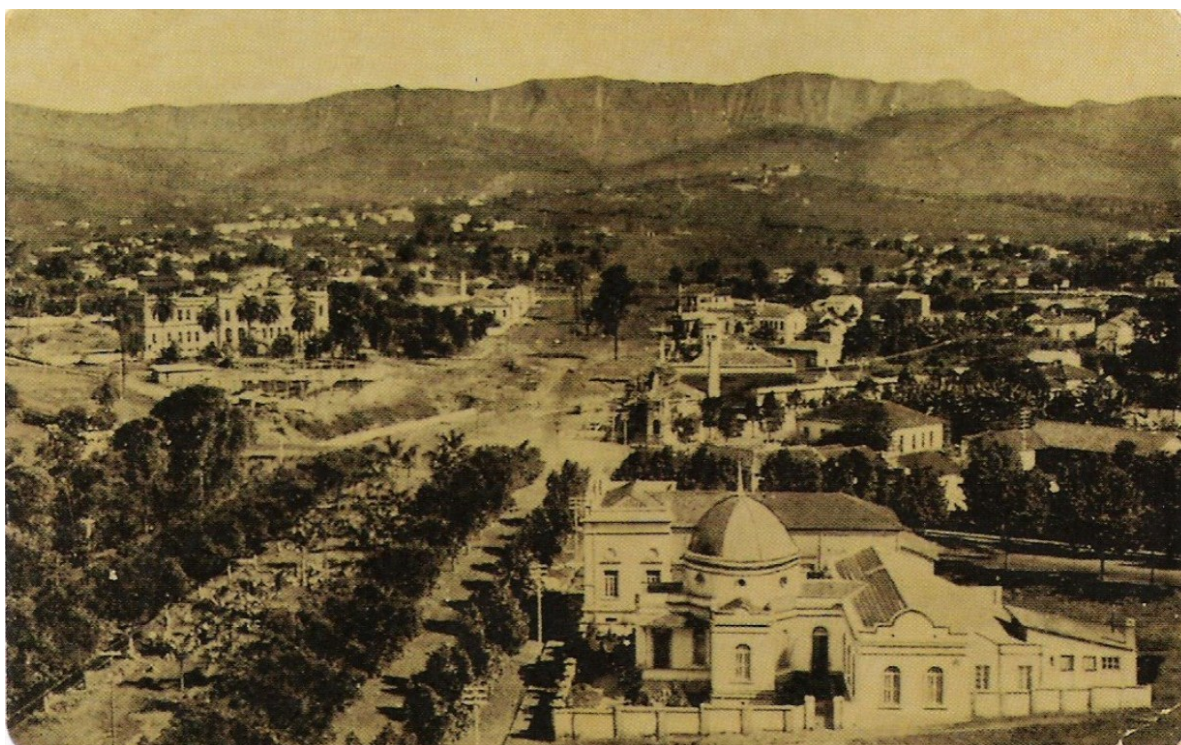
Figura 4 - Localização das Nascentes na Bacia do Arrudas em Belo Horizonte



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Já a imagem 5 de Belo Horizonte de 1902, publicada no blog *Curral Del Rey*, oferece um olhar sobre a cidade em seus primeiros anos, destacando a Avenida Afonso Pena já aberta até o cruzamento com a Avenida Brasil. O córrego do Acaba Mundo ainda seguia seu leito natural, cruzando a avenida em direção ao Parque Municipal. Ao fundo, são visíveis o Morro do Cruzeiro e a Serra do Curral, elementos geográficos que marcaram a paisagem urbana da época (Curral Del Rey, 2010).

Figura 5 - Imagem de Belo Horizonte em 1902



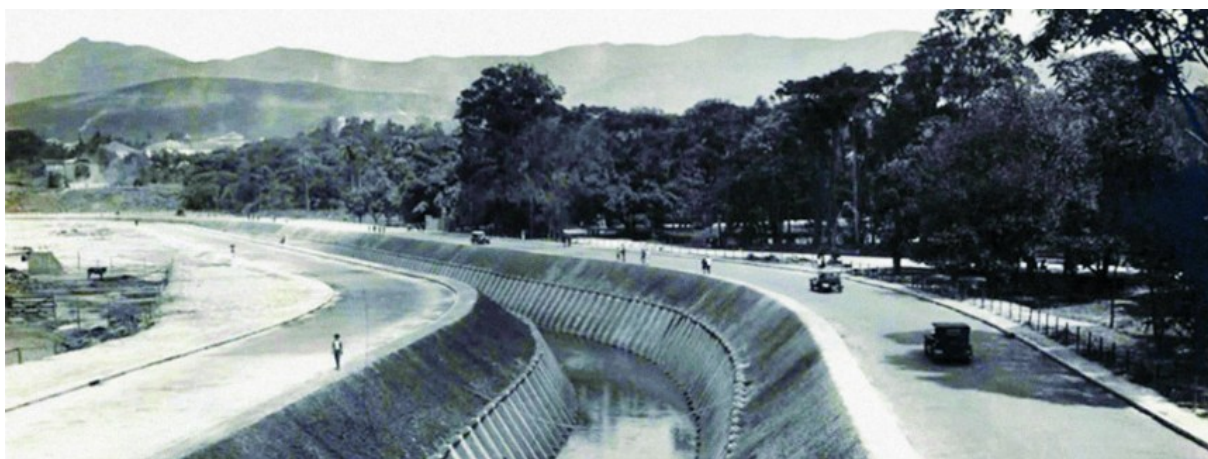
Fonte: Curral Del Rey, 2010.

O processo de canalização dos cursos d'água em Belo Horizonte iniciou-se nos primeiros anos da capital, quando córregos como o Acaba Mundo, Serra e Leitão recebiam grandes volumes de esgoto e dejetos, transbordando com as chuvas e causando transtornos para a população (Cavalcante, 2011). A partir da década de 1910, com o crescimento da mancha urbana e a ocupação das planícies de inundação e cabeceiras de córregos como Pastinho, Pintos e da Mata, surgiram as primeiras intervenções de retificação e canalização (Cavalcante, 2011).

Entre 1923 e 1930, obras estruturais foram executadas com o objetivo de controlar enchentes e viabilizar o traçado viário, transformando o Ribeirão Arrudas e seus afluentes em canais artificiais (Borsagli, 2019). No entanto, essas ações agravaram as inundações e eliminaram as áreas alagáveis naturais, além de revelarem uma política urbana excludente e higienista, voltada à remoção de populações de baixa renda das margens dos córregos (Borsagli; Bernardes, 2016; Cavalcante, 2011).

Na figura 06, uma das primeiras intervenções e tentativas de controlar o Ribeirão Arrudas na área atrás do Parque Municipal em 1929.

Figura 6 - Ribeirão Arrudas atrás do Parque Municipal em 1929



Fonte: Adaptado de CBN Rio das Velhas, 2016.

O processo de urbanização acelerada de Belo Horizonte, sobretudo a partir da década de 1940, esteve diretamente relacionado ao aumento dos eventos de inundações (Champs, 2012). A impermeabilização das superfícies, o crescimento da malha viária, a ocupação dos fundos de vale e nascentes a montante comprometeram o escoamento natural das águas pluviais. Entre as décadas de 1940 e 1970, Belo Horizonte passou por intensas intervenções em seus cursos d'água, principalmente motivadas por problemas sanitários e pela expansão urbana.

Durante as décadas seguintes, com a realização de obras de canalização e retificação do Ribeirão Arrudas, os eventos persistiram e até mesmo se avolumaram. A intensificação da ocupação urbana nas áreas periféricas ampliou a pressão sobre os afluentes do ribeirão, aumentando a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, a frequência e intensidade das inundações, especialmente porque muitos deles foram canalizados. Adicionalmente, durante as décadas de 1940 a 1970, o processo de canalização foi intensificado, acompanhando a expansão da malha urbana e a abertura de avenidas estruturantes, como Pedro II, Silviano Brandão, Contorno e Prudente de Moraes (Cavalcante, 2011). A figura 07 apresenta um panorama do que se tornou Belo Horizonte após a década de 60 e a crescente verticalização dos edifícios na região central.

Figura 7- Panorama do que se tornou Belo Horizonte após a década de 60 e a crescente verticalização dos edifícios na região central



Fonte: Curral Del Rey, 2011.

O Córrego Acaba Mundo teve seu leito duplicado e parte de sua vazão desviada para o Córrego da Serra, como forma de mitigar inundações (Cavalcante, 2011). Entretanto, as soluções adotadas permaneceram centradas no controle hidráulico e na viabilização da expansão urbana, desconsiderando o equilíbrio ecológico e social dos rios. A urbanização acelerada e a impermeabilização do solo ampliaram os riscos de enchentes e deslizamentos, especialmente nas encostas da Serra do Curral e nas margens do Ribeirão Arrudas (FJP, 1997). O projeto da Via Expressa Leste-Oeste, proposto ainda na década de 1970, exemplificou a utilização dos fundos de vale como corredores viários, reforçando a segregação entre cidade e curso d'água (PLAMBEL, 1986).

A partir da década de 1990, novas obras, como a canalização do Ribeirão Arrudas na Avenida Tereza Cristina (Reis, 2011) no período de 1996 e 1997, exemplificam os impactos negativos das intervenções de caráter higienista e viário sobre os cursos d'água urbanos. Os registros fotográficos da época (figura 8)

produzidos pela ativista ambiental Jeanine Oliveira<sup>11</sup>, evidenciam o transbordamento do Arrudas ainda em fase de desvio, quando as águas extravasaram os limites do canal em obras, atingindo várzeas em processo de ocupação urbana. Esse episódio revela como tais intervenções, ao invés de promoverem a integração entre cidade e rio, reforçaram a segregação e intensificaram vulnerabilidades socioambientais (Curral Del Rey, 2020).

Figura 8 -:Obras de canalização do Ribeirão Arrudas na Avenida Tereza Cristina



Fonte: Curral Del Rey, 2020.

O período mais crítico para a ocorrência de inundações em Belo Horizonte concentra-se entre novembro e março, quando a estação chuvosa intensifica o volume e a intensidade das precipitações (Cajazeiro, 2012). Nesse intervalo, episódios recorrentes de transbordamento de cursos d'água e alagamentos urbanos afetam a infraestrutura e a população, sobretudo nas áreas associadas ao Ribeirão Arrudas e seus afluentes. Registros sistematizados por Reis (2011) mostram que, entre 2009 e 2010, múltiplos eventos expressivos ocorreram em pontos estratégicos da cidade, como o Anel Rodoviário, as avenidas Amazonas, Tereza Cristina e diversas vias das regionais Oeste e Barreiro, evidenciando a vulnerabilidade permanente dessas áreas durante a estação chuvosa.

Mesmo com intervenções urbanas voltadas à melhoria da mobilidade entre 2010 e 2013, como o Projeto Boulevard Arrudas<sup>32</sup> que consistiu na cobertura do canal

---

<sup>1</sup> Jeanine Oliveira é ativista ambiental e fotógrafa, integrante do movimento Curral del Rey – Rios Invisíveis da Metrópole Mineira, que desde a década de 1990 documenta e denuncia os impactos socioambientais decorrentes das canalizações e intervenções urbanas nos cursos d'água de Belo Horizonte

<sup>2</sup> O Projeto Boulevard Arrudas, implementado entre 2010 e 2013, consistiu no encobrimento do Ribeirão

com lajes, a problemática das inundações permaneceu (Curral Del Rey, 2015). A obra, embora justificada como solução de circulação viária, acabou por priorizar o transporte individual e não contribuiu para a mitigação dos riscos hidrológicos, além de dificultar a revitalização ambiental e cultural do ribeirão. Assim, os eventos registrados em 2009 e 2010, aliados às intervenções inadequadas, reforçam o caráter estrutural do problema e a necessidade de soluções integradas e ambientalmente sensíveis para a bacia do Arrudas.

Apesar de avanços legislativos, como as Leis 7.166/1996 (Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo de Belo Horizonte) e 8.137/2000 (Lei de Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte revisada), e de investimentos recentes em obras de controle de cheias, os problemas estruturais persistem. Entre 2020 e 2024, a Prefeitura de Belo Horizonte e o governo estadual executaram intervenções em bacias de retenção nos córregos Ferrugem, Olaria, Túnel-Camarões, Bonsucesso e Jatobá, com o objetivo de reduzir transbordamentos e melhorar a drenagem urbana (Prefeitura de Belo Horizonte, 2023; Parreiras, 2024). No entanto, o Ribeirão Arrudas permanece canalizado e poluído, com escoamento acelerado e recorrentes episódios de alagamento em diversos bairros da capital. Esse histórico evidencia a dificuldade de Belo Horizonte em conciliar o crescimento urbano com a conservação ambiental e a valorização cultural de seus cursos d'água (Garcia, 2024).

Na Bacia do Arrudas, as inundações foram potencializadas pela ocupação desordenada de encostas e fundos de vale, associada à redução da cobertura vegetal e ao aterramento de nascentes e cursos d'água. Outro aspecto relevante é a canalização dos cursos d'água, que, embora tenha buscado solucionar os problemas de inundação no curto prazo, contribuiu para aumentar a velocidade do fluxo e transferir o problema para trechos à jusante conforme demonstrado por Borsagli, 2016. Essa medida, comum em várias cidades brasileiras no século XX, mostrou-se ineficaz a longo prazo e trouxe impactos ambientais severos.

Ao longo do século XX e início do XXI, Belo Horizonte enfrentou recorrentes episódios de inundações, especialmente nas áreas centrais cortadas pelo Ribeirão

---

Arrudas na área central de Belo Horizonte para criação de uma via expressa. Esta obra é frequentemente citada em estudos de drenagem urbana como um exemplo de intervenção que priorizou a mobilidade viária em detrimento da função hidrológica e ambiental do rio, reforçando a impermeabilização e a aceleração do escoamento (Curral Del Rey, 2015).

Arrudas e seus grandes afluentes, como o Córrego do Leitão e o Córrego do Acaba Mundo. Esses eventos tornaram-se progressivamente mais intensos em função da expansão urbana, da impermeabilização dos solos e da canalização de cursos d'água afluentes que alteraram significativamente o regime hidrológico da bacia (Borsagli, 2019). As inundações no município podem ser analisadas em séries históricas por décadas, revelando a persistência do problema e sua associação com o crescimento desordenado da cidade. Porém, chama a atenção o fato das áreas com maiores inundações se localizarem nas zonas a montante, no início da zona de transporte.

Entre as consequências destacam-se danos materiais, perdas humanas, proliferação de doenças e degradação ambiental, evidenciando a vulnerabilidade da população que ocupa áreas de risco (Cajazeiro, 2012, Borsagli, 2016, Reis, 2011).

Os impactos das inundações na bacia do Arrudas são múltiplos. Do ponto de vista social, destacam-se a perda de moradias, danos materiais e mortes decorrentes de enchentes súbitas. Do ponto de vista ambiental, as inundações estão associadas ao carreamento de sedimentos e resíduos sólidos, provocando assoreamento do leito do ribeirão e comprometendo a qualidade da água. Silva (2014) questiona a política de drenagem urbana que se autodenomina inclusiva e reabilitadora em estudo sobre águas urbanas e assentamentos precários em Belo Horizonte. A autora observa que os raros cursos d'água preservados em leito natural, situados nas porções mais elevadas da bacia do Arrudas, encontram-se em áreas de proteção ambiental ou em vilas e favelas. Segundo ela, a intervenção estatal rompe com os usos cotidianos e autônomos das comunidades locais, impondo espaços uniformizados e monofuncionais sob a justificativa de promover melhorias ambientais e reduzir situações de risco. A figura 9 demonstra ocupações irregulares e desordenadas, como o caso da Vila Havaí bacia hidrográfica do Córrego Cercadinho, afluente do Ribeirão Arrudas.

Figura 9 - Ocupações irregulares, como o caso da Vila Havaí bacia hidrográfica do Córrego Cercadinho, afluente do Ribeirão Arrudas e despejo de lixo e esgoto no curso d'água



Fonte: Acervo Projeto Manuelzão (UFMG), 2018

Os problemas de poluição e os riscos de inundação tornaram-se a justificativa ideal para a total artificialização dos cursos d'água, os quais também foram, em grande parte, removidos da paisagem urbana. O ocultamento dos seus cursos d'água, refletem os ideais positivistas e higienistas que os consideravam indesejáveis. Embora intervenções anteriores, como a canalização de rios e córregos, tenham desempenhado um papel fundamental na formação da infraestrutura hídrica da cidade, as demandas contemporâneas requerem uma abordagem mais sustentável. A rápida urbanização associada às mudanças climáticas amplifica os desafios relacionados a enchentes, destacando a necessidade urgente de estratégias que visem à gestão eficaz dos recursos hídricos urbanos (Oliveira et al., 2017).

As enchentes não são mais eventos esporádicos e naturais, mas sim uma consequência recorrente da diminuição da capacidade de infiltração do solo, do aumento da velocidade de escoamento das águas pluviais e da ocupação de áreas de risco, como as várzeas originais do rio, conforme apontado por Tucci (2003).

### **2.3 Drenagem Natural e Pavimentação Permeável**

A drenagem natural e a permeabilidade dos solos são conceitos fundamentais na hidrologia e no planejamento urbano, especialmente para garantir a sustentabilidade de uma cidade. O ciclo da água em áreas naturais funciona por meio da infiltração da água da chuva no solo, que é facilitada pela presença de vegetação e por camadas de matéria orgânica húmica (Six et al 2000). Em ambientes urbanos,

no entanto, a crescente impermeabilização do solo devido à pavimentação e à construção de edifícios interrompe esse processo, levando a um aumento significativo do escoamento superficial. Essa interrupção não só eleva o risco de enchentes e inundações, mas também compromete a recarga dos aquíferos subterrâneos, que são uma fonte vital de água doce para a população. A compreensão e o manejo da permeabilidade dos solos tornam-se, portanto, essenciais para mitigar os impactos ambientais negativos da urbanização, promovendo a resiliência hídrica e a qualidade ambiental dos centros urbanos.

O solo desempenha um papel crucial no sequestro de carbono. As substâncias húmicas, formadas a partir da decomposição da matéria orgânica, representam o estoque definitivo de carbono no solo, superando o volume armazenado na biomassa aérea das plantas em mais de quatro vezes (Amaral et al. 2017). A presença dessas substâncias contribui para a fertilidade do solo, favorece o crescimento vegetal e melhora as propriedades físicas do solo, como a agregação e o equilíbrio da porosidade (Six et al. 2000 ; Kimura et al. 2017). Essa estrutura aprimorada resulta em uma drenagem mais eficiente, controlando a erosão e ajudando na manutenção dos aquíferos.

A permeabilidade do solo e a presença de vegetação, como gramados e florestas urbanas, são cruciais para a mitigação de problemas urbanos como inundações e enchentes. Estudos demonstram que superfícies permeáveis, como solos gramados, possuem as maiores taxas de infiltração de água da chuva, enquanto as superfícies pavimentadas, como o concreto, resultam em alto escoamento superficial (Tucci, 2003, Holtz, 2011). A manutenção da permeabilidade do solo permite a recarga de aquíferos e reduz o volume de água que sobrecarrega os sistemas de drenagem, sendo um componente vital para a resiliência hídrica de uma cidade (Faria, 2020).

Os diferentes tipos de cobertura do solo apresentam variações consideráveis em sua capacidade de infiltração e armazenamento hídrico (Medeiros et al. 2023.) Áreas vegetadas permitem maior percolação da água no solo, contribuindo para a recarga dos lençóis freáticos e a regulação do escoamento superficial. A vegetação com árvores e arbustos desempenha papel importante na evapotranspiração,

reduzindo o volume de água acumulado no solo e nos canais de drenagem (Holtz, 2011; Pompeo, 2000; Virgillis, 2009).

Segundo Terzaghi e Peck (1967), os valores do coeficiente de permeabilidade (k) variam de acordo com o tipo de solo, refletindo diretamente sua granulometria e composição. Materiais mais grossos, como a brita, apresentam elevada capacidade de infiltração, ao passo que solos finos, como a argila, tendem a ser praticamente impermeáveis. Entre esses dois extremos, destacam-se solos com permeabilidades intermediárias, como as areias, que possuem valores médios a baixos, e os siltes, cuja permeabilidade é considerada muito baixa. Essa classificação, tabela 01, é de grande relevância para as áreas de geotecnia, hidráulica e drenagem urbana, pois determina o comportamento do solo diante do escoamento e infiltração da água.

Tabela 1 - Classificação da permeabilidade do solo

Tipo de solo	Coeficiente de permeabilidade k (m/s)	Grau de permeabilidade
Brita	$> 10^{-3}$	Alta
Areia de brita, areia limpa, areia fina	$10^{-3}$ a $10^{-5}$	Média
Areia, areia suja e silte arenoso	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	Baixa
Silte, silte argiloso	$10^{-7}$ a $10^{-9}$	Muito baixa
Argila	$< 10^{-9}$	Praticamente impermeável

Fonte: Terzaghi e Peck (1967) e Jabur (2013), adaptado pelo autor, 2025.

Caputo (2008) ressalta que o coeficiente de permeabilidade dos diferentes tipos de solo é fortemente influenciado pela temperatura e pelo índice de vazios. A elevação da temperatura aumenta a velocidade de infiltração, em função da redução da viscosidade da água. Já em relação ao índice de vazios, alguns parâmetros precisam ser cuidadosamente controlados para que a determinação da capacidade de infiltração de um sistema seja precisa.

### 2.3.1 Pavimentos Permeáveis

Diversos estudos têm investigado a condutividade hidráulica de diferentes tipologias de pavimentos permeáveis. Li et al. (2023) analisaram a relação entre a estrutura do sistema poroso e o desempenho hidráulico e mecânico do concreto permeável, enquanto Scholz e Grabowiecki (2007) revisaram a evolução e os métodos

de ensaio desses sistemas. Pesquisas recentes, como as de Goh et al. (2022) e Yang et al. (2023), abordaram o desempenho de misturas asfálticas porosas, considerando sua durabilidade e os valores típicos de permeabilidade.

No contexto brasileiro, Virgillis (2009) examinou o potencial de infiltração de diferentes revestimentos, como concreto asfáltico convencional e poroso, destacando a importância da escolha adequada do material para mitigar enchentes urbanas. Ainda no país, Savi et al. (2017) avaliaram a infiltração in situ de pavimentos permeáveis, enquanto Oliveira e Rezende (2019) realizaram ensaios comparativos entre concreto asfáltico poroso e blocos intertravados, analisando taxas de infiltração e perda de capacidade ao longo do tempo. Complementando essas investigações, Zheng et al. (2021) e Li et al. (2020) estudaram a condutividade hidráulica e os mecanismos de entupimento de asfaltos permeáveis, sugerindo ajustes granulométricos e técnicas de manutenção preventiva.

Segundo Scholz e Grabowiecki (2007), os pavimentos permeáveis (PPS), como concreto poroso, blocos intertravados e asfalto poroso, integram os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) e apresentam vantagens significativas em comparação com superfícies impermeáveis. Eles reduzem o escoamento superficial e os picos de vazão em até 42%, aumentam o tempo de detenção, favorecem a recarga de aquíferos e atuam como barreiras e biorreatores in situ, capazes de reter e degradar poluentes como hidrocarbonetos, metais pesados e nutrientes (nitrogênio e fósforo). Contudo, os PPS exigem manutenção para evitar entupimentos e podem ter vida útil menor em função da sedimentação, diferentemente das superfícies impermeáveis, mais duráveis estruturalmente, mas sem benefícios hidrológicos (Scholz e Grabowiecki, 2007).

Os pavimentos permeáveis configuram-se, portanto, como alternativa sustentável para mitigar os impactos da impermeabilização, permitindo a infiltração da água da chuva por estruturas porosas ou juntas abertas (ABCP, 2016). Tipos como blocos intertravados, concreto permeável, blocos vazados e grelhas vegetadas contribuem tanto para o controle do escoamento quanto para a melhoria da qualidade das águas pluviais.

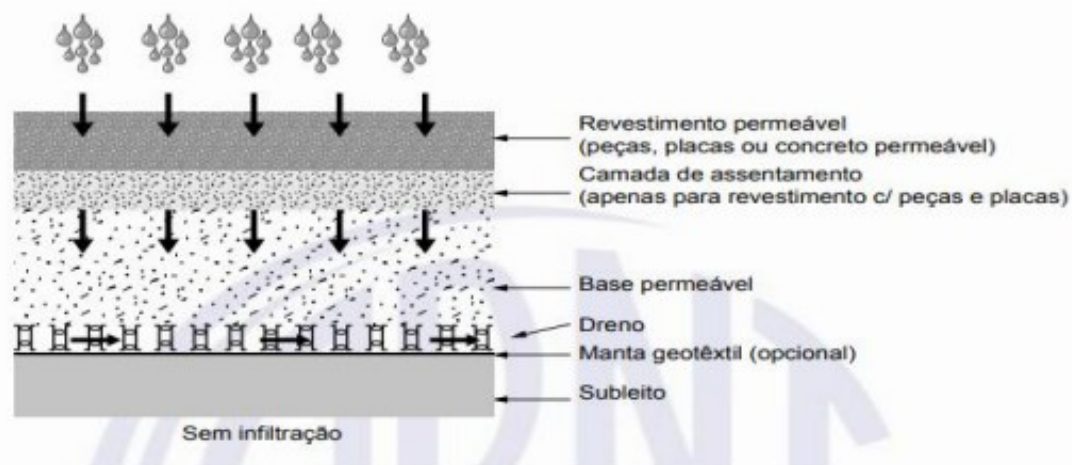
A técnica de concretos asfálticos porosos é relativamente recente, pois os

pavimentos tradicionalmente priorizavam a impermeabilização. A partir do final da década de 1970, na Europa e na América do Norte, a conjugação entre requisitos de segurança viária e a necessidade de mitigar impactos hidrológicos impulsionou estudos experimentais, levando à adoção operacional nos anos 1980 (Baptista & Nascimento, 2005). No Brasil, Virgillis (2009) destacou que, inicialmente, o uso de pavimentos permeáveis esteve restrito a áreas de baixo tráfego, como estacionamentos e ruas locais, mas gradualmente expandiu-se para vias de maior intensidade, como observado em Bordeaux, na França.

Em seus experimentos, Virgillis (2009) testou o Concreto Asfáltico Permeável do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA), aplicado em estacionamento, obtendo índice de permeabilidade de 0,4 cm/s e volume de vazios de 20,1%. Outro ensaio utilizou peças pré-moldadas de concreto poroso (PPCs), que apresentaram índice de permeabilidade de 0,5 cm/s e resistência à compressão de 25 MPa aos 28 dias. Nesse caso, os blocos intertravados foram assentados sobre berço de areia grossa, protegido por manta geotêxtil de 300 g/m<sup>2</sup>, solução recomendada para evitar carreamento de partículas finas.

A preparação adequada da base é fator decisivo para o desempenho e a durabilidade dos PPS. De acordo com Scholz e Grabowiecki (2007), o processo deve começar com a escavação e compactação controlada do subleito, seguido da aplicação de uma camada granular livre de finos, que funcione como suporte estrutural e reservatório de água. Quando o solo subjacente apresenta baixa condutividade hidráulica, pode-se incluir drenos subterrâneos para auxiliar o escoamento. Para sistemas de blocos intertravados, adiciona-se uma camada intermediária de areia grossa ou pedrisco, livre de partículas finas, para nivelamento e infiltração pelas juntas (Oliveira e Rezende, 2019; Savi et al., 2017). A limpeza do local durante a execução é fundamental para evitar contaminação das camadas com sedimentos. Scholz e Grabowiecki (2007) ressaltam que falhas nessa etapa são uma das principais causas de perda precoce de desempenho hidráulico e estrutural. Assim, a execução cuidadosa e conforme as especificações técnicas é essencial para que os pavimentos permeáveis cumpram seu papel de mitigar enchentes urbanas e melhorar a qualidade da água. A figura 10, a seguir, representa um corte esquemático de um pavimento permeável.

Figura 10 - Layout esquemático típico de um sistema de pavimento permeável



Fonte: Adaptado de Scholz e Grabowiecki (2007).

A vida útil dos pavimentos permeáveis tende a ser inferior à dos pavimentos convencionais impermeáveis, com estimativas variando entre 15 a 35 anos, embora o entupimento possa ocorrer em períodos mais curtos, entre 5 e 10 anos de uso (Kia, 2017; Hung, 2021). O baixo desempenho desses sistemas está diretamente associado à ausência de manutenção periódica, o que favorece o acúmulo de sedimentos nos vazios, reduzindo gradativamente sua eficiência hidráulica e encurtando sua durabilidade. Pesquisas apontam que, em um intervalo de aproximadamente dez anos, esses pavimentos podem perder grande parte de sua capacidade de infiltração devido à obstrução por partículas sólidas. Nesse contexto, a adoção de técnicas adequadas de manutenção torna-se essencial para a recuperação da funcionalidade. Entre as práticas mais eficazes destacam-se o uso de varredores de ar regenerativos, capazes de restabelecer taxas de infiltração próximas a 100%. Outras estratégias, como a aplicação de jatos de água sob alta pressão e a escovação mecânica, também apresentam resultados positivos na restauração da permeabilidade (Winston, 2016).

No Brasil, em 2015, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estabeleceu a norma NBR 16.416, definindo os critérios para pavimentos intertravados permeáveis. Segundo a norma, para serem considerados permeáveis, esses pavimentos devem ter um coeficiente de permeabilidade superior a  $10^{-3}$  m/s e uma espessura mínima. A classificação do coeficiente de permeabilidade pode ser

verificada na tabela 02 a seguir.

Tabela 2 - Coeficiente de permeabilidade dos pisos drenantes segundo a Norma ABNT NBR 16416 – ABCP

<b>Permeabilidade</b>	<b>Classificação</b>	<b>k (m/s)</b>
Pavimentos permeáveis	Muito alta	$> 10^{-3}$
	Alta	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
	Baixa	$10^{-6}$ a $10^{-7}$
Pavimentos impermeáveis	Muito baixa	$10^{-7}$ a $10^{-8}$
	Baixíssima	$< 10^{-8}$

Fonte: Adaptado de Silva (2017).

## 2.4 O Papel Ecológico da Vegetação Ripária

As inúmeras consequências das canalizações e extensiva impermeabilização do solo do ambiente urbano pode ser mitigada através de estratégias de SBN. A infraestrutura verde nas cidades é fundamental para a regulação hídrica assegurando a permeabilidade assim como a térmica urbana. A rápida expansão urbana nos países em desenvolvimento intensifica os desafios de conciliar crescimento e preservação ambiental, especialmente nas margens de corpos hídricos, onde se localizam as matas ripárias, fundamentais para o equilíbrio ecológico (Medeiros, 2023; Fonseca et al. 2026). A urbanização, ao promover a canalização de rios, a impermeabilização do solo e a supressão dessas faixas vegetadas, compromete a infiltração, o armazenamento de água e o funcionamento das bacias hidrográficas, resultando em impactos que exigem medidas mitigadoras dispendiosas (Felicio e Silva, 2009).

Historicamente, os rios exerceram papel central na formação das cidades, mas a industrialização distanciou a relação sociedade–rio, promovendo canalizações e a perda de vegetação ciliar (Felicio & Silva, 2009). Em resposta, surgiram jardins, parques e bulevares arborizados, consolidando a arquitetura da paisagem como campo dedicado a integrar processos naturais ao espaço urbano. Nesse contexto, as matas ripárias assumem funções essenciais, como regulação hidrológica, estabilização das margens, filtragem de poluentes e manutenção da conectividade ecológica, sendo indispensáveis para a resiliência climática e hídrica urbana (Medeiros, 2023; Fonseca et al. 2026).

Os parques lineares, caracterizados por sua forma alongada e moldados pela geografia dos corpos d'água, têm se multiplicado no Brasil como instrumentos de reabilitação ambiental e criação de novos espaços verdes (Macedo, 2012). Quando articulados às matas ripárias, esses parques funcionam como corredores ecológicos que conectam fragmentos naturais, ampliam a biodiversidade e fortalecem a capacidade de adaptação das cidades às mudanças climáticas (Medeiros, 2024). Internacionalmente, o conceito se relaciona diretamente ao de corredores verdes, definidos como estruturas lineares voltadas à preservação e restauração ambiental em áreas urbanas e rurais (Flink e Searns, 1993; Giordano, 2000).

Ahern (1995) destaca cinco princípios centrais para a eficácia dos corredores verdes: forma linear, capacidade de conexão ecológica, multifuncionalidade, alinhamento ao desenvolvimento sustentável e planejamento como sistema integrado. Esses corredores fortalecem redes ecológicas ao conectar parques e áreas naturais, principalmente em territórios densamente ocupados (Smith e Hellmund, 1993). Estudos reforçam sua relevância na manutenção da biodiversidade, do ciclo hidrológico e na integração entre desenho urbano e processos naturais (Frischenbruder e Pellegrino, 2006; Saraiva et al., 1995; Brocaneli, 2007).

Dessa forma, matas ripárias, parques lineares e corredores verdes constituem elementos fundamentais da infraestrutura ecológica urbana, promovendo conservação ambiental, resiliência climática e melhoria da qualidade de vida. Sua capacidade de conectar ecossistemas, favorecer a permeabilidade, regular fluxos hídricos e aproximar a população da natureza evidencia que sua implementação não é apenas uma estratégia desejável, mas uma necessidade estrutural diante dos desafios contemporâneos da urbanização e das mudanças climáticas.

A vegetação, em especial as árvores, resfria o ambiente por meio da evapotranspiração e do sombreamento, com a eficácia do resfriamento sendo maior em grandes áreas verdes (Gioia et al., 2014) e na presença de árvores (Jiao et al., 2017). Na gestão hídrica, a vegetação contribui para a retenção da água no solo, reduzindo o escoamento superficial (Six et al. 2000). Complementando, a infraestrutura azul oferece soluções naturais para a gestão da água, regulando o escoamento pluvial e prevenindo enchentes.

Nesse contexto, a vegetação urbana, especialmente as árvores inseridas no espaço público, desempenha papel fundamental na mitigação de inundações, ao contribuir para a infiltração da água no solo, reduzir o escoamento superficial e regular o microclima. Espécies adaptadas a ambientes úmidos e ripários, como as do gênero *Ficus*, vêm sendo reconhecidas por sua alta capacidade de retenção hídrica, além de oferecerem múltiplos serviços ecossistêmicos, como sombreamento, filtragem de poluentes e suporte à biodiversidade urbana (Barros, 2021).

No século XX, a gestão fluvial evoluiu para incluir estratégias de restauração, buscando devolver aos rios suas características naturais para mitigar os danos de canalizações. Um exemplo notável dessa mudança de paradigma é o projeto de revitalização do canal Cheonggyecheon, em Seul, que transformou uma via expressa em um parque linear, restaurando o curso natural do rio e melhorando a qualidade de vida da população (Lima, 2018).

Já o caso do Rio Medellín, na Colômbia, que enfrentou um processo de intensa degradação ambiental no século XX devido à urbanização, descarte de efluentes e ocupação desordenada de suas margens (Londoño, 2018). Em resposta a esses problemas, a cidade implementou um plano de recuperação que focou na revitalização ecológica, na gestão hídrica e na integração urbana. As principais ações incluíram a construção de estações de tratamento de esgoto e a requalificação das margens com a criação de um parque linear e a integração do rio com o sistema de mobilidade. Como resultado, houve uma melhora significativa na qualidade da água, a redução dos riscos de enchentes e o aumento da acessibilidade aos espaços públicos. A experiência de Medellín é apresentada como um modelo de sucesso, reforçando a importância da integração da infraestrutura urbana com a ecossistêmica para a sustentabilidade e a qualidade de vida (FIGURA 11).

Figura 11 - Revitalização do canal Cheonggyecheon, em Seul, e a revitalização do Rio Medellín, na Colômbia



Fonte: Adaptado de Lima (2018) e Bienal Internacional de *Paisatge* Barcelona (2019).

Exemplo bem próximo é recuperação de nascentes urbanas na ocupação Vitoria em Belo Horizonte (Fonseca et al. 2026) envolvendo soluções SBN com reconstrução de canais, barraginhas e floresta riparia.. Esses projetos demonstram como a revitalização de rios urbanos é uma estratégia eficaz e viável para a criação de cidades mais sustentáveis e resilientes.

Por fim, essas intervenções refletem como a integração de áreas verdes e azuis, conforme defendem Livesley, McPherson e Calfapietra (2016), traz uma série de benefícios, como a conservação de energia, o sequestro de carbono e a redução da poluição, além de melhorar o bem-estar e a qualidade de vida da população.

#### **2.4.1 Arborização Urbana**

Segundo Bell et al. (2005) enfatizou que a presença de árvores e áreas verdes oferece uma experiência contrastante e positiva, essencial para a qualidade de vida urbana. Árvores bem manejadas são fundamentais para sustentar a qualidade de vida, permitindo que as cidades sejam sustentáveis e agradáveis. Elas são elementos importantes da natureza urbana, proporcionando prazer estético e criando ambientes agradáveis para atividades ao ar livre. Tyrväinen et al. (2005) argumentam que a arborização melhora a qualidade do ar, reduz a exposição aos raios ultravioleta e incentiva um estilo de vida mais ativo, promovendo a saúde física e mental dos moradores urbanos. Além disso, Higuera (1997) argumenta que os elementos vegetativos são os melhores protetores de espaços livres, pois mantêm o equilíbrio ambiental e melhoram a qualidade do ar. Elas proporcionam sombreamento, promovendo o resfriamento do ar nas áreas sombreadas e também contribuem para

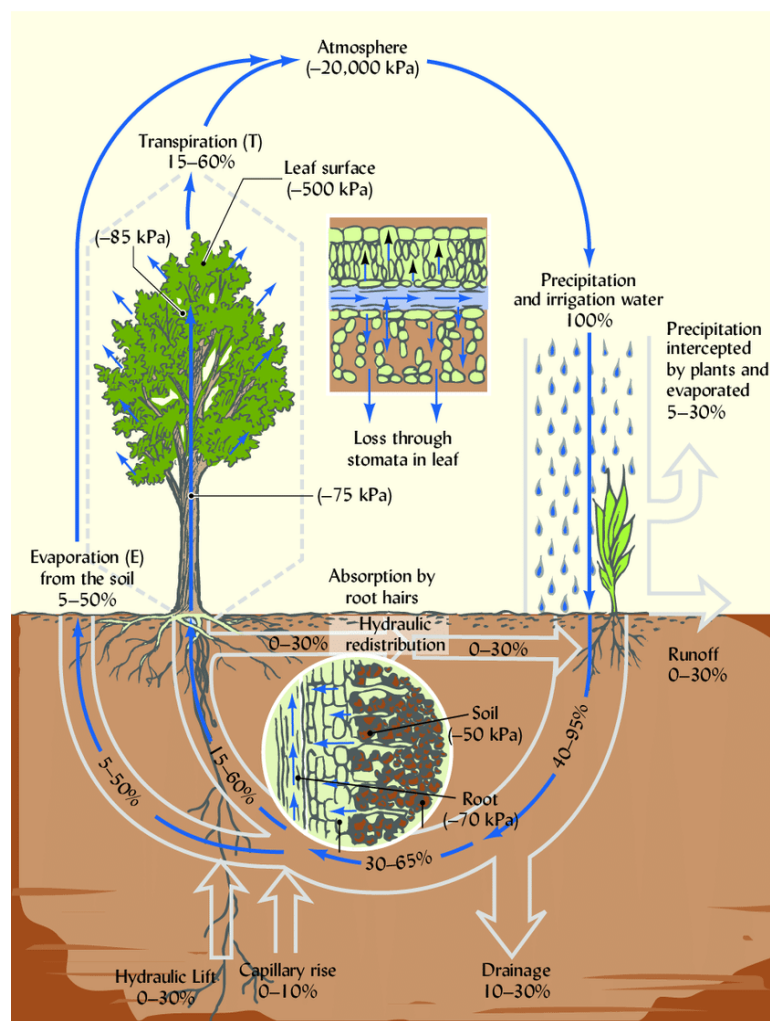
a redução do consumo de energia elétrica, fornecendo sombra e reduzindo a necessidade de ar-condicionado (McPherson e Simpson, 2003).

A principal função das espécies arbóreas está relacionada como o ciclo hídrico e permeabilidade solo (Kimura et al. 2017). A urbanização aumenta o pico de vazão durante eventos de chuva, mas as árvores podem reduzir o escoamento superficial e aliviar a tensão no sistema de drenagem urbana (Tyrväinen et al., 2005). A regulação atmosférica pelas árvores urbanas inclui a liberação de gases como oxigênio e ozônio, a redução de toxinas aéreas, o sequestro de gases de efeito estufa e a purificação do ar. Essas funções são essenciais para a saúde ambiental e humana, destacando a importância da arborização urbana para a sustentabilidade e qualidade de vida nas cidades (City of Seattle, 2007; Cotrone, 2008).

As árvores urbanas são eficazes em reduzir escoamento superficial e melhorar a infiltração de água. Elas também ajudam a reduzir concentrações de poluentes gasosos e particulados (Dochinger, 1980; Hodges e Court, 2019), e algumas espécies de árvores contribuem para a formação de ozônio (Nowak, 2006, Norton, 2015). Árvores podem reduzir a poluição do solo e da água, mas também podem contribuir para a poluição atmosférica emitindo compostos orgânicos voláteis que formam ozônio (Chameides et al., 1992; Calfapietra et al., 2013). Por outro lado, estudos mostram que a fotossíntese das árvores urbanas pode compensar parcialmente as emissões de CO<sub>2</sub> de fontes antrópicas (Park e Schade, 2016).

De fato, as árvores são elementos centrais na funcionalidade do ciclo hídrico, operando através do sistema conhecido como continuum solo-planta-atmosfera (Brady; Weil, 2008). Este sistema é ilustrado na figura 12 de Brady e Weil (2008), onde a água das precipitações pode ser interceptada no solo e escoada superficialmente (0 a 30%), dependendo do tipo de solo. Entre 5 a 50% dessa água sofre o processo de evapotranspiração retornando à atmosfera através da vegetação, especialmente a arbórea.

Figura 12 - Continuum solo-planta-atmosfera e os gradientes de potencial hídrico envolvidos no transporte de água desde o solo até a liberação na atmosfera



Fonte: Brady; Weil, 2008, p. 19, adaptado pelo autor, 2025.

As árvores são capazes de estabelecer um gradiente de potencial hídrico entre o solo e a atmosfera, movimentando a água do sistema radicular (cerca de  $-70$  kPa) até as folhas (cerca de  $-500$  kPa). Esse processo cria um continuum solo-planta-atmosfera, essencial para o reabastecimento atmosférico de umidade e a regulação climática local. Somente espécies arbóreas conseguem realizar esse processo de forma efetiva, o que torna sua presença indispensável para a manutenção da umidade do solo, regulação do lençol freático, emergência de nascentes e a sustentação da produtividade vegetal (Brady; Weil, 2008).

A fertilidade do solo, relacionada à matéria orgânica, favorece a formação de poros e a ascensão capilar da água, elementos igualmente fortalecidos pela presença

de vegetação arbórea. Assim, as árvores desempenham papel vital na estabilidade hídrica, na recarga de aquíferos e especialmente na manutenção dos níveis do lençol freático regulando os eventos de inundação (Brady; Weil, 2008).

#### **2.4.2 Florestas Urbanas**

As florestas urbanas, conceito surgido no Canadá na década de 1960, correspondem a áreas compostas por cobertura arbórea nativa ou implantada em meio urbano, variando desde pequenos núcleos vegetados até grandes parques (IPT, 2016). A definição varia internacionalmente: nos Estados Unidos, abrange qualquer fragmento florestal em cidades, enquanto, na Alemanha, refere-se apenas às florestas nativas inseridas ou próximas dos centros urbanos (IPT, 2016). Essas áreas configuram uma malha verde que se integra ao ambiente construído.

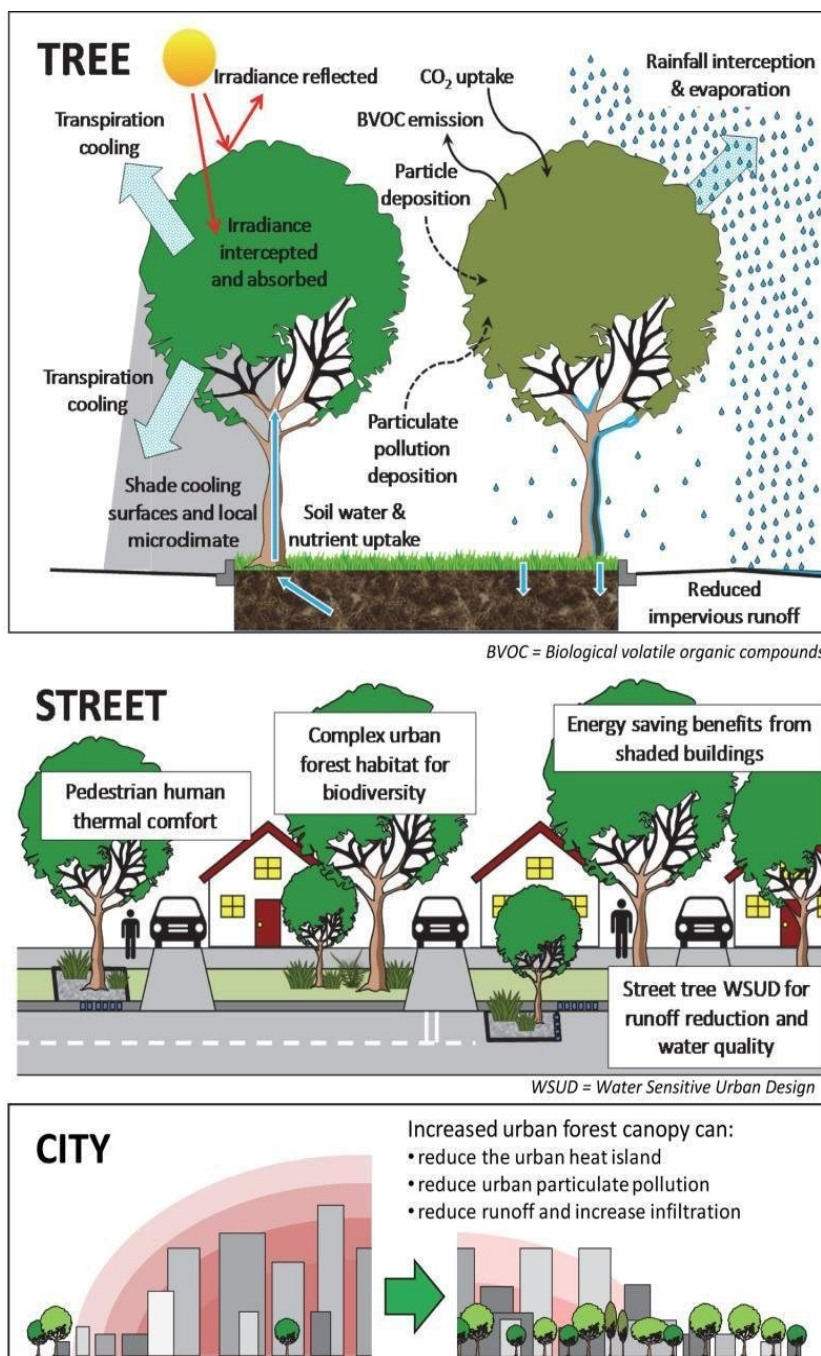
A relevância das florestas urbanas se evidencia pela oferta de múltiplos serviços ecossistêmicos, especialmente aqueles ligados à regulação climática, hídrica e à conservação dos solos. Forman (1995) entende as cidades como mosaicos ecológicos formados por matrizes, fragmentos, corredores e bordas, cuja conectividade é determinante para o equilíbrio ambiental. Nesse sentido, as florestas urbanas atenuam impactos da urbanização, como impermeabilização do solo e aumento das temperaturas, ao promover evapotranspiração, infiltração e redução do escoamento superficial (Mota; 1981; Kimura et al. 2017).

Além disto são responsáveis no sequestro e armazenamento de carbono, tanto na vegetação quanto no solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Balée, 1989). A eficiência desse processo está ligada à integridade e à maturidade sucessional das florestas, que favorecem o acúmulo de biomassa e substâncias húmicas. Tais componentes do solo aumentam sua fertilidade e capacidade de retenção hídrica, fortalecendo o balanço hídrico subterrâneo e, conseqüentemente, a resiliência ambiental urbana (Six et al, 2000).

O funcionamento pleno do ciclo do carbono está diretamente relacionado ao ciclo hidrológico, pois a decomposição da matéria vegetal resulta na matéria orgânica húmica responsável pela porosidade e portanto pela infiltração e redução dos impactos das chuvas intensas. (Bonam, 2008; Trevisan et al., 2010). A urbanização, marcada pela compactação do solo e supressão de vegetação nativa, compromete a

formação de poros do solo e conseqüentemente a infiltração e permeabilidade propiciando os riscos de enchentes e escassez de água (Balée, 1989; Bonam, 2008). Assim, as florestas urbanas constituem infraestrutura verde essencial para a mitigação de eventos extremos, como alagamentos e inundações. As diferentes escalas de serviços ecossistêmicos de uma floresta urbana estão representadas pela figura 13.

Figura 13 - Serviços ecossistêmicos da floresta urbana em diferentes escalas



Fonte: Livesley, McPherson e Calfapietra (2016)

As florestas urbanas configuram-se como elementos estruturantes das cidades contemporâneas, ao conciliarem conservação ambiental, bem-estar humano e planejamento urbano sustentável. Sua relevância não se limita à estética ou à recreação: elas são peças fundamentais na manutenção dos ciclos naturais, especialmente no que tange à regulação hídrica.

A cobertura florestal urbana contribui de forma decisiva para o balanço hídrico ao favorecer a infiltração da água, reduzir a impermeabilização do solo e mitigar o escoamento superficial, funções críticas diante do aumento das chuvas intensas e da frequência de eventos extremos relacionados às mudanças climáticas. Como infraestrutura natural, essas áreas vegetadas representam soluções baseadas na natureza altamente eficazes para o controle de enchentes, a prevenção de alagamentos e a conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Potencial de inundação da Bacia do Arrudas**

Para este estudo foi elaborado mapa de suscetibilidade a inundações da bacia do Ribeirão Arrudas, utilizou-se o modelo *HAND*<sup>3</sup> (*Height Above Nearest Drainage*) em ambiente *QGIS*. O procedimento foi realizado a partir de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), gerado com base em imagens *ALOS PALSAR* (resolução espacial de 10 m), que permitiram representar com maior precisão a topografia local e identificar áreas sujeitas ao acúmulo de água. O *HAND* reclassifica o relevo segundo sua altura relativa ao curso d'água, possibilitando a definição de zonas com diferentes graus de suscetibilidade a inundações.

As classes foram organizadas em quatro categorias: alta suscetibilidade ( $\leq 1,83$  m), média (1,82–3,66 m), baixa (3,66–5,5 m) e não inundável ( $> 5,5$  m), conforme a metodologia proposta por Goerl, Michel e Kobiyama (2017) O mapa gerado foi confrontado com a camada de áreas de risco de inundação disponibilizada pelo *BH Maps* (PBH), permitindo a validação espacial das zonas críticas e a comparação entre

---

<sup>3</sup> O modelo *HAND* é uma ferramenta para o mapeamento preditivo de inundações, pois reclassifica a elevação do terreno em função da altura relativa ao curso d'água mais próximo (Goerl, Michel e Kobiyama, 2017).

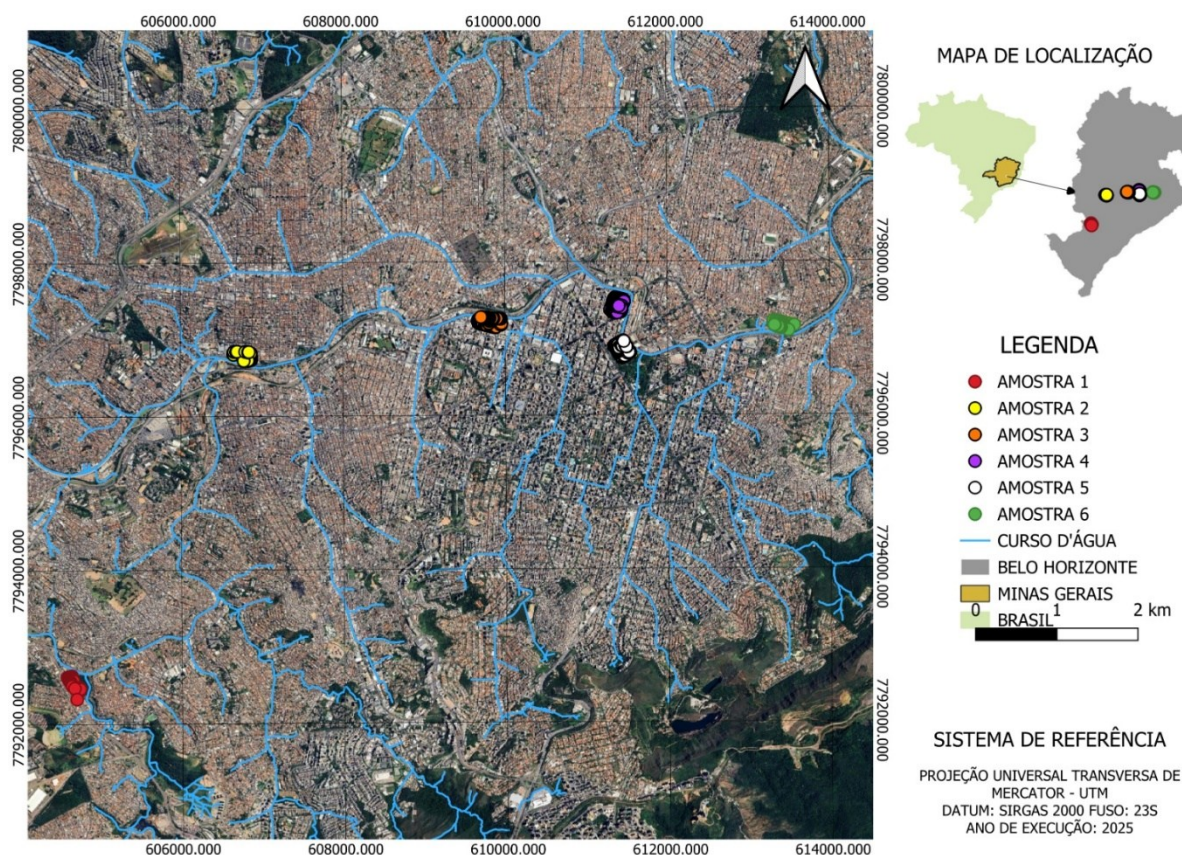
as áreas previstas pelo modelo e as manchas oficiais de inundação do município.

A partir de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), em ambiente *QGIS*, foi gerado mapa com base em imagens *ALOS PALSAR* (resolução espacial de 10 m) o (MDEHC) da Bacia do Arrudas e reclassificado por tabela e categorizado em 3 zonas geomorfológicas segundo descrito por Burt (1996). As altitudes de 1424 a 950m foram classificadas como zona de Produção ou Nascentes, de 950 a 820m como zona a de Transferência e de 820 a 670m como zona de sedimentação ou deposição.

### **3.2 Delineamento Experimental: Amostragem das áreas inundáveis e não inundáveis**

A partir da mancha oficial de inundação disponibilizada pelo portal do *BH Maps* (PBH), foi possível separar as áreas com alto risco de inundação daquelas com baixo risco de inundação. Foram escolhidas 3 áreas representativas de cada impacto (FIGURA 14). Todas as amostras foram escolhidas em setores situados próximos às margens do Ribeirão Arrudas, de modo a garantir a representatividade das condições de ocupação urbana na bacia. Cada amostra foi delimitada por polígonos georreferenciados em ambiente SIG (*QGIS*), registrando-se as coordenadas centrais, área total (m<sup>2</sup>), perímetro (m) e extensão da mancha de inundação no caso das amostras inundáveis.

Figura 14 - Localização das 06 amostras ao longo da Bacia do Arrudas em Belo Horizonte

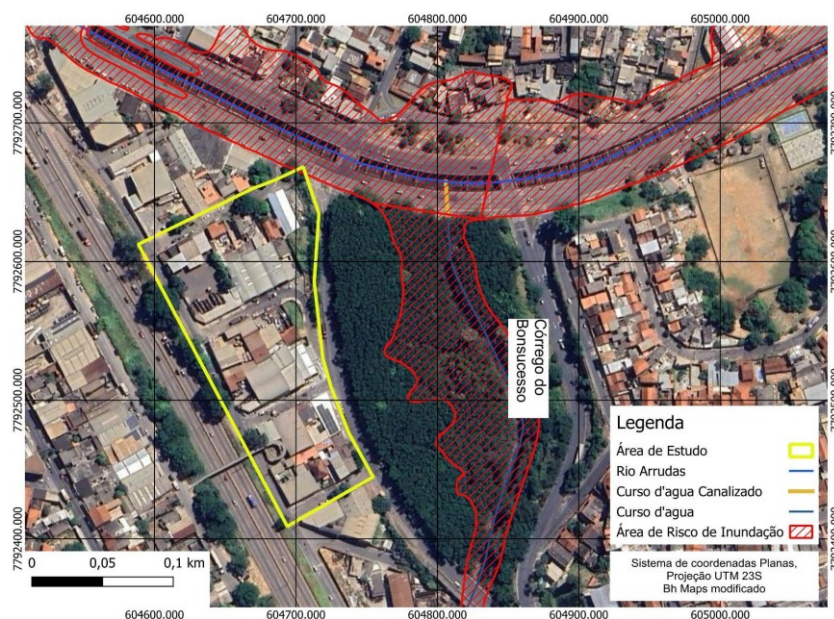


Fonte: Elaborado pelo autor e Fonseca, 2025.

### 3.2.1 Descrição das áreas amostrais (*Plots*):

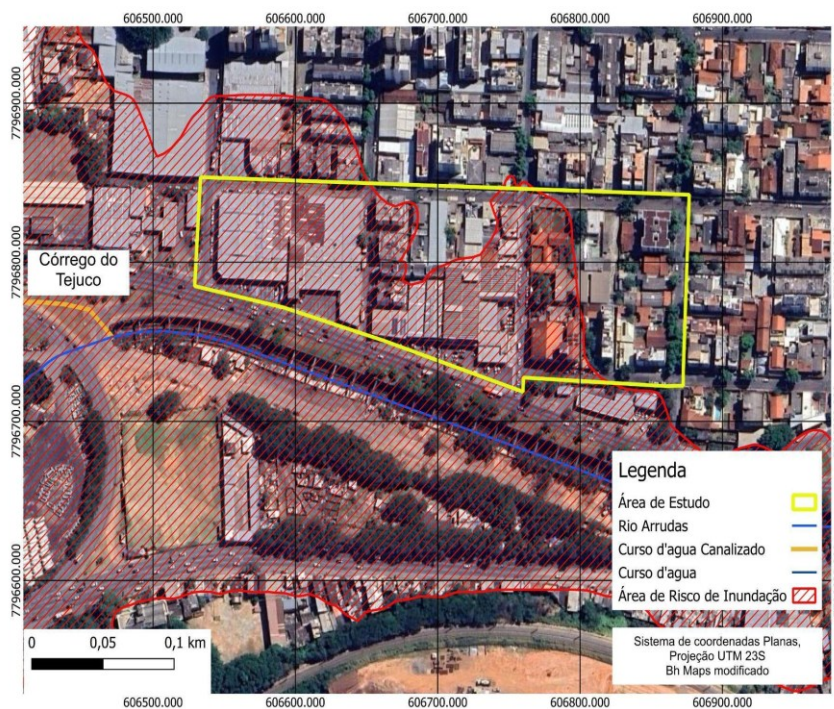
As áreas susceptíveis a inundação corresponde a trechos dos bairros das Indústrias, Padre Eustáquio e Barro Preto, enquanto as amostras com menor grau de susceptibilidade à inundação foram selecionadas nos bairros Centro, Parque Municipal Américo Renné Gianetti e Santa Tereza. Cada amostra está representada nas figuras 15 a 20 a seguir e as áreas amostradas estão em destaque nos polígonos amarelos com destaque para o ribeirão Arrudas e sua mancha de inundação assim como de seus tributários.

Figura 15 - Amostra 01, área de risco de inundação no bairro das Indústrias em Belo Horizonte



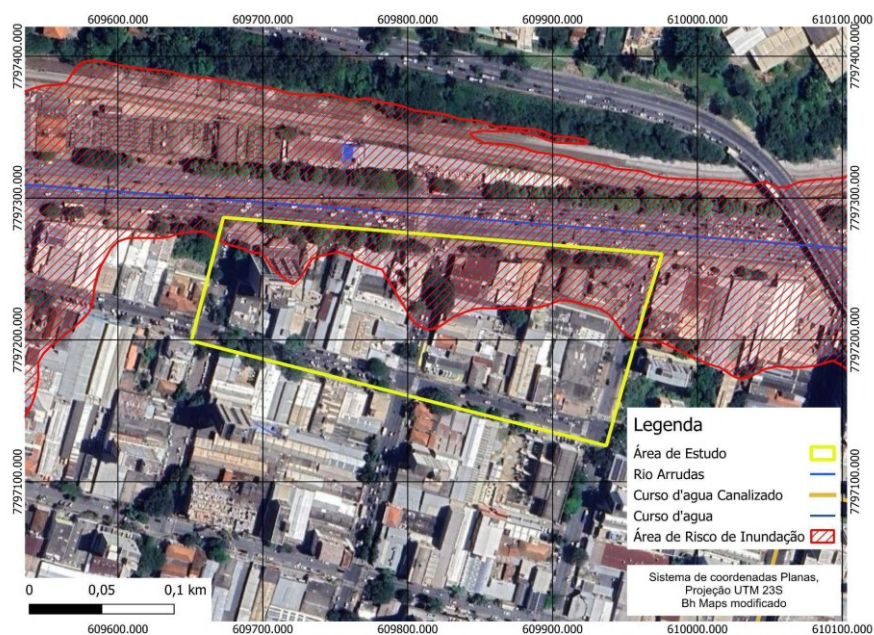
Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2025.

Figura 16 - Amostra 02, área de alto risco de inundação no bairro Padre Eustáquio em Belo Horizonte



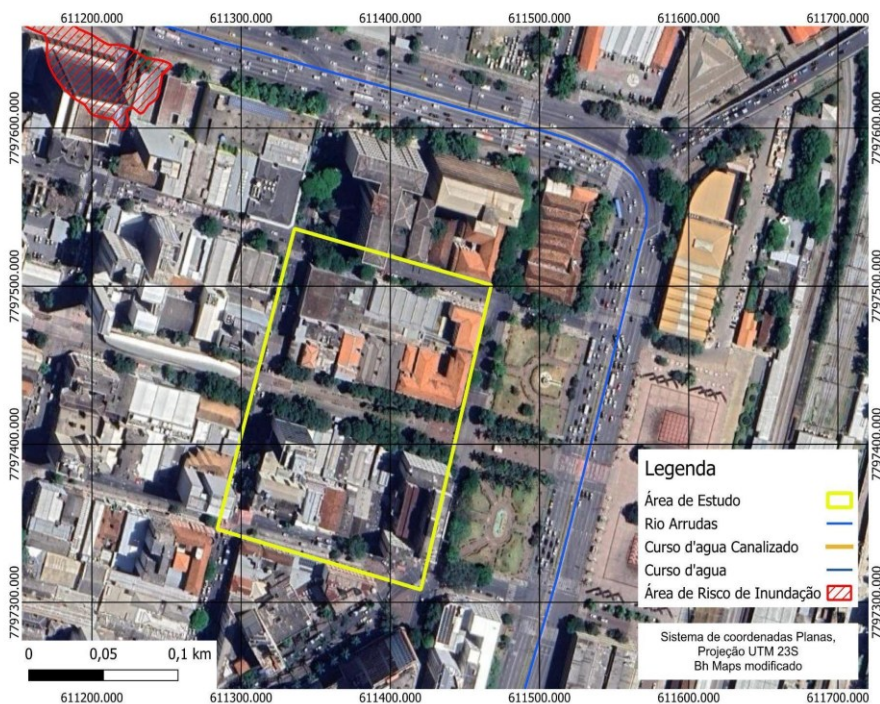
Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2025.

Figura 17 - Amostra 03, área de alto risco de inundação no bairro Barro Preto em Belo Horizonte



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2025.

Figura 18 - Amostra 04, área de baixo risco de inundação no Centro de Belo Horizonte



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2025.

Figura 19 - Amostra 05, área de baixo risco de inundação no Parque Municipal Américo Renné Giannetti no Centro de Belo Horizonte



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2025

Figura 20 - Amostra 06, área de baixo risco de inundação no bairro Santa Tereza em Belo Horizonte



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, 2025

Nas tabelas 03 e 04 estão apresentadas as informações sobre localizações georreferenciadas, as dimensões de cada área sujeita a inundação (TABELA 3) e aquelas com menor risco de inundação (TABELA 4) com inclusão das ruas amostradas.

Tabela 3 - Amostras com alto risco de Inundação

AMOSTRA 1						
Latitude	Longitude	Ruas	Bairro	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Área de Inundação (m <sup>2</sup> )
19°57'34.78"S	43°59'57.43"O	EMILIA BROCHADO	Das Indústrias	20.767.994,0	662,1	15,5
19°57'36.80"S	44° 0'1.76"O	DAMAZIO BROCHADO				
19°57'38.77"S	44° 0'0.10"O	HELENA BROCHADO				
19°57'38.37"S	43°59'57.06"O	ELIZEU RESENDE				
19°57'39.95"S	43°59'57.05"O	PETRINA BROCHADO				
19°57'42.15"S	43°59'56.19"O	PADRE MACHADO				
AMOSTRA 2						
Latitude	Longitude	Ruas	Bairro	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Área de Inundação (m <sup>2</sup> )
19°55'21.68"S	43°58'51.64"O	ANCHIETA	PADRE EUSTÁQUIO	38.945.636,0	893,9	23.187.344,0
19°55'22.77"S	43°58'48.25"O	PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHEK				
19°55'18.57"S	43°58'51.38"O	VER. GERALDO PEREIRA				
19°55'18.94"S	43°58'47.78"O	HENRIQUE GORCEIX				
19°55'22.31"S	43°58'47.67"O	JOSÉ DO PATROCÍNIO				
19°55'22.25"S	43°58'44.10"O	COSTA SENA				
AMOSTRA 3						
Latitude	Longitude	Ruas	Bairro	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Área de Inundação (m <sup>2</sup> )

19°55'3.90"S	43°57'7.42"O	JUIZ DE FORA				
19°55'6.36"S	43°57'8.09"O	TUPIS				
19°55'7.03"S	43°57'3.15"O	PARACATU	BARRO PRETO	34.560,00	830,3	12.040,5
19°55'8.18"S	43°56'58.66"O	OURO PRETO				
19°55'4.48"S	43°56'57.86"O	AV. DO CONTORNO				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Tabela 4 - Amostras de baixo risco de inundação

AMOSTRA 4					
Latitude	Longitude	Ruas	Bairro	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro
19°54'56.63"S	43°56'6.13"O	GUAICURUS			
19°54'55.62"S	43°56'10.51"O	ESPÍRITO SANTOS			
19°54'58.32"S	43°56'11.00"O	SANTOS DUMONT	CENTRO	26.922,04	673,9
19°55'1.10"S	43°56'11.55"O	CAETÉS			
19°55'1.95"S	43°56'7.23"O	BAHIA			
AMOSTRA 5					
Latitude	Longitude	Ruas	Bairro	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro
19°55'13.48"S	43°56'6.29"O	AV. DOS ANDRADAS			
19°55'14.56"S	43°56'8.25"O	AV. ASSIS CHATEAUBRIAND	CENTRO	27.662,25	665,53
AMOSTRA 6					
Latitude	Longitude	Ruas	Bairro	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro
19°55'6.50"S	43°55'2.57"O	ESTRELA DO SUL			
19°55'5.09"S	43°55'2.21"O	EPÍDOTO			
19°55'6.30"S	43°54'58.41"O	TENENTE DURVAL	SANTA TEREZA	21.157,79	694,3
19°55'7.50"S	43°54'53.67"O	QUIMBERLITA		2,0	
19°55'8.18"S	43°54'58.81"O	CONSELHEIRO ROCHA			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

### **3.3 Análise das dimensões do Canal do Ribeirão Arrudas nas áreas amostradas:**

As características físicas do Ribeirão Arrudas foram avaliadas a partir dos dados do Atlas Digital do Arrudas (PBH, 2002), com a seleção de trechos representativos da calha do rio. Foram mensuradas a largura, altura média e comprimento dos segmentos canalizados, a partir dos quais se calculou o volume hidráulico (m<sup>3</sup>) estimado para cada trecho. Além disso, foi realizada uma revisão documental do período de construção das canalizações em diferentes trechos do Arrudas e de seus afluentes, com base em fontes históricas e acadêmicas (Borsagli, 2019; Reis, 2011; Curral Del Rey, 2020). Essa revisão permitiu situar cronologicamente as intervenções de retificação e canalização, desde as primeiras obras na década de 1930 até as ampliações e reforços executados entre as décadas de 1970 e 1990.

### **3.4 Impacto nas áreas de estudo: Índice de vegetação e umidade (NDVI E NDWI)**

O índice de vegetação e a variação da umidade do solo foram analisadas por meio de índices espectrais derivados de sensoriamento remoto. Utilizaram-se imagens do satélite *Sentinel-2* e do Google Earth, processadas em ambiente *QGIS*. O índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e sua variação NGDVI (*Normalized Green Difference Vegetation Index*) foram calculados na Calculadora *Raster*, aplicando-se as fórmulas padrão que relacionam as bandas do vermelho, verde e infravermelho próximo. Para aferir a umidade, aplicou-se o NDWI (*Normalized Difference Water Index*), que permite identificar superfícies saturadas e a presença de corpos d'água. Os resultados foram espacializados em mapas temáticos e comparados entre áreas inundáveis e não inundáveis, permitindo quantificar as diferenças na cobertura vegetal e no acúmulo hídrico.

#### **3.4.1 NDVI**

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é um índice simples, mas eficaz, amplamente conhecido e utilizado para quantificar a vegetação verde. Ele normaliza a dispersão da luz pelas folhas verdes no infravermelho próximo com a absorção da luz pela clorofila nas bandas do vermelho. Os valores do NDVI variam entre -1 e 1. Valores negativos (próximos de -1) correspondem a vegetação e valores

próximos de zero (entre -0,1 e 0,1) geralmente correspondem a áreas áridas, como rochas, areia ou neve. Valores baixos, porém, positivos (cerca de 0,2 a 0,4), representam arbustos e campos. Já valores altos (próximos de 1) indicam florestas tropicais e temperadas. Trata-se de um bom indicador da vegetação verde viva (Sentinel-Hub, 2025).

Para o **Sentinel-2**, o índice é calculado da seguinte forma:

$$\text{NDVI} = (\text{B8} - \text{B4}) / (\text{B8} + \text{B4})$$

Onde:

- **B8** = banda do infravermelho próximo (NIR)
- **B4** = banda do vermelho (Red)

### 3.4.2 NDWI

O NDWI (Índice de Diferença Normalizada da Água) é utilizado para monitorar mudanças relacionadas ao conteúdo de água em corpos hídricos. Como os corpos d'água absorvem fortemente a luz no espectro eletromagnético do visível ao infravermelho, o NDWI utiliza as bandas do verde e do infravermelho próximo para destacar os corpos d'água. Ele é sensível a áreas urbanizadas (superfícies construídas), o que pode resultar em uma superestimativa da presença de água (McFeeters, 1996). O índice NDWI varia de -1 a +1. Valores próximos a +1 indicam alta presença de água corrente ou exposta, enquanto valores próximos a 0 ou negativos indicam solo ou vegetação. Assim, áreas inundadas devem apresentar mais água livre do que áreas vegetadas.

Para o **Sentinel-2**, o índice é calculado da seguinte forma:

$$\text{NDWI} = (\text{B03} - \text{B08}) / (\text{B03} + \text{B08})$$

Onde:

- **B03** = banda do verde (*Green*)
- **B08** = banda do infravermelho próximo (*Near Infrared* - NIR)

### 3.5 Avaliação do índice de Pavimentação (Muito Baixa, Baixa, Média e Alta) baseado no Coeficiente de Permeabilidade (K)

O levantamento de pavimentação foi realizado *in loco* com registro fotográfico dos diferentes tipos de pavimento e posteriormente as áreas foram calculadas no *Google Earth* e os dados foram planilhados em tabela do Excel. Os materiais de pavimentação presentes nas áreas de estudo foram classificados segundo seu coeficiente de permeabilidade K (cm/s), com base em referências consolidadas da literatura (Costa et al., 2007; Terzagui & Peck, 1967; Jabur, 2013; Mantovani, 2025; Martins, 2014; Pellizari, 2013).

A classificação foi organizada em quatro categorias: alta, média, baixa e muito baixa permeabilidade. Materiais como asfalto poroso e concreto poroso foram enquadrados na categoria de média impermeabilização, refletindo sua capacidade intermediária de infiltração. Já o piso intertravado tipo holandês, paralelepípedos, ladrilhos hidráulicos e pedra Miracema foram classificados como de baixa impermeabilização, por permitirem maior passagem de água em relação aos pavimentos convencionais. Por outro lado, o asfalto e o concreto, foram classificados como de muito baixa permeabilidade. Essa categorização permitiu associar os tipos de cobertura das ruas ao seu potencial de contribuição para a geração de escoamento superficial e, conseqüentemente, para a suscetibilidade a inundações, conforme a tabela 5:

Tabela 5 - Classificação de Coeficiente de Permeabilidade K<sup>4</sup>

Coeficiente de Permeabilidade K (cm/s)	Classificação	Pavimentação e Solo	Referência
<10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>-2</sup>	Alta	Solo, Gramados, áreas permeáveis	Costa et al. 2007 (modificado pelos autores)

<sup>4</sup> A classificação de permeabilidade utilizada para pavimentos urbanos (*e.g.*, asfalto e concreto poroso) representa uma adaptação da escala geotécnica original de Terzaghi e Peck (1967) e Jabur (2013). Os valores de K (Coeficiente de Permeabilidade) foram ajustados para refletir a capacidade real de infiltração dessas estruturas quando instaladas em ambiente urbano, que é intermediária quando comparada ao solo natural (alta permeabilidade) e pavimentos convencionais (muito baixa).

$10^{-2} - 10^{-3}$	Média	Asfalto poroso, Concreto poroso	Terzagui e Peck (1967) e Jabur (2013)
$10^{-3} - 10^{-5}$	Baixa	Piso intertravado holandês, Paralelepedo, Pedra miracema, Calçada Portuguesa	Mantovani (2025) Martins (2014) Pellizari (2013)
$10^{-5} - 10^{-9}$	Muito Baixa a Impermeável	Asfalto e Concreto	Terzagui e Peck (1967) e Jabur (2013)

Fonte: Costa et al. 2007, Terzagui e Peck, 1967, Jabur (2013), Mantovani (2025), Martins (2014) e Pellizari (2013), adaptado pelo autor, 2025.

### 3.6 Análise Florística das áreas de Estudo

O levantamento florístico foi realizado in loco, acompanhado pela bióloga Izabel Nair Rosa Santos, com registro fotográfico e contagem do número de árvores por rua. As espécies e famílias botânicas foram identificadas e conferidas junto ao Herbário **BHICB** e comparadas à planilha oficial de arborização urbana de Belo Horizonte (SIAA-BH), levantamento do ano de 2015 fornecido pela Secretaria do Meio Ambiente da PBH.

Complementarmente, para a área do Parque Municipal Américo Rennê Giannetti, foi utilizado o levantamento arbóreo constante no Plano Diretor do Parque Municipal, elaborado por Hoyuela Jayo (2015).

### 3.7 Análise estatística

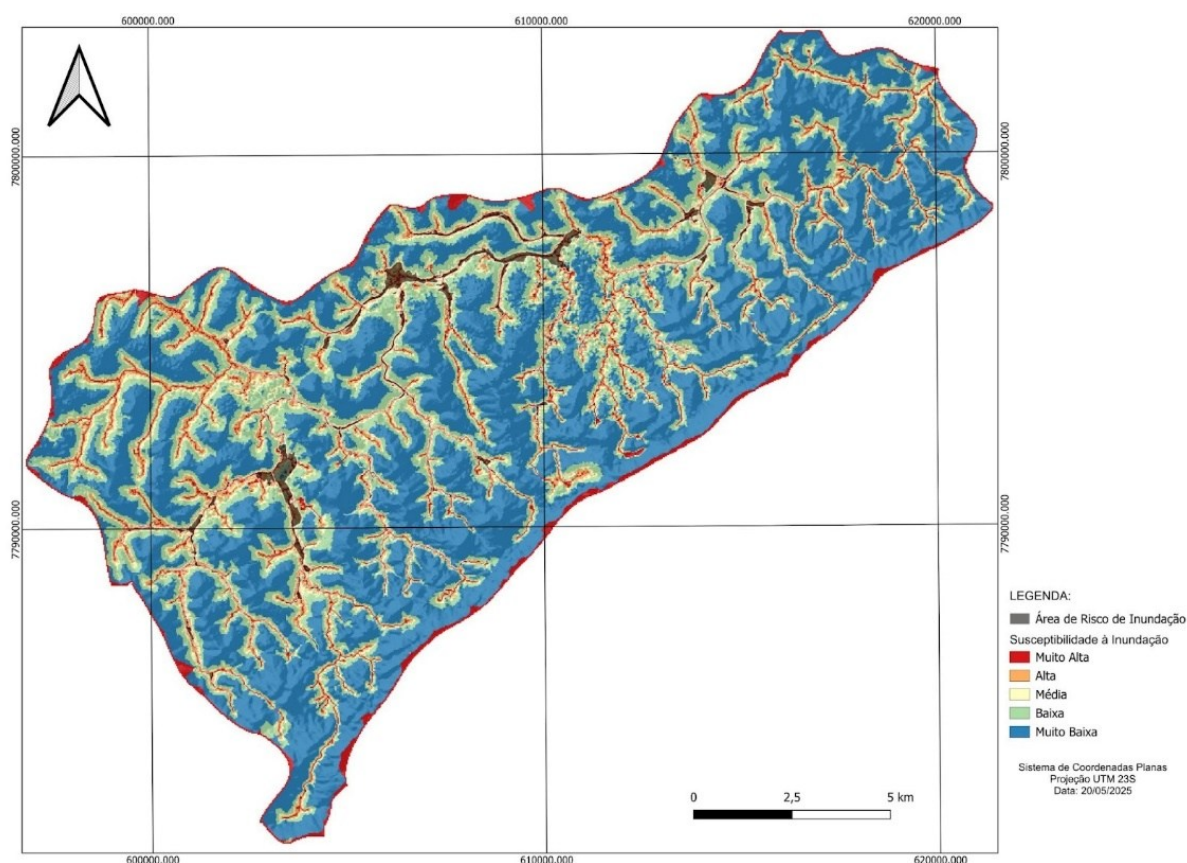
Para a análise comparativa entre índice de permeabilidade dos diferentes setores estudados assim como entre famílias de plantas amostradas nos setores estudados os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA (one-way) ANOVA e as médias foram comparadas usando o teste *Tukey's multiple range* a 5 % de confiança ( $P \leq 0.05$ ). Todas as análises foram feitas usando o software estatístico SPSS (versão 26).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Localização da área de estudo da bacia do Ribeirão Arrudas e Potencial de inundação

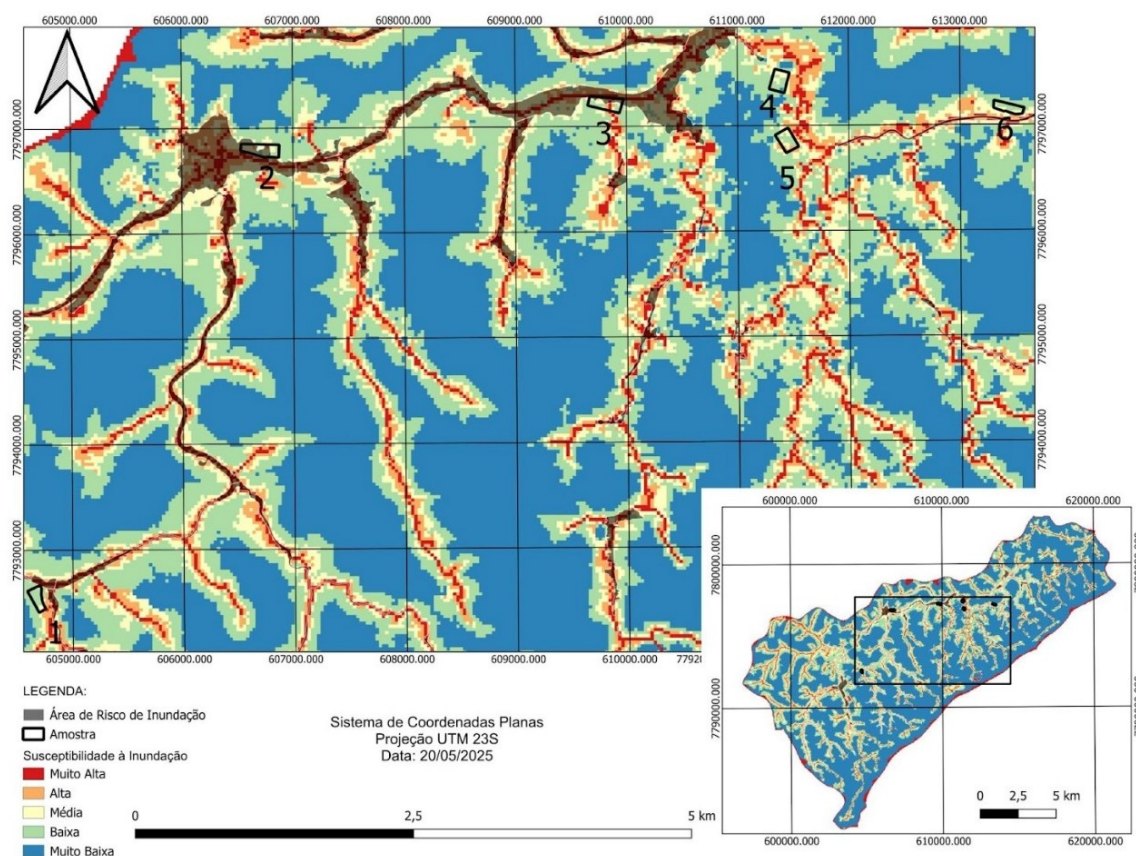
A partir do modelo gerado no *HAND Model (Height Above Nearest Drainage)*, conforme metodologia de Goerl, Michel e Kobiyama (2017) o mapeamento preditivo da suscetibilidade a inundações na bacia do Ribeirão Arrudas pode ser observado na figura 21 que apresenta o mapa de suscetibilidade à inundações da bacia em estudo e sobre esse mapa, foi inserida a camada referente às áreas de risco de inundação disponibilizada pelo *BH Maps*, permitindo a comparação entre as zonas de maior propensão às cheias e as manchas oficiais de risco de inundação do município. Já a figura 22 apresenta o recorte das áreas amostradas inseridas no mapeamento.

Figura 21 - Mapa de Suscetibilidade à Inundação da Bacia do Arrudas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 22 - Localização das áreas amostrais no Mapa de Susceptibilidade à Inundação da Bacia do Arrudas



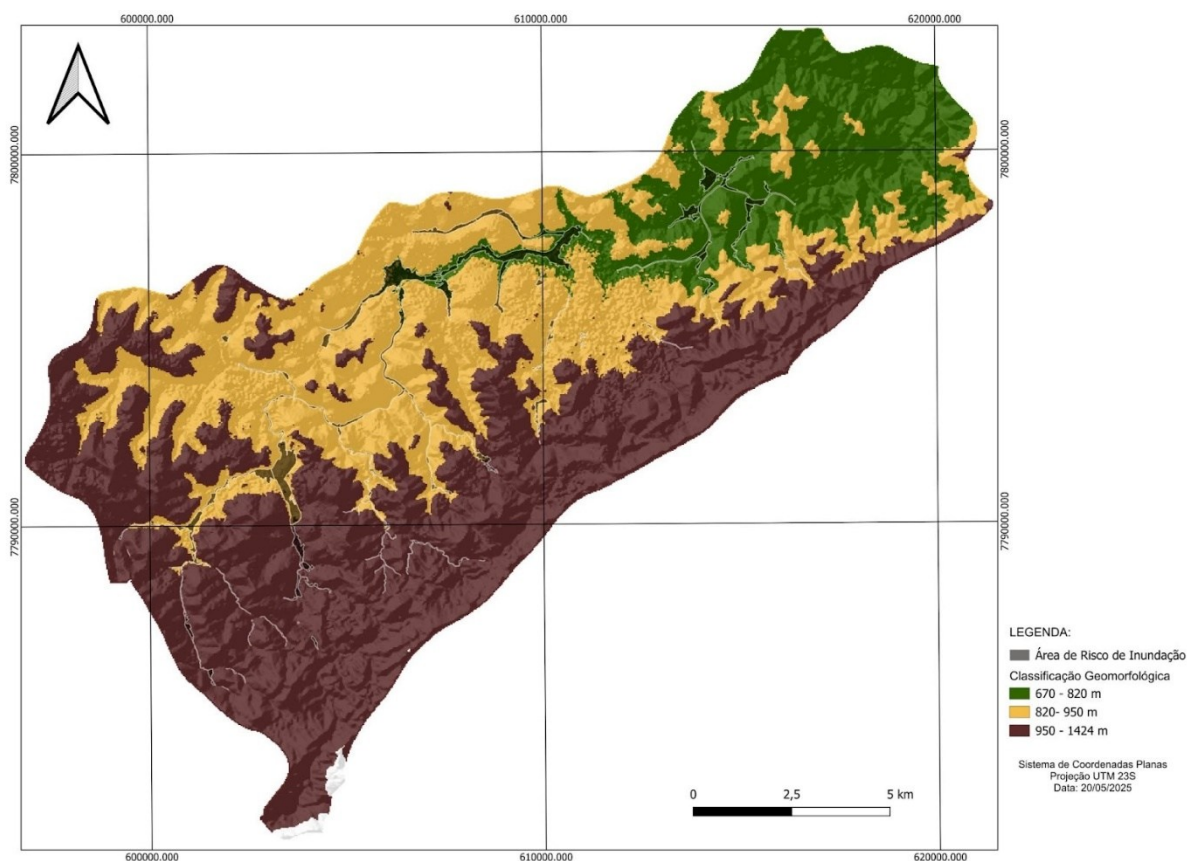
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A sobreposição das informações possibilitou identificar que as áreas mapeadas como de risco de inundação em Belo Horizonte apresentam correspondência direta com as zonas classificadas como de alta susceptibilidade, localizadas próximas aos cursos d'água e planícies de inundação e observa-se que as manchas de risco disponibilizadas pela PBH através do site *BH Maps*, tendem a se sobreporem às áreas classificadas como de alta susceptibilidade no modelo *HAND*, o que confirma a importância da utilização combinada dessas bases para fins de planejamento urbano e mitigação de desastres.

Na figura 22, mostra que a bacia do Arrudas está em um vale. A área da amostra1 apresenta média susceptibilidade a inundação, mas está muito próxima a áreas com elevado potencial de inundação. As amostras 2 e 3 estão localizadas em área de maior susceptibilidade de inundação. As amostras 4, 5 e 6 apresentam baixa susceptibilidade de inundação, apesar de estarem concentradas em áreas topograficamente mais baixas.

A bacia do Ribeirão Arrudas foi dividida e categorizada em 3 zonas geomorfológicas (Burt,1996), vide Figura 23.

Figura 23 - Mapa de zonas geomorfológicas da bacia do Arrudas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As zonas com maior elevação concentram as nascentes ou zona produtiva. As áreas intermediárias do vale com altitude de 800 m seria a área de transição e as áreas mais baixas < 800 m caracterizam as áreas do exultório. Segundo Burt (1996), de acordo com a dinâmica das bacias hidrográficas, as áreas mais suscetíveis a inundações deveriam situar-se na zona de transferência ou nas áreas de deposição a jusante. Contudo, ao contrário do esperado, as regiões que apresentam os maiores índices de inundação, conforme ilustrado na figura 23, localizam-se predominantemente a montante, abrangendo a zona de produção e o início da zona de transferência. Diversos fatores podem contribuir para esse cenário, como o número e a dimensão dos tributários, a variação no tamanho e no volume da calha canalizada, o grau de permeabilidade do solo e a presença de vegetação.

A Bacia do Arrudas recebe muitos tributários, tanto na zona de produção (7), na zona de transferência (5) como na zona de deposição (11) como mostrado na tabela 06. Devido ao fato do Ribeirão Arrudas correr ao longo do seu trajeto recebendo as águas das nascentes da serra do Curral com altitudes variáveis de acordo com o mapa da figura 23, seria de se esperar um maior número de eventos de inundação a jusante, especialmente porque o número de tributários na zona de deposição é maior.

Tabela 6 - Corpos Hídricos Tributários do Arrudas

Zona de Produção		Zona de Transferência		Zona de Deposição	
Córregos:	Extensão (km)	Córregos:	Extensão (km)	Córregos:	Extensão (km)
Olária	-	Tejuco	-	Acaba Mundo	4,8
Jatobá	10,93	Cercadinho	12,6	Leitão	10,62
Barreiro		Piteiras	-	Serra	-
Clemente	-	Pintos	-	Cardoso	-
Água Branca	-	Navio/ baleia	6	Cafundó	-
Olhos d' água	-			Pastinho	-
Lagoa dos Patos	-			Ituiutaba	-
				Taquaril	-
				Olaria	-
				Britos	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Nota: Informações obtidas em Botelho, 2020, Projeto Manuelzão, [S.d.] e Wikipédia, [S.d.].

#### 4.2 Influência das dimensões do canal na susceptibilidade de inundação

A Tabela 7 apresenta as principais dimensões e características físicas do canal do Ribeirão Arrudas nos trechos amostrados e em áreas próximas, permitindo avaliar se o dimensionamento da calha fluvial contribui para a ocorrência das inundações. Na tabela 7 são destacadas informações como largura, altura, volume hidráulico, ano de canalização e presença de tributários, possibilitando identificar relações entre a morfologia do canal e o comportamento hidrológico da bacia. Essa análise busca compreender de que forma as alterações estruturais no leito do Arrudas influenciam a suscetibilidade à inundação ao longo de seu curso urbano. Na tabela 7 podemos identificar em a amarelo as áreas em que a calha do canal é mais suscetível a

inundação (amostras 1, 2 e 3) com volume médio estimado em 25.365,93 m<sup>3</sup>. As amostras 4 e 5, áreas com menor risco de inundação, estão situadas entre os trechos da Rua Espírito Santo até Viaduto Santa Thereza, cujo trecho apresentou volume médio entorno de 19 108 m<sup>3</sup>. Este volume não difere do primeiro trecho. Porém a amostra 6, correspondente ao trecho após o Parque Municipal, apresentou volume médio diferenciado de 101 885 m<sup>3</sup>. Esse resultado por si explica a baixa susceptibilidade desta área à inundação.

Tabela 7 - Análise das Dimensões do Canal do Arrudas em trechos selecionados

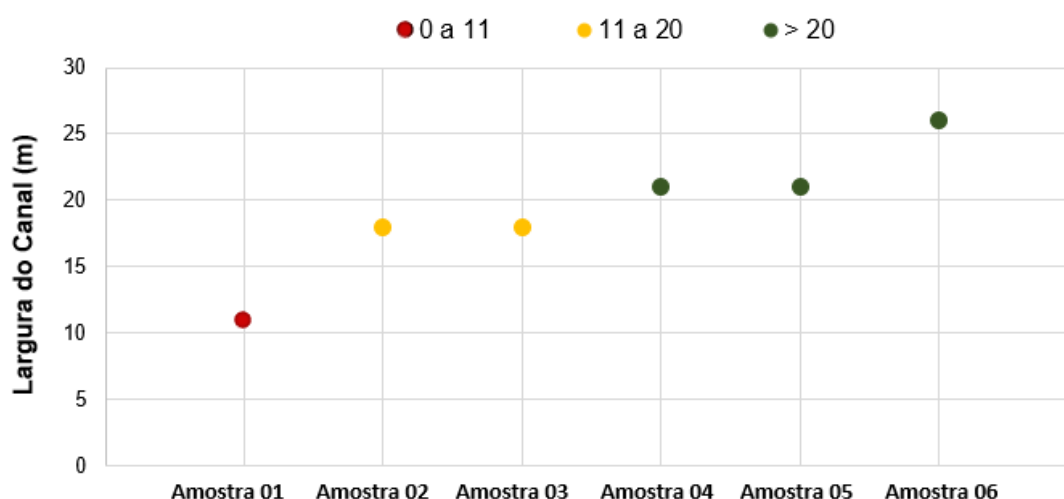
Coordenadas	Localização	Ano da Canalização	Informações Básicas	Dimensões Altura, Largura Comprimento (m)	Tributário e aporte de água	Volume (m³)
34.89°S 43°59'5	Rua Emilia Brochado	1996-1997		5,65	Córrego Bom Sucesso	25865,7
		Curral Del Rey (2020)		10,9		
				420		
19°57'31.77°S 44° 0'3.01°O	Rua Amanda com Bonança	1996-1997		5,7	1 aporte de água	25224,8
		Curral Del Rey (2020)		10,9		
				406		
19°55'29.24°S 43°59'2.61°O	Av. Presidente JK com Tereza Cristina	Década de 1970/1980		3,95		10681,1
		Wikipidea e Ribeiro (2021)		15,2		
				28		
19°55'20.07°S 43°58'55.70°O	Av. Teresa Cristina/ Anchieta	Década de 1970/1980		5,6	Córrego do Tejuco, Córrego das Piteiras e 1 aporte de água	34776,0
		Wikipidea e Ribeiro (2021)		18		
		Córrego Piteiras - década de 1980		345		
		Curral Del Rey (2020)				
19°55'3.42°S 43°57'9.09°O	Av. do Contorno com Tupis	1928		7,1	2 aportes de água	36934,0
		Curral del Rey (2013)		18		
		Fechamento do Canal Arrudas - Implantação do projeto Boulevard Arrudas 2005-2007		289		
		Curral Del Rey (2011)				
19°55'3.98°S 43°57'2.50°O	Av. do Contorno com Paracatu	1928		7,1	1 aporte de água	18714,0
		Curral del Rey (2013)		18		
		Fechamento do Canal Arrudas - Implantação do projeto Boulevard Arrudas 2005-2007		140		
		Curral Del Rey (2011)				
19°54'52.48°S 43°56'9.50°O	Av. do Contorno com Espírito Santo	1928		7,3	3 aportes de água	31809,0
		Curral del Rey (2013)		21		
		Fechamento do Canal Arrudas - Implantação do projeto Boulevard Arrudas 2005-2007		198		
		Curral Del Rey (2011)				

Coordenadas	Localização	Ano da Canalização	Informações Básicas	Dimensões Altura, Largura Comprimento (m)	Tributário e aporte de água	Volume (m³)	
19°54'57.07"S 43°56'3.55"O	Praça Rui Barbosa	1928		7,7	2 aportes de água	20286,0	
		Curral del Rey (2013)		21			
		Fechamento do Canal Arrudas - Implantação do projeto Boulevard Arrudas 2005-2007		120			
		Curral Del Rey (2011)					
19°54'59.75"S 43°56'4.03"O	Rua Santos Dumont	1928		7,8	2 aportes de água	14205,5	
		Curral del Rey (2013)		21			
		Fechamento do Canal Arrudas - Implantação do projeto Boulevard Arrudas 2005-2007		83			
		Curral Del Rey (2011)					
19°55'2.60"S 43°56'5.40"O	Rua dos Caetés	1928		8	2 aportes de água	16658,3	
		Curral del Rey (2013)		21			
		Fechamento do Canal Arrudas - Implantação do projeto Boulevard Arrudas 2005-2007		95			
		Curral Del Rey (2011)					
19°55'13.23"S 43°56'6.40"O	Viaduto Santa Tereza	1928		8,5	2 aportes de água	12584,0	
		Curral del Rey (2013)		18			
		Borsagli (2019)		79			
		Fechamento do Canal Arrudas - Implantação do projeto Boulevard Arrudas 2005-2007					
19°55'16.19"S 43°56'3.94"O	Parque Municipal	1928		8	Córrego Acaba mundo	65054,0	
		Curral del Rey (2013)		21			
		Córrego Acaba Mundo - 1924 - 1926		371			
		Borsagli (2019)					
19°55'9.64"S 43°55'9.01"O	Av. dos Andradas	Cobertura do córrego Acaba Mundo - 1963		4,5	Córrego da Serra	124150,0	
		Borsagli (2019)		26			
		Fechamento do Canal Arrudas - Implantação do projeto Boulevard Arrudas 2005-2007		1000			
		Curral Del Rey (2016)					
19°55'10.59"S 43°55'0.69"O	Av. dos Andradas	Retificação do Arrudas - década em 1960		4,5	Córrego Santa Efigênia e 4 aportes de água	116452,7	
		Curral del Rey (2013)		26			
				938			
<b>Legenda:</b>						ALTO RISCO DE INUNDAÇÃO	BAIXO RISCO DE INUNDAÇÃO

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025 com base no atlas Digital do Arrudas, 2002.

As dimensões do canal em cada trecho amostrado justificam a maior vazão na aérea da amostra 6 no Bairro Santa Thereza. A figura 24 confirma a similaridade na dimensão do canal nos demais trechos amostrados. Assim, a menor susceptibilidade a inundação nos trechos das amostras 4 e 5 não podem ser relacionadas ao tamanho do canal.

Figura 24 - Classificação do canal do Arrudas nas áreas amostradas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Realmente, na Praça Rui Barbosa (amostra 4) e no Parque Municipal (amostra 05) não se observou variação significativa em relação a vazão ou dimensão do canal quando comparadas as áreas a montante, com maior susceptibilidade à inundação.. Ressalta-se, por fim, a indisponibilidade de dados de vazão do Ribeirão Arrudas e de seus afluentes, o que limita análises hidrológicas mais precisas.

### 4.3 Análise do Índice de Permeabilidade

Outro fator que pode estar contribuindo para a maior suscetibilidade de inundação pode estar relacionado com o índice de permeabilidade das áreas do entorno (área riparia). Na tabela 08, disposta a seguir, foram apresentadas as áreas estudadas com a descrição dos tipos de pavimentação e a vegetação presente nas 6 amostras.

Tabela 8 - Classificação de Permeabilidade das Ruas e Passeios e Vegetação

<b>Amostra 1</b>					
Área da Amostra (m <sup>2</sup> )	Rua	Área impermeável (Asfalto e Concreto) (m <sup>2</sup> )	Área baixa Permeabilidade (Paralelepípedo e Intertravado, Ladrilho) (m <sup>2</sup> )	Alta Permeabilidade (Solo / Grama) (m <sup>2</sup> )	Número de Árvores
9244,61	EMILIA BROCHADO	912,39	378,68	101,47	5,00
	DAMAZIO BROCHADO	1600,15		2264,20	27,00
	HELENA BROCHADO	1210,60	150,91	1,44	4,00
	ELIZEU RESENDE	556,63		1,44	4,00
	PETRINA BROCHADO	1292,90	55,29		0,00
	PADRE MACHADO	717,44		1,08	3,00
	<b>Soma</b>	<b>6290,11</b>	<b>584,87</b>	<b>2369,63</b>	<b>43,00</b>
	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>68,04</b>	<b>16,65</b>	<b>416,11</b>	
<b>Amostra 2</b>					
Área da Amostra (m <sup>2</sup> )	Rua	Área impermeável (Asfalto e Concreto) (m <sup>2</sup> )	Área baixa Permeabilidade (Paralelepípedo e Intertravado, Ladrilho) (m <sup>2</sup> )	Alta Permeabilidade (Solo / Grama) (m <sup>2</sup> )	Número de Árvores
8650,56	ANCHIETA	966,32	155,98	3,20	5,00
	(CALÇADA) PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHEK	743,16			0,00
	VER. GERALDO PEREIRA	2088,97	195,00	4,48	7,00
	HENRIQUE GORCEIX	586,10	60,00	5,12	8,00
	JOSÉ DO PATROCÍNIO	1334,27	18,00	2,56	0,00
	COSTA SENA	1360,01	153,83	8,96	14,00
	<b>Soma</b>	<b>7078,83</b>	<b>582,81</b>	<b>24,32</b>	<b>34,00</b>
	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>81,83</b>	<b>6,74</b>	<b>0,28</b>	

## Amostra 3

Área da Amostra (m <sup>2</sup> )	Rua	Área impermeável (Asfalto e Concreto) (m <sup>2</sup> )	Área baixa Permeabilidade (Paralelepípedo e Intertravado, Ladrilho) (m <sup>2</sup> )	Alta Permeabilidade de (Solo / Grama) (m <sup>2</sup> )	Número de Árvores
12764,54	JUIZ DE FORA	1003,51	385,89	7,60	5,00
	TUPIS	4957,76	198,00	8,96	14,00
	PARACATU	1959,44	30,00	8,78	5,00
	OURO PRETO	2353,66	789,50	1,92	3,00
	(CALÇADA) AV. DO CONTORNO	3,44	1040,00	20,48	32,00
	<b>Soma</b>	<b>10277,81</b>	<b>2443,39</b>	<b>47,74</b>	<b>59,00</b>
	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>80,52</b>	<b>19,14</b>	<b>0,37</b>	

## Amostra 4

Área da Amostra (m <sup>2</sup> )	Rua	Área impermeável (Asfalto e Concreto) (m <sup>2</sup> )	Área baixa Permeabilidade (Paralelepípedo e Intertravado, Ladrilho) (m <sup>2</sup> )	Alta Permeabilidade de (Solo / Grama) (m <sup>2</sup> )	Número de Árvores
10.996,05	GUAICURUS	1693,67	685,09	11,52	18,00
	ESPIRITO SANTO	2337,67	955,01	8,32	13,00
	SANTOS DUMONT	85,13	3179,53	390,77	39,00
	CAETÉS	1277,80	373,00		14,00
	BAHIA	42,00	387,00	4,48	7,00
	<b>Soma</b>	<b>5436,27</b>	<b>5135,73</b>	<b>415,09</b>	<b>91,00</b>
	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>49,44</b>	<b>46,71</b>	<b>3,77</b>	

## Amostra 5

Área da Amostra (m <sup>2</sup> )	Rua	Área impermeável (Asfalto e Concreto) (m <sup>2</sup> )	Área baixa Permeabilidade (Paralelepípedo e Intertravado, Ladrilho) (m <sup>2</sup> )	Alta Permeabilidade de (Solo / Grama) (m <sup>2</sup> )	Número de Árvores
27662,25	<b>Soma</b>	<b>5008,05</b>	<b>125,20</b>	<b>19781,80</b>	<b>560,00</b>
	<b>Porcentagem</b>	<b>18,10</b>	<b>0,45</b>	<b>81,44</b>	

(%)

<b>Amostra 6</b>					
Área da Amostra (m <sup>2</sup> )	Rua	Área impermeável (Asfalto e Concreto) (m <sup>2</sup> )	Área baixa Permeabilidade (Paralelepípedo e Intertravado, Ladrilho) (m <sup>2</sup> )	Alta Permeabilidade (Solo / Grama) (m <sup>2</sup> )	Número de Árvores
7271,01	ESTRELA DO SUL	815,55	0,00	5,76	9,00
	EPIDOTO	987,15	122,25	6,43	17,00
	TENENTE DURVAL	610,81	202,24	3,91	7,00
	QUIMBERLITA	274,00			0,00
	CONSELHEIRO ROCHA	2407,53	0,00	883,78	41,00
	<b>Soma</b>	<b>5095,04</b>	<b>324,49</b>	<b>899,88</b>	<b>74,00</b>
	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>70,07%</b>	<b>4,46%</b>	<b>12,38%</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

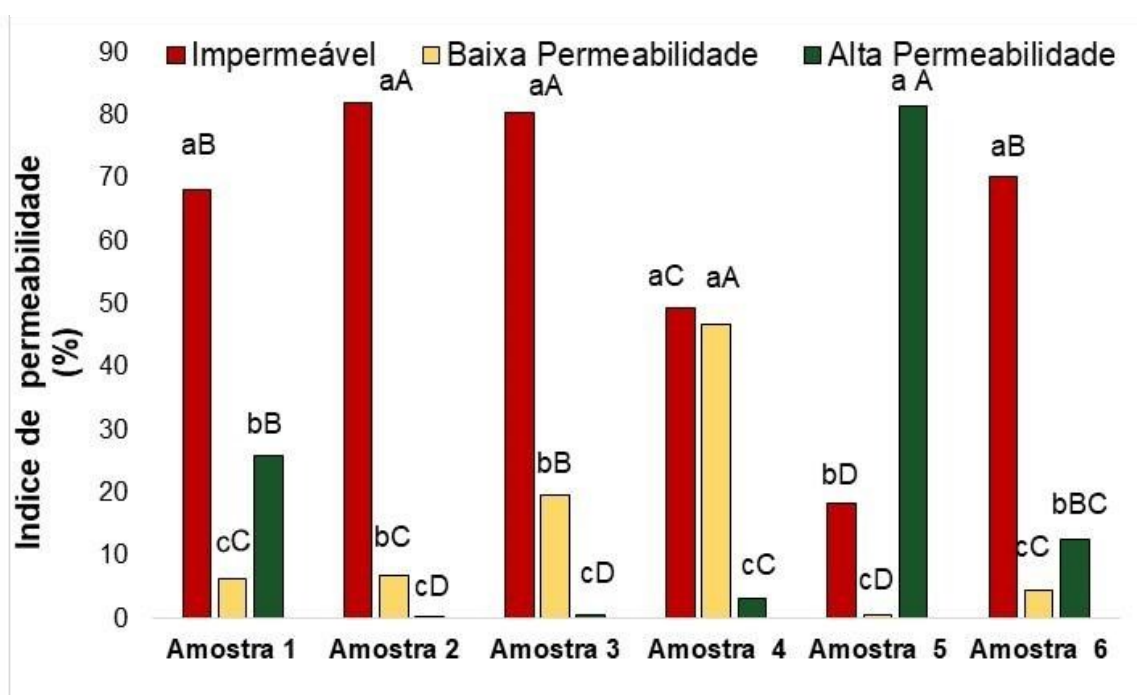
Considerando os parâmetros de classificação de permeabilidade identificados, as amostras das áreas mais susceptíveis à inundação apresentaram um grau de impermeabilidade maior, influenciado pelo tipo de pavimento de asfalto e concreto e as amostras das áreas com menor susceptibilidade apresentaram maior grau de permeabilidade influenciados especialmente pela presença de vegetação e uma pavimentação com baixo grau de impermeabilidade como uso de pavimentos intertravados e calçada portuguesa. Os detalhes de permeabilidade de áreas ou amostras estão apresentados nas figuras 26 a 31

Estes resultados permitiram comparar as amostras quanto ao grau de permeabilidade relacionado às inundações e representados através do gráfico da figura 28. Todas as áreas susceptíveis à inundação apresentaram um alto índice de impermeabilização e baixa contribuição da vegetação (Figura 28).

Das áreas com baixo índice de susceptibilidade inundáveis somente a área 6 apresentou alta impermeabilização (figura 28) e esta amostra coincide com o setor de Santa Teresa (figura 34) onde além da presença significativa da vegetação o canal apresenta maiores dimensões. Neste caso, a dimensão do canal explicaria a redução de risco de inundação. A pavimentação de baixa permeabilidade somente teve

contribuição direta e significativa na amostra 4 (figura 28) o que juntamente com a vegetação poderia explicar a ausência de inundação. Na amostra 5 a ausência de inundação se explica somente pelo efeito da vegetação. O efeito vegetação também parece ter um importante papel na permeabilidade da amostra 1 (FIGURA 26) tornando esta área classificada como baixa permeabilidade apesar da elevada impermeabilidade do pavimento.

Figura 25 - Comparação do Índice de Permeabilidade (%) dentro e entre setores amostrados. Análise de variância feita segundo ANOVA. Diferenças entre setores foram analisadas segundo teste de Tukey considerando significativas médias com letras diferentes a nível de  $p \leq 5\%$ . Comparação dos níveis de permeabilidade dentro de cada setor são seguidas de letras minúsculas e comparação de cada índice de permeabilidade entre setores é seguida de letras maiúsculas

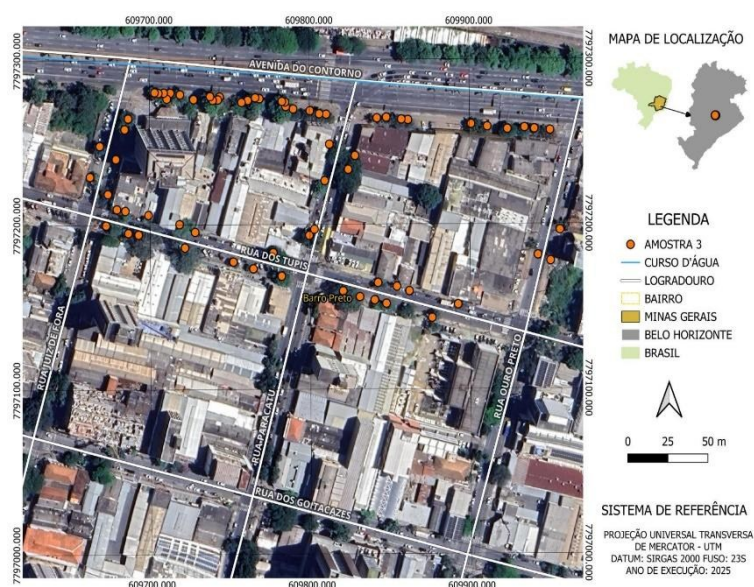


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.



A amostra 2 foi identificada dentro de uma área com alto nível de risco de inundação tabela 04 e caracterizado pela pavimentação impermeável das ruas e passeios e ao baixo número de árvores conforme apresentado na figura 27 e no gráfico da figura 25.

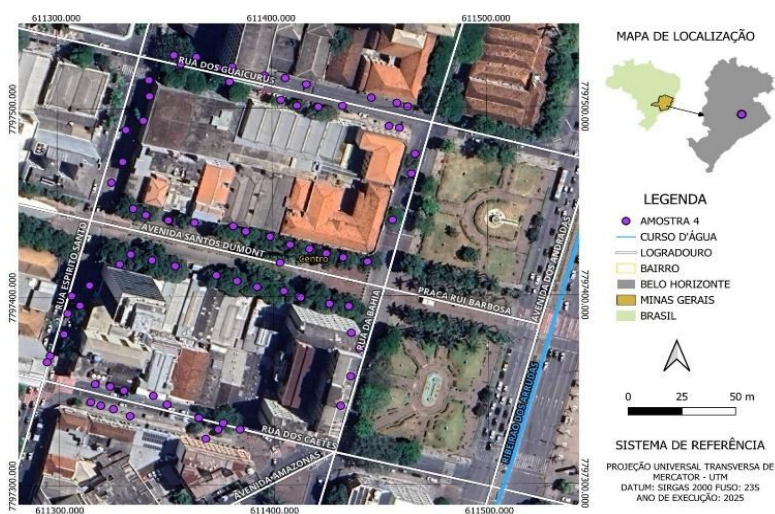
Figura 28 - Localização das árvores da amostra 03, no bairro Barro Preto



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor e Fonseca, 2025.

Amostra 3 inserida numa área de médio risco de inundação destaca-se pela presença de pavimentação de baixa permeabilidade e uma pequena melhoria no componente vegetacional, gráfico da figura 25 e a figura 28.

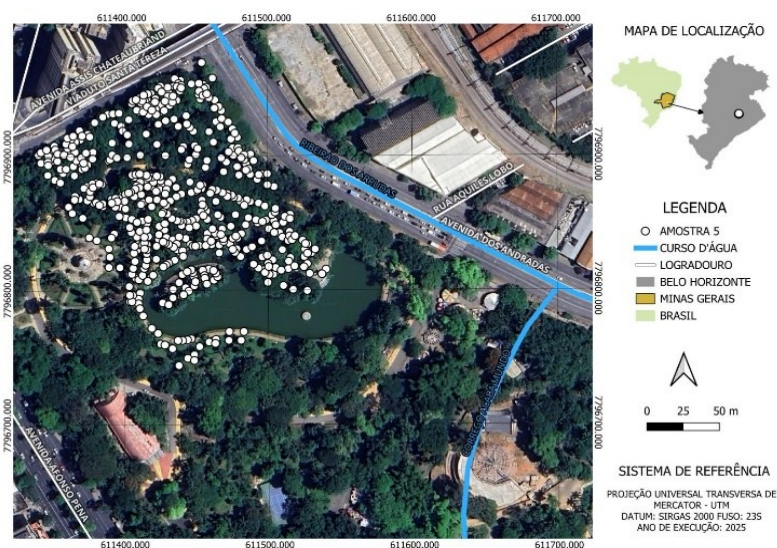
Figura 29 - : Localização das árvores da amostra 04, no Centro de Belo Horizonte



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor e Fonseca, 2025.

A amostra 4 classificada com baixo risco de inundação, teve como principal atributo a melhoria no tipo de pavimentação como demonstrado no gráfico da figura 25 (baixa permeabilidade) e que teve a contribuição do fator vegetacional, figura 29.

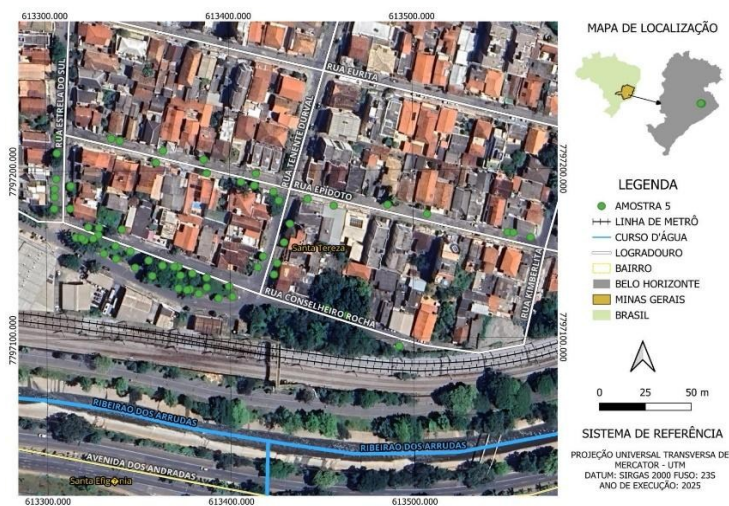
Figura 30 - Localização das árvores da amostra 05, no Parque Municipal Américo Renné Giannetti



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor e Fonseca, 2025.

A amostra 5 é referente ao Parque Municipal Américo Renné Giannetti é caracterizada como área sem inundação e apresentou como diferencial ao alto grau de permeabilidade devido ao preponderante componente da vegetação, conforme exposto no gráfico da figura 25 e na figura 30.

Figura 31 - Localização das árvores da amostra 06, no bairro Santa Tereza



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor e Fonseca, 2025.

A amostra 6 apresenta uma predominância de pavimentação impermeável e está inserida numa área de baixo risco de inundação que pode ser atribuída à contribuição do componente vegetacional do parque conforme gráfico da figura 25 e figura 31.

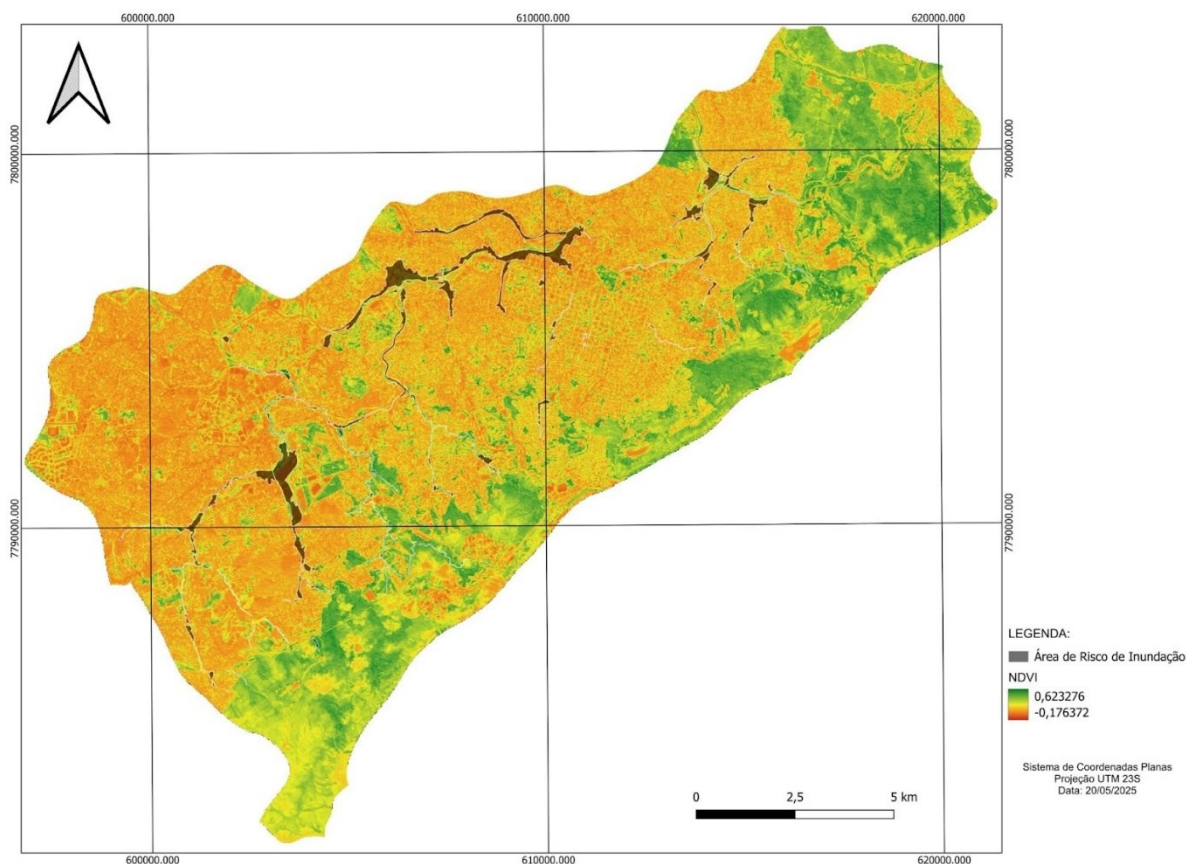
As amostras 4, 5 e 6 apresentam características de estruturas de permeabilidade bem diferentes umas das outras, mas apresentam em comum a característica de baixo risco de inundação e presença da vegetação. Considerando que as áreas 4 e 6 estão na área de influência do parque municipal, apresentam estruturas de permeabilidade variáveis, e não estão expostos a inundação podemos inferir uma possível influência do parque sobre essas áreas, pois as florestas urbanas desempenham papel crucial na mitigação dos efeitos adversos da impermeabilização urbana regulando a umidade do solo através da evapotranspiração, reduzem a temperatura do ar e minimizam extremos climáticos (Kanzler et al., 2018). Considerando que o efeito mitigatório de uma floresta urbana em relação a inundação se deve a manutenção do lençol freático através da evapotranspiração (Brady & Weil, 2008), podemos explicar a não inundação das amostras 4 e 6 pela influência benéfica do parque municipal no lençol freático da área.

#### **4.4 Efeito Vegetação**

#### **4.5 Índices Espectrais NDVI e NDWI**

Visando estimar o efeito da vegetação no volume de água durante a época chuvosa, foi realizada a análise de índices espectrais de vegetação NDVI e de umidade NDWI da Bacia do Arrudas e das áreas amostradas. Os resultados dos índices de NDVI estão representadas pelas figuras 32 e 31 e os do NDWI estão representados nas figuras 33 e 34.

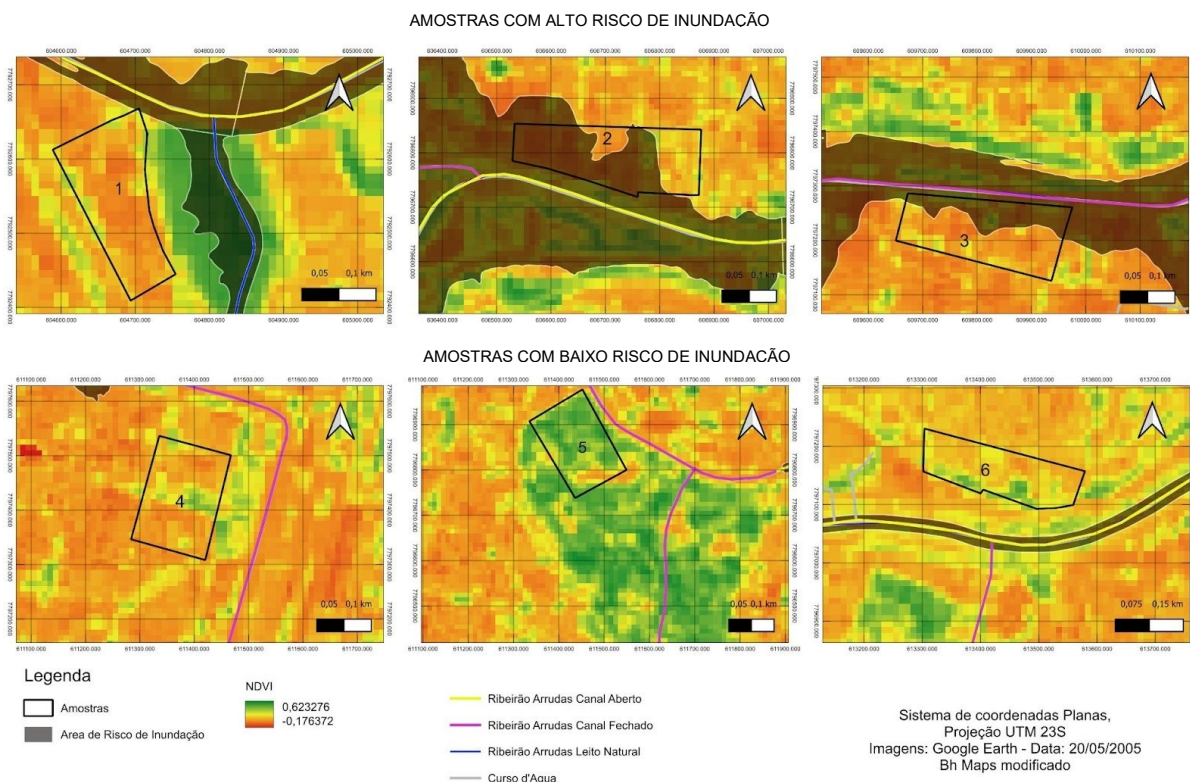
Figura 32 - Índice NDVI da Bacia do Arrudas em período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A figura 32 o índice NDVI variou de 0,62 a -0,17 e evidencia que há uma grande perda vegetacional da bacia, principalmente nas áreas de várzeas, apresentando áreas predominantemente urbanizadas e impermeabilizadas, principalmente nas porções da bacia que se localizam nos municípios de Contagem e Belo Horizonte. A figura 33 apresenta o recorte do índice espectral NDVI em cada área amostrada.

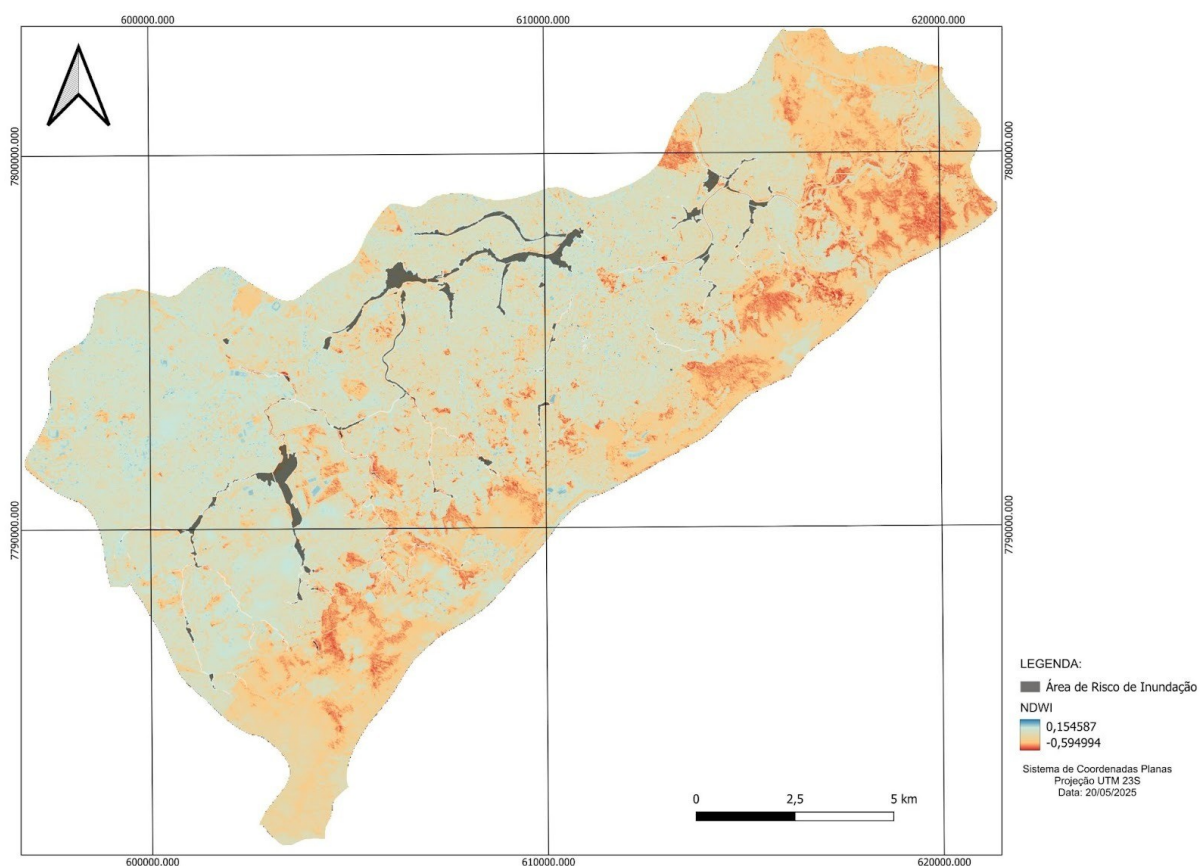
Figura 33 - Índice NDVI das áreas amostradas em período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Na Figura 33, os resultados evidenciam que as amostras 2 e 3, localizadas em áreas com histórico de inundação, apresentam índices de NDVI mais baixos, refletindo menor presença de vegetação e maior exposição de superfícies impermeáveis. Em contraste, as amostras 5 e 6, situadas em áreas de baixo risco, exibem valores mais elevados de NDVI, indicando maior densidade de vegetação e melhores condições de permeabilidade. Além disso, verifica-se que as áreas de maior suscetibilidade a inundações (amostras 1, 2 e 3) mantêm consistentemente os menores valores de NDVI, o que reforça a relação entre baixa cobertura vegetal, alta impermeabilização e maior vulnerabilidade ao escoamento superficial.

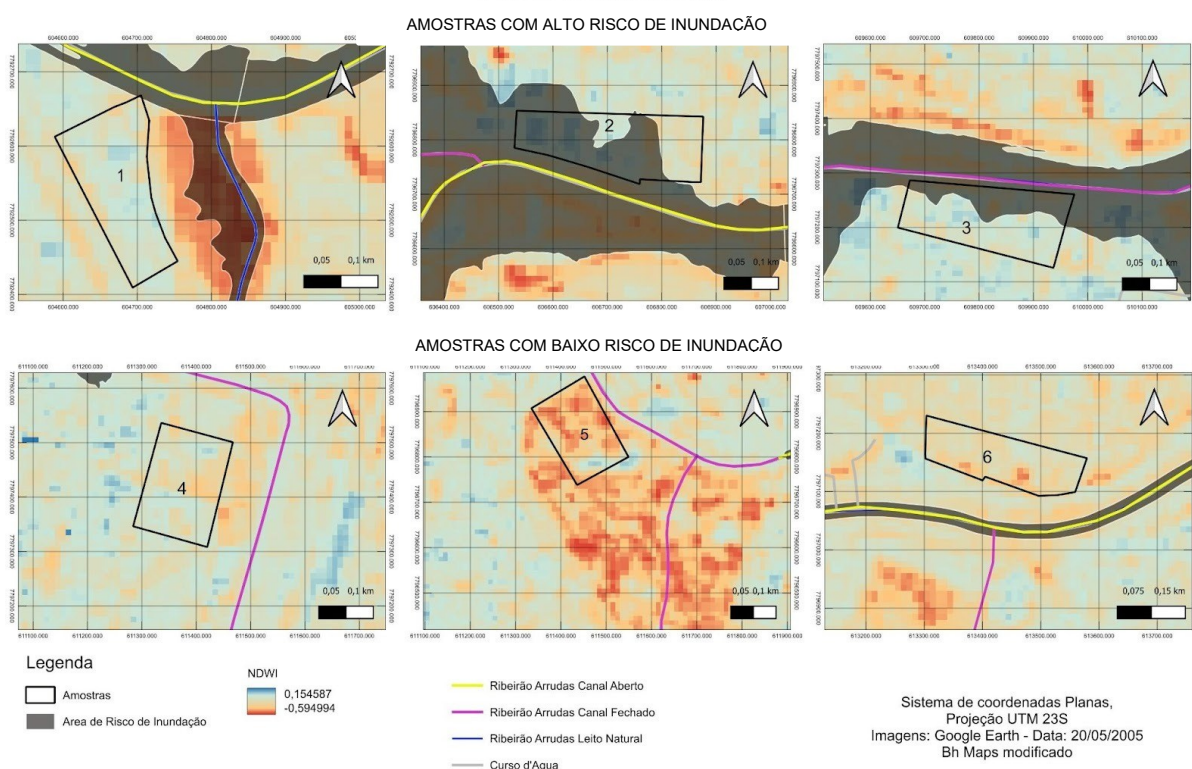
Figura 34 - Índice NDWI da Bacia do Arrudas em período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A figura 34 evidencia que o índice NDWI da bacia varia aproximadamente de 0,15 a - 0,59, sendo que os índices mais baixos coincidem com as áreas de vegetação da bacia. Os resultados demonstram que a bacia apresenta um nível muito baixo de água detectável com valores próximos ao valor 0,0 que indicam uma área urbana altamente impermeabilizada. Valores baixos de NDWI são facilmente associados a elementos não aquáticos como telhados e ruas asfaltadas (McFeeters, 1996).

Figura 35 - Índice NDWI das áreas amostradas em período chuvoso



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A análise da figura 35 do NDWI indica que onde há mais vegetação coincide com menor conteúdo de água livre no solo. Este efeito se deve a maior infiltração no solo aliado ao efeito da evapotranspiração da vegetação das espécies vegetais que fazem as trocas gasosas de  $\text{CO}_2$  lançando a água na atmosfera (Carrick et. al, 2019). Nas áreas inundáveis, ao contrário, a água não infiltrada fica disponível no solo e nos canais.

Em suma, o efeito da vegetação arbórea tem um papel importante na mitigação das inundações não só pela permeabilidade do solo, mas também pela capacidade de trocar água com a atmosfera através da evapotranspiração (Brady & Weil, 2008) e este efeito pode explicar a menor susceptibilidade à inundação das amostras 1, 4, 5 e 6 onde ocorreu aumento significativo da quantidade de árvores.

#### 4.6 Vegetação presente

Na tabela 9 estão apresentados o número de indivíduos por família encontrados nas áreas susceptíveis (amostras 1,2,3) e não susceptíveis à inundação (amostras 4,5 e 6).

Tabela 9 - Distribuição do número de indivíduos de planta por família encontradas nas áreas inundáveis 1, 2 e 3 e amostras não inundáveis 4,5 e 6

Famílias	Amostr a 1	Amos tra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	Porcentagem (%)
<i>Anacardiaceae</i>	3		1		5	2	1,50
<i>Apocynaceae</i>					4		0,39
<i>Araucariaceae</i>					7		0,68
<i>Arecaceae</i>				15	292	9	30,57
<i>Bignoniaceae</i>	8	5	16	5	33	30	12,51
<i>Bombacaceae</i>					8		0,77
<i>Braginaceae</i>					1		0,10
<i>Caricaceae</i>						1	0,10
<i>Chrysobalanaceae</i>			1	23			2,43
<i>Combretaceae</i>	1			1		1	0,40
<i>Elaeocarpaceae</i>					1		0,10
<i>Euphorbiaceae</i>					7	1	0,77
<i>Fabaceae</i>	12	1	23	24	46	7	14,81
<i>Lauraceae</i>					2		0,19
<i>Lecythidaceae</i>					23		2,22
<i>Lythraceae</i>	4	1	5	4	1	5	3,01
<i>Magnoliaceae</i>		15		14			4,42
<i>Malvaceae</i>	1	1	6	5	3	1	2,51
<i>Melastomataceae</i>	1				7	2	1,08
<i>Meliaceae</i>					1	2	0,29
<i>Moraceae</i>	2	1			59	2	6,51
<i>Musaceae</i>						1	0,10
<i>Myrtaceae</i>	1	1	1		9	4	1,87
<i>Nyctaginaceae</i>					4		0,39
<i>Oleaceae</i>			3		4		1,00

<i>Poaceae</i>					2		0,19
<i>Proteaceae</i>					1		0,10
<i>Phytolaccaceae</i>					1		0,10
<i>Rubiaceae</i>					1		0,10
<i>Rutaceae</i>	1	9			8	4	3,21
<i>Sapindaceae</i>			13		18	1	4,50
<i>Strelitziaceae</i>					5		0,48
<i>Urticaceae</i>					3		0,29
<i>Verbenaceae</i>						1	0,10
Sem identificação	9				4		2,23
<b>Soma Total</b>	<b>43</b>	<b>34</b>	<b>69</b>	<b>91</b>	<b>560</b>	<b>74</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os dados da tabela 09, mostram uma grande variabilidade na distribuição das espécies nas áreas amostradas. Algumas famílias apresentaram uma destacada dominância. As famílias de maior ocorrência foram as famílias *Arecaceae*, *Fabaceae*, *Bignoniaceae* e *Moraceae*,

Como mostrado na tabela 6 a família *Arecaceae* apresentou o maior número de indivíduos no parque e presente somente nas amostras não inundáveis, chama atenção o fato das espécies desta família não ocorrerem na área inundável, sugerindo um papel ecossistêmico que deveria ser conduzido em pesquisas futuras.

A família *Bignoniaceae* ocorre predominantemente na área não inundável, mas também está presente em todas as áreas inundáveis em baixa proporção. Esta família é bem representada pelas espécies de Ipê.

A família *Chrysobalanaceae* representada pelas plantas de Oiti ocorre predominantemente na área 4 o que não sugere um papel ecossistêmico diretamente relacionado com o controle da inundação.

A família *Fabaceae* está bem representada tanto na área inundável quanto não inundável, mas com predominância nas amostras inundáveis.

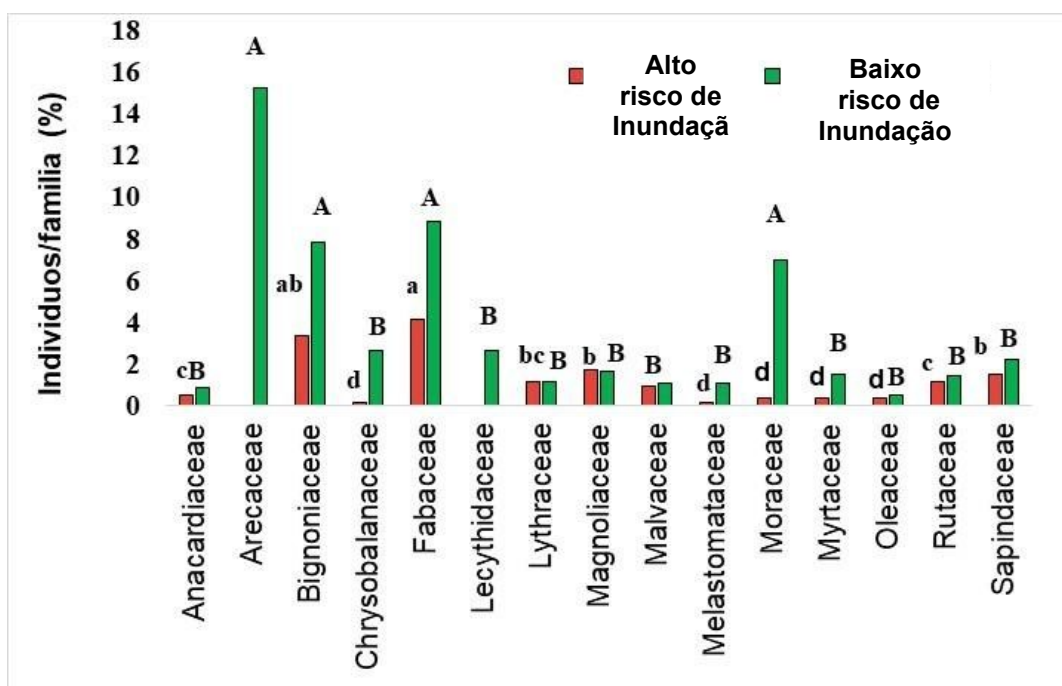
As famílias *Lecythidaceae* estão presentes somente na amostra 5 e com alta representatividade e a *Moraceae* também apresenta predominância na área não

inundável e poucos indivíduos na área inundável.

Os indivíduos da família *Magnoliaceae* ocorrem em proporções semelhantes nas áreas inundáveis e não inundáveis.

Considerando as famílias com índice de ocorrência maior que 1% em toda a área de estudo, foi possível selecionar 15 famílias dentre as 34 famílias identificadas que foram representadas no gráfico da figura 36, a seguir.

Figura 36 - : Porcentagem de indivíduos arbóreos por família nas áreas inundáveis e não inundáveis. Análise de variância feita segundo ANOVA. Diferenças entre famílias foram analisadas segundo teste de *Tukey* considerando significativas médias com letras diferentes a nível de  $p \leq 5\%$ . Comparação entre famílias nas áreas inundáveis são seguidas de letras minúsculas e nas áreas não inundáveis estão seguidas de letras maiúsculas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A figura 36 evidencia que, entre as quinze famílias analisadas, a maior dominância ocorreu entre *Arecaceae*, *Bignoniaceae*, *Fabaceae* e *Moraceae*, todas concentradas em áreas não inundáveis, o que sugere um papel relevante dessas famílias nos serviços ecossistêmicos de regulação das inundações. Destacam-se as famílias *Arecaceae* e *Moraceae*, que apresentaram maior ocorrência nessas áreas. Dentro da *Arecaceae*, predomina a espécie *Syagrus romanzoffiana* (Jerivá), enquanto

na *Moraceae* sobressaem espécies do gênero *Ficus*. Esses resultados apontam para a contribuição diferenciada das famílias e espécies na regulação hídrica em áreas sujeitas a inundações.

Entretanto, conforme estabelece a Deliberação Normativa nº 69, de 30 de agosto de 2010, Art. 4º e §1º, ambas as famílias não são recomendadas para plantios em passeios públicos em Belo Horizonte. De modo semelhante, o Plano Municipal de Arborização Urbana de Umuarama (PR), instituído pela Lei nº 482/2020, em seu Art. 49, proíbe o plantio de espécies da família *Arecaceae*, sob a justificativa de possíveis conflitos com a rede elétrica e com a infraestrutura urbana.

As famílias *Arecaceae* e *Moraceae* podem desempenhar um papel relevante na regulação hidrológica por meio do controle dos níveis do lençol freático e da infiltração da água no solo. Esse processo ocorre, sobretudo, pela evapotranspiração, na qual as plantas transferem a água do solo para a atmosfera durante a transpiração. A eficiência deste mecanismo depende de fatores fisiológicos, como a profundidade das raízes, a morfologia foliar (tamanho e tipologia das folhas), os padrões genéticos das espécies, além da disponibilidade hídrica no solo, da qualidade e fertilidade edáfica e da temperatura ambiente (Cermak et al., 1982; Hanson, 1991; Carrick et al., 2019).

Enquanto em áreas impermeabilizadas a evaporação da água do solo está restrita à influência direta da temperatura, em áreas permeáveis esse processo está associado às características das espécies vegetais e à sua densidade, ocorrendo de forma contínua e diária. Dessa forma, a presença de maior número de espécies arbóreas tende a aumentar a eficiência da evapotranspiração. Contudo, esse efeito também pode ser compensado pela presença de espécies particularmente mais eficientes nesse processo. Por esse motivo, o estudo da eficiência das espécies nos processos de evapotranspiração e infiltração deve ser objeto de pesquisas futuras, a fim de aprofundar o conhecimento sobre sua contribuição na regulação hídrica urbana.

Os resultados obtidos reforçam o destaque das famílias *Arecaceae* e *Moraceae* como aquelas com maior potencial de evapotranspiração, contribuindo significativamente para a mitigação de eventos de inundação. Assim, conclui-se que fatores como as dimensões do canal e a composição quali-quantitativa da arborização

influenciam diretamente a ocorrência de inundações ao longo da bacia do Ribeirão Arrudas. Como recomendação, destaca-se a criação de parques urbanos com fragmentos florestais que privilegiam a presença dessas famílias, de forma a potencializar os serviços ecossistêmicos de regulação hídrica e controle de cheias.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados obtidos evidenciam que a suscetibilidade a inundações na bacia do Ribeirão Arrudas está fortemente associada à combinação de fatores geomorfológicos, hidrológicos e antrópicos. Nesse sentido, a vegetação arbórea mostrou-se elemento essencial para a regulação hídrica urbana, tanto pelo aumento da infiltração quanto pela evapotranspiração, o que reforça o papel estratégico da arborização no controle de inundações urbanas.

Diante desse cenário, recomenda-se que políticas públicas de planejamento urbano e ambiental incorporem de forma mais efetiva os serviços ecossistêmicos associados à vegetação. A criação e manutenção de parques urbanos, corredores ecológicos e áreas verdes nas zonas de maior suscetibilidade de inundação pode atuar como estratégia eficaz para mitigar inundações, ao mesmo tempo em que promove benefícios sociais e ambientais.

Destaca-se ainda a necessidade de pesquisas futuras sobre a eficiência diferenciada das espécies arbóreas nos processos de infiltração e evapotranspiração, de modo a orientar planos de arborização com espécies mais adaptadas e eficazes no controle hidrológico. A integração entre modelos preditivos, monitoramento hidrológico e manejo da vegetação constitui caminho promissor para reduzir a vulnerabilidade da bacia do Arrudas frente aos eventos de inundação e para avançar em direção a uma gestão urbana mais sustentável e resiliente.

## REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. O clima urbano de Belo Horizonte: análise têmporo-espacial do campo térmico e hígrico. **Revista de Ciências Humanas**, v. 10, n. 1, p. 47-63, jan./jun. 2010.

AMARAL, R.; COSTA, S. A. P.; MUZZI, M. R. S. O Sequestro de Carbono em Trechos da Floresta Urbana de Belo Horizonte: por um Sistema de Espaços Livres mais Eficiente no Provimento de Serviços Ecossistêmicos Urbanos. **Paisagem e Ambiente: Ensaios**, n. 39, p. 163-179, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação — trabalhos acadêmicos — apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: pavimento permeável de concreto – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BALÉE, W. Cultura na vegetação da Amazônia brasileira. In: NEVES, W. (org.). **Biologia e ecologia humana na Amazônia**: avaliação e perspectivas e ecologia humana na Amazônia. Belém: Sociologias, 1989. p. 95-109.

BELO HORIZONTE. **Lei nº 7.166, de 27 de agosto de 1996**. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Diário Oficial do Município, 1996.

BELO HORIZONTE. **Lei nº 8.137, de 21 de dezembro de 2000**. Altera dispositivos da Lei nº 7.166/1996, que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Diário Oficial do Município, 2000.

BELL, S. et al. Urban forest policy and planning. In: KONIJNENDIJK, C. C. et al. (eds.). **Urban forests and trees**: a reference book. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.

BIENAL INTERNACIONAL DE PAISATGE BARCELONA. **Landscape Architecture Biennial**. Barcelona, 2019. Disponível em: <https://www.coac.net/landscape>. Acesso em: 6 out. 2025.

BONAM, G. **Ecological climatology**: concepts and applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

BORSAGLI, A. **A formação e a transformação da paisagem urbana de Belo Horizonte**: o caso do Ribeirão Arrudas. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

BORSAGLI, A. **O processo de canalização dos rios urbanos em Belo Horizonte**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

BORSAGLI, A. **Rios invisíveis da metrópole mineira**. Belo Horizonte: Clube de Autores, 2018.

BOTELHO, F. M. **O éthos urbanístico do Acaba Mundo**: estabilização, manutenção e reprodução do modelo de canalizações de cursos d'água desde a construção de Belo Horizonte. 2023. 300 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soil**. 14. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2008. 965 p.

BROCANELI, P. **O ressurgimento das águas na paisagem paulistana**: fator fundamental para a cidade sustentável. 2007. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BURT, T. P. The hydrological role of floodplains within the drainage basin system. In: **Buffer zones**: their processes and potential in water protection. Oxfordshire: Quest Environmental, 1996. p. 21-32.

CAJAZEIRO, L. **Enchentes urbanas e vulnerabilidade social**: estudo de caso em Belo Horizonte. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CANHAM, C. D.; COATES, K. D. Tree roots and water uptake in forest ecosystems. **Ecological Applications**, v. 19, p. 71–84, 2009.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: fundamentos. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CARRICK, P. J.; VAN DER HEYDE, M.; CILLIERS, S. S. Ecological restoration for ecosystem resilience: Impact of vegetation traits on hydrological processes. **Ecological Engineering**, v. 138, p. 36–45, 2019.

CAVALCANTE, T. **Geologia da Bacia do Ribeirão Arrudas**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CBH VELHAS. **Relatório técnico anual**. Belo Horizonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2016. Disponível em: <https://cbhvelhas.org.br>. Acesso em: 6 out. 2025.

CERMAK, J.; DEML, M.; PENKA, M. Solar equivalent leaf area as the basis of the scaling-up process in transpiration studies. **Biologia Plantarum**, v. 24, p. 79–85, 1982.

CHAMEIDES, W. L. et al. The role of biogenic hydrocarbons in urban photochemical smog: Atlanta as a case study. **Science**, Washington, v. 241, n. 4872, p. 1473-1475, 1992.

CHAMPS, J. **Urbanização e drenagem em Belo Horizonte**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CITY OF SEATTLE. **Urban Forest Management Plan**. Seattle: City of Seattle Urban Forest Coalition, 2007. 106 p.

COSTA, F. S. et al. Permeabilidade de pavimentos urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 45–56, 2007.

COTRONE, V. The Role of Trees & Forests in Healthy Watersheds: Managing Stormwater, Reducing Flooding, and Improving Water Quality. **Forest Stewardship Bulletin**, v. 10, 2008.

CURRAL DEL REY. **Córrego do Leitão e a urbanização de Lourdes**. [Belo Horizonte], 2012. Disponível em: <http://curraldelrei.blogspot.com/2012>. Acesso em: 9 set. 2025.

CURRAL DEL REY. **Memórias urbano-ribeirinhas: obras de canalização do Ribeirão Arrudas**. [Belo Horizonte], 2010. Disponível em: <http://curraldelrei.blogspot.com/2010>. Acesso em: 9 set. 2025.

CURRAL DEL REY. **Seria possível uma reabilitação dos nossos rios urbanos?** [Belo Horizonte], 2013. Disponível em: <http://curraldelrei.blogspot.com/2013/04/seria-possivel-uma-reabilitacao.html>. Acesso em: 9 set. 2025.

DOCHINGER, L. S. Interception of airborne particulates by tree plantings. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 9, n. 2, p. 265-268, 1980.

DOSWELL, C. A. Flash flood forecasting: current status and future directions. **Meteorological Applications**, v. 22, p. 179–193, 2015.

FARIA, T. N. Avaliação de permeabilidade de pavimentos para calçadas visando a redução do escoamento superficial. In: **ANÁLISE da permeabilidade e dos métodos de instalação de pavimentos permeáveis contidos em artigos científicos e em catálogos técnicos**. [S. l.]: ResearchGate, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282420894>. Acesso em: 25 ago. 2025.

FLINK, C. A.; SEARNS, R. M. **Greenways: A Guide to Planning, Design and Development**. Washington, DC: Island Press, 1993. 351 p.

FORMAN, R. T. **Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

FRISCHENBRUDER, M.; PELLEGRINO, P. Using greenways to reclaim nature in Brazilian Cities. **Landscape and Urban Planning**, n. 76, p. 67-78, 2006. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em: 15 fev. 2025.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Panorama de Belo Horizonte**: atlas histórico. Belo Horizonte: FJP, 1997. (Coleção Centenário).

GARCIA, L. C. Bacia do Arrudas e fabricação de desastres climáticos. **O Tempo**, Belo Horizonte, 23 jun. 2024. Disponível em: <https://www.otempo.com.br>. Acesso em: 8 ago. 2025.

GIOIA, A. et al. The cooling effect of urban trees. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, p. 93–102, 2014.

GIORDANO, L. O conceito de corredores verdes (greenways) no planejamento para prevenção de inundações. In: FÓRUM DE DEBATES SOBRE ECOLOGIA DA PAISAGEM E PLANEJAMENTO AMBIENTAL, 1., 2000, Rio Claro. **Anais [...]**. Rio Claro: UNESP, 2000.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. Aplicação do modelo HAND para identificação de áreas suscetíveis a inundações. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. 13, 2017.

HANSON, P. J. Factors affecting stomatal conductance in northern hardwood trees. **Tree Physiology**, v. 9, n. 1-2, p. 89–98, 1991.

HIGUERAS, E. Vegetation elements as best protectors of open spaces. **Landscape and Urban Planning**, v. 39, n. 1, p. 87-100, 1997.

HODGES, A. W.; COURT, C. D. **Economic contributions of Urban Forestry in Florida in 2017**. [S. l.]: Florida Department of Agriculture and Consumer Services, 2019. Disponível em: <https://fred.ifas.ufl.edu>. Acesso em: 6 out. 2025.

HOYUELA JAYO, J. A. **Plano Diretor do Parque Municipal Américo Rennê Giannetti**. Belo Horizonte: Fundação Municipal de Cultura, Prefeitura de Belo Horizonte, 2015.

HUNG, A.; LI, L. Y.; SWEI, O. Avaliação de pavimentos rodoviários permeáveis por meio de um modelo de ciclo de vida integrado. **Journal of Cleaner Production**, 2021.

HUPP, C. R.; OSTERKAMP, W. R. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. **Geomorphology**, v. 14, n. 4, p. 277–295, 1996.

JABUR, A. B. **Pavimentos permeáveis e sua aplicabilidade urbana**. São Paulo: IPT, 2013. Disponível em: <https://www.ipt.br>. Acesso em: 6 out. 2025.

JIAO, Y. et al. Tree canopy effects on microclimate and thermal comfort. **Urban Climate**, v. 20, p. 176–192, 2017.

KIA, A.; WONG, H. S.; CHEESEMAN, C. R. **Entupimento em concreto permeável: uma revisão**. Cambridge: Academic Press, 2017.

KIMURA, A. C.; BAPTISTA, M. B.; SCOTTI, M. R. Soil humic acid and aggregation as restoration indicators of a seasonally flooded riparian forest under buffer zone system. **Ecological Engineering**, v. 98, p. 146–156, 2017.

LEAL, W. P. Enchentes e inundações em áreas urbanas: uma análise integrada do problema. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2012.

LIMA, M. G. Revitalização do canal Cheonggyecheon: a recuperação de um rio urbano. **Revista de Paisagem e Ambiente**, v. 23, p. 11–27, 2018.

LIMA, S.; PAIVA, R. **Análise dos impactos em cenários de rompimento hipotéticos da UHE 14 de julho no rio Taquari-Antas**: nota técnica. Porto Alegre: UFRGS-IPH, 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph>. Acesso em: 29 jul. 2025.

LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, E. G.; CALFAPIETRA, C. The urban forest and ecosystem services. **Environmental Pollution**, v. 212, p. 207–218, 2016.

LONDOÑO, L. F. **Recuperación ecológica del río Medellín**. Medellín: Universidad de Antioquia, 2018. Disponível em: <https://repository.udea.edu.co>. Acesso em: 6 out. 2025.

MACEDO, S. S.; SAKATA, F. G. **Parques urbanos no Brasil**. São Paulo: Edusp, 2002.

MANTOVANI, J. **Manual de pavimentos sustentáveis**. Belo Horizonte: CEFET-MG, 2025.

MARTINS, D. C. **Drenagem urbana sustentável**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

MCFEETERS, S. K. Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 5, n. 7, p. 3544-3561, jul. 2013.

MCPHERSON, E. G.; SIMPSON, J. R. Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 2, n. 2, p. 73–86, 2003.

MEDEIROS, M. B. et al. Rehabilitation of eroded trails and gullies on quartzite rock outcrops with native species in a high-altitude grassland. **Journal of Environmental Management**, v. 326, 116569, 2023.

MOTA, S. **Planejamento urbano e preservação ambiental**. Fortaleza: Edições UFC, 1981. 242 p.

NORTON, B. A. et al. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, v. 134, p. 127-138, 2015.

NOWAK, D. J.; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 4, n. 3–4, p. 115–123, 2006.

OLIVEIRA, C. S.; REZENDE, L. R. Avaliação do desempenho hidráulico de pavimentos permeáveis em áreas urbanas. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 6, n. 2, p. 64-78, 2019.

OLIVEIRA, M.; GANEM, K.; BAPTISTA, G. Análise sazonal da relação entre sequestro de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br>. Acesso em: 9 dez. 2023.

PARK, J.-H.; SCHADE, G. W. Urban CO<sub>2</sub> dome effect of Houston, Texas: Variability in ambient CO<sub>2</sub> during 2002–2011. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 121, n. 14, p. 8057-8072, 2016.

PARREIRAS, M. Como a Grande BH transforma o Arrudas de ribeirão em canal de esgoto e lixo. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 23 dez. 2024. Disponível em: <https://www.em.com.br>. Acesso em: 9 ago. 2025.

PELLIZARI, R. P. Pavimentações permeáveis e infiltração urbana. **Revista Engenharia Civil**, v. 22, p. 33–45, 2013.

**PISOS permeáveis**: economia, design e eficiência. [S. l.: s. n., s.d.]. Disponível em: <https://glasser.com.br>. Acesso em: 26 nov. 2025.

PLAMBEL. **Plano de Desenvolvimento Metropolitano da Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: PLAMBEL, 1986.

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM DE BELO HORIZONTE. **Atlas dos Diagramas dos Canais Revestidos do Sistema de Macrodrenagem**. Bacia do Ribeirão Arrudas. Belo Horizonte: PBH, 2002. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br>. Acesso em: 6 out. 2025.

POMPEO, C. A. **Drenagem urbana sustentável**. Porto Alegre: ABRH, 2000.

PROJETO MANUELZÃO. **Bacia do Ribeirão Arrudas e seus afluentes**. [Belo Horizonte]: UFMG, 2019. Disponível em: <https://manuelzao.ufmg.br>. Acesso em: 27 nov. 2025.

PROJETO MANUELZÃO (UFMG). **Núcleo Cercadinho**. Belo Horizonte, [s.d.]. Disponível em: <https://manuelzao.ufmg.br>. Acesso em: 28 nov. 2025.

PROJETO MANUELZÃO (UFMG). **Núcleo Navio/Baleia**. Belo Horizonte, [s.d.]. Disponível em: <https://manuelzao.ufmg.br>. Acesso em: 28 nov. 2025.

PROJETO MANUELZÃO (UFMG). **Relatório de qualidade das águas**. Belo Horizonte: UFMG, 2009. Disponível em: <https://www.manuelzao.ufmg.br>. Acesso em: 6 out. 2025.

REIS, J. C. **Diagnóstico ambiental da bacia do Ribeirão Arrudas**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

RUIN, I. et al. Flood risk perception and social impact. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 20, p. 2401–2416, 2020.

SARAIVA, M. G. et al. Protection, Reclamation and Improvement of Small Urban Streams in Portugal. In: HARPER, D.; FERGUSON, A. J. D. (ed.). **The Ecological Basis for River Management**. England: Willey, 1995. p. 276-287.

SCHOLZ, F. G.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G. Root architecture and water relations of tropical trees. **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 4, p. 125–131, 2007.

SCHOLZ, M.; GRABOWIECKI, P. Permeable Pavements: A review of the state-of-the-art. **Environmental Management**, v. 39, n. 1, p. 1-13, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SENTINEL-HUB. **Normalized Difference Vegetation Index** – Sentinel-2 Custom Scripts. [S. l.]: Sentinel-Hub, [s.d.]. Disponível em: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com>. Acesso em: 13 out. 2025.

SILVA, A. C. **Políticas públicas de drenagem urbana em Belo Horizonte**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1042–1049, 2000.

SMITH, D. S.; HELLMUND, P. L. **Ecology of Greenways**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1993. 222 p.

TEMPORAIS no RS: veja resgates impressionantes durante as chuvas. **G1**, Rio Grande do Sul, 6 maio 2024. Disponível em: [link suspeito removido]. Acesso em: 25 ago. 2025.

TERZAGUI, K.; PECK, R. B. **Soil mechanics in engineering practice**. New York: Wiley, 1967.

TREVISAN, S. et al. Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. **Plant Signaling & Behavior**, v. 5, p. 635-643, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. Gestão de inundações. In: TUCCI, C. E. M.; VAZ, D. A. (org.). **Gerenciamento de desastres naturais**. Porto Alegre: ABRH, 2007.

TYRVÄINEN, L.; HERZELE, A. V.; COLLINS, K. Involving people in urban forestry - A discussion of participatory practices throughout Europe. In: KONIJNENDIJK, C. C. et al. (eds.). **Urban forests and trees: a reference book**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.

VASCONCELOS, A. L. R. **Vulnerabilidade social e desastres naturais: a percepção dos moradores em áreas de risco de inundação em Belo Horizonte**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

VIRGILLIS, A. M. **Impactos da impermeabilização urbana na drenagem**. São Paulo: IPT, 2009. Disponível em: <https://www.ipt.br>. Acesso em: 6 out. 2025.

WINSTON, R. J. et al. Medidas de manutenção para preservação e recuperação da taxa de infiltração de superfícies de pavimentos permeáveis — Efeitos da varreção de ruas, aspiração, lavagem de alta pressão e fresagem. **Journal of Environmental Management**, v. 169, p. 132–144, 2016.

WIKIPÉDIA. **Córrego do Leitão**. [S. l.], [s.d.]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org>. Acesso em: 28 nov. 2025.