



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA



Humberto Antunes Sayão Neto

Avaliação hidrológica e hidráulica do Ribeirão Ubá (MG):
análise da capacidade de macrodrenagem e proposições para
mitigação de inundações

Ouro Preto

2026

Humberto Antunes Sayão Neto

Avaliação hidrológica e hidráulica do Ribeirão Ubá (MG):
análise da capacidade de macrodrenagem e proposições para
mitigação de inundações

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Urbanista.

Orientadora: Dra. Aline de Araújo Nunes

Ouro Preto

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S274a Sayão Neto, Humberto Antunes.

Avaliação hidrológica e hidráulica do Ribeirão Ubá (MG) [manuscrito]: análise da capacidade de macrodrenagem e proposições para mitigação de inundações. / Humberto Antunes Sayão Neto. - 2026.

87 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Aline de Araújo Nunes.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Planejamento urbano. 2. Hidrologia urbana. 3. Urbanização. 4. Drenagem. 5. Controle de inundações. I. Nunes, Aline de Araújo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - CRB6/2322



FOLHA DE APROVAÇÃO

Humberto Antunes Sayão Neto

Avaliação hidrológica e hidráulica do ribeirão Ubá (MG): análise da capacidade de macrodrenagem e proposições para mitigação de inundações

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Urbanista

Aprovada em 25 de fevereiro de 2026

Membros da banca

Doutora Aline de Araújo Nunes - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutora Marina Neves Merlo (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor Paulo de Castro Vieira (Universidade Federal de Ouro Preto)

Aline de Araújo Nunes, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 11/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Aline de Araujo Nunes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/03/2026, às 15:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1073731** e o código CRC **B89A8D9C**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela força e pela sabedoria concedidas ao longo de toda a caminhada. Nos momentos de incerteza, foi Ele quem sustentou minha fé e renovou minha coragem para seguir em frente, tornando possível a concretização deste trabalho e deste sonho.

Aos meus pais, Humberto e Rita, minha eterna gratidão por todo amor, apoio incondicional e pelos valores que me ensinaram desde a infância. Ao meu tio Eduardo (*in memoriam*), cuja presença e exemplo permanecem vivos em minha memória e em meu coração. À minha namorada, Kamilly, agradeço pelo amor, pela paciência, pela compreensão nos momentos mais difíceis e por estar ao meu lado em cada etapa dessa caminhada, sendo apoio, incentivo e luz nos dias desafiadores.

Aos professores do Ensino Superior da UFOP, minha sincera gratidão. Em especial, à professora e orientadora Aline Nunes, pelos ensinamentos de notável primor acadêmico nas disciplinas ministradas, pela clareza, pela dicção impecável e pela didática admirável. Sua orientação foi verdadeiramente fenomenal e decisiva para a conclusão deste trabalho. Aos demais professores do Departamento de Engenharia Urbana (DEURB), agradeço pelo elevado nível de ensino, pelo aprendizado constante e por todo empenho dedicado durante este período de graduação. Vocês são essenciais na construção do profissional que me torno daqui em diante.

Aos amigos que fiz ao longo da graduação, minha profunda gratidão pela parceria, pelo companheirismo e pelos inúmeros momentos felizes que tornaram essa jornada mais leve. Em especial, aos amigos da Engenharia Urbana, Nicolas e Bahia, obrigado pela amizade, pelo apoio diário e por dividirem comigo não apenas o espaço, mas também experiências e conquistas inesquecíveis.

Por fim, agradeço à Escola de Minas, à Universidade Federal de Ouro Preto e à Fundação Gorceix por proporcionarem uma educação pública, gratuita e de qualidade. Tenho orgulho de fazer parte dessa história e levo comigo a honra de ter sido formado por instituições tão respeitadas e comprometidas com a formação acadêmica e humana.

RESUMO

A intensificação da urbanização e da impermeabilização do solo tem alterado o comportamento hidrológico das bacias urbanas, ampliando a frequência e a magnitude das inundações, sobretudo em municípios com sistemas de drenagem subdimensionados. Nesse contexto, o presente estudo analisou o desempenho hidrológico e hidráulico do sistema de macrodrenagem do Ribeirão Ubá, na região central do município de Ubá (MG), com o objetivo de avaliar sua vulnerabilidade frente a eventos extremos e subsidiar a proposição de medidas de mitigação. A metodologia compreendeu a modelagem hidrológica da bacia no HEC-HMS para estimativa de vazões de pico em diferentes Tempos de Retorno (10, 25 e 50 anos), a verificação da capacidade hidráulica do canal principal por meio da equação de Chézy, o levantamento histórico de inundações no período de 2016 a 2026 e a análise das diretrizes de drenagem urbana estabelecidas no Plano Diretor Municipal. Os resultados indicaram que a capacidade do canal é suficiente para eventos com TR de 10 e 25 anos, porém insuficiente para TR de 50 anos, com superação de 17,6% em relação à capacidade hidráulica estimada. O levantamento histórico revelou cinco chuvas intensas de inundações em dez anos, evidenciando elevada recorrência e sugerindo possível inadequação dos parâmetros tradicionais de projeto baseados em hipóteses estacionárias. A análise normativa demonstrou que o Plano Diretor apresenta diretrizes genéricas para drenagem urbana, sem detalhamento técnico ou exigência explícita de medidas compensatórias. Com base no diagnóstico integrado, foram propostas medidas estruturais, como a implantação de bacias de retenção em pontos estratégicos da bacia, e medidas não estruturais, incluindo a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana e a avaliação da aplicabilidade de curvas IDF não estacionárias. Conclui-se que a integração entre modelagem hidrológica, verificação hidráulica e aprimoramento do planejamento urbano é fundamental para aumentar a resiliência da infraestrutura de drenagem e reduzir o risco de inundações no município de Ubá.

Palavras-chave: drenagem urbana, inundações, modelagem hidrológica, planejamento urbano, urbanização.

ABSTRACT

The intensification of urbanization and soil imperviousness has significantly altered the hydrological behavior of urban watersheds, increasing the frequency and magnitude of flooding events, particularly in municipalities with undersized drainage systems. In this context, this study analyzed the hydrological and hydraulic performance of the macrodrainage system of the Ribeirão Ubá in the central region of the municipality of Ubá, Minas Gerais, Brazil, aiming to evaluate its vulnerability to extreme rainfall events and to support the proposal of mitigation measures. The methodology included hydrological modeling of the watershed using the HEC-HMS model to estimate peak discharges for different return periods (10, 25, and 50 years), assessment of the hydraulic capacity of the main channel using the Chézy equation, a historical survey of flood events between 2016 and 2026, and an analysis of urban drainage guidelines established in the Municipal Master Plan. The results indicated that the channel capacity is adequate for events with return periods of 10 and 25 years, but insufficient for a 50-year return period, exceeding the estimated hydraulic capacity by 17.6%. The historical analysis identified five intense rainfall events associated with flooding over the ten-year period, indicating a high recurrence of extreme events and suggesting potential limitations in traditional design parameters based on stationarity assumptions. The regulatory analysis showed that the Municipal Master Plan provides only general guidelines for urban drainage, lacking technical detail and explicit requirements for compensatory measures. Based on the integrated assessment, structural measures such as the implementation of detention basins at strategic locations within the watershed were proposed, along with non-structural measures including the development of an Urban Drainage Master Plan and the evaluation of non-stationary IDF curves. The study concludes that integrating hydrological modeling, hydraulic verification, and improved urban planning is essential to enhance the resilience of drainage infrastructure and reduce flood risk in the municipality of Ubá.

Keywords: floods, hydrological modeling, urban drainage, urban planning, urbanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das perdas materiais após inundação em Ubá.....	13
Figura 2 - Representação do ciclo hidrológico.....	16
Figura 3 - Representação da diferença entre inundação e enchente.....	20
Figura 4 - Tipo de pavimento permeável.....	22
Figura 5 - Exemplo de uma bacia de detenção.....	24
Figura 6 - Exemplo de um telhado verde.....	25
Figura 7 - Exemplo de um poço de infiltração.....	27
Figura 8 - Etapas metodológicas.....	32
Figura 9 - Mapa de localização da área de estudo.....	34
Figura 10 - Mapa da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá.....	35
Figura 11 - Mapa de Uso e Ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá.....	36
Figura 12 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá.....	37
Figura 13 - Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá.....	38
Figura 14 - Mapa das sub-bacias.....	40
Figura 15 - Modelo topológico das simulações hidrológicas.....	42
Figura 16 - Mapa do Solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá.....	44
Figura 17 - Exutório da área de estudo.....	53
Figura 18 - Ponto escolhido para medição da capacidade hidráulica.....	55
Figura 19 - Hidrograma de cheias referente ao TR de 10 anos.....	60
Figura 20 - Hidrograma de cheias referente ao TR de 25 anos.....	60
Figura 21 - Hidrograma de cheias referente ao TR de 50 anos.....	61
Figura 22 - Transbordamento do Ribeirão Ubá ocorrido em 24/02/2026.....	65
Figura 23 - Mapa das opções de áreas para a implantação de bacias de detenção.....	70
Figura 24 - Capacidade do microrreservatório.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas de drenagem das sub-bacias.....	40
Tabela 2 - Valores de CN adotados para cada tipologia de uso e ocupação do solo.....	44
Tabela 3 - Resumo do CN ponderado calculado para cada sub-bacia.....	45
Tabela 4 - Parâmetros calculados para as sub-bacias, incluindo o tempo de concentração e LagTime.....	47
Tabela 5 - Precipitação incremental por intervalo de tempo.....	52
Tabela 6 - Parâmetros do ponto medido.....	54
Tabela 7 - Resumo das vazões de pico para cada tempo de retorno.....	59
Tabela 8 - Resultados da equação de Chézy.....	62
Tabela 9 - Comparativo entre a capacidade do canal e as vazões de pico modeladas.....	62

LISTA DE SIGLAS

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GHS - Grupo Hidrológico do Solo

HEC-HMS - *Hydrologic Modeling System*

HEC-RAS - *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF - Intensidade-Duração-Frequência

IQA - Índice de Qualidade da Água

PDDU - Plano Diretor de Drenagem Urbana

SCS - *Soil Conservation Service*

SIG - Sistema de Informação Geográfica

UFV - Universidade Federal de Viçosa

USGS - *United States Geological Survey*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Objetivo.....	12
1.1.1. Objetivo Geral.....	12
1.1.2. Objetivos Específicos.....	12
1.2. Justificativa.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. Bacias hidrográficas.....	15
2.2. Urbanização e os impactos nos sistemas de drenagem.....	18
2.3. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana.....	21
2.4. Geoprocessamento aplicado a ambientes urbanos.....	27
2.5. Modelagem Hidrológica.....	29
3. METODOLOGIA.....	32
3.1. Caracterização da área de estudo.....	32
3.2. Caracterização morfológica da bacia do Ribeirão Ubá.....	36
3.3. Modelagem dos fenômenos hidrológicos.....	39
3.3.1 Caracterização do modelo hidrológico e delimitação das sub-bacias.....	39
3.3.2 Cálculo do Curve Number (CN).....	42
3.3.3 Tempo de Concentração.....	46
3.3.4 Chuvas de projeto.....	50
3.4. Avaliação da capacidade hidráulica das estruturas de macrodrenagem.....	53
3.5. Levantamento do histórico de inundações do município.....	56
3.6. Avaliação do Plano Diretor quanto à drenagem urbana.....	56
3.7. Proposição de medidas de intervenção.....	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1. Modelagem Hidrológica.....	59
4.2. Análise da capacidade hidráulica do canal.....	62
4.3. Análise do histórico de inundações do município.....	63
4.4. Avaliação do Plano Diretor quanto a drenagem urbana.....	66
4.5. Proposições de melhoria da qualidade e da capacidade hidráulica do canal.....	68
4.5.1 Medida estrutural.....	68
4.5.2 Medidas não estruturais.....	72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

O processo de impermeabilização do solo, associado ao crescimento acelerado e desordenado das cidades brasileiras, tem intensificado os impactos das inundações urbanas, especialmente em regiões densamente ocupadas e com sistemas de drenagem deficientes (Farias; Mendonça, 2022). Quanto maior a impermeabilização do solo, maior é o volume de escoamento superficial e menor a taxa de infiltração da água no subsolo, aumentando, conseqüentemente, a demanda por estruturas de drenagem pluvial eficientes (Nunes; Rosa, 2020).

O município de Ubá, localizado na Zona da Mata mineira, enfrenta frequentemente essa problemática. Episódios de alagamentos e inundações na área central têm se tornado cada vez mais recorrentes, evidenciando a sobrecarga do sistema de drenagem existente e a fragilidade da infraestrutura urbana diante de eventos pluviométricos intensos (Paiva *et al.*, 2024).

Diante da ineficiência, dos elevados custos e da limitação de espaço das soluções convencionais, baseadas exclusivamente em infraestrutura cinza, cresce o interesse por alternativas sustentáveis, como as técnicas compensatórias e as soluções baseadas na natureza. Essas abordagens são capazes de promover o controle do escoamento superficial, além de proporcionar benefícios ambientais e sociais (Tassi *et al.*, 2014). A implementação dessas estratégias não apenas melhora a gestão das águas pluviais, mas também possibilita a integração com outras funções urbanas, como mobilidade, lazer e paisagismo.

No entanto, em muitas cidades brasileiras, incluindo Ubá, essas soluções ainda não são amplamente adotadas. Atualmente, as intervenções propostas no município limitam-se a infraestruturas convencionais, que frequentemente se mostram insuficientes para resolver o problema. Diante desse cenário, o presente estudo buscou analisar o comportamento hidrológico da bacia do Ribeirão Ubá, verificar a compatibilidade entre as vazões de cheia e a capacidade hidráulica do canal principal na área central do município, examinar o histórico recente de inundações e avaliar o tratamento conferido à drenagem urbana no Plano Diretor Municipal, com vistas à proposição de medidas estruturais e não estruturais voltadas à mitigação de cheias.

1.1. Objetivo

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho hidrológico e hidráulico do sistema de macrodrenagem do Ribeirão Ubá, na região central do município de Ubá (MG), integrando modelagem hidrológica, avaliação da capacidade do canal, levantamento histórico de inundações e análise do Plano Diretor Municipal, a fim de subsidiar a proposição de medidas de mitigação de cheias.

1.1.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- Caracterizar hidrologicamente a bacia do Ribeirão Ubá por meio de modelagem no HEC-HMS, estimando vazões de pico para diferentes tempos de retorno;
- Avaliar a capacidade hidráulica do canal principal em trecho crítico da área central, confrontando-a com as vazões modeladas;
- Levantar e sistematizar os registros históricos de inundações no município, analisando sua frequência e distribuição temporal;
- Examinar o Plano Diretor Municipal quanto às diretrizes relacionadas à drenagem urbana, identificando lacunas e potencialidades;
- Propor medidas estruturais e não estruturais coerentes com o diagnóstico hidrológico-hidráulico e com o contexto normativo local.

1.2. Justificativa

Compreender as causas, os impactos e as estratégias de mitigação das inundações urbanas é fundamental para uma gestão de riscos eficiente. Quando esse gerenciamento é negligenciado, os municípios enfrentam consequências significativas, incluindo elevadas perdas materiais, interrupção de serviços públicos e comprometimento da qualidade de vida da população (Minervino; Duarte, 2016).

No município de Ubá (MG), as inundações recorrentes afetam diretamente as áreas centrais e mais densamente ocupadas (Figura 1), gerando não apenas danos econômicos, mas também impactos negativos na mobilidade urbana, na saúde pública e na segurança da população (Paiva *et al.*, 2024). A insuficiência do sistema de drenagem atual, baseado predominantemente em infraestruturas convencionais, como galerias e canalizações, demonstra sua ineficiência e insustentabilidade a longo prazo. Essas soluções, além de demandarem altos investimentos, frequentemente não resolvem o problema de forma definitiva, exigindo abordagens mais inovadoras e resilientes.

Figura 1 - Representação das perdas materiais após inundação em Ubá



Fonte: G1 Zona da Mata (2020)

Nesse contexto, a adoção de uma abordagem integrada, que articule modelagem hidrológica, análise hidráulica, levantamento histórico e avaliação dos instrumentos de planejamento urbano, permite compreender não apenas a magnitude das vazões geradas, mas também a compatibilidade entre a “oferta” hidrológica da bacia e a “capacidade” da infraestrutura instalada, bem como as limitações normativas que influenciam o controle do escoamento superficial.

Assim, o presente estudo justifica-se pela necessidade de subsidiar decisões técnicas e institucionais voltadas à redução do risco de inundações em Ubá, contribuindo para o aprimoramento do planejamento urbano e para o fortalecimento da resiliência da infraestrutura de drenagem frente a eventos hidrológicos extremos. Do ponto de vista social, a pesquisa busca colaborar para a redução dos impactos

das inundações sobre a população urbana, especialmente em áreas mais vulneráveis, contribuindo para a melhoria das condições de mobilidade, segurança e qualidade de vida. Sob a perspectiva técnica, o trabalho oferece subsídios para a análise e avaliação do desempenho do sistema de drenagem urbana, apoiando gestores públicos e profissionais da área na tomada de decisões baseadas em análises hidrológicas e hidráulicas. Já no âmbito científico, o estudo contribui para o avanço das discussões sobre gestão de drenagem urbana em cidades médias brasileiras, ao integrar diferentes métodos de análise e ao produzir conhecimento aplicável à realidade local, podendo também servir de referência para estudos semelhantes em municípios com características hidrológicas e urbanas comparáveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta revisão apresenta os principais fundamentos teóricos que embasam o estudo, abordando a bacia hidrográfica como unidade de análise do ciclo hidrológico e destacando a influência da urbanização sobre os sistemas de drenagem. Também discute a importância dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana como alternativa às soluções convencionais, além do papel do geoprocessamento e da modelagem hidrológica como ferramentas essenciais para a análise, simulação e planejamento da gestão das águas pluviais em ambientes urbanos.

2.1. Bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica representa a principal unidade para a análise do ciclo hidrológico, especialmente na fase em que ocorrem a infiltração e o escoamento superficial. Trata-se de uma área definida por divisores naturais, chamados divisores de águas, que delimitam seu espaço e a distinguem das bacias vizinhas. Dentro dessa área, a água da chuva é naturalmente coletada pelas superfícies inclinadas e conduzida, por meio de uma rede de drenagem composta por cursos d'água, até um ponto único de saída, conhecido como exutório (Linsley e Franzini, 1978; Tucci, 1997 apud De Araújo, 2009).

As bacias hidrográficas constituem o espaço onde se desenvolvem as dinâmicas humanas e ambientais. Independentemente de estarem situadas em áreas urbanas, agrícolas, industriais ou de preservação, todas essas regiões estão inseridas em alguma bacia. O ponto de saída da água funciona como um reflexo do que acontece em toda a sua área de contribuição. As transformações ocorridas ao longo da bacia, especialmente no que diz respeito à ocupação do solo e ao uso dos recursos hídricos, influenciam diretamente as condições hidrológicas observadas nesse ponto final (Porto, 2008).

Ao estudar os recursos hídricos de forma geral, é imprescindível o conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles (Silveira, 1997). Esse ciclo representa a base da hidrologia, uma vez que envolve diversos processos responsáveis pela circulação da água na natureza. Entre os fenômenos verticais, destacam-se a condensação, a precipitação, a evapotranspiração, a infiltração e a percolação. Já os fluxos horizontais, como o

escoamento superficial e o sub-superficial, completam essa dinâmica (Kobiyama, 1999). A Figura 2 apresenta um esquema simplificado do ciclo hidrológico.

Figura 2 - Representação do ciclo hidrológico



Fonte: USGS *apud* Fritzen (2011)

Esse processo inicia-se, em grande parte, com a evaporação da água presente nos oceanos. O vapor gerado é transportado pelas correntes atmosféricas e, ao se resfriar, condensa-se, formando nuvens que, sob certas condições, dão origem à precipitação. Quando a chuva atinge o solo, parte da água evapora ou é absorvida pela vegetação, retornando à atmosfera por meio da evapotranspiração. O restante segue diferentes caminhos: uma fração infiltra-se no solo superficialmente, outra escoar diretamente para os cursos d'água, e uma parcela mais profunda alimenta os aqüíferos subterrâneos (Villela; Mattos, 1975).

A dinâmica do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica é fortemente condicionada por suas características morfométricas, que exercem influência direta sobre o comportamento hidrológico da área. Esse tipo de escoamento pode ser compreendido como resultado dos processos de translação, combinação entre o deslocamento da água sobre a superfície, e de armazenamento temporário ao longo do percurso (Silveira, 2015). Um parâmetro fundamental para compreender essa dinâmica é o tempo de concentração, definido como o intervalo

necessário para que a água proveniente do ponto mais distante da bacia alcance seu exutório (Mc Cuen *et al.*, 1984). Esse tempo pode ser estimado observando-se o intervalo entre o término da precipitação em toda a bacia (incluindo sua extremidade mais afastada) e o instante final do escoamento superficial indicado no hidrograma, que representa a chegada da última parcela de água ao ponto de saída da bacia (Silveira, 2015). Nesse sentido, o Quadro 1 apresenta parâmetros morfométricos frequentemente utilizados em análises hidrológicas.

Bacias com formato alongado tendem a apresentar baixos valores do fator de forma e, por isso, são menos propensas a inundações. Isso ocorre porque é menos provável que um evento de chuva intensa atinja simultaneamente toda a sua área, reduzindo a concentração rápida do escoamento superficial. A declividade do terreno exerce influência direta tanto na velocidade do escoamento quanto no tempo de concentração de uma bacia hidrográfica. Em áreas com maior inclinação, o escoamento superficial tende a ser mais rápido, resultando em um tempo de concentração reduzido. Isso significa que a água da chuva que atinge as regiões mais distantes do exutório percorre o trajeto em menor tempo, alcançando a saída da bacia mais rapidamente (Barbosa Junior, 2022).

O coeficiente de compacidade e o fator de forma também são indicadores importantes na análise da forma das bacias hidrográficas e de sua influência sobre o comportamento do escoamento superficial. O coeficiente de compacidade reflete o grau de irregularidade do contorno da bacia: quanto mais irregular for o formato, maior será esse valor. Uma bacia perfeitamente circular apresenta coeficiente igual a um, sendo este o padrão de comparação. À medida que o valor se afasta da unidade, indica-se uma maior tendência à dispersão do escoamento e, conseqüentemente, menor propensão a cheias. Já o fator de forma, que relaciona a largura média com o comprimento da bacia, também está associado à resposta hidrológica. Bacias com fator de forma mais baixo, geralmente mais alongadas, tendem a apresentar menor risco de enchentes, pois o escoamento ocorre de forma mais distribuída ao longo do tempo (Villela; Mattos, 1975).

Quadro 1 - Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica utilizados no estudo

Parâmetro	Definição	Equação	Referência
Área de drenagem (A)	Área plana da bacia	-	Villela e Mattos, (1975)
Comprimento do curso d'água principal	Comprimento do curso d'água de maior volume da nascente ao exutório	-	Villela e Mattos, (1975)
Declividade equivalente do curso d'água principal	Declividade equivalente a um curso d'água de declividade constante	$S_3 = \left[\frac{\sum Li}{\sum \left(\frac{Li}{\sqrt{Si}} \right)} \right]^2$	Villela e Mattos, (1975)

Fonte: o autor (2026)

Nesse sentido, devido ao seu caráter integrador, as bacias hidrográficas são amplamente reconhecidas como unidades eficazes para a gestão de elementos naturais e sociais, pois permitem a observação das transformações provocadas pelas atividades humanas e suas respectivas respostas nos sistemas naturais. Em países com maior nível de desenvolvimento, essa abordagem tem sido adotada também como base para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos, buscando conciliar os diferentes usos da água e assegurar sua qualidade e disponibilidade (Cardoso, 2006). Sendo assim, é preciso também entender como a urbanização vem impactando os processos naturais que ocorrem nas bacias hidrográficas.

2.2. Urbanização e os impactos nos sistemas de drenagem

A partir da segunda metade do século XX, o Brasil vivenciou uma rápida expansão urbana, impulsionada principalmente pelo avanço da industrialização e pela criação de uma infraestrutura voltada ao setor industrial (Kauffmann, 2003). Esse contexto também favoreceu o êxodo rural, intensificando o crescimento das áreas periféricas e contribuindo para a expansão desordenada da ocupação do solo. Como consequência, observou-se o agravamento da exclusão social e o aumento da densidade populacional em regiões com pouca infraestrutura (Maricato, 2003).

De acordo com Tucci (2008), os impactos que afetam os recursos hídricos em áreas urbanas estão diretamente relacionados ao intenso adensamento populacional e à ocupação desordenada do solo. A ausência de controle sobre os efeitos dessas transformações no sistema hídrico, aliada ao lançamento inadequado de esgoto nos cursos d'água, são algumas das contribuições para a degradação ambiental nas cidades.

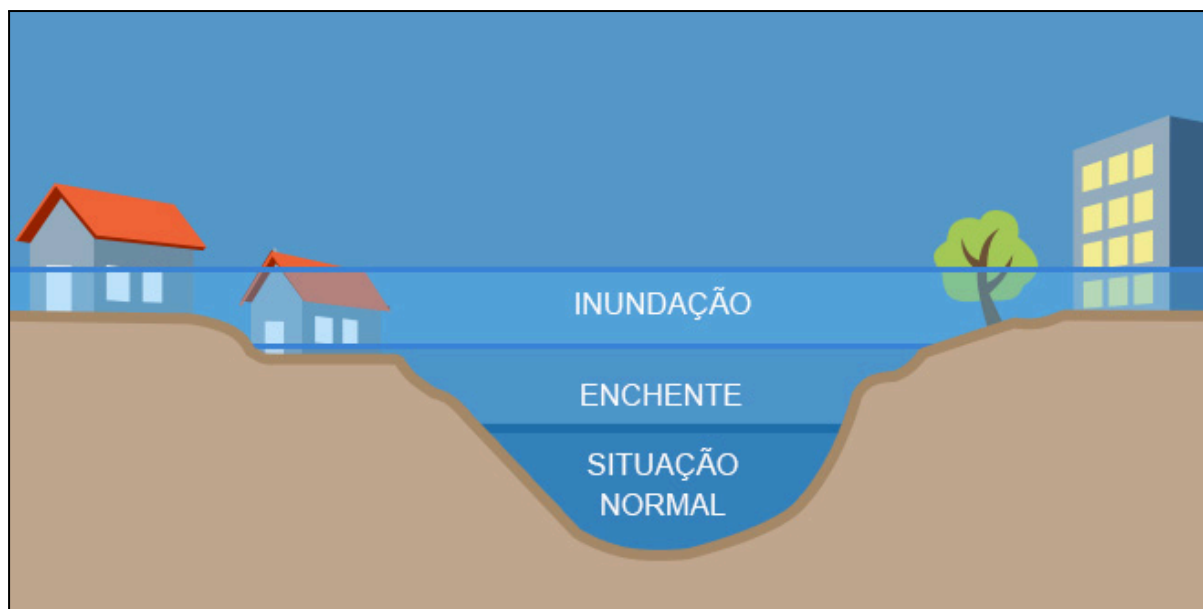
O sistema de drenagem nas áreas urbanas é segmentado em duas categorias principais: microdrenagem e macrodrenagem. O sistema de microdrenagem corresponde ao conjunto de estruturas responsáveis pela captação e condução inicial das águas pluviais em áreas urbanas, como o pavimento das vias, sarjetas, guias, bocas de lobo e galerias de menor porte. Já a macrodrenagem abrange os corpos hídricos naturais ou artificiais de maior dimensão, como córregos, ribeirões e rios que atravessam a cidade, sendo responsáveis por receber e escoar as águas coletadas pelas redes de microdrenagem ao longo das bacias urbanas (Santos, 2007).

No Brasil, as enchentes urbanas configuram um problema recorrente, em grande parte decorrente da má gestão do planejamento da drenagem urbana e da adoção de premissas inadequadas em projetos de engenharia. Muitos desses projetos partem da ideia equivocada de que uma boa drenagem é aquela capaz de escoar rapidamente toda a água precipitada sobre determinada área. Contudo, essa abordagem tem gerado impactos significativos, resultando em custos elevados para a sociedade (Teixeira, 2023). Segundo Tucci (1995), a drenagem eficiente não é aquela que apenas remove a água com rapidez, mas sim aquela que o faz de forma a não provocar impactos adversos, nem no local de intervenção nem nas áreas a jusante.

As inundações em áreas urbanas acompanham a história das cidades desde os seus primórdios. Esses eventos ocorrem quando o volume de água, seja de cursos naturais como rios e córregos ou de sistemas artificiais como galerias pluviais, ultrapassa a capacidade de condução desses canais e se espalha por espaços urbanos utilizados cotidianamente, como ruas, calçadas, áreas residenciais, comerciais e industriais. Embora possam estar relacionadas ao comportamento natural dos corpos hídricos, as inundações são frequentemente agravadas pelas transformações promovidas pelo processo de urbanização. A substituição da vegetação por superfícies impermeáveis e a modificação dos cursos

d'água, como a canalização, contribuem significativamente para a intensificação e recorrência dessas ocorrências (Tucci, 2003). A Figura 3 apresenta um esquema simplificado da diferença entre inundações e enchentes.

Figura 3 - Representação da diferença entre inundação e enchente



Fonte: Cemaden (2016)

Por outro lado, os alagamentos ocorrem quando a água da chuva se acumula temporariamente em certas áreas devido à insuficiência ou ineficiência do sistema de drenagem (Licco, 2015). A gestão inadequada dos resíduos sólidos é um dos principais fatores que contribuem para a ocorrência de alagamentos em áreas urbanas. Quando descartados de forma incorreta, os resíduos podem obstruir bocas de lobo, tubulações e canais de drenagem, comprometendo o escoamento adequado da água da chuva. Além disso, esses materiais favorecem o assoreamento dos cursos d'água, poluem os corpos hídricos e aceleram a degradação das bacias hidrográficas. Assim, além de impactarem a qualidade ambiental, os resíduos sólidos agravam significativamente os problemas relacionados à drenagem urbana, potencializando situações de alagamento e até mesmo de inundações (Oliveira, 2019).

Com isso, fica evidente que a urbanização acelerada e sem planejamento, somada à má gestão dos sistemas de drenagem e dos resíduos sólidos, intensifica os desafios relacionados ao manejo das águas pluviais nas cidades. A saturação das redes tradicionais, o aumento das superfícies impermeáveis e as intervenções humanas nos cursos d'água apontam para a necessidade de novas abordagens no

planejamento urbano. Nesse contexto, os sistemas sustentáveis de drenagem urbana surgem como alternativas importantes para minimizar os impactos discutidos em relação aos recursos hídricos.

2.3. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana

Diante dos impactos ambientais gerados pelas atividades humanas, especialmente nas áreas urbanas cada vez mais limitadas, o setor da construção civil tem adotado alternativas sustentáveis. Entre essas estratégias, destacam-se as técnicas compensatórias, que buscam mitigar os efeitos negativos de seus empreendimentos sobre o meio ambiente e promover uma relação mais equilibrada entre desenvolvimento urbano e conservação ambiental (Neto, 2019).

Tucci (2016) aponta que essas medidas sustentáveis possibilitam atenuar o volume de escoamento direcionado às áreas a jusante, ao mesmo tempo em que favorecem a recarga dos aquíferos e contribuem para a diminuição dos poluentes transportados pelas águas pluviais. Também desempenham um papel importante ao permitir que uma parte significativa da precipitação se infiltre diretamente nas áreas onde ocorre. Dentro desse contexto, destacam-se algumas técnicas compensatórias amplamente empregadas, como: pavimento permeável, bacia de retenção e retenção, telhado verde, trincheira de infiltração e poço de infiltração.

O pavimento permeável é um tipo de dispositivo de infiltração que permite o desvio do escoamento superficial por meio de uma superfície porosa, conduzindo a água para um reservatório de pedras instalado abaixo do nível do terreno (Urbonas e Stahre, 1993). Silveira (2002) afirma que os pavimentos porosos exercem papel importante na gestão das águas pluviais, atuando na redução tanto do volume quanto do pico de escoamento superficial. Além disso, auxiliam no controle da poluição difusa e, quando permitem a infiltração da água no solo, contribuem para a recarga dos lençóis freáticos. Esse tipo de pavimentação é mais apropriado para espaços com circulação leve, como calçadas, praças, quadras esportivas, estacionamentos e ruas com baixo fluxo de veículos.

Embora seja uma alternativa viável, esse tipo de dispositivo apresenta limitações que precisam ser consideradas, como apontam Araújo *et al.*, (2000). Um dos cuidados essenciais está relacionado à profundidade do lençol freático: quando elevado, há o risco de contaminação das águas subterrâneas. Além disso, a eficácia

do sistema depende diretamente da qualidade da sua implantação e da constância na manutenção. A ausência desse acompanhamento pode levar ao entupimento dos poros, comprometendo o funcionamento e reduzindo o desempenho da estrutura ao longo do tempo. A Figura 4 apresenta um exemplo de pavimento permeável.

Figura 4 - Tipo de pavimento permeável



Fonte: TBN2NET (2025)

As bacias de retenção, também conhecidas como reservatórios de amortecimento ou bacias de retardo, representam uma solução estrutural fundamental na gestão de águas pluviais urbanas, especialmente em cenários de crescente urbanização e impermeabilização do solo (Canholi, 2015). Esses dispositivos são projetados para armazenar temporariamente e/ou infiltrar as águas provenientes das chuvas urbanas, desempenhando três funções básicas no gerenciamento das águas pluviais: atenuar as inundações ao controlar os picos de cheia nas áreas urbanas; diminuir o volume de escoamento superficial, especialmente quando configuradas como bacias de infiltração; e reduzir a quantidade de poluentes transportados pela água da chuva, contribuindo para a melhoria da qualidade hídrica (Baptista, 2005).

O principal objetivo dessas estruturas é mitigar os impactos negativos do aumento das vazões de escoamento superficial, como inundações e erosão, ao

reter temporariamente grandes volumes de água da chuva e liberá-los gradualmente para o sistema de drenagem a jusante (Baptista *et al.*, 2005). Este processo de retenção e liberação controlada permite que o sistema de drenagem existente opere dentro de sua capacidade, evitando sobrecargas e, conseqüentemente, inundações (Tucci, 2005). Quando projetadas com variações específicas, essas bacias também podem assumir papéis complementares, como a infiltração da água no solo, diminuindo o volume total escoado, e a melhoria da qualidade da água pluvial. No caso das bacias de infiltração, a ausência de impermeabilização permite que a água se infiltre diretamente no terreno. Já nas bacias de retenção, o diferencial está na posição do dispositivo de saída: ao ser colocado na parte superior da estrutura, favorece-se a sedimentação dos sólidos, liberando apenas a lâmina superficial da água, geralmente menos poluída (Araújo *et al.*, 2018).

As vantagens da implementação de bacias de retenção são multifacetadas. Primeiramente, e mais criticamente, elas promovem o amortecimento dos picos de cheia, reduzindo a intensidade e a frequência de eventos extremos de inundação (Canholi, 2015). Além disso, contribuem para o retardo do tempo de pico, o que significa que a vazão máxima é atingida mais tarde, proporcionando mais tempo para a resposta a emergências e para que o sistema de drenagem a jusante se recupere (Baptista *et al.*, 2005). Outro benefício importante é a melhoria da qualidade da água, uma vez que o tempo de residência da água na bacia permite a decantação de sedimentos e a remoção de alguns poluentes, antes que a água seja liberada para os corpos d'água naturais (Menezes Filho, 2014). Do ponto de vista urbanístico, a flexibilidade de projeto permite que essas estruturas sejam integradas a paisagens urbanas, muitas vezes funcionando como áreas de lazer ou parques em períodos de estiagem (Almeida, 2020).

Em áreas urbanas densamente ocupadas, onde a disponibilidade de espaços amplos para intervenções de infiltração é limitada, torna-se necessário adotar soluções alternativas para o controle do escoamento superficial. Nesses contextos, dispositivos como as bacias de retenção vêm sendo amplamente utilizados. Simulações matemáticas realizadas em diversos estudos demonstram que essas estruturas representam uma alternativa eficaz para a atenuação dos picos de vazão em eventos de cheia, contribuindo significativamente para o manejo sustentável das águas pluviais (Campana *et al.*, 2007). Diversos estudos de caso no Brasil e no mundo demonstram a eficácia das bacias de retenção. Em Belo Horizonte, a Bacia

de Detenção Santa Lúcia é um exemplo clássico de como essas estruturas podem amortecer significativamente os picos de cheia em áreas urbanas densas, reduzindo na ordem de 78 a 88% a vazão de pico (Perché *et al.*, 2015). Canholi (2015) destaca os resultados positivos da implementação de bacias de retenção nos córregos Guaraú e Bananal, em São Paulo, no controle de inundações. Mais recentemente, Moreira (2024) apresentou um estudo de caso em Juiz de Fora, MG, que demonstrou a redução significativa de inundações com a aplicação de bacias de retenção. Esses exemplos validam a proposta de que as bacias de retenção são uma alternativa robusta e comprovada para a mitigação de inundações. A Figura 5 apresenta um exemplo de bacia de retenção.

Figura 5 - Exemplo de uma bacia de retenção



Fonte: Soluções para Cidades (2020)

Os telhados verdes consistem em sistemas compostos por vegetação e substrato, instalados sobre uma superfície impermeável. Embora a vegetação utilizada apresente, em geral, porte médio, o desempenho da estrutura depende da inclusão de camadas complementares, como barreiras contra raízes, sistemas de drenagem e irrigação. Esses elementos adicionais são essenciais para garantir o

funcionamento adequado, a durabilidade da cobertura e o desenvolvimento saudável das plantas (Agostinho et al., 2012).

Essa estrutura desempenha um papel relevante na melhoria das condições ambientais ao favorecer a presença de fauna e contribuir para a regulação térmica dos edifícios. Quanto à forma de implantação, distinguem-se dois modelos: o intensivo, que demanda maior profundidade de solo e permite o cultivo de espécies de maior porte, e o extensivo, mais leve e voltado a vegetações rasteiras, como gramados. Essa tecnologia também pode ser aplicada à produção de alimentos em áreas urbanas, desde que se avaliem os impactos da qualidade do ar local sobre os cultivos. Para além dos benefícios ecológicos e hidrológicos, os telhados verdes contribuem para a eficiência energética das edificações ao reduzir a absorção de calor, o que diminui a necessidade de uso de sistemas de climatização e, consequentemente, gera economia de energia (Costa *et al.*, 2011). A Figura 6 apresenta um exemplo de telhado verde.

Figura 6 - Exemplo de um telhado verde



Fonte: Saraiva (2018)

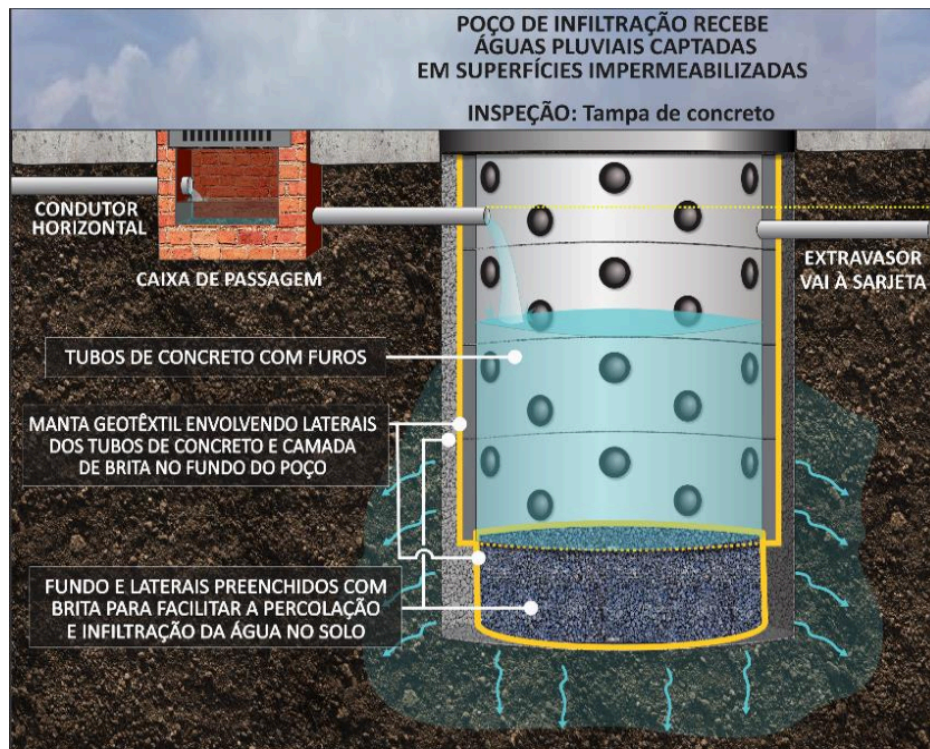
Dispositivos voltados para o manejo sustentável das águas pluviais, as trincheiras de infiltração funcionam como reservatórios subterrâneos temporários, permitindo que a água da chuva penetre gradualmente no solo ao invés de escoar pela superfície. Essas estruturas consistem em escavações lineares preenchidas

com materiais granulados de alta porosidade, como brita ou pedra de mão, capazes de armazenar temporariamente o volume captado. Para evitar o entupimento prematuro por partículas finas presentes na água, o interior da trincheira é envolto por uma camada de geotêxtil. Esse revestimento tem papel essencial tanto na filtragem de sedimentos quanto na proteção contra possíveis contaminantes, além de contribuir para a estabilidade do sistema. Dessa forma, as trincheiras combinam eficiência hidráulica com controle ambiental, integrando-se às soluções de drenagem urbana de baixo impacto (Souza, 1999).

A forma como a água é escoada das trincheiras determina sua classificação e função no sistema de drenagem. Quando o esvaziamento ocorre por infiltração, através da base e das paredes laterais da estrutura, trata-se de uma trincheira de infiltração, cuja principal função é reduzir o volume de água que atinge a superfície, favorecendo a recarga do solo. Por outro lado, quando o dispositivo apenas retém temporariamente a água e posteriormente a libera para o meio natural ou para a rede de drenagem, assume-se que se trata de uma trincheira de retenção. Nesse caso, o objetivo não é a infiltração, mas sim o controle das vazões, promovendo o amortecimento dos picos de escoamento e contribuindo para a redução de enchentes (Baptista, 2005).

Por fim, os poços de infiltração são dispositivos verticais projetados para conduzir a água pluvial diretamente ao solo, promovendo sua absorção de forma controlada. Esse sistema é composto por uma escavação cilíndrica revestida internamente com tubos de concreto perfurados ou com alvenaria de tijolos dispostos em forma de crivo, o que permite a passagem da água para o entorno. Entre essa estrutura e o solo é aplicada uma manta geotêxtil, que atua como filtro e protege contra o entupimento por partículas finas. No fundo do poço, uma camada de material granular mais grosseiro, também envolvida por geotêxtil, garante a percolação da água em direção às camadas mais profundas do terreno. Dessa forma, o poço contribui para a redução do escoamento superficial, favorecendo a recarga do lençol freático (Reis *et al.*, 2008). A Figura 7 apresenta um exemplo de poço de infiltração.

Figura 7 - Exemplo de um poço de infiltração



Fonte: De Castro Mundim (2023)

Diante da complexidade dos processos urbanos e das limitações dos sistemas tradicionais de drenagem, torna-se essencial incorporar soluções baseadas na sustentabilidade e na integração com o meio físico. As técnicas compensatórias aqui apresentadas demonstram o potencial de mitigar os impactos do escoamento superficial, promovendo maior equilíbrio hidrológico nas cidades. No entanto, a efetividade dessas soluções depende diretamente de um planejamento urbano fundamentado em informações precisas sobre o território. Nesse sentido, o geoprocessamento desponta como uma ferramenta estratégica para a análise espacial e a tomada de decisões, permitindo avaliar com maior precisão as características do meio urbano, identificar áreas críticas e planejar intervenções mais eficientes e sustentáveis.

2.4. Geoprocessamento aplicado a ambientes urbanos

Segundo Leite (2006), o geoprocessamento desempenha um papel fundamental no planejamento urbano ao possibilitar a análise e organização eficiente do território. Essa ferramenta permite utilizar o espaço de forma racional,

contribuindo diretamente para a criação de cidades mais estruturadas e funcionais, capazes de oferecer melhores condições de vida à população. Diante dos crescentes desafios socioambientais enfrentados pelos centros urbanos, o uso do geoprocessamento se destaca como uma estratégia eficaz para identificar, compreender e mitigar os impactos negativos resultantes do crescimento desordenado e da degradação ambiental.

Pereira e Silva (2001) afirmam que grande parte das decisões tomadas por órgãos responsáveis pelo planejamento e pela gestão urbana envolve, de forma direta ou indireta, aspectos de natureza geográfica. Por isso, as tecnologias de geoprocessamento ganham relevância cada vez maior na administração contemporânea das cidades, uma vez que fornecem suporte técnico e analítico essencial para compreender o território, orientar intervenções e promover um desenvolvimento urbano mais eficiente, sustentável e alinhado às necessidades da população.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é composto por um conjunto de técnicas voltadas à obtenção, ao tratamento e à interpretação de dados espaciais. Com o suporte de computadores, permite reunir informações oriundas de diferentes fontes, como imagens de satélites, mapas, censos e cartas climatológicas, para processá-las, analisá-las e apresentá-las graficamente, facilitando a visualização e o entendimento de fenômenos geográficos (Santos, 2007).

Para Gomes (2014), o geoprocessamento, quando aplicado à hidrologia, permite analisar bacias hidrográficas por meio do cruzamento de dados espaciais, identificando áreas propensas a inundações e acompanhando transformações no uso do solo ao longo do tempo. Essa abordagem possibilita interpretar de forma mais clara as dinâmicas naturais e as interferências humanas que influenciam o comportamento hidrológico da região.

Um exemplo em que o geoprocessamento tem se mostrado uma ferramenta essencial é o estudo realizado na Bacia Hidrográfica do Córrego Guaribas, em Uberlândia (MG), no qual técnicas de geoprocessamento foram utilizadas para mapear e analisar as transformações no uso e ocupação do solo ao longo de mais de três décadas. Por meio da integração de imagens de satélite, delimitação da bacia hidrográfica e aplicação da álgebra de mapas, foi possível identificar a intensificação da urbanização sobre áreas de preservação permanente (APPs) e o avanço da ocupação em áreas suscetíveis à inundação, o que comprometeu a

capacidade de drenagem natural do solo. A análise espacial permitiu não apenas compreender a dinâmica de ocupação e degradação da bacia, mas também propor diretrizes de ordenamento territorial voltadas à mitigação dos impactos ambientais e à melhoria da gestão das águas pluviais urbanas (Pavanin et al., 2016).

Nesse sentido, o geoprocessamento torna-se uma base indispensável para a modelagem hidrológica, devido a sua capacidade de integrar, processar e representar dados espaciais. A possibilidade de importar camadas vetoriais, representar visualmente características do terreno e extrair parâmetros fisiográficos com eficiência permite que essa ferramenta seja amplamente utilizada na simulação de processos hidrológicos.

2.5. Modelagem Hidrológica

Na análise de sistemas ambientais, ferramentas matemáticas têm ganhado relevância por sua capacidade de representar os processos hidrológicos de forma integrada. Por meio de fórmulas e procedimentos específicos, esses modelos possibilitam a simulação do comportamento da água no ambiente, o que se mostra fundamental para compreender os efeitos provocados por alterações no uso do solo e para antecipar possíveis cenários de transformação nos ecossistemas (Silva, 2007).

Para Tucci (1997), a modelagem tem origem na necessidade de representar sistemas físicos por meio de equações matemáticas, permitindo descrever o comportamento de uma estrutura, processo ou esquema, seja ele real ou abstrato. Essa representação envolve a relação dinâmica entre uma entrada, entendida como um estímulo, causa ou fluxo de informação e energia, e uma saída correspondente, traduzida como resposta ou efeito observado ao longo de um determinado intervalo de tempo.

Os modelos hidrológicos podem ser classificados segundo três critérios principais, conforme proposto por Tucci (1998). A primeira distinção diz respeito à representação espacial, dividindo-os em concentrados ou distribuídos. Os modelos concentrados não consideram a variabilidade espacial da bacia, tratando-a como uma unidade homogênea. Em contrapartida, os modelos distribuídos incorporam a influência do espaço e do tempo em suas variáveis e parâmetros, permitindo uma análise mais detalhada das características hidrológicas (Tucci, 1998).

Outra forma de classificação envolve a natureza das relações matemáticas utilizadas, separando os modelos em estocásticos ou determinísticos. Nos modelos estocásticos, a aleatoriedade é incorporada por meio de conceitos probabilísticos, considerando a incerteza nas variáveis envolvidas. Já os modelos determinísticos seguem relações fixas, de modo que, para uma mesma entrada e condições iniciais idênticas, o resultado será sempre o mesmo, sem variações aleatórias (Tucci, 1998).

Por fim, os modelos também podem ser diferenciados quanto à sua base teórica, sendo categorizados como conceituais ou empíricos. Os modelos conceituais são fundamentados em leis físicas que descrevem os processos hidrológicos, como infiltração e escoamento. Em contraste, os modelos empíricos baseiam-se em relações estatísticas e observações experimentais, sem necessariamente representar os mecanismos físicos subjacentes, utilizando métodos como regressão e correlação para estabelecer padrões (Tucci, 1998).

Dentre os softwares mais utilizados em modelagem hidrológica, destacam-se as ferramentas desenvolvidas pela plataforma HEC, especialmente os módulos HEC-RAS (para análises hidráulicas) e HEC-HMS (para simulações hidrológicas). O HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*) é amplamente empregado na simulação de processos hidrológicos, com ênfase na transformação de chuva em vazão em bacias hidrográficas, tanto urbanas quanto rurais (Graciosa, 2010).

O HEC-HMS é uma ferramenta desenvolvida para representar, por meio de simulações, os processos hidrológicos que ocorrem em bacias hidrográficas, com foco especial na relação entre precipitação e escoamento superficial. Seu uso abrange tanto eventos de cheia de curta quanto de longa duração, permitindo avaliar diferentes cenários de resposta hidrológica. Um dos aspectos centrais do modelo é a estimativa das perdas iniciais da precipitação, etapa essencial para se chegar à chamada chuva efetiva, ou seja, a parcela da chuva que efetivamente contribui para o escoamento (Leitão et al., 2017).

Após a determinação da chuva excedente, o modelo transforma o hietograma, a representação da intensidade da chuva ao longo do tempo, em um hidrograma de escoamento, que expressa a vazão gerada na bacia. Essa conversão pode ser realizada por diversos métodos, sendo o hidrograma unitário um dos mais utilizados por sua eficácia na representação da resposta hidrológica de bacias naturais (Leitão et al., 2017).

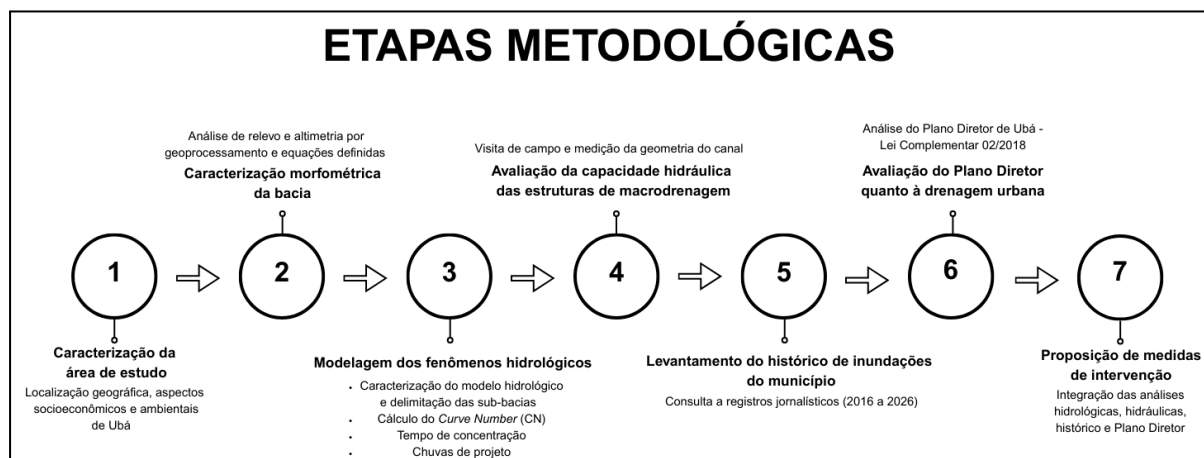
Um exemplo da aplicação prática da modelagem hidrológica é a dissertação de Uso (2020), que utilizou o software HEC-HMS para simular o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Bauru, localizada no estado de São Paulo. O estudo adotou métodos de estimativa de precipitação e de escoamento, como o SCS Curve Number e o SCS Unit Hydrograph, para gerar hidrogramas das sub-bacias e do exutório principal. Por meio da calibração com dados observados de vazão e chuva, o modelo conseguiu reproduzir de forma satisfatória os picos de escoamento e os volumes acumulados, evidenciando a capacidade do HEC-HMS em representar o processo chuva-vazão em bacias de média dimensão. Dessa forma, o estudo demonstrou como a modelagem hidrológica pode fornecer subsídios técnicos relevantes para a gestão de recursos hídricos e o planejamento de medidas de controle de cheias, contribuindo para a mitigação de impactos associados a eventos de precipitação intensa.

Diante do exposto, observa-se que a compreensão do comportamento hidrológico das bacias urbanas, bem como dos impactos da urbanização sobre os sistemas de drenagem, depende da integração entre diferentes abordagens analíticas. O uso de ferramentas de geoprocessamento possibilita a caracterização espacial da bacia e a análise de parâmetros físicos que influenciam o escoamento superficial, enquanto a modelagem hidrológica permite simular a resposta da bacia a eventos de precipitação e estimar vazões de cheia sob diferentes cenários. Nesse contexto, as bases conceituais apresentadas ao longo deste referencial fundamentam a metodologia adotada neste estudo, que envolve a caracterização morfométrica da bacia do Ribeirão Ubá, a aplicação de técnicas de geoprocessamento para delimitação e análise das sub-bacias, a modelagem hidrológica no software HEC-HMS para estimativa das vazões de pico e a avaliação da capacidade hidráulica do canal principal. Complementarmente, o levantamento do histórico de inundações e a análise das diretrizes do Plano Diretor Municipal permitem integrar os aspectos técnicos e institucionais do problema, subsidiando a proposição de medidas estruturais e não estruturais voltadas à mitigação de inundações no município de Ubá (MG).

3. METODOLOGIA

O fluxograma apresentado na Figura 8 sintetiza as etapas metodológicas do trabalho, evidenciando a articulação entre as fases do estudo, desde a definição da área até as análises finais.

Figura 8 - Etapas metodológicas



Fonte: o autor (2026)

3.1. Caracterização da área de estudo

O município de Ubá está situado na mesorregião da Zona da Mata Mineira e integra a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Com uma área territorial de 407,50 km², o município faz divisa com Divinésia, Dolores do Turvo, Senador Firmino, Rodeiro, Visconde do Rio Branco, Guidoal, Astolfo Dutra, Piraúba e Tocantins. Sua localização estratégica coloca-o a aproximadamente 290 km de Belo Horizonte, 300 km do Rio de Janeiro e 580 km de São Paulo, estabelecendo conexões relevantes com importantes centros urbanos da região Sudeste.

Além disso, Ubá apresenta uma população de aproximadamente 103.365 habitantes, segundo os dados do IBGE (2022). O município possui área territorial de cerca de 407,4 km² e densidade demográfica de aproximadamente 253,7 habitantes por km², caracterizando-se como um importante centro urbano regional. Além disso, o município apresenta média de 2,64 moradores por domicílio, indicador que reflete a configuração demográfica e habitacional local (IBGE, 2022).

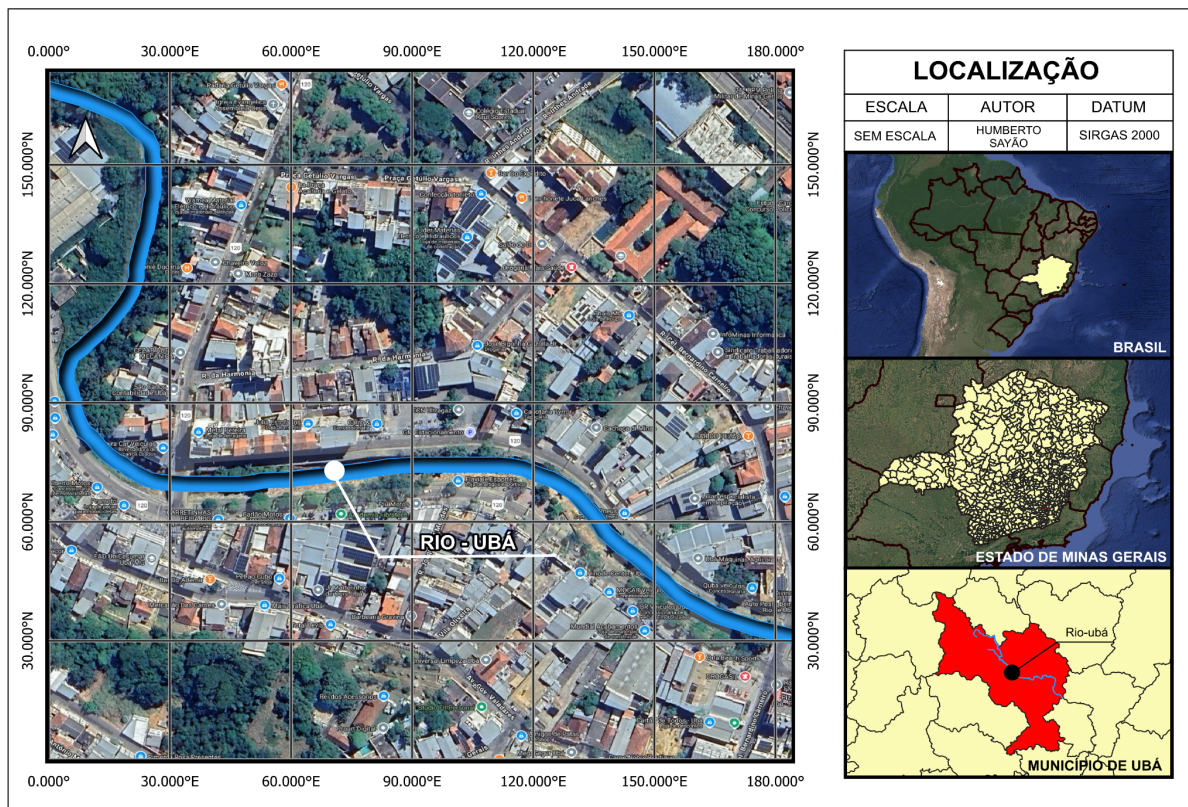
A economia de Ubá é fortemente impulsionada pelo setor industrial, com destaque para a indústria moveleira. O município se consolidou como o principal polo moveleiro de Minas Gerais e ocupa a terceira posição no cenário nacional em

número de empresas do setor (Da Silva *et al.*, 2021). A partir da década de 1970, com a instalação das primeiras indústrias, e intensificando-se na década de 1990 com a modernização e capacitação produtiva, houve uma profunda transformação na dinâmica socioeconômica local. Esse processo desencadeou um intenso movimento migratório da população rural para a zona urbana, impulsionando o avanço da urbanização (Da Silva *et al.*, 2021). Entre os anos de 2000 e 2010, o município registrou um crescimento populacional expressivo, com taxas anuais de até 1,78% (IBGE, 2010). Nesse mesmo período, a taxa de urbanização passou de 90,15% para 96,18%, conforme dados do Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

O Ribeirão Ubá, principal curso d'água que atravessa o município, constitui o foco central deste estudo. No perímetro urbano do município, o curso d'água apresenta características de leito artificial, decorrentes de intervenções antrópicas voltadas à contenção das margens e à regularização do canal. A Figura 9 apresenta um trecho do ribeirão na área de estudo. Sua passagem pela região central da cidade evidencia uma ocupação urbana que ocorreu de forma desordenada ao longo do tempo, resultado da ausência de um planejamento adequado. Residências e estabelecimentos comerciais foram gradualmente se instalando às margens do ribeirão, consolidando uma área densamente ocupada e vulnerável. Em períodos de chuvas intensas, o transbordamento do ribeirão provoca inundações recorrentes, impactando severamente a população local, especialmente os moradores e comerciantes do centro, que figuram entre os mais afetados pelos danos.

A qualidade da água do Ribeirão Ubá está comprometida devido ao lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais. Análises físico-químicas e microbiológicas revelaram altos níveis de poluição, especialmente nos trechos urbanos, onde o Índice de Qualidade da Água (IQA) indica condições ruins (Carvalho *et al.*, 2004). A presença de coliformes fecais, baixos teores de oxigênio dissolvido e elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) evidenciam a contaminação por esgotos não tratados (Carvalho *et al.*, 2004). Além disso, os efluentes das indústrias moveleiras, com alta carga orgânica, agravam a degradação do rio (Carvalho *et al.*, 2004).

Figura 9 - Mapa de localização da área de estudo



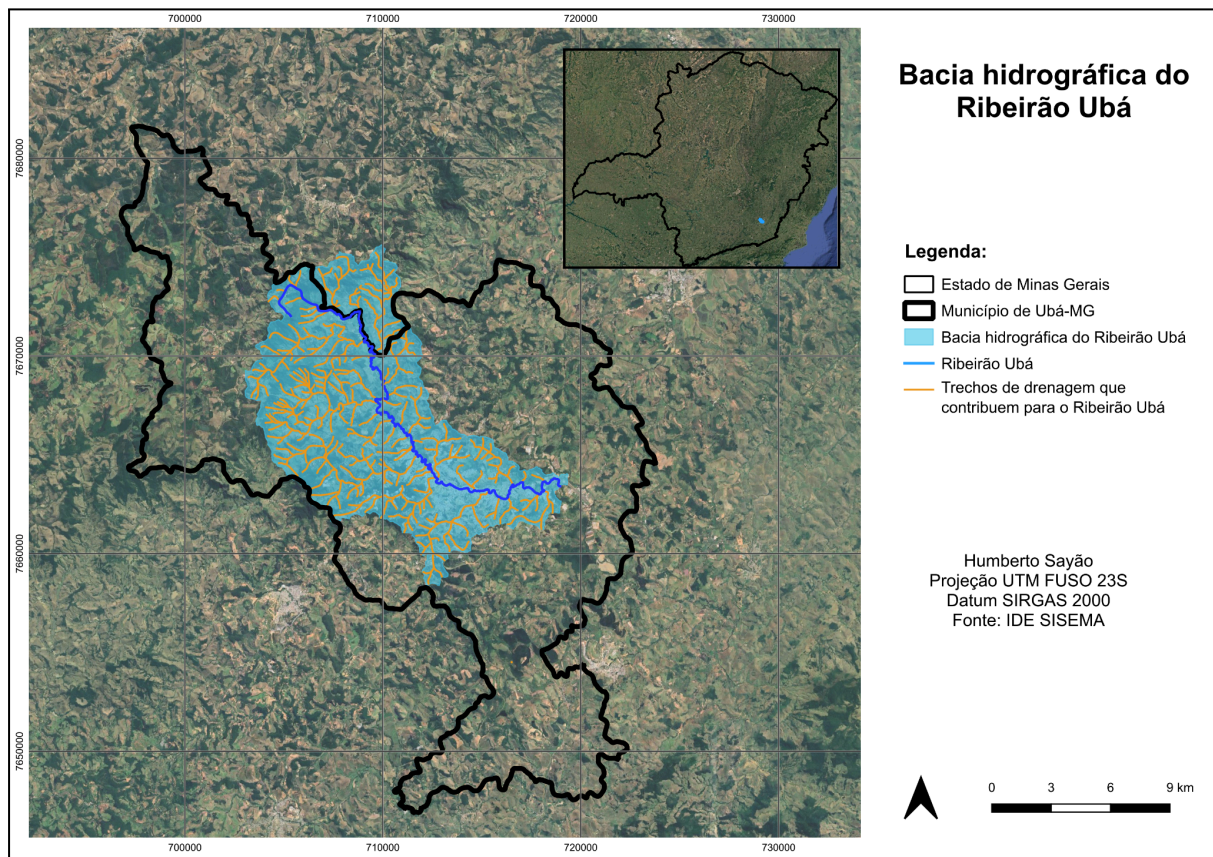
Fonte: o autor (2026)

Ubá encontra-se predominantemente inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, com uma porção menor de seu território abrangida pela bacia do rio Doce. Pelo seu histórico de abastecimento de grandes centros urbanos, a bacia do Paraíba do Sul é uma das mais importantes do sudeste brasileiro (Gama, 2009). Já a bacia do Rio Doce, embora ocupe uma área menor no município, também exerce papel relevante na dinâmica ambiental local.

De acordo com a delimitação realizada para a bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá, verificou-se que sua área corresponde a aproximadamente 126,96 km², conforme ilustrado na Figura 10. É importante destacar que o trecho de estudo foi delimitado até o último ponto de registro de inundação, conforme mapeado pelo estudo de Paiva *et al.* (2024). Ela desempenha um papel fundamental na dinâmica urbana do município, sendo responsável pela drenagem natural da cidade. Por isso, sua conservação é essencial para o controle de inundações.

Entretanto, a ocupação desordenada da bacia também é um dos pilares responsáveis pela cheia urbana. A impermeabilização crescente contribui para o agravamento desse evento, colocando em risco toda a população.

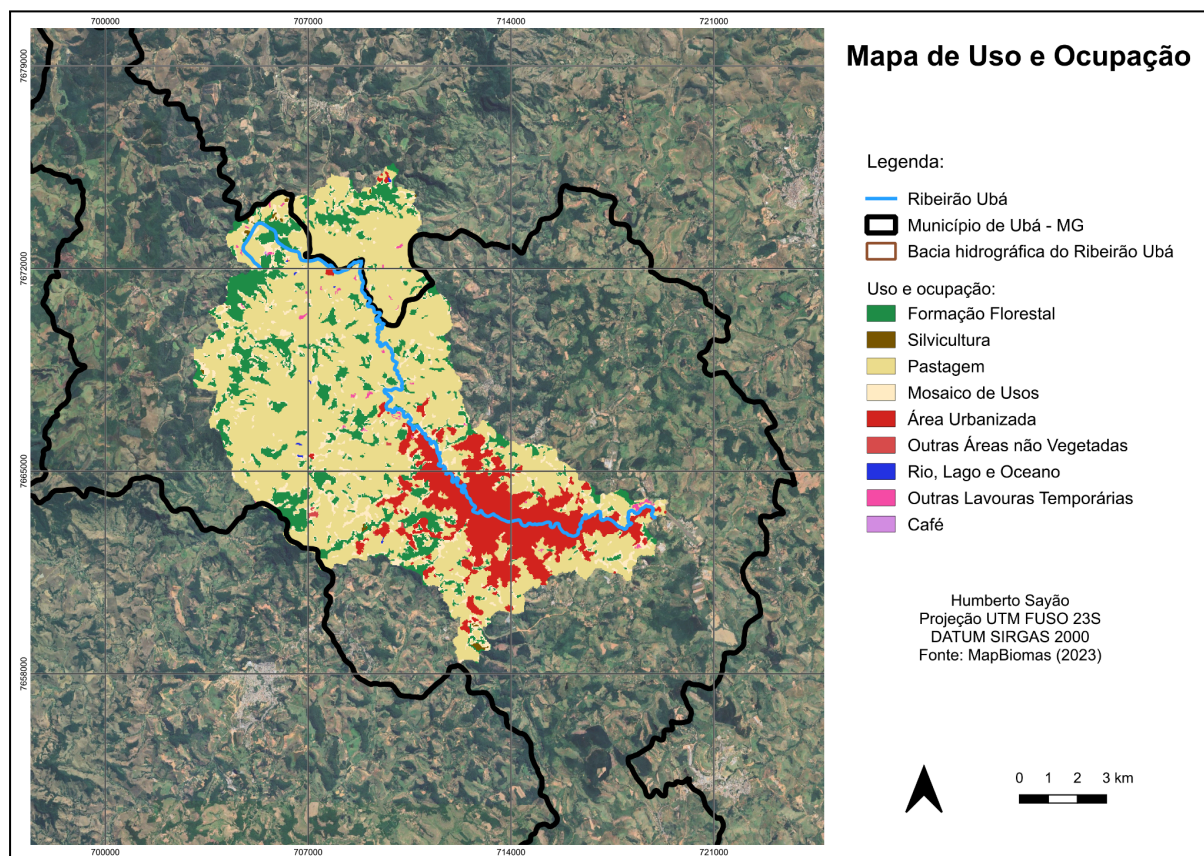
Figura 10 - Mapa da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá



Fonte: o autor (2026)

A análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá revela um predomínio de áreas destinadas principalmente à pastagem (Figura 11). Também é possível identificar extensões significativas de cobertura vegetal nativa, classificadas como formação florestal, principalmente nas regiões mais acidentadas e de maior altitude. As áreas urbanizadas se concentram na porção sudeste da bacia, ao longo do curso do Ribeirão Ubá, refletindo a ocupação do núcleo urbano do município. Essa configuração do uso do solo interfere diretamente no comportamento hidrológico da bacia, influenciando aspectos como a infiltração da água, o escoamento superficial e a conservação da qualidade dos recursos hídricos.

Figura 11 - Mapa de Uso e Ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá

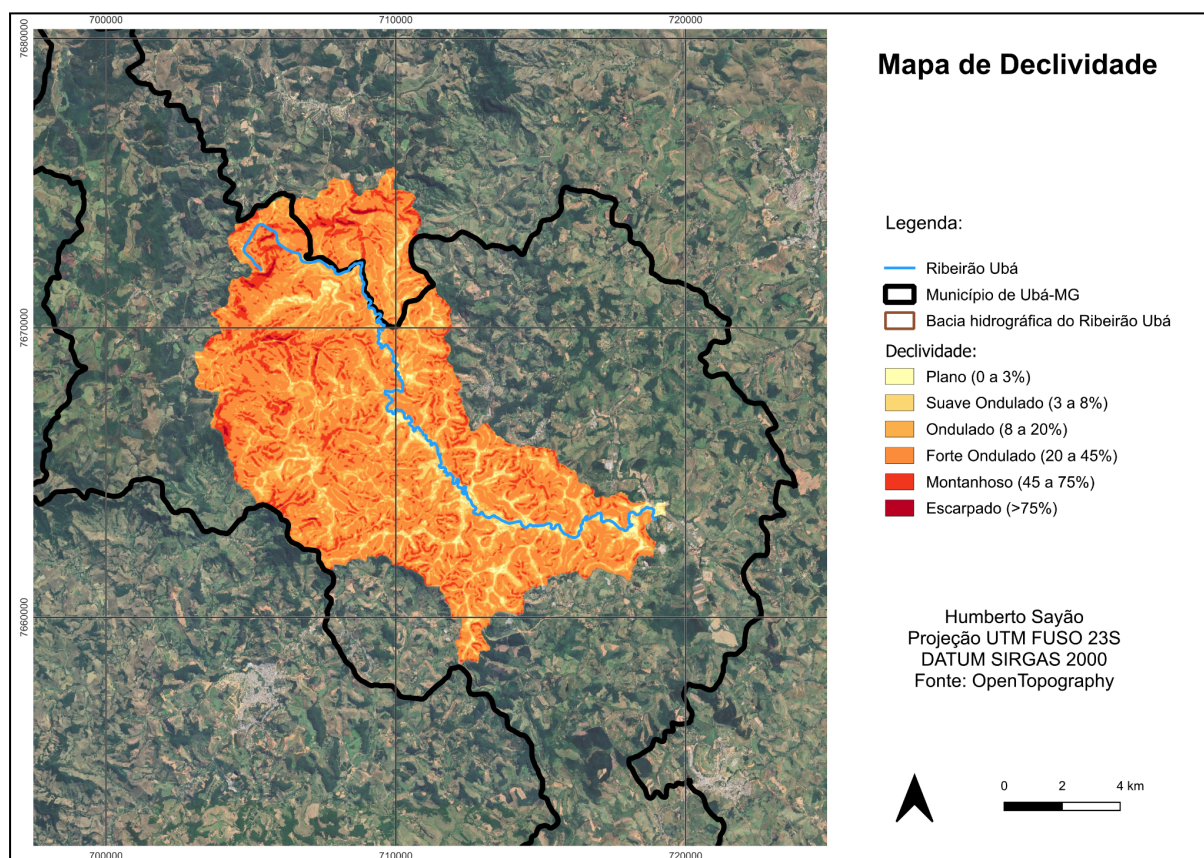


Fonte: o autor (2026)

3.2. Caracterização morfométrica da bacia do Ribeirão Ubá

O relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá é majoritariamente classificado como Ondulado, apresentando declividades entre 8% e 20%, conforme a tipologia definida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2018), conforme a Figura 12. No entanto, também se observam amplas áreas inseridas nas classes de maior declividade, como Forte Ondulado (20% a 45%) e Montanhoso (45% a 75%). Áreas planas (0 a 3%) e suavemente onduladas (3 a 8%) são pouco representativas na bacia. Essa predominância de relevo mais acidentado favorece o escoamento superficial acelerado, o que contribui significativamente para processos erosivos e para a ocorrência de enxurradas, especialmente em eventos de chuvas intensas.

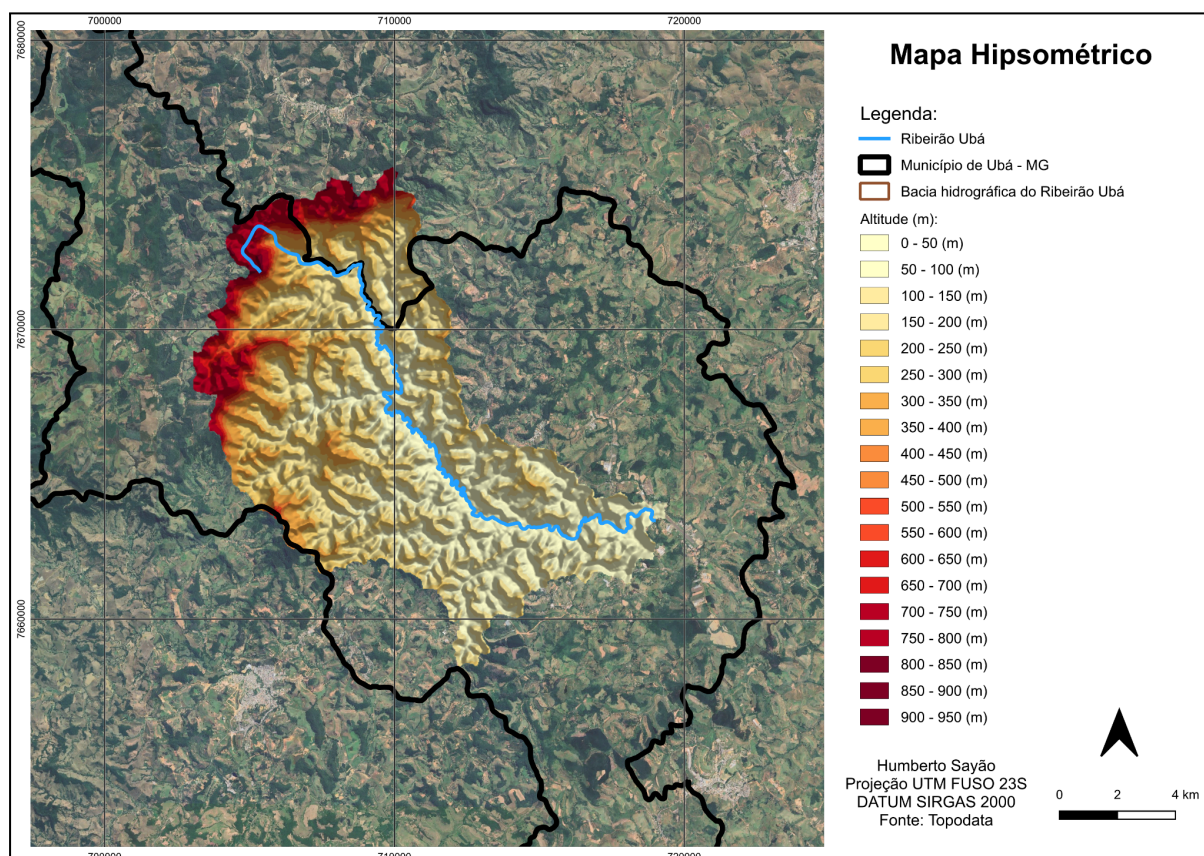
Figura 12 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá



Fonte: o autor (2026)

A bacia hidrográfica apresenta uma variação altimétrica significativa, com altitudes que vão de aproximadamente 950 metros, em suas áreas mais elevadas, até cerca de 250 metros nos pontos mais baixos (Figura 13). O Ribeirão Ubá tem sua nascente em regiões de relevo acidentado, localizadas acima dos 800 metros, e percorre um trajeto com acentuado declive até alcançar altitudes mais baixas. Essa expressiva diferença de cotas ao longo do curso d'água intensifica o escoamento superficial, elevando a velocidade do fluxo e, conseqüentemente, ampliando o potencial de ocorrência de processos erosivos e inundações, sobretudo nas áreas mais adensadas e próximas à foz do ribeirão.

Figura 13 - Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá



Fonte: o autor (2026)

A caracterização morfométrica da sub-bacia do Ribeirão Ubá foi realizada por meio de ferramentas de geoprocessamento. Os parâmetros selecionados e os métodos que foram utilizados para sua determinação estão sistematizados no Quadro 2, conforme fundamentação teórica discutida na seção 2.1.

Quadro 2 - Parâmetros morfométricos analisados no estudo

Parâmetro	Método
Área de drenagem	Geoprocessamento
Comprimento do curso d'água principal	Geoprocessamento
Declividade equivalente do curso d'água principal	Equação de Villela e Mattos (1975)

Fonte: o autor (2026)

3.3. Modelagem dos fenômenos hidrológicos

3.3.1 Caracterização do modelo hidrológico e delimitação das sub-bacias

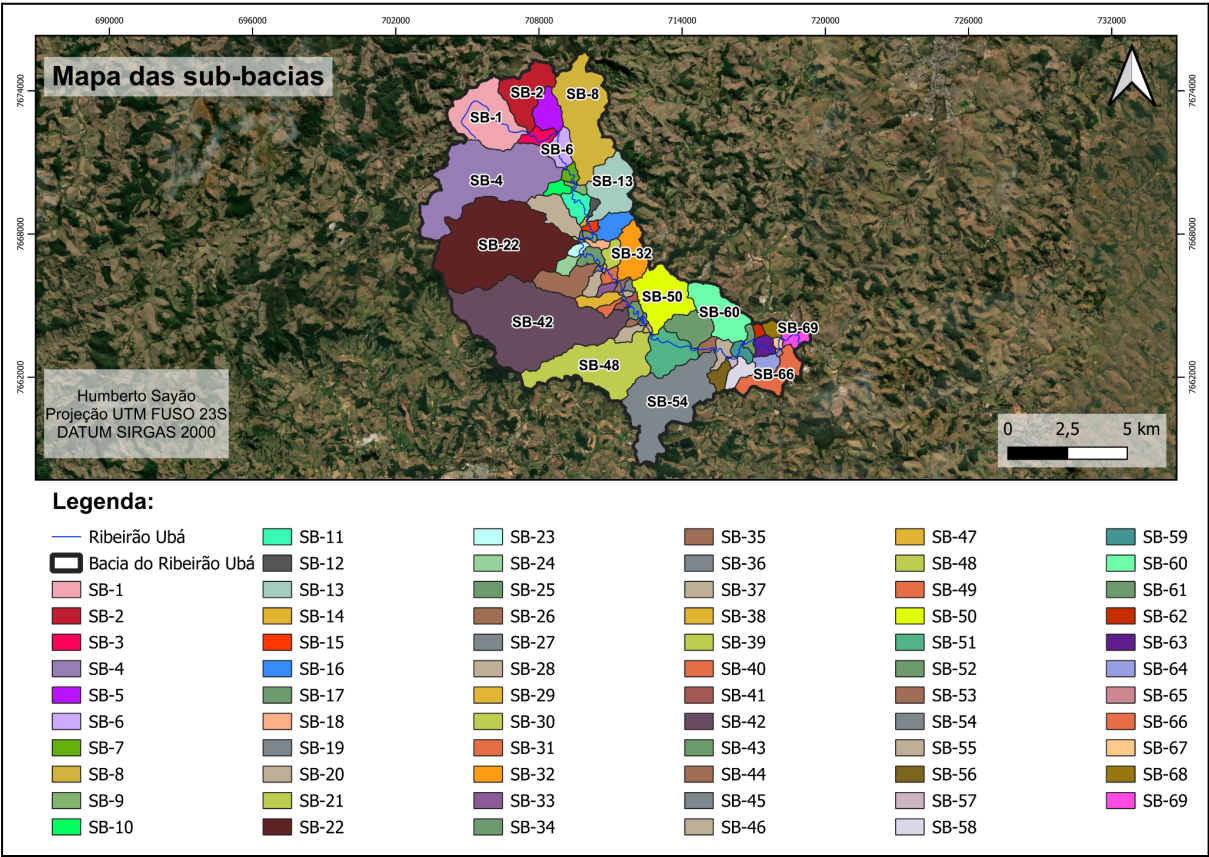
A modelagem hidrológica foi desenvolvida com o auxílio do software HEC-HMS, versão 4.10. A adoção desse modelo computacional se justifica pela sua ampla aplicação em estudos hidrológicos, especialmente em simulações do processo chuva–vazão e na análise da propagação de cheias em rios e canais. Adicionalmente, trata-se de um programa de acesso gratuito, com interface amigável e consolidado na literatura científica, sendo amplamente empregado em pesquisas na área de recursos hídricos.

Como etapa inicial da modelagem, procedeu-se à definição das sub-bacias hidrográficas da área de estudo. Para isso, foram utilizados dados disponibilizados pelo IDE-Sisema, incluindo a rede de drenagem e as unidades de referência hidrológica conhecidas como ottobacias. A partir dessas informações, realizou-se, no ambiente do QGIS, a análise da hierarquia da drenagem e das áreas de contribuição associadas a cada trecho, selecionando-se e agrupando ottobacias de forma a compor unidades hidrologicamente coerentes. Esse procedimento resultou na identificação e delimitação de 69 sub-bacias, conforme a Figura 14.

As áreas de drenagem associadas a cada sub-bacia foram determinadas no QGIS por meio da manipulação da tabela de atributos das feições delimitadas, utilizando ferramentas de cálculo automático de áreas a partir da geometria espacial. Os valores obtidos foram posteriormente organizados e sistematizados, sendo apresentados na Tabela 1.

Com base nessa compartimentação espacial, foi estruturado um modelo hidrológico do tipo semi-distribuído, opção que permite maior detalhamento espacial e melhor controle dos parâmetros hidrológicos, contribuindo para resultados mais representativos das condições reais da bacia. A implementação do modelo no HEC-HMS iniciou-se com a construção do esquema topológico do sistema, contemplando a inserção das sub-bacias, nós, condutos, junções e do exutório final. Para fins de padronização e simplificação da nomenclatura, as sub-bacias foram identificadas pela sigla “SB”, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 14 - Mapa das sub-bacias



Fonte: o autor (2026)

Tabela 1 - Áreas de drenagem das sub-bacias

Sub-bacias	Área de drenagem (km²)	Sub-bacias	Área de drenagem (km²)
SB-1	5,94	SB-36	0,17
SB-2	3,57	SB-37	0,12
SB-3	0,88	SB-38	0,83
SB-4	12,66	SB-39	0,03
SB-5	1,63	SB-40	0,32
SB-6	1,24	SB-41	0,33
SB-7	0,45	SB-42	16,65
SB-8	7,84	SB-43	0,37
SB-9	0,26	SB-44	0,14

Tabela 1 - Áreas de drenagem das sub-bacias

(continuação)

Sub-bacias	Área de drenagem (km²)	Sub-bacias	Área de drenagem (km²)
SB-10	0,5	SB-45	0,14
SB-11	1,09	SB-46	0,54
SB-12	0,21	SB-47	0,11
SB-13	3,82	SB-48	7,87
SB-14	0,09	SB-49	0,01
SB-15	0,26	SB-50	4,37
SB-16	1,28	SB-51	2,78
SB-17	0,19	SB-52	2,07
SB-18	0,29	SB-53	0,39
SB-19	0,06	SB-54	8,99
SB-20	2,05	SB-55	0,67
SB-21	0,06	SB-56	0,72
SB-22	15,85	SB-57	0,14
SB-23	0,35	SB-58	0,9
SB-24	0,55	SB-59	0,51
SB-25	0,68	SB-60	3,53
SB-26	2,22	SB-61	0,41
SB-27	0,07	SB-62	0,22
SB-28	0,55	SB-63	0,66
SB-29	0,06	SB-64	0,81
SB-30	0,69	SB-65	0,08
SB-31	0,4	SB-66	2,17
SB-32	2,29	SB-67	0,17
SB-33	0,29	SB-68	0,43
SB-34	0,01	SB-69	0,73

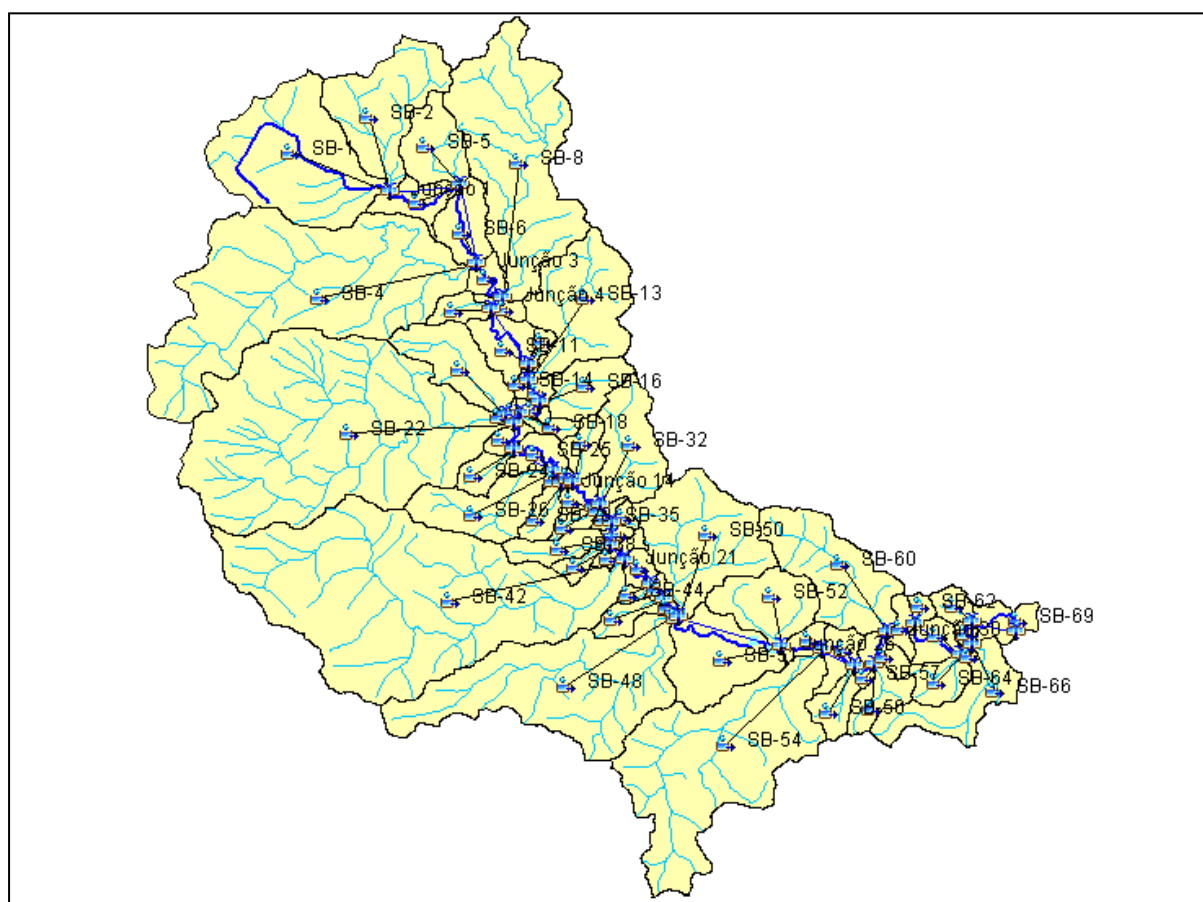
Tabela 1 - Áreas de drenagem das sub-bacias

(continuação)

Sub-bacias	Área de drenagem (km ²)	Sub-bacias	Área de drenagem (km ²)
SB-35	0,2	-	-

Fonte: o autor (2026)

Figura 15 - Modelo topológico das simulações hidrológicas



Fonte: o autor (2026)

3.3.2 Cálculo do *Curve Number* (CN)

A conversão da precipitação efetiva em vazão superficial foi realizada por meio do método do Hidrograma Unitário do *Soil Conservation Service* (SCS). Os valores do *Curve Number* (CN) atribuídos a cada sub-bacia foram definidos a partir das características de uso, ocupação e cobertura do solo.

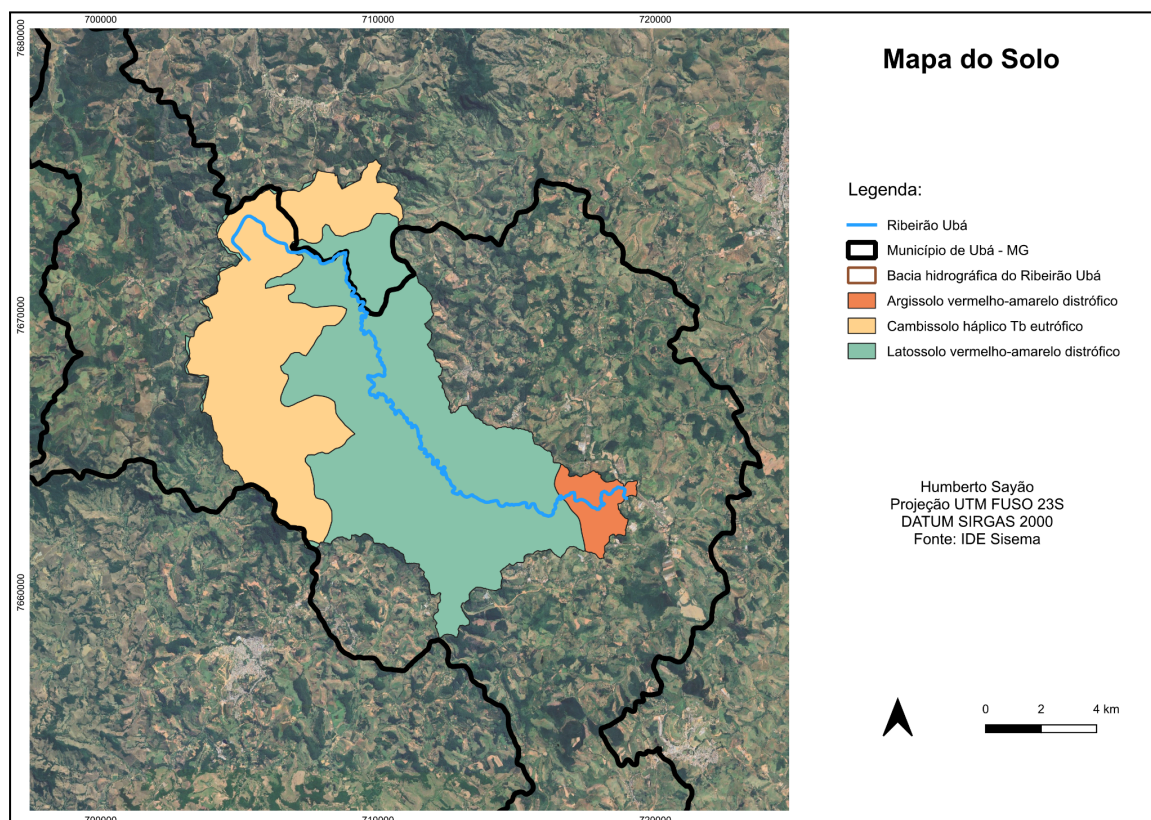
Na bacia hidrográfica em estudo foram identificados três tipos de solos: Cambissolo Háplico Tb Eutrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, conforme ilustrado na Figura 16. De acordo com Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005), os Cambissolos são solos minerais com baixo grau de intemperismo, enquanto os Argissolos também são classificados como solos minerais, apresentando, em geral, textura média a arenosa na camada superficial e profundidade variando de profunda a muito profunda. Os Latossolos, por sua vez, segundo Ker (1997), caracterizam-se por elevado grau de intemperismo, grande profundidade e ocorrência predominante em regiões tropicais, sendo marcados por baixa fertilidade natural e argilas de baixa atividade.

Para a aplicação do modelo hidrológico, os solos identificados foram associados aos respectivos Grupos Hidrológicos do Solo (GHS). Como referência para essa classificação, adotou-se o critério proposto por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005). Nesse contexto, o Cambissolo foi enquadrado no grupo hidrológico C, o Latossolo no grupo hidrológico B e o Argissolo no grupo hidrológico C.

A determinação do *Curve Number* baseou-se nos valores recomendados por Tucci (1993) para áreas urbanas e suburbanas. O CN médio de cada sub-bacia foi obtido por meio de ponderação, considerando a área ocupada por cada tipologia de uso do solo e o respectivo valor de CN associado. Ressalta-se que, para cada tipo de solo, foi adotado um Grupo Hidrológico do Solo específico, sendo que cada grupo hidrológico possui valores de CN previamente definidos segundo Tucci (1997). Os valores utilizados encontram-se apresentados na Tabela 2.

Após a definição desses parâmetros, procedeu-se ao cálculo do CN médio ponderado e do percentual de área impermeável de cada sub-bacia. Esses parâmetros constituem dados de entrada fundamentais para o modelo hidrológico adotado e são apresentados de forma consolidada no Tabela 3.

Figura 16 - Mapa do Solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá



Fonte: o autor (2026)

Tabela 2 - Valores de CN adotados para cada tipologia de uso e ocupação do solo

Tipologia (Uso e Ocupação)	CN Adotado		Referência Bibliográfica
	GHS B	GHS C	
Formação florestal	55	70	Tucci (1997)
Silvicultura	55	70	Tucci (1997)
Pastagem	69	79	Tucci (1997)
Mosaico de usos	58	71	Tucci (1997)
Área urbanizada	98	98	Tucci (1997)
Outras áreas não vegetadas	98	98	Tucci (1997)
Outras lavouras temporárias	75	83	Tucci (1997)
Café	75	82	Tucci (1997)

Fonte: o autor (2026)

Tabela 3 - Resumo do CN ponderado calculado para cada sub-bacia

Sub-bacias	CN Ponderado	Percentual da área impermeável	Sub-bacias	CN Ponderado	Percentual da área impermeável
SB-1	75	0%	SB-36	63	0%
SB-2	77	0%	SB-37	71	13%
SB-3	71	9%	SB-38	73	24%
SB-4	76	0%	SB-39	76	33%
SB-5	76	0%	SB-40	86	66%
SB-6	68	2%	SB-41	83	55%
SB-7	69	0%	SB-42	78	7%
SB-8	66	2%	SB-43	87	68%
SB-9	68	0%	SB-44	96	86%
SB-10	78	0%	SB-45	95	86%
SB-11	68	0%	SB-46	87	65%
SB-12	63	0%	SB-47	98	91%
SB-13	67	0%	SB-48	70	19%
SB-14	69	0%	SB-49	98	100%
SB-15	67	0%	SB-50	80	47%
SB-16	67	0%	SB-51	96	95%
SB-17	63	0%	SB-52	86	63%
SB-18	68	0%	SB-53	98	100%
SB-19	63	0%	SB-54	77	33%
SB-20	66	0%	SB-55	96	94%
SB-21	66	0%	SB-56	80	40%
SB-22	77	0%	SB-57	97	93%
SB-23	72	17%	SB-58	73	20%
SB-24	64	4%	SB-59	92	78%
SB-25	67	1%	SB-60	72	17%

Tabela 3 - Resumo do CN ponderado calculado para cada sub-bacia

(continuação)

Sub-bacias	CN Ponderado	Percentual da área impermeável	Sub-bacias	CN Ponderado	Percentual da área impermeável
SB-26	66	1%	SB-61	77	39%
SB-27	79	43%	SB-62	76	0%
SB-28	78	38%	SB-63	89	59%
SB-29	68	10%	SB-64	81	10%
SB-30	71	16%	SB-65	90	63%
SB-31	78	45%	SB-66	79	12%
SB-32	69	7%	SB-67	81	24%
SB-33	84	59%	SB-68	76	0%
SB-34	62	0%	SB-69	83	27%
SB-35	76	40%	-	-	-

Fonte: o autor (2026)

3.3.3 Tempo de Concentração

A estimativa do tempo de concentração das sub-bacias foi realizada a partir da aplicação da equação empírica proposta por Kirpich, apresentada na Equação 1. Esse método é amplamente empregado em estudos hidrológicos sendo recorrente em aplicações práticas de engenharia, inclusive em áreas urbanizadas, conforme discutido por Silveira (2005).

No âmbito da modelagem no HEC-HMS, o parâmetro requerido para a representação do escoamento superficial não é diretamente o tempo de concentração, mas sim o tempo de retardo, expresso pela Equação 2. Esse tempo corresponde a uma fração do tempo de concentração, conforme as recomendações do SCS.

$$t_c = 0,0195 * S_e^{-0,385} * L^{0,77} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que, t_c é o tempo de concentração (min), L é o comprimento axial (m) e S_e a declividade média em m/m.

$$Lag = 0,60 * t_c \quad (\text{Equação 2})$$

Onde Lag é o *LagTime* - tempo de retardo (min) e t_c é o tempo de concentração (min).

Dessa forma, os tempos de retardo foram determinados a partir do tempo de concentração, considerando individualmente cada sub-bacia e os respectivos trechos fluviais, conforme apresentado no Tabela 4. Para a simulação da propagação das cheias ao longo dos trechos de rio, adotou-se o método *Lag*, baseado no mesmo princípio de representar uma fração do tempo de concentração.

Tabela 4 - Parâmetros calculados para as sub-bacias, incluindo o tempo de concentração e *LagTime*

Sub-bacias	Comprimento do rio principal (m)	Declividade equivalente do rio principal (m/m)	Tempo de concentração (min)	<i>LagTime</i> (min)
SB-1	4938,38	0,039857	47,09	28,25
SB-2	3740,4	0,062598	31,95	19,17
SB-3	1638,74	0,014336	29,85	17,91
SB-4	9966,21	0,032116	87,86	52,72
SB-5	1677,51	0,038456	20,79	12,47
SB-6	1737,75	0,015222	30,52	18,31
SB-7	1343,18	0,016735	24,13	14,48
SB-8	6410,11	0,030924	63,47	38,08
SB-9	491,36	0,010657	13,24	7,94
SB-10	1024,66	0,040651	13,92	8,35
SB-11	1803,42	0,008429	39,43	23,66

Tabela 4 - Parâmetros calculados para as sub-bacias, incluindo o tempo de concentração e *LagTime*
(continuação)

Sub-bacias	Comprimento do rio principal (m)	Declividade equivalente do rio principal (m/m)	Tempo de concentração (min)	<i>LagTime</i> (min)
SB-12	693,11	0,057144	9,04	5,42
SB-13	3413,17	0,03354	37,86	22,72
SB-14	322,55	0,015439	8,3	4,98
SB-15	599,91	0,008555	16,8	10,08
SB-16	1656,25	0,023462	24,9	14,94
SB-17	572,65	0,016683	12,53	7,52
SB-18	1093,8	0,029517	16,56	9,94
SB-19	251,13	0,020525	6,13	3,68
SB-20	2953,93	0,030118	35,31	21,19
SB-21	273,2	0,018499	6,81	4,09
SB-22	7441,36	0,018392	86,96	52,18
SB-23	629,74	0,020635	12,42	7,45
SB-24	1153,14	0,033494	16,43	9,86
SB-25	1504,24	0,018181	25,5	15,3
SB-26	2852,79	0,032515	33,38	20,03
SB-27	329,29	0,014663	8,6	5,16
SB-28	1174,47	0,030326	17,31	10,39
SB-29	314,12	0,016738	7,88	4,73
SB-30	1275,84	0,044377	15,93	9,56
SB-31	824,98	0,006022	24,58	14,75
SB-32	2787,54	0,029058	34,24	20,54
SB-33	1001,3	0,06511	11,41	6,84
SB-34	117,49	0,036579	2,74	1,64

Tabela 4 - Parâmetros calculados para as sub-bacias, incluindo o tempo de concentração e *LagTime*
(continuação)

Sub-bacias	Comprimento do rio principal (m)	Declividade equivalente do rio principal (m/m)	Tempo de concentração (min)	<i>LagTime</i> (min)
SB-35	529,62	0,009712	14,53	8,72
SB-36	459,7	0,12985	4,8	2,88
SB-37	297,17	0,018326	7,29	4,38
SB-38	1973,82	0,039837	23,24	13,95
SB-39	163,42	0,026951	3,97	2,38
SB-40	1072,08	0,041985	14,24	8,54
SB-41	628,5	0,007858	17,99	10,79
SB-42	10190,3	0,01028	138,59	83,15
SB-43	1207,75	0,015363	22,98	13,79
SB-44	657,02	0,050627	9,09	5,45
SB-45	1012,77	0,009334	24,31	14,59
SB-46	1534,14	0,029188	21,58	12,95
SB-47	340,2	0,014358	8,89	5,34
SB-48	6987,73	0,016032	87,35	52,41
SB-49	99,7	0,055084	2,06	1,24
SB-50	3254,19	0,00937	59,63	35,78
SB-51	2589,29	0,005067	63,37	38,02
SB-52	1864,79	0,008718	39,94	23,96
SB-53	853,97	0,005786	25,63	15,38
SB-54	6796,85	0,006043	124,49	74,69
SB-55	917,26	0,005516	27,58	16,55
SB-56	1335,95	0,039842	17,21	10,33
SB-57	425,71	0,012156	11,27	6,76

Tabela 4 - Parâmetros calculados para as sub-bacias, incluindo o tempo de concentração e *LagTime*
(continuação)

Sub-bacias	Comprimento do rio principal (m)	Declividade equivalente do rio principal (m/m)	Tempo de concentração (min)	<i>LagTime</i> (min)
SB-58	1594,46	0,026588	23,04	13,83
SB-59	746,95	0,006638	21,93	13,16
SB-60	3593,04	0,014025	55,1	33,06
SB-61	769,36	0,006522	22,58	13,55
SB-62	621,07	0,071319	7,63	4,58
SB-63	1217,97	0,00611	32,99	19,79
SB-64	1162,92	0,023178	19,05	11,43
SB-65	337,55	0,014418	8,82	5,29
SB-66	3686,65	0,025452	44,68	26,81
SB-67	584,06	0,008576	16,44	9,86
SB-68	724,6	0,011671	17,24	10,34
SB-69	1331,06	0,003574	43,42	26,05

Fonte: o autor (2026)

3.3.4 Chuvas de projeto

As precipitações de projeto foram determinadas por meio da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF), fornecida pelo software Plúvio versão 2.1, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Para a distribuição temporal da chuva, utilizou-se o método dos quartis de Huff (1967), que organiza a precipitação em blocos para simular o comportamento real de um evento. A equação IDF representativa do município de Ubá é expressa pela equação 3.

$$i = \frac{3795,182 * TR^{0,210}}{(t + 30,501)^{1,001}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde, i = intensidade máxima de chuva (mm/h), TR = tempo de retorno (anos) e t = duração da chuva (minutos).

Como premissa, foi adotado o hietograma correspondente ao segundo quartil de Huff. Essa escolha é recomendada para chuvas com duração inferior a 12 horas, representando um cenário em que o pico de precipitação ocorre de forma mais distribuída após o início do evento (Huff, 1967). As chuvas foram discretizadas em intervalos de tempo de 30 minutos.

Foram simulados três tempos de retorno: 10, 25 e 50 anos. A escolha desses períodos baseou-se em critérios comumente adotados em estudos hidrológicos e projetos de drenagem urbana. O período de retorno de 25 anos é frequentemente utilizado como referência em projetos de macrodrenagem, por representar um evento de magnitude intermediária associado a níveis aceitáveis de risco para infraestrutura urbana (Brasil, 2020). Com o objetivo de avaliar também o comportamento do sistema frente a eventos mais severos, foi considerado o tempo de retorno de 50 anos, que representa uma condição hidrológica mais extrema. Por outro lado, o período de retorno de 10 anos foi adotado para representar eventos mais frequentes, permitindo analisar o desempenho do sistema de drenagem em situações de maior recorrência. Dessa forma, a análise desses três cenários possibilita avaliar o comportamento hidráulico da área de estudo sob diferentes níveis de intensidade de precipitação e risco de inundação.

Para a definição da duração crítica da chuva, o ponto de partida para a análise foi a duração de 11,5 horas (692,61 minutos), correspondente à soma dos tempos de concentração das sub-bacias. Em seguida, realizaram-se testes com durações de 10 e 13 horas para verificar qual delas resultaria na maior vazão de pico.

Observou-se que a duração de 11,5 horas consistentemente gerou a maior vazão. Portanto, este valor foi adotado como a duração crítica para as simulações subsequentes.

Com a duração crítica definida, foram realizadas as simulações para os três tempos de retorno (10, 25 e 50 anos). A chuva incremental resultante, distribuída ao longo das 11,5 horas, é apresentada na Tabela 5.

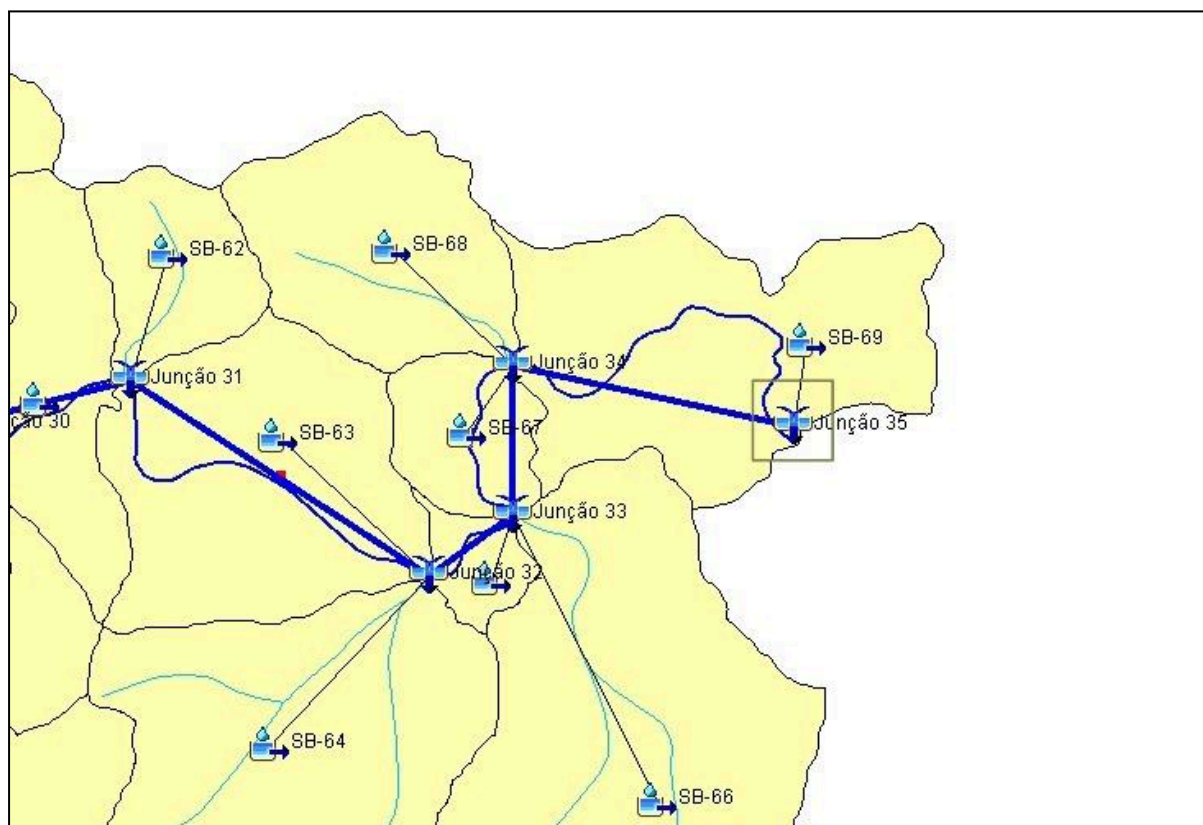
Tabela 5 - Precipitação incremental por intervalo de tempo

Intervalo de tempo (min)	TR 10 anos (mm)	TR 25 anos (mm)	TR 50 anos (mm)
34,63	2,93	3,55	4,11
69,26	4,88	5,92	6,84
103,89	3,90	4,73	5,47
138,52	3,90	4,73	5,47
173,15	5,86	7,10	8,21
207,78	6,83	8,28	9,58
242,41	9,76	11,83	13,69
277,04	11,71	14,20	16,42
311,67	10,74	13,02	15,06
346,31	7,81	9,47	10,95
380,94	5,86	7,10	8,21
415,57	4,88	5,92	6,84
450,20	3,90	4,73	5,47
484,83	2,93	3,55	4,11
519,46	2,93	3,55	4,11
554,09	1,95	2,37	2,74
588,72	1,95	2,37	2,74
623,35	1,95	2,37	2,74
657,98	1,95	2,37	2,74
692,61	0,98	1,18	1,37

Fonte: o autor (2026)

O exutório para a área de estudo foi considerado na “Junção 35”, onde se concentra o maior número de registros de inundação na região central do município de Ubá. A Figura 17 apresenta em destaque o ponto de extração dos resultados.

Figura 17 - Exutório da área de estudo



Fonte: o autor (2026)

Assim, após a definição dos parâmetros hidrológicos, da compartimentação das sub-bacias, do cálculo do CN ponderado, dos tempos de retardo e da construção das chuvas de projeto, procedeu-se à execução das simulações no HEC-HMS. Foram gerados os hidrogramas correspondentes aos tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos, com o objetivo de estimar as vazões de pico no exutório considerado (Junção 35). Esses resultados constituíram a base para a etapa subsequente de análise hidráulica, permitindo avaliar o comportamento do escoamento frente à capacidade de condução do Ribeirão Ubá e verificar a compatibilidade entre as vazões simuladas e a seção hidráulica existente no trecho urbano estudado.

3.4. Avaliação da capacidade hidráulica das estruturas de macrodrenagem

Para avaliar a capacidade hidráulica do sistema de macrodrenagem, foi realizada uma visita de campo para a medição da geometria do canal em um ponto estratégico. O critério para a seleção deste ponto foi a representatividade da seção transversal do canal, evitando áreas com planícies de inundação extensas que

dificultariam a medição precisa da calha principal. Adicionalmente, o local escolhido situa-se em frente à rodoviária da cidade, uma área central com múltiplos registros históricos de inundações, o que confere relevância à análise. As dimensões geométricas obtidas em campo estão detalhadas na Tabela 6. A medição da largura do canal foi realizada por meio da medição do comprimento da ponte, que representaria isso. Vale ressaltar que a para verificação da profundidade, não foi considerada a margem de segurança.

Tabela 6 - Parâmetros do ponto medido

Largura (m)	Profundidade (m)	Coefficiente de <i>Manning</i>	Declividade média (m/m)	Forma
14	4	0,026	0,005067	Retangular

Fonte: o autor (2026)

Com o objetivo de determinar a vazão máxima do canal e compará-la com as vazões de projeto simuladas, aplicou-se a equação de *Chézy* com o coeficiente de *Manning* (Equação 4). Embora tenham sido observados depósitos de sedimentos nas margens, a seção transversal original do canal é retangular. Portanto, essa foi a geometria adotada para a análise hidráulica, por representar a condição de projeto. A Figura 18 ilustra a seção transversal do canal no ponto de medição.

Figura 18 - Ponto escolhido para medição da capacidade hidráulica



Fonte: o autor (2026)

$$Q = \frac{Rh^{2/3} * I^{1/2} * Am}{n} \quad \text{(Equação 4)}$$

Em que, Q = vazão calculada (m^3/s), Rh = raio hidráulico (m), I = declividade média (m/m), Am = área molhada (m^2) e n = coeficiente de *Manning*.

A determinação do coeficiente de rugosidade de *Manning* foi realizada por meio de uma média ponderada, considerando os diferentes materiais que compõem o perímetro molhado do canal. Para as paredes laterais de concreto, adotou-se um coeficiente $n = 0,018$. Este valor está em conformidade com a literatura, que sugere uma faixa de 0,012 a 0,018 para canais de concreto, sendo o valor superior apropriado para canais que apresentam sinais de envelhecimento e deterioração superficial, como o observado em campo (CRUCIANI, 1990).

Para o fundo do canal, composto por material arenoso e com sinais de erosão, foi adotado um coeficiente de rugosidade $n = 0,030$. Esta escolha é respaldada por Arcement e Schneider (1989), que indicam valores na faixa de 0,026 a 0,035 para canais naturais com leito arenoso, condição análoga à encontrada no trecho em estudo. A composição desses coeficientes resultou em um valor ponderado que busca representar de forma fidedigna a resistência ao escoamento no canal.

3.5. Levantamento do histórico de inundações do município

Para contextualizar os eventos de cheia no município, foi realizado um levantamento simplificado do histórico de inundações associadas ao ribeirão em estudo. Este levantamento teve como objetivo identificar a frequência e a recorrência de eventos extremos, fornecendo uma base empírica para a análise dos tempos de retorno simulados.

O método empregado consistiu em uma consulta a registros jornalísticos e notícias locais, abrangendo um período de dez anos, de 2016 a 2026. A escolha por fontes jornalísticas se justifica pela acessibilidade e pela riqueza de detalhes contextuais que frequentemente acompanham a cobertura de desastres, como data, áreas mais atingidas e impactos socioeconômicos.

O critério de seleção para a inclusão de um evento no levantamento foi a existência de menção explícita à inundação ou ao transbordamento do ribeirão principal. Eventos de chuva intensa que causaram apenas alagamentos pontuais por deficiência da microdrenagem foram desconsiderados, focando-se estritamente nos eventos de cheia da macrodrenagem.

Os dados coletados para cada evento registrado incluem, sempre que disponíveis, a data de ocorrência, fotografias, relatos de moradores e a extensão percebida da mancha de inundação.

3.6. Avaliação do Plano Diretor quanto à drenagem urbana

A gestão sustentável das águas pluviais é um pilar fundamental para a resiliência das cidades modernas. Nesse contexto, a legislação municipal atua como o principal instrumento para regular o uso e a ocupação do solo, de modo a não agravar os problemas crônicos de drenagem. Uma política de drenagem urbana

bem estruturada é essencial não apenas para a mitigação de inundações, mas também para a proteção da saúde pública e a valorização do ambiente urbano (Baptista *et al.*, 2011). Um arcabouço normativo robusto, aliado a uma fiscalização eficaz, é indispensável para orientar o crescimento da cidade de forma segura e sustentável.

Como já mencionado, o município de Ubá possui um longo histórico de inundações, com eventos recorrentes que causam significativos prejuízos sociais e econômicos, especialmente nas áreas mais baixas e próximas aos cursos d'água. Diante desse cenário, torna-se fundamental que novos empreendimentos e loteamentos tenham seus impactos hidrológicos rigorosamente avaliados antes da aprovação. A ausência dessa análise pode intensificar os problemas existentes, aumentando o volume e a velocidade do escoamento superficial e sobrecarregando um sistema de drenagem já deficiente. Como destacam Miguez, Veról e Rezende (2015), a urbanização sem controle é uma das principais causas da potencialização das cheias, sendo a regulamentação de novos projetos uma medida mitigadora essencial.

Para avaliar os instrumentos que orientam a gestão das águas pluviais no município de Ubá, foi analisado um importante instrumento de política pública municipal: o Plano Diretor de Ubá, revisado e instituído pela Lei Complementar nº 02/2018 (Ubá, 2018). O objetivo foi verificar se as diretrizes contidas no plano são suficientes para promover a mitigação dos riscos de inundação e se estabelecem critérios claros para a aprovação de novos projetos. Especificamente, buscou-se identificar se o município exige a apresentação de estudos hidrológicos e hidráulicos como condição para a aprovação de empreendimentos e se impõe restrições ou medidas compensatórias para controlar o impacto da impermeabilização do solo.

3.7. Proposição de medidas de intervenção

A etapa de proposição de medidas de intervenção foi desenvolvida a partir da integração das análises realizadas ao longo do estudo. Foram considerados, de forma articulada, os resultados da modelagem hidrológica, a verificação da capacidade hidráulica do canal, o levantamento histórico de eventos de inundação no município e a análise das diretrizes previstas no Plano Diretor quanto à drenagem urbana.

Inicialmente, os cenários hidrológicos simulados foram confrontados com a capacidade hidráulica aferida em campo, com o objetivo de identificar possíveis situações de incompatibilidade entre a vazão gerada e a capacidade de escoamento. Paralelamente, o levantamento dos registros de inundação permitiu a análise da recorrência espacial e temporal dos eventos. A avaliação do Plano Diretor possibilitou a identificação de diretrizes existentes e de eventuais lacunas normativas relacionadas ao controle do escoamento superficial.

Com base nessa análise integrada, foram estruturadas propostas de melhoria classificadas em medidas estruturais e não estruturais, como, por exemplo, a implementação de uma bacia de retenção, criação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana e adoção de IDFs não estacionárias. As alternativas foram formuladas considerando critérios técnicos, espaciais e institucionais, buscando coerência com o diagnóstico hidrológico-hidráulico e com o contexto normativo municipal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados da modelagem hidrológica, da análise da capacidade hidráulica do canal, do levantamento histórico de inundações e da avaliação do Plano Diretor quanto à drenagem urbana. O objetivo é confrontar as vazões de pico simuladas com a capacidade de escoamento do Ribeirão Ubá, avaliando a compatibilidade entre o desempenho hidráulico estimado e os eventos observados, subsidiando as proposições de melhoria para a drenagem urbana.

4.1. Modelagem Hidrológica

Após o carregamento de todas as informações de entrada no modelo hidrológico, foram realizadas simulações das precipitações para as diferentes durações definidas no item 3.3.4. Conforme mencionado anteriormente, a duração crítica (aquela que resultou na maior vazão de pico) para os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos foi de 11,5 h (692,61 min).

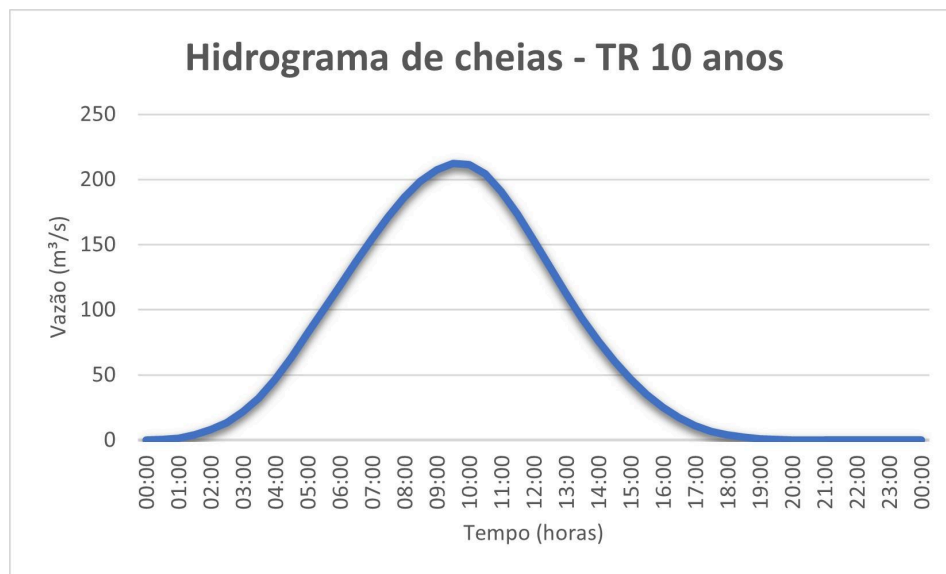
A partir dessa duração crítica, as vazões obtidas na modelagem, extraídas do exutório da bacia, encontram-se apresentadas na Tabela 7, enquanto os hidrogramas de escoamento superficial correspondentes a cada tempo de retorno são ilustrados nas Figuras 19, 20 e 21.

Tabela 7 - Resumo das vazões de pico para cada tempo de retorno

Tempo de retorno	Vazões de pico (m³/s)	Duração crítica
TR 10	212,2	11,5 horas
TR 25	293,3	11,5 horas
TR 50	369,7	11,5 horas

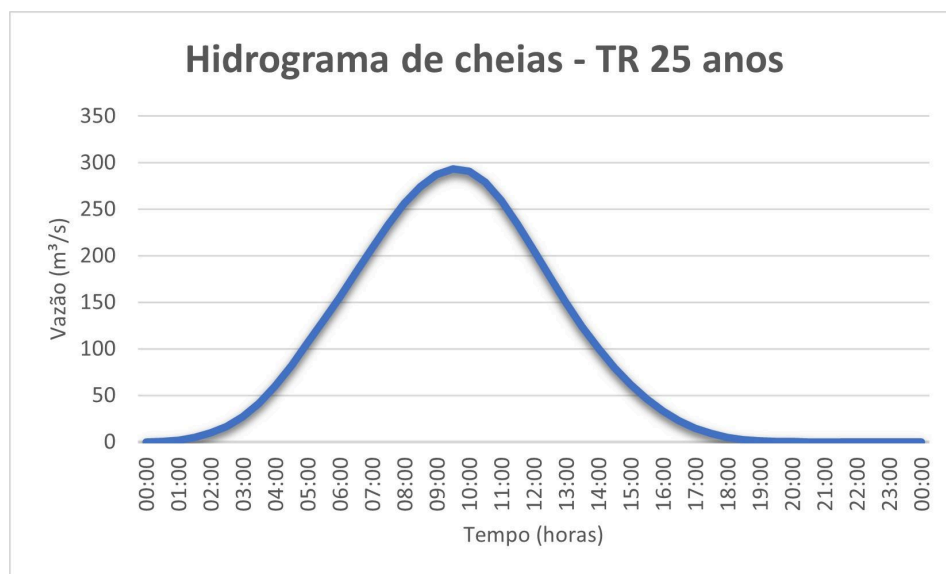
Fonte: o autor (2026)

Figura 19 - Hidrograma de cheias referente ao TR de 10 anos



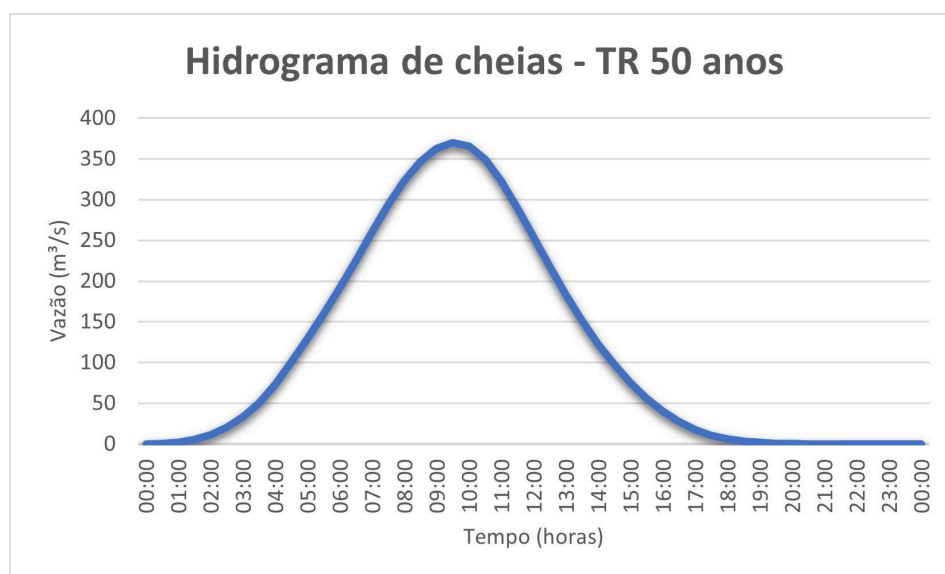
Fonte: o autor (2026)

Figura 20 - Hidrograma de cheias referente ao TR de 25 anos



Fonte: o autor (2026)

Figura 21 - Hidrograma de cheias referente ao TR de 50 anos



Fonte: o autor (2026)

O incremento do tempo de retorno exerce influência direta e significativa sobre as vazões máximas simuladas. Considerando o TR de 10 anos como referência, observa-se que a vazão de pico para o TR de 25 anos apresenta acréscimo de 38,2%, passando de 212,2 para 293,3 m^3/s . Para o TR de 50 anos, o aumento torna-se ainda mais expressivo, atingindo 74,2% em relação ao evento de 10 anos, com vazão de 369,7 m^3/s .

Tais resultados fundamentam a etapa subsequente de avaliação da capacidade hidráulica do canal principal. Conforme destacado por Tucci (2007), as inundações podem decorrer tanto do estrangulamento de seções fluviais quanto da incompatibilidade entre a vazão de cheia gerada na bacia e a capacidade de escoamento do canal. Nesse contexto, o aumento superior a 74% na vazão de pico entre os TRs de 10 e 50 anos torna imprescindível a verificação da aptidão do canal em conduzir essas vazões com segurança.

A análise consiste, portanto, no confronto entre a “oferta” hídrica estimada pela modelagem, representada pelas vazões de pico simuladas, e a “demanda” suportada pela infraestrutura existente, expressa pela capacidade hidráulica do canal obtida a partir de medições em campo. Esse cruzamento permite avaliar o risco potencial de extravasamento e a consequente ocorrência de inundações nas áreas adjacentes.

4.2. Análise da capacidade hidráulica do canal

Para determinar a capacidade máxima de escoamento no ponto de interesse, foi realizada uma medição em campo da seção transversal do canal. Com os parâmetros geométricos e hidráulicos obtidos, aplicou-se a equação de *Chézy* com coeficiente de *Manning*. Os dados encontrados da equação, como área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico e a vazão, estão detalhados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados da equação de *Chézy*

Área molhada (m ²)	Perímetro molhado (m)	Raio hidráulico (m)	Vazão (m ³ /s)
56	22	2,5	286

Fonte: o autor (2026)

A aplicação da metodologia resultou em uma vazão de capacidade máxima para o canal no trecho de 285,82 m³/s. Este valor representa o limite teórico de escoamento na seção estudada antes do início do transbordamento.

Para a análise comparativa, foram utilizadas as vazões de pico modeladas no exutório próximo ao trecho onde a capacidade do canal foi aferida. A Tabela 9 apresenta o confronto entre a capacidade do canal e as vazões de cheia para os diferentes Tempos de Retorno (TR).

Tabela 9 - Comparativo entre a capacidade do canal e as vazões de pico modeladas

Tempo de retorno (TR)	Vazão de pico modelada (m ³ /s)	Capacidade do canal (m ³ /s)	Diagnóstico
10 anos	191,3	286	Suficiente
25 anos	266,2	286	Suficiente
50 anos	336,4	286	Insuficiente

Fonte: o autor (2026)

A análise dos resultados revela um cenário misto. A capacidade do canal (285,82 m³/s) é suficiente para conter as vazões de pico geradas por eventos com Tempo de Retorno de 10 anos (191,3 m³/s) e 25 anos (266,2 m³/s). No entanto, para um evento mais extremo, com TR de 50 anos, a vazão de pico modelada atinge 336,4 m³/s, superando em 17,6% a capacidade máxima do canal. Este resultado

indica que, sob a condição de uma chuva com recorrência de 50 anos, o canal transbordaria.

Conforme as orientações técnicas para projetos de canais de macrodrenagem, frequentemente se adota um Tempo de Retorno de projeto de 25 anos (Brasil, 2020). Sob esta ótica, o trecho analisado do canal atende ao critério de projeto recomendado, pois a vazão de pico para o TR de 25 anos (266,2 m³/s) seria escoada com uma folga de segurança de aproximadamente 6,9% em relação à capacidade total (285,82 m³/s).

Este diagnóstico positivo para o TR de projeto é relevante, mas deve ser visto com cautela. A insuficiência do canal para um evento de 50 anos demonstra uma vulnerabilidade a chuvas mais intensas, que, embora menos frequentes, podem se tornar mais comuns em um contexto de mudanças climáticas. Além disso, a análise teórica pressupõe condições ideais de escoamento. Fatores reais não considerados no cálculo, como a presença de detritos, assoreamento parcial ou obstruções pontuais (como pilares de pontes a jusante), podem reduzir a capacidade efetiva do canal e diminuir a folga de segurança observada, antecipando o risco de inundações para eventos de menor magnitude.

4.3. Análise do histórico de inundações do município

Foi realizado um levantamento dos eventos de inundação no município por meio de fontes jornalísticas, abrangendo o período de janeiro de 2016 a fevereiro de 2026. A análise dos dados revelou o registro de cinco eventos de inundação significativos neste tempo de dez anos, cujas datas estão sintetizadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Levantamento dos eventos de inundação

Evento	Data	Referência Bibliográfica
1	10/03/2018	Câmara Municipal de Ubá (2018)
2	25/01/2020	Tribuna de Minas (2020)
3	04/03/2020	G1 Zona da Mata (2020)
4	07/04/2020	Estado de Minas (2020)
5	24/02/2026	CNN Brasil (2026)

Fonte: o autor (2026)

O ciclo de eventos notáveis iniciou-se em março de 2018, quando chuvas intensas levaram à decretação de Situação de Emergência, conforme o Decreto Municipal nº 5.998 (Câmara Municipal de Ubá, 2018). O documento oficial atesta a ocorrência de danos materiais e prejuízos que superaram a capacidade de resposta do poder público local (Câmara Municipal de Ubá, 2020). A situação se repetiu em janeiro de 2020, quando um novo temporal exigiu outra declaração de emergência, com relatos de transbordamentos de rios e córregos em múltiplos pontos da cidade (Tribuna de Minas, 2020).

A gravidade da situação atingiu seu ápice entre março e abril de 2020. Neste período, um evento pluviométrico extremo provocou o que foi classificado pela própria prefeitura como a "maior enchente da história de Ubá" (G1 Zona da Mata, 2020). O transbordamento do Córrego Ubá, que atravessa a região central, resultou na inundação de vastas áreas urbanas, incluindo o centro comercial da cidade. Os danos foram severos e de grande escala: reportagens posteriores consolidaram o número de mais de 400 pessoas desalojadas, além de perdas incalculáveis em residências, infraestrutura e no setor produtivo (Estado de Minas, 2020).

Além desses eventos, na madrugada do dia 24 de fevereiro de 2026, o município de Ubá foi atingido por um evento extremo de precipitação que resultou em uma inundação de grandes proporções, causando destruição em diferentes áreas da cidade e mobilizando as autoridades municipais para ações emergenciais de assistência à população afetada (CNN Brasil, 2026). O episódio foi provocado por chuvas intensas que alcançaram cerca de 170 mm em poucas horas, fazendo com que o Ribeirão Ubá atingisse aproximadamente 7,82 metros na região central, o que ocasionou enxurradas, deslizamentos de terra e o colapso de estruturas urbanas, além da inundação de residências e estabelecimentos comerciais, conforme pode ser observado na Figura 22 (G1 Zona da Mata, 2026). Diante da magnitude dos danos e do número de vítimas, o evento foi classificado por autoridades locais como a maior tragédia já registrada na história do município, evidenciando a severidade do desastre e seus impactos sociais e urbanos.

Figura 22 - Transbordamento do Ribeirão Ubá ocorrido em 24/02/2026



Fonte: CNN Brasil (2026)

A ocorrência de quatro eventos com capacidade de gerar transtornos urbanos e danos materiais em um período de tempo relativamente curto é um resultado expressivo. Esta frequência levanta um questionamento fundamental sobre a adequação dos parâmetros de projeto tradicionalmente utilizados na engenharia hidrológica. Projetos de macrodrenagem, como visto anteriormente, são frequentemente dimensionados para um Tempo de Retorno (TR) de 25 anos, o que implica uma probabilidade de ocorrência de 4% em um ano qualquer.

A recorrência observada no levantamento sugere que os eventos extremos estão se tornando mais frequentes do que a estatística histórica, baseada em dados do passado. Em outras palavras, há uma aparente desconexão entre a frequência teórica dos eventos de projeto (TR 25 anos) e a frequência real das inundações observadas na última década.

Esta constatação coloca em xeque o pressuposto da estacionariedade climática, pilar fundamental das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) convencionais. O método estacionário assume que os padrões de chuva se mantêm constantes ao longo do tempo, uma premissa que é cada vez mais desafiada pelas evidências de mudanças climáticas globais e seus impactos em escala local. A

intensificação de eventos de precipitação é um dos efeitos mais documentados, o que torna a confiança exclusiva em dados históricos uma abordagem potencialmente arriscada para o planejamento futuro.

Diante deste cenário, a simples elevação do Tempo de Retorno de projeto (por exemplo, de 25 para 50 anos) utilizando curvas IDF estacionárias pode não ser a solução mais eficaz, pois não aborda a raiz do problema: a mudança no padrão de chuvas.

4.4. Avaliação do Plano Diretor quanto a drenagem urbana

O Plano Diretor Municipal de Ubá, revisado e instituído pela Lei Complementar nº 02/2018 (Ubá, 2018), estabelece o marco regulatório para o crescimento e a organização territorial da cidade. No entanto, ao analisar o instrumento sob a ótica da drenagem urbana, observa-se que, embora o tema seja mencionado em diferentes seções, as diretrizes apresentam um caráter predominantemente genérico, carecendo de especificações técnicas que garantam o controle efetivo do escoamento superficial face à urbanização.

No que tange ao parcelamento do solo, o Art. 20 define que a legislação deverá estabelecer parâmetros urbanísticos para novos empreendimentos, visando garantir a habitabilidade e impedir a ocupação em áreas de risco geológico. Complementarmente, o Art. 22 introduz mecanismos de controle do adensamento territorial, elencando a taxa de permeabilidade como um dos índices fundamentais para esse equilíbrio.

A Seção II, que trata especificamente dos Parâmetros Urbanísticos, detalha no Art. 30, inciso V, a definição da Taxa de Permeabilidade (TP):

V - **taxa de permeabilidade** (TP), que corresponde à porção do terreno que deverá sempre ser conservada em seu estado natural.

Embora a manutenção de áreas permeáveis seja um passo essencial para a infiltração de água no solo, o texto legal não avança na estipulação de valores percentuais específicos para cada zona, delegando essa função a leis complementares ou regulamentações posteriores.

Quanto ao sistema de drenagem em si, a Seção I (Da Drenagem Pluvial) apresenta os objetivos e diretrizes para o município. O Art. 45 divide o sistema em macro e microdrenagem, focando na solução de problemas de escoamento e prevenção de enchentes. Entre as diretrizes fixadas no Art. 46, destacam-se:

IV - estabelecer, na legislação urbanística, **Taxas de Permeabilidade mínimas** para disciplinar a ocupação dos lotes urbanos, visando manter **a capacidade de infiltração natural** de águas pluviais.

Note-se que o parágrafo 3º do Art. 45 menciona que o sistema poderá ser complementado por "dispositivos de coleta e armazenamento ou infiltração de águas pluviais, fundamentados em tecnologia adequada". Entretanto, o Plano Diretor de Ubá falha ao não tornar obrigatória a implementação de dispositivos de detenção ou retenção e ao não fornecer critérios de dimensionamento ou diretrizes para o cálculo de vazão máxima de pré e pós-desenvolvimento.

A principal lacuna observada no Plano Diretor de Ubá é a ausência de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) ou de um manual técnico de drenagem que operacionalize as intenções da lei. Sem parâmetros claros sobre o volume de detenção por metro quadrado de área impermeabilizada, a aprovação de novos empreendimentos torna-se um processo subjetivo, dependente da interpretação técnica de secretarias municipais, o que pode comprometer a bacia hidrográfica a jusante.

Diferente do cenário de Ubá, municípios como Belo Horizonte (MG) apresentam uma legislação muito mais robusta e detalhada. No Plano Diretor da capital mineira, o controle da drenagem é feito de forma quantitativa e, além disso, há parâmetros muito bem detalhados sobre as formas alternativas de conter a vazão de pico, como, por exemplo, com a implementação de jardins de chuva, trincheira de infiltração, poço de infiltração, telhados verdes, entre outros (Belo Horizonte, 2022). Em Belo Horizonte, o empreendedor é obrigado a calcular o volume de reservação baseado na área impermeabilizada, garantindo que a vazão de saída do lote não sobrecarregue a rede pública de microdrenagem.

Enquanto Ubá foca na "conservação do estado natural" (Taxa de Permeabilidade), cidades com gestão avançada de águas pluviais entendem que a

infiltração isolada não é suficiente em eventos extremos. Portanto, para que o planejamento urbano de Ubá evolua quanto a drenagem urbana, é imperativo que as diretrizes genéricas do Art. 46 sejam transformadas em normativas técnicas que exijam o amortecimento de picos de cheia diretamente na fonte (lotes e logradouros), evitando que o ônus do escoamento seja transferido inteiramente para o sistema público de drenagem.

Ressalta-se que também foram analisados outros instrumentos normativos do município, como a Lei de Uso e Ocupação do Solo e o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Entretanto, a Lei de Uso e Ocupação do Solo, instituído pela Lei Complementar nº 030, de 11 de julho de 1995, não apresenta diretrizes relacionadas à drenagem urbana, tampouco estabelece parâmetros como taxas de permeabilidade ou outras disposições voltadas à gestão do escoamento pluvial (Prefeitura Municipal de Ubá, 1995). Da mesma forma, o Plano Municipal de Saneamento Básico do município, instituído pela Lei nº 4.027, de 07 de dezembro de 2011, denominado Plano de Gestão dos Serviços de Abastecimento de Água Potável e Esgotamento Sanitário do Município de Ubá, não contempla diretrizes específicas para o manejo das águas pluviais, restringindo-se apenas aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (Prefeitura Municipal de Ubá, 2011). O referido plano menciona que a temática da drenagem pluvial sustentável seria tratada em um plano específico a ser elaborado posteriormente. Contudo, não foi identificado, no âmbito desta pesquisa, qualquer documento posterior que trate dessa temática no município.

4.5. Proposições de melhoria da qualidade e da capacidade hidráulica do canal

Mediante ao estudo apresentado, é possível propor medidas estruturais e não estruturais de melhoria da qualidade do corpo hídrico da bacia.

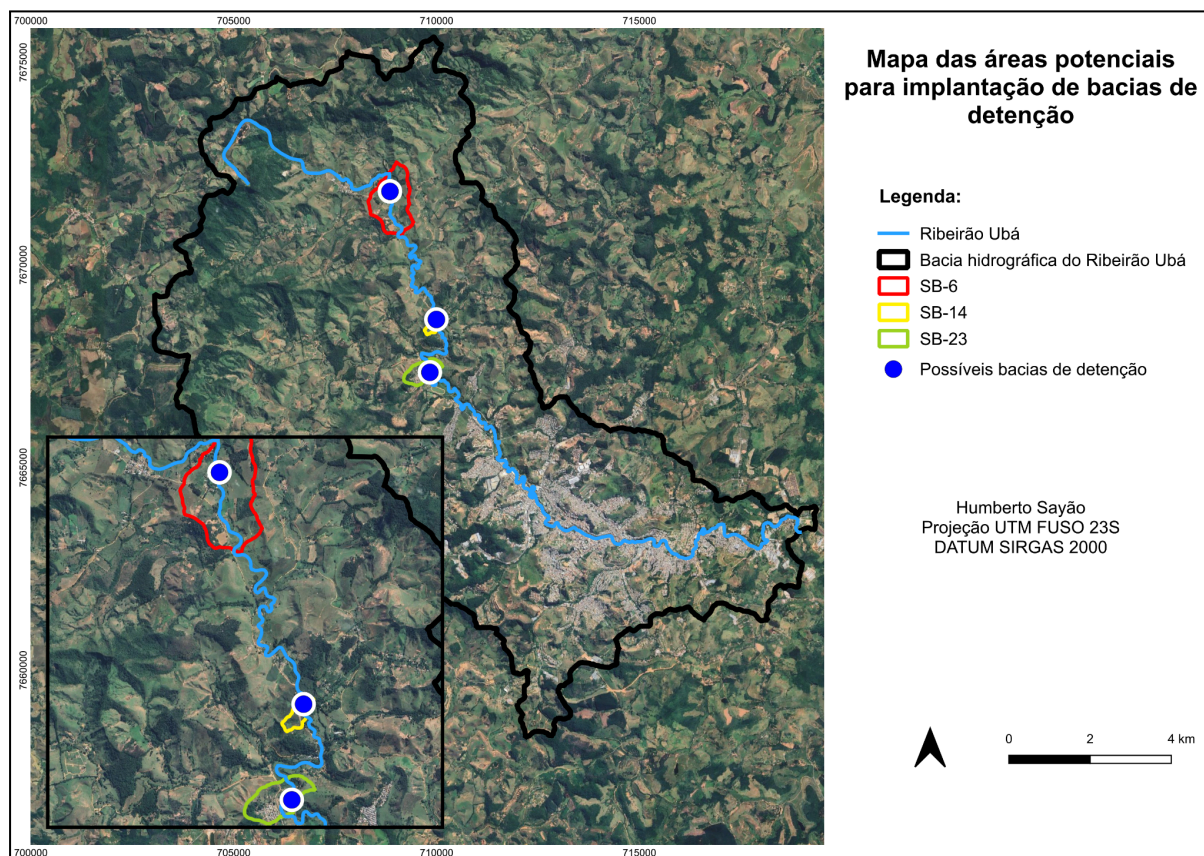
4.5.1 Medida estrutural

Uma das medidas essenciais para que haja uma melhora significativa da capacidade hidráulica do canal é a implementação de uma bacia de retenção para amortecer os picos de cheia, restando temporariamente a água e liberando-a de forma controlada.

A seleção de locais para a implementação de bacias de retenção é um aspecto crítico para sua eficácia. O critério principal para a escolha dos locais propostos neste estudo foi a disponibilidade de espaço, relevo e a identificação de pontos onde ocorre um aumento significativo da vazão. Um estudo detalhado das vazões em cada exutório das sub-bacias revelou que a vazão aumentava em 100,6% na sub-bacia 6, passando de 46,9 m³/s para 94,1 m³/s. Esse estudo foi realizado por meio de um levantamento de todas as vazões dos exutórios da bacia, a fim de identificar em qual sub-bacia a vazão aumentava significativamente. Este incremento substancial de vazão na sub-bacia 6 a torna um ponto estratégico para a instalação de uma bacia de retenção, pois atuar no ponto de maior contribuição maximiza a eficiência do reservatório no controle do escoamento a jusante. Adicionalmente, a sub-bacia 6 possui uma considerável área livre, o que facilita a implantação da estrutura sem grandes desapropriações ou impactos urbanísticos.

Entretanto, a necessidade de controle não se restringe apenas a este ponto. Como a vazão já apresentava um aumento significativo a montante da sub-bacia 6, é evidente que qualquer local mais a jusante também receberia uma contribuição considerável de vazão. Dessa forma, a identificação de outros locais com espaço disponível a jusante da sub-bacia 6 também se mostrou pertinente para a implementação de bacias de retenção complementares. A distribuição de bacias ao longo do curso d'água pode oferecer uma abordagem mais resiliente e distribuída para o controle de cheias, otimizando o amortecimento em diferentes seções do córrego. Os possíveis locais de implementação da bacia de retenção encontram-se na Figura 23.

Figura 23 - Mapa das opções de áreas para a implantação de bacias de retenção



Fonte: o autor (2026)

Foram selecionadas três opções de locais para a implantação de bacias de retenção, todas situadas a montante do perímetro urbano. A primeira opção, localizada na sub-bacia 6, foi definida conforme os critérios previamente discutidos, sendo justificada principalmente pelo aumento significativo da vazão observado nessa área. A segunda opção, situada na sub-bacia 14, atende aos requisitos estabelecidos e configura-se como uma alternativa viável para a implantação da estrutura. Por fim, a terceira opção, localizada na sub-bacia 23, também atende aos critérios definidos e encontra-se posicionada no início do perímetro urbano, representando uma alternativa estratégica para o amortecimento da vazão antes de sua entrada na área urbanizada.

É importante ressaltar que a indicação de locais para a implantação de bacias de retenção, embora fundamentada em critérios importantes como disponibilidade de espaço, relevo e picos de vazão, representa uma análise preliminar. A efetiva implementação de uma estrutura como essa é uma tarefa de alta complexidade que transcende os aspectos avaliados neste trabalho, demandando estudos técnicos aprofundados e uma visão mais holística.

A viabilidade de uma bacia de retenção depende de uma gama de fatores técnicos, ambientais e socioeconômicos. Questões como as características geotécnicas e a permeabilidade do solo local são cruciais, pois influenciam diretamente a capacidade de infiltração e a estabilidade da estrutura. Um solo de baixa permeabilidade, por exemplo, pode exigir que a bacia funcione primariamente pela retenção, com esvaziamento controlado, enquanto solos mais permeáveis poderiam permitir um projeto focado também na recarga de aquíferos.

Além disso, outros aspectos técnicos como a proximidade do lençol freático, a declividade do terreno e os riscos de assoreamento e contaminação devem ser rigorosamente avaliados. A ausência de uma manutenção adequada pode comprometer a funcionalidade da bacia e gerar problemas sanitários, como a proliferação de vetores de doenças (Rodríguez *et al.*, 2021).

Do ponto de vista socioeconômico, o custo de implantação e manutenção é um fator limitante significativo. Projetos dessa natureza frequentemente envolvem custos elevados com desapropriações, movimentação de terra e construção civil, que precisam ser ponderados. A aceitação da comunidade e a possibilidade de criar um espaço multifuncional (como áreas de lazer) também são elementos que podem influenciar o sucesso do projeto (De Souza *et al.*, 2013).

Diante dessa complexidade, a literatura técnica sugere a aplicação de uma análise multicritério para a seleção de locais. Estudos como os de Castro *et al.* (2004) e outros trabalhos na área demonstram a aplicação dessa metodologia para avaliar alternativas de drenagem urbana, reforçando que a decisão final deve ser fruto de uma análise abrangente e integrada.

Portanto, as opções aqui apontadas devem ser vistas como um ponto de partida, e sua viabilidade definitiva dependeria da realização de estudos complementares e de uma análise multicritério que considere todas as variáveis envolvidas.

4.5.2 Medidas não estruturais

A gestão da drenagem urbana no município de Ubá, assim como em muitas cidades brasileiras, enfrenta desafios significativos, especialmente devido à generalização das diretrizes existentes no plano diretor atual. A ausência de um detalhamento técnico específico para as questões de drenagem resulta em uma lacuna no planejamento e na implementação de medidas eficazes para mitigar os problemas de inundações e seus impactos associados. Diante desse cenário, a proposição da criação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) para Ubá emerge como uma medida não estrutural de suma importância, visando estabelecer um arcabouço técnico e legal robusto para o manejo das águas pluviais.

Um PDDU é um instrumento de planejamento essencial que vai além da gestão de infraestruturas, abordando a drenagem urbana de forma integrada e sustentável. Sua importância reside na capacidade de diagnosticar a situação atual do sistema de drenagem, identificar áreas de risco, propor soluções estruturais e não estruturais, e estabelecer diretrizes para o crescimento urbano em harmonia com o ciclo hidrológico (Canholi, 2015). Além disso, um plano bem elaborado permite o cadastro detalhado das estruturas de macrodrenagem, a análise de suas capacidades, a definição de especificações técnicas para relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) e metodologias para a extração de parâmetros fisiográficos.

Belo Horizonte, por exemplo, é um caso emblemático de sucesso na implementação de um PDD. A capital mineira, por meio de seu Plano Diretor de Drenagem Urbana, inovou ao mudar o paradigma de intervenções focadas na canalização e remoção rápida da água, para uma abordagem mais sustentável, que incorpora técnicas compensatórias e a gestão na fonte (Belo Horizonte, 2022). O PDD de Belo Horizonte tem como objetivos a caracterização física e a avaliação da eficiência do sistema de drenagem urbana existente, bem como a consolidação de diretrizes para o tratamento integrado dos problemas sanitários e ambientais em nível de bacia hidrográfica. O plano recomenda a inserção dos cursos d'água na paisagem urbana, a adoção de técnicas menos intervencionistas sempre que possível, incluindo a implantação de parques lineares, além da utilização de técnicas alternativas aos procedimentos convencionais de drenagem, contribuindo

para a redução de riscos de inundações, o controle da produção de sedimentos e a melhoria da qualidade ambiental urbana (Belo Horizonte, 2022).

Uma das diretrizes centrais do modelo adotado em Belo Horizonte, e que pode ser replicada no município de Ubá, é a especificação da construção de microrreservatórios para o armazenamento temporário de águas pluviais, com critérios diferenciados conforme as zonas de ocupação urbana. Essas diretrizes consideram a área do lote, a taxa mínima de permeabilidade e a capacidade em volume necessária, conforme apresentado na Figura 24. Nesse contexto, a Prefeitura de Belo Horizonte pretende assegurar que novos parcelamentos do solo e grandes empreendimentos controlem o escoamento superficial gerado após a intervenção.

Figura 24 - Capacidade do microrreservatório

Zona de ocupação	Taxa de permeabilidade mínima		Capacidade do microrreservatório (m ³)	
	A ≤ 360 m ²	A > 360 m ²	A ≤ 360 m ²	A > 360 m ²
ZA - Zona adensada	10%	20%	30 L . 0,1.A = 0,003A	30 L . 0,2.A = 0,006A
ZAP - Zona de Adensamento Preferencial				
ZAR – Zona de Adensamento Restrito				
ZC - Zona Central				
ZE - Zona de Grandes Equipamentos				

Obs.: “A” corresponde a área do lote

Fonte: Lei Municipal nº 9.959/10 de Belo Horizonte

Para o município de Ubá, a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) com essas características representaria um avanço institucional relevante. Além de subsidiar o dimensionamento adequado de novas infraestruturas, o plano possibilitaria a consolidação de um cadastro técnico das estruturas existentes, a identificação de pontos críticos do sistema e a definição de prioridades de intervenção. A incorporação de critérios técnicos para controle do escoamento na fonte, zonas de amortecimento ao longo dos cursos d’água e exigência de estudos hidrológicos para novos empreendimentos contribuiria para um ordenamento urbano mais preventivo e integrado à dinâmica da bacia.

Paralelamente, os eventos recentes de inundação indicam a importância de aprofundar a análise sobre o comportamento das precipitações extremas no município. A abordagem tradicional baseada em curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) estacionárias parte do pressuposto de que as características estatísticas das chuvas permanecem constantes ao longo do tempo, hipótese que vem sendo discutida na literatura diante das evidências de variabilidade climática. Nesse contexto, a adoção de IDFs não estacionárias pode ser considerada como uma alternativa a ser investigada em estudos futuros.

Entretanto, a incorporação dessa abordagem exige séries históricas consistentes, tratamento estatístico adequado e validação metodológica específica para a realidade local. Assim, recomenda-se que análises complementares sejam realizadas para verificar a existência de tendências ou mudanças significativas no regime de precipitações. Caso tais evidências sejam confirmadas, a atualização das curvas IDF poderá contribuir para um dimensionamento mais alinhado às condições hidrológicas contemporâneas, fortalecendo a segurança e a resiliência do sistema de drenagem urbana.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do Ribeirão Ubá, na região central do município, tem sido acometida por um processo de urbanização que, aliado à insuficiência do planejamento e das infraestruturas de drenagem, resultou em um aumento significativo da vulnerabilidade às inundações. A modelagem hidrológica revelou que as vazões de pico para eventos com tempo de retorno de 50 anos superam em 17,6% a capacidade máxima do canal principal, indicando um risco iminente de transbordamento para eventos mais extremos. Embora o canal se mostre suficiente para tempos de retorno de 10 e 25 anos, a análise do histórico de inundações, com quatro eventos significativos em apenas dez anos, questiona a validade da premissa de estacionariedade climática, sugerindo que os eventos extremos estão se tornando mais frequentes do que o previsto pelas estatísticas históricas.

Nesse contexto, a análise do Plano Diretor Municipal de Ubá evidenciou uma lacuna significativa: a ausência de um detalhamento técnico robusto para a gestão da drenagem urbana. As diretrizes existentes são genéricas e não estabelecem critérios claros para a aprovação de novos empreendimentos ou para a implementação de medidas compensatórias eficazes, delegando a regulamentação a leis complementares que ainda não operacionalizam as intenções da lei. Essa deficiência contribui para a sobrecarga do sistema de drenagem e a potencialização dos riscos de inundação.

Diante dos desafios identificados, este trabalho propõe um conjunto de medidas integradas para a melhoria da qualidade e capacidade hidráulica do Ribeirão Ubá. Como medida estrutural, a implementação de bacias de retenção em locais estratégicos, como a sub-bacia 6 (onde a vazão aumenta em 100,6%), é fundamental para amortecer os picos de cheia e liberar a água de forma controlada. Complementarmente, medidas não estruturais são cruciais para uma gestão mais resiliente. A criação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDD) específico para Ubá, inspirado em modelos bem-sucedidos como o de Belo Horizonte, é imperativa. Esse PDD deve estabelecer a obrigatoriedade de estudos hidrológicos e hidráulicos para novos empreendimentos, bem como a imposição de medidas compensatórias e restrições para controlar o impacto da impermeabilização do solo. Adicionalmente, a adoção de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) não estacionárias é essencial para o dimensionamento de futuras obras, garantindo que

os projetos considerem as tendências atuais e futuras das precipitações extremas, frente às mudanças climáticas.

Essas proposições, ao integrarem soluções de infraestrutura verde com um planejamento urbano mais rigoroso e adaptado à realidade climática, visam não apenas mitigar os eventos de inundação, mas também promover a sustentabilidade, a multifuncionalidade dos espaços urbanos e, em última instância, a melhoria da qualidade de vida da população de Ubá.

O presente trabalho também se relaciona com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas, especialmente aqueles voltados à promoção de cidades mais resilientes e à gestão sustentável dos recursos hídricos. Ao analisar o comportamento hidrológico da bacia do Ribeirão Ubá, avaliar a capacidade do sistema de drenagem existente e propor medidas para mitigação de cheias, o estudo contribui diretamente para o ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, que busca reduzir os impactos de desastres naturais nas áreas urbanas, e para o ODS 6 – Água Potável e Saneamento, ao incentivar uma gestão mais eficiente e integrada das águas pluviais no ambiente urbano. Além disso, ao discutir a necessidade de planejamento urbano baseado em critérios técnicos e soluções sustentáveis de drenagem, o trabalho também dialoga com o ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima, ao reconhecer a importância da adaptação das cidades frente ao aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação. Essas conexões reforçam a relevância do estudo não apenas no contexto local do município de Ubá, mas também no âmbito mais amplo das estratégias globais de desenvolvimento sustentável.

Por fim, como continuidade deste trabalho, sugere-se o aprofundamento das análises hidrológicas da bacia do Ribeirão Ubá por meio da aplicação de curvas Intensidade–Duração–Frequência (IDF) não estacionárias, de forma a avaliar possíveis tendências nas precipitações extremas e seus impactos no dimensionamento de obras de drenagem. Além disso, recomenda-se o desenvolvimento de estudos voltados à avaliação da implantação de uma bacia de retenção na área de estudo, investigando, por meio de simulações hidrológicas, os efeitos dessa estrutura na redução dos picos de vazão e na atenuação de eventos de cheia. Tais análises poderiam contribuir para uma melhor compreensão da efetividade dessa solução como medida de mitigação de inundações no município.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, Mariele de Souza Parra; POLETO, Cristiano. **Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos**. Holos Environment, v. 12, n. 2, p. 121-131, 2012.
- ALMEIDA, Isis de Castro. **Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: uma proposta para a bacia hidrográfica do córrego São Pedro, em Juiz de Fora – MG**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2020.
- ARAÚJO, Anne Santos; COSTA, Maria Elisa Leite; KOIDE, Sérgio. **Análise e proposição de medidas sustentáveis em drenagem urbana na região do Lago Norte-DF por meio de modelagem hidrológica-hidráulica**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.
- ARAÚJO, P.R., TUCCI, C.E.M., GOLDENFUM, J.A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. RBRH, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p 21- 29, 2000.
- ARCEMENT, G. J. Jr. & Schneider, V. R. (1989). **Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains (USGS Water-Supply Paper 2339)**. U.S. Geological Survey.
- BALBINOT, RAFAELO ET AL. **O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas**. Ambiência-Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, v. 4, n. 1, p. 1-19, 2008.
- BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BELO HORIZONTE. **Instrução técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem: Capítulo 3 – Controle na fonte e lançamento no sistema público de drenagem**. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura, 2022.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais**. [s.l.] SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO, 2020.

CÂMARA MUNICIPAL DE UBÁ. **Lei nº 1.221, de 2018**. Texto integral. Ubá, MG, 2018. Disponível em: https://sapl.uba.mg.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2018/1221/1221_texto_integral.pdf. Acesso em: 07 fev. 2026.

CAMPANA, N.A., BERNARDES, R.S., SILVA JR., J.A. **Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 98-111, 2007

CANHOLI, Aluísio. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de textos, 2015.

CARDOSO, Christiany Araujo ET AL. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ**. Revista árvore, v. 30, p. 241-248, 2006.

CARVALHO, Cornélio de Freitas; FERREIRA, Adalberto Luiz; STAPELFELDT, Frank. **Qualidade das águas do ribeirão Ubá-MG**. REM: Revista Escola de Minas, v. 57, p. 165-172, 2004.

CASTRO, LMA de; BAPTISTA, Márcio Benedito; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Análise multicritério para a avaliação de sistemas de drenagem urbana: proposição de indicadores e de sistemática de estudo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 9, n. 4, p. 05-19, 2004.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS – CEMADEN. **Inundação**. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/inundacao/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

CNN BRASIL. **Rio Ubá atinge quase 8 metros e deixa mortos após temporal em Minas Gerais**. São Paulo, 24 fev. 2026. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/sudeste/mg/rio-uba-atinge-quase-8-metros-e-deixa-mortos-apos-temporal-em-minas-gerais/>. Acesso em: 8 mar. 2026.

COSTA, J.; ALEANDRI, G.A.; POLETO, C. **Experimental Studies of Green Roof Systems as part of Sustainable Urban Watershed in order to minimize the problems of flooding**. In: 12nd International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil. 2011

COSTA, Paulo Ribeiro; SILVEIRA, André Luiz Rodrigues. **Drenagem urbana e os impactos decorrentes do processo de urbanização na bacia do córrego Mingau, Goiânia, GO**. REVISTA UNIARAGUAIA, p. 76-100, 2017.

CRUCIANI, Décio Eugênio. **Drenagem na agricultura**. São Paulo: Nobel, 1990.

DA SILVA, Jéssica Lana de Souza; COSTA, Rômulo Montan; ZAIDAN, Ricardo Tavares. **Aplicação da análise morfométrica de bacias hidrográficas como subsídio ao entendimento dos processos crescentes de inundações na malha urbana da cidade de Ubá-MG**. Caminhos de Geografia, Uberlândia-MG, v. 22, n. 82, p. 201-214, 2021.

DE ARAÚJO, Lincoln Eloi ET AL. **Bacias hidrográficas e impactos ambientais**. Qualitas Revista Eletrônica, v. 8, n. 1, 2009.

DE CASTRO MUNDIM, Victor; REIS, Ricardo Prado Abreu. **Análise da influência de parâmetros de projeto no dimensionamento de poços de infiltração de águas pluviais**. Paranoá, v. 16, n. 34, p. 1-25, 2023.

DE SOUZA, Marcos Ferreira et al. **Custos de manutenção de bacias de retenção para controle de cheias na cidade de Belo Horizonte-MG**. 2013.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

FARIAS, Ariadne; MENDONÇA, Francisco. **The Urban Environmental System perspective on socio-environmental risks of urban flooding**. Sociedade & Natureza, [S. l.], v. 34, n. 1, 2022. DOI: 10.14393/SN-v34-2022-63717. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/63717>. Acesso em: 15 aug. 2025.

FRITZEN, Maycon; BINDA, Andrey Luis. **Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente**. Ateliê Geográfico, v. 5, n. 3, p. 239-254, 2011.

GAMA, Rogério Gutierrez. **Usos da água, gestão de recursos hídricos e complexidades históricas no Brasil: estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Escola Nacional de Ciências Estatísticas–ENCE/IBGE. Rio de Janeiro, 2009.

GOMES, E. S. **A dinâmica hidrológica fluvial em bacias hidrográficas com diferentes taxas de impermeabilização do solo em Guarapuava/PR**. 2014.

GRACIOSA, M.C.P. **Modelo de seguro para risco hidrológico com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundação**. 2010.191f.Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2010.

G1 ZONA DA MATA. **"Maior enchente da história de Ubá', diz Prefeitura após forte chuva que atingiu a cidade."** G1, 5 mar. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2020/03/05/maior-enchente-da-historia-a-de-uba-diz-prefeitura-apos-forte-chuva-que-atingiu-a-cidade.ghtml>. Acesso em: 13 jul. 2025.

G1 ZONA DA MATA. **"Maior tragédia da história", diz prefeito de Ubá após temporal deixar mortos e desaparecidos.** G1, 24 fev. 2026. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2026/02/24/maior-tragedia-da-historia-diz-prefeito-de-uba-apos-temporal-deixar-mortos-e-desaparecidos.ghtml>. Acesso em: 8 mar. 2026.

HUFF, F. A. Time distribution of rainfall in heavy storms. **Water Resources Research**, v. 3, n. 4, p. 100731019, dez. 1967.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022:** Ubá (MG). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uba/pesquisa/10102/122229>. Acesso em: 9 mar. 2026.

JÚNIOR, Antenor Rodrigues Barbosa. **Elementos de hidrologia aplicada**. Editora Blucher, 2022.

KAUFFMANN, M.O. (2003) **Expansão urbana e qualidade de vida: proposta para desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade aplicados à legislação urbanística**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

KER, João Carlos. **Latossolos do Brasil: uma revisão**. Geonomos, v. 5, n. 1, p. 17–40, 1997.

KOBIYAMA, M. **Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos**. In: Curso de Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, Apostila, Curitiba: FUPEF, 1999. p.29-31.

LEITÃO, Francisco Thibério Pinheiro ET AL. **Comparação de modelos hidrológicos utilizando o HEC-HMS**. 2017.

LEITE, Marcos Esdras ET AL. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do espaço urbano: o caso da cidade Montes Claros/MG**. 2006.

LICCO, Eduardo Antonio; MAC DOWELL, Silvia Ferreira. **Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança**. Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, v. 5, n. 3, p. 159-174, 2015.

LINSLEY, R. K. Jr. & FRANZINI, S. B. **Engenharia de Recursos Hídricos**. Tradução e adaptação de Luiz Américo Pastorino. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

Maior enchente da história de Ubá, diz Prefeitura, após forte chuva que atingiu a cidade. G1 Zona da Mata, Globo, 05 mar. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2020/03/05/maior-enchente-da-historia-de-uba-diz-prefeitura-apos-forte-chuva-que-atingiu-a-cidade.ghtml>. Acesso em: 07 fev. 2026.

Maior enchente da história de Ubá deixa mais de 400 pessoas desalojadas. Estado de Minas, Belo Horizonte, 08 abr. 2020. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2020/04/08/interna_gerais,1136907/maior-enchente-da-historia-de-uba-deixa-mais-de-400-pessoas-desalojada.shtml. Acesso em: 07 fev. 2026.

MCCUEN, R. H., WONG, S. L., RAWLS, W.J., 1984, **Estimating urban time of concentration**, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 110, n.7, ASCE, pp 887-904.

MENDES, Thiago Augusto ET AL. **Uso do modelo HEC-RAS com base em informações de LiDAR para avaliação de inundações urbanas**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 1, p. 141-157, 2022.

MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de. **Otimização de reservatórios de retenção para controle da qualidade das águas pluviais**. 2014.

MINERVINO, A. C.; DUARTE, E. C.. **Danos materiais causados à Saúde Pública e à sociedade decorrentes de inundações e enxurradas no Brasil, 2010-2014: dados originados dos sistemas de informação global e nacional**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 21, n. 3, p. 685–694, mar. 2016.

MOREIRA, Leonardo Leon Leite. **Efeito da introdução de bacias de retenção sobre a drenagem de águas pluviais: estudo de caso numa área urbana em Juiz de Fora, MG**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024

NEGRI, Robison et al. **IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS PROJETOS DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DE JOINVILLE/SC**. Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 22, n. 2025, 2025.

NETO, Pedro de Souza Garrido ET AL. **Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil**. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 10, p. 18743-18759, 2019.

NUNES, A. A.; ANDRADE, E. J.; GALVÃO, C. O.; ALMEIDA, C. N. **Curvas intensidade-duração-frequência no município de Belo Horizonte sob a ótica de**

não-estacionariedade. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 26, e22, 2021.

NUNES, Elizon Dias; ROSA, Lucas Espíndola. **COMPACTION AND WATERPROOFING OF THE SOIL IN THE URBAN FLUVIAL CHANNELS.** Mercator, Fortaleza, v. 19, oct. 2020. ISSN 1984-2201. Available at: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e19023>>. Date accessed: 15 aug. 2025. doi: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19023>.

OLIVEIRA, GABRIELA SILVA DE ET AL. **Águas urbanas e questões significativas no processo de urbanização: estudo de caso para situações de alagamentos, enchentes e inundações em São Luís, Maranhão.** 2019.

PAIVA, Larissa Carla Souza; FERREIRA, Cássia de Castro Martins; GOMES VIANNA, Yan Carlos. **Mapeamento de áreas de risco de inundação do município de Ubá, Minas Gerais.** ENTRE-LUGAR, [S. I.], v. 15, n. 29, p. 194–215, 2024. DOI: 10.30612/rel.v15i29.17425. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/entre-lugar/article/view/17425>. Acesso em: 8 ago. 2025.

PAVANIN, Erich Vettore ET AL. **Geoprocessamento aplicado ao diagnóstico de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Guaribas em Uberlândia–MG.** Revista de Engenharia Civil IMED, v. 3, n. 2, p. 24-38, 2016.

PERCHÉ, Evandro Alexandre; AMARAL, Luciana Peixoto. **Simulação Hidrológica Da Bacia De Detenção Santa Lúcia, Na Cidade De Belo Horizonte.** Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais: Belo Horizonte, Brazil, 2015.

PEREIRA, G. C. E SILVA, B. C. N. **Geoprocessamento e urbanismo.** In GERARDI, L. H. de O. e MENDES, I. A. (org.). teoria, técnica, espaço e atividades. Temas de geografia contemporânea. Rio Claro: Unesp; AGTEO, 2001

PORTO, Monica fa; PORTO, Rubem La Laina. **Gestão de bacias hidrográficas.** Estudos avançados, v. 22, p. 43-60, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBÁ. **Lei Complementar nº 030, de 11 de julho de 1995. Institui normas de urbanismo e edificações para o município de Ubá e dá outras providências.** Ubá: Prefeitura Municipal de Ubá, 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBÁ. **Plano de gestão dos serviços de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário: parte integrante do Plano Municipal de Saneamento Básico.** Ubá, MG: Prefeitura Municipal de Ubá, 2011.

REIS, Ricardo Prado Abreu; DE OLIVEIRA, Lúcia Helena; SALES, Maurício Martinés. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais.** Ambiente construído, v. 8, n. 2, p. 99-117, 2008.

RODRÍGUEZ, Carlos Andrés Martínez; TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento. **Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, p. 143-150, 2021.

SANTOS, A. R. D. ArcGis 9.1 Total. Vitória-ES: Fundagres, 2007. 226 p.

SANTOS, R.F. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007

SARAIVA, ALÉXIA. **Nova lei de telhado verde em Blumenau aumenta área edificável**. HAUS – sustentabilidade. Blumenau, 27 fev. 2018. Disponível em: <https://revistahaus.com.br/haus/sustentabilidade/nova-lei-telhado-verde-blumenau-aumenta-area-edificavel/>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, Francisco; GENOVEZ, Abel Maia. **Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método de Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos – Parte 1: Classificação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 4, p. 05–18, out./dez. 2005.

SILVA, D. F. **Curvas IDF não-estacionárias na avaliação do efeito de mudanças climáticas em precipitações intensas**. 2022. 193 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2022.

SILVA, L. P. E. 2007. **Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), UFPB/CT, 114p

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica**. In TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 1997, 35-51p.

SILVEIRA, A.L.L. **Apostila: Drenagem Urbana: aspectos de gestão**. 1ª (ed.) Curso preparado por: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS: ABRH. Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.

SIQUEIRA, E. Q. **Complexity and Uncertainty in Hydrological Modeling for Urban Areas of Varying Database Quality**. 2003.117f. Tese (Doutorado), University of Guelph, Canada. 2003.

Soluções para Cidades. **Reservatórios de detenção**, 24 ago. 2020. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/saneamento/reservatorios-de-detencao/>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SOUZA, Vladmir CB; GOLDENFUM, Joel a. **Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experimental**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, v. 13, p. 1999, 1999.

TASSI, R. ET AL. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais**. Ambiente Construído, v. 14, n. 1, p. 139–154, jan. 2014.

TBN2NET. **SwmmLidControlPP**. Disponível em: <https://tbn2net.com/help/SOLIDOS/SwmmLidControlPP.html>. Acesso em: 24 jun. 2025.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

TUCCI, C. E. M. (1998). **Modelos hidrológicos**, Ed. Universidade /UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 668p

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (org.) **Drenagem Urbana**. 1ª Ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade, 1995.

TUCCI, Carlos EM. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C.E.M. (2008) **Águas urbanas**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97-112.

Tucci, C.E.M. **Regulamentação da drenagem urbana no Brasil**. REGA, v. 13, n. 1, p. 29- 42, ABRH, 2016.

TUCCI, Carlos EM; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

UBÁ E MURIAÉ **decretam situação de emergência devido às chuvas**. Tribuna de Minas, Juiz de Fora, 25 jan. 2020. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/noticias/regiao/25-01-2020/uba-e-muriae-decretam-situacao-de-emergencia-devido-as-chuvas.html>. Acesso em: 07 fev. 2026.

UBÁ. **Plano Diretor Participativo do Município de Ubá. Lei Complementar nº 002, de 12 de janeiro de 2018**. Ubá: Prefeitura Municipal de Ubá, 2018.

URBONAS, B., STAHERE, P. **Stormwater Best management Practices and Detention**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450 p., 1993

USO, MAURILIO. **Modelagem hidrológica HEC-HMS da bacia hidrográfica do Rio Bauru**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/d6840e2f-f369-4f1f-ac21-9a3bc711011a>. Acesso em: 15 ago. 2025.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975, 247p.