

APLICAÇÃO INTEGRADA DE SOFTWARES GRATUITOS NA MODELAGEM DE DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE BOCAIÚVA DO SUL

Bruno Victor Veiga¹ ; Enzo Cordeiro Ruffino² ; Felipe Afonso Araujo³ & Kauan Vidi⁴

RESUMO – A intensificação da urbanização e o aumento das superfícies impermeáveis têm provocado alterações significativas no comportamento hidrológico das bacias urbanas, contribuindo para o aumento do escoamento superficial e da ocorrência de alagamentos em cidades brasileiras. Em municípios de pequeno porte, esse cenário é agravado pela limitada disponibilidade de recursos técnicos e financeiros destinados ao planejamento da drenagem urbana. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação integrada dos softwares QGIS, SWMM 5.2 e Plúvio 2.1 na modelagem hidrológica e hidráulica da drenagem urbana do município de Bocaiúva do Sul – PR. A metodologia baseou-se em dados do IBGE, ANA, MapBiomas e EarthExplorer/SRTM para delimitação de microbacias urbanas, definição de parâmetros hidrológicos e simulação hidráulica da rede de drenagem. Os resultados evidenciaram forte influência da topografia local sobre o escoamento superficial, demonstrando a relevância do geoprocessamento em municípios inseridos em relevo complexo. A integração entre softwares gratuitos apresentou elevada eficiência técnica e baixo custo operacional, com potencial de replicação em municípios de pequeno porte, contribuindo para ações associadas aos ODS 6, 11 e 13.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Modelagem hidráulica. Softwares livres.

ABSTRACT – Urbanization growth and the increase of impermeable surfaces have significantly altered the hydrological behavior of urban watersheds, contributing to higher surface runoff rates and urban flooding in Brazilian cities. In small municipalities, this scenario is intensified by limited technical and financial resources for drainage planning, especially in areas characterized by rugged topography. This study aimed to evaluate the integrated application of QGIS, SWMM 5.2 and Plúvio 2.1 in the hydrological and hydraulic modeling of the urban drainage system of Bocaiúva do Sul, Paraná State, Brazil. The methodology was based on data from IBGE, ANA, MapBiomas and EarthExplorer/SRTM for urban sub-basin delimitation, hydrological parameter definition, and hydraulic simulation under different rainfall scenarios. The results demonstrated the strong influence of local topography on surface runoff behavior, highlighting the relevance of geoprocessing in cities with complex terrain. The integration of open-source software showed high technical efficiency and low operational cost, with significant replication potential for small municipalities, contributing to Sustainable Development Goals 6, 11 and 13.

Keywords: Urban drainage. Hydraulic modeling. Open-source software.

1) Universidade Federal do Paraná, bvveiga@ufpr.br, (41)98848-9420

2) Universidade Federal do Paraná, enzoruffinocordeiro@gmail.com

3) Universidade Federal do Paraná, araujo1@ufpr.br

4) Universidade Federal do Paraná, vidikauan@gmail.com, (41)99288-3067

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização intensificado nas últimas décadas provocou alterações significativas no comportamento hidrológico das bacias urbanas brasileiras, principalmente em função da expansão das superfícies impermeáveis, da redução das áreas naturais de infiltração e da ocupação inadequada do solo. Essas transformações modificam diretamente a dinâmica do escoamento superficial, elevando as vazões de pico, reduzindo o tempo de concentração das bacias e aumentando a frequência de eventos de alagamentos em áreas urbanas (Tucci, 1995).

Em municípios de pequeno porte, os impactos associados à drenagem urbana tendem a ser agravados pela limitada capacidade técnica e financeira destinada ao planejamento da infraestrutura hidráulica. Em muitos casos, a ausência de bases hidrológicas consolidadas, associada à baixa disponibilidade de ferramentas computacionais especializadas, dificulta o desenvolvimento de projetos tecnicamente consistentes voltados à gestão das águas pluviais.

No Brasil, a Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, consolidou diretrizes nacionais voltadas à universalização do saneamento básico e reforçou a necessidade de integração entre infraestrutura urbana, gestão ambiental e planejamento territorial. Nesse contexto, a drenagem urbana assume papel estratégico não apenas no controle do escoamento superficial, mas também na mitigação de impactos ambientais, na preservação dos corpos hídricos urbanos e no aumento da resiliência das cidades frente aos eventos hidrológicos extremos.

Paralelamente, a ampliação das bases públicas de dados geoespaciais e o avanço das geotecnologias livres têm possibilitado metodologias mais acessíveis para o planejamento urbano e a gestão das águas pluviais. Ferramentas como o QGIS e o SWMM permitem integrar Sistemas de Informações Geográficas (SIG), modelagem hidrológica e análise hidráulica com baixo custo operacional, viabilizando estudos técnicos robustos mesmo em cenários de restrição orçamentária e fortalecendo a democratização do planejamento territorial em diferentes realidades urbanas brasileiras.

Essa abordagem dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU, especialmente o ODS 6, relacionado à gestão sustentável da água e saneamento, o ODS 11, voltado à construção de cidades resilientes e sustentáveis, e o ODS 13, associado à adaptação frente às mudanças climáticas e à mitigação de eventos extremos.

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação integrada de softwares gratuitos na modelagem hidrológica e hidráulica de sistemas de drenagem urbana em municípios de pequeno porte, utilizando como estudo de caso a área urbana do município de Bocaiúva do Sul – PR.

2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Bocaiúva do Sul está localizado na Região Metropolitana de Curitiba, no estado do Paraná, inserido na bacia hidrográfica do rio Ribeira. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município apresenta população inferior a 15 mil habitantes e possui ocupação urbana predominantemente concentrada em sua região central.

A área urbana do município apresenta relevo acidentado, com elevada influência das condições topográficas sobre o escoamento superficial, representando importante desafio para o desenvolvimento de projetos de drenagem urbana. Essas características tornam o sistema de drenagem urbana elemento essencial para mitigação de alagamentos e redução de impactos ambientais associados ao carreamento de sedimentos e poluentes.

Outro aspecto relevante refere-se ao processo de expansão urbana associado ao aumento gradual das superfícies impermeabilizadas, condição que contribui diretamente para a elevação das vazões de pico durante eventos pluviométricos intensos, acentuando ainda mais a importância da modelagem hidráulica e hidrológica para a gestão das águas pluviais.

A Figura 1 evidencia a característica de relevo acidentado e delimita a área urbana em estudo neste trabalho através das curvas de nível obtidas a partir da plataforma EarthExplorer.



Figura 1 – Representação da topografia de Bocaiúva do Sul, a partir do modelo digital de elevação.

3. METODOLOGIA

3.1. Obtenção e processamento de dados

Os dados utilizados no estudo foram obtidos a partir de bases públicas oficiais e processados em ambiente de geoprocessamento por meio do software QGIS. As informações populacionais, dados territoriais e malhas urbanas foram obtidas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) mostrado anteriormente foi obtido, utilizando dados SRTM com resolução espacial de 30 metros. A partir do MDE foram gerados mapas de declividade, curvas de nível, direções de fluxo e delimitação das microbacias urbanas.

As informações de uso e ocupação do solo foram obtidas na plataforma MapBiomas, permitindo identificar áreas impermeabilizadas, cobertura vegetal e superfícies urbanizadas. Já os dados hidrológicos e de classificação dos solos foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), subsidiando a definição dos parâmetros empregados nas simulações.

A utilização do QGIS como ferramenta principal de geoprocessamento demonstrou elevada eficiência na integração das bases cartográficas e processamento de dados topográficos necessários à modelagem hidráulica, tendo sido utilizado para extração das linhas preferenciais de escoamento superficial, ajustadas às condições da malha viária urbana.

Tabela 1 – Bases de dados utilizadas no desenvolvimento da pesquisa

Base de dados	Tipo de informação	Aplicação
IBGE	Malha urbana e população	Delimitação territorial
EarthExplorer	Modelo Digital de Elevação	Análise topográfica
MapBiomas	Uso e ocupação do solo	Definição do coeficiente de escoamento
ANA	Hidrologia e classificação de solos	Parâmetros hidrológicos

Fonte: Autoria própria, 2026

3.2. Modelagem hidrológica

As séries históricas pluviométricas foram analisadas por meio do software Plúvio 2.1, responsável pelo ajuste estatístico das equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF). O modelo utilizado é representado pela Equação 1.

Equação 1 – Equação Intensidade-Duração-Frequência.

$$i = \frac{K \cdot T_r^a}{(t_c + b)^c} \quad (1)$$

Em que:

i = intensidade da precipitação (mm/h);

T_r = período de retorno (anos);

t_c = tempo de concentração (min);

K , a , b e c = coeficientes ajustados estatisticamente na definição da equação de chuvas intensas.

As intensidades de precipitação obtidas foram inseridas no SWMM como dados de entrada, sendo as vazões de pico estimadas por meio da simulação hidrológica do escoamento superficial e a Figura 2 mostra a plotagem destes valores para a obtenção dos gráficos das respectivas curvas IDF (5 e 10 anos de recorrência).

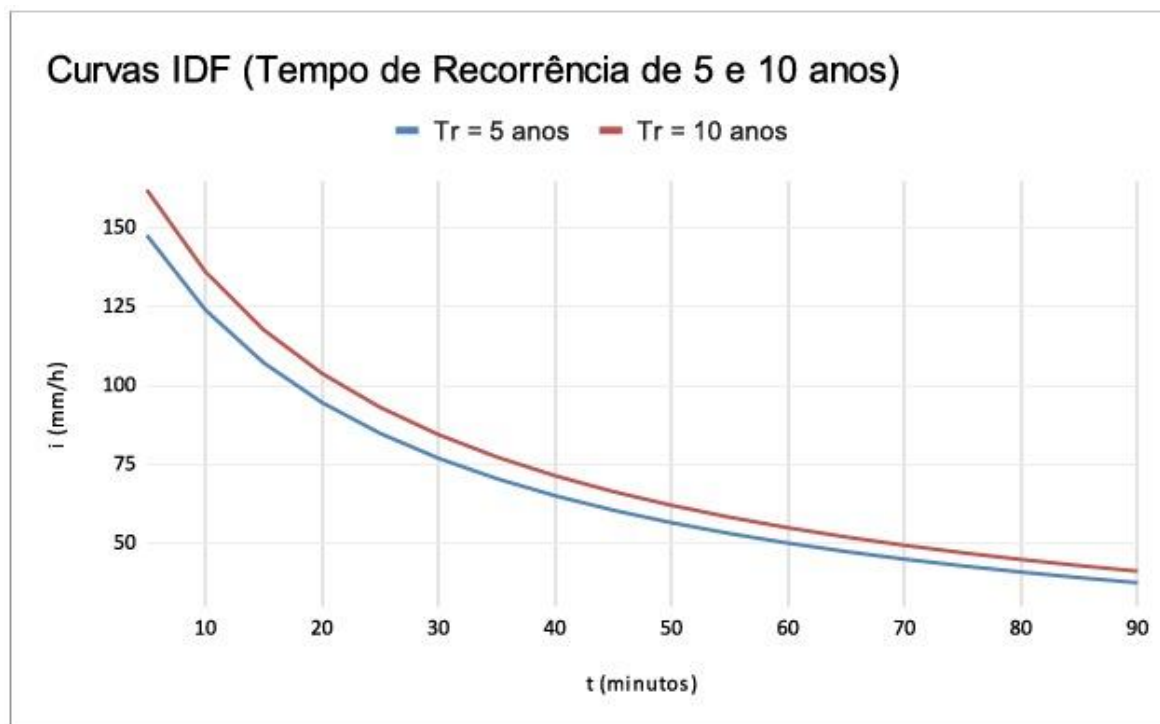


Figura 3 – Curvas IDF para tempo de recorrência de 5 e 10 anos.

3.3. Modelagem hidráulica

A modelagem hidráulica foi desenvolvida no software Storm Water Management Model (SWMM 5.2), desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (EPA). O modelo foi estruturado a partir da integração entre os dados espaciais processados no QGIS e os parâmetros hidrológicos definidos para as microbacias pré-definidas da região estudada.

Para cada sub-bacia foram definidos parâmetros como área impermeável, declividade média, largura hidráulica e Curve Number (CN), obtido a partir da classificação de uso e ocupação do solo e das características pedológicas locais.

Os condutos da rede foram dimensionados pela equação de Manning no próprio software.

As simulações hidráulicas permitiram avaliar o comportamento da rede frente a diferentes cenários de precipitação e identificar trechos suscetíveis à sobrecarga hidráulica. A seguir, a figura 3 traz uma visualização do modelo da rede de drenagem realizado no SWMM a partir das informações e processamentos provenientes do QGIS.

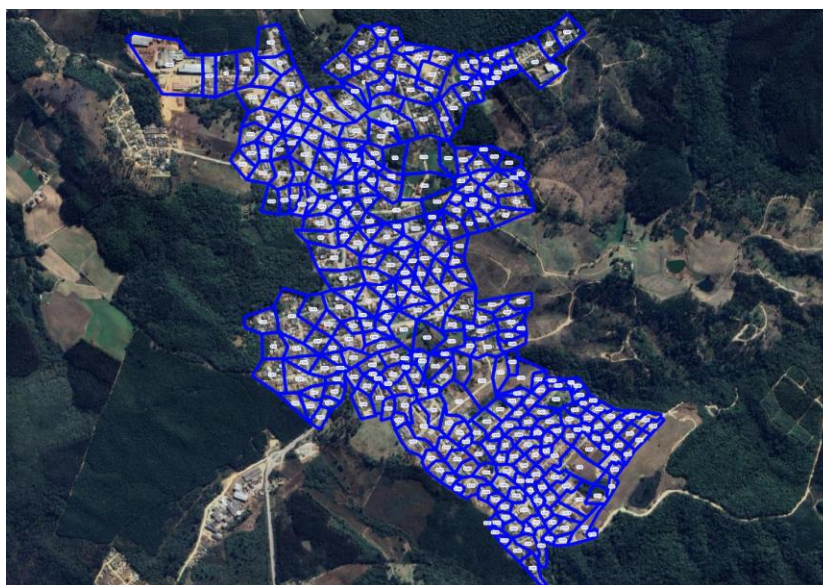


Figura 3 – Rede de drenagem modelada no SWMM integrada à base cartográfica processada no QGIS

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desempenho hidráulico da rede modelada

A modelagem hidráulica realizada no SWMM permitiu representar adequadamente o comportamento do sistema de drenagem frente a eventos de chuva com períodos de retorno de 5 e 10 anos. Os resultados demonstraram que os trechos localizados em regiões de menor cota altimétrica, principalmente os próximos ao exutório, apresentaram maiores tendências à sobrecarga hidráulica durante eventos de precipitação intensa. A Figura 4 a seguir mostra a rede de drenagem traçada no software, usada como base das simulações.



Figura 4 – Rede de drenagem traçada no SWMM

As simulações indicaram comportamento satisfatório da rede para eventos de menor recorrência, mantendo os níveis hidráulicos dentro dos limites operacionais dos condutos projetados. Entretanto, para cenários associados a maiores períodos de retorno, observou-se aumento significativo das vazões de pico e ocorrência pontual de trechos suscetíveis a extravasamentos ou pressurização das galerias. Nesses pontos, foi necessária a adição de caixas de ligação entre poços de visita, o aumento de profundidade em determinados nós e a utilização da função *Outlet Offset* do SWMM, que distancia a geratriz inferior do conduto em relação ao radier do nó a jusante, contribuindo para o amortecimento hidráulico.

Os resultados reforçam a importância da modelagem hidráulica preventiva no planejamento urbano de municípios pequenos, especialmente em áreas com relevo complexo. A forte influência da topografia local ficou evidenciada pela concentração de velocidades críticas — superiores ao limite de 5 m/s estabelecido pelo Manual de Drenagem Urbana da RMC (Paraná, 2002) — nos trechos de maior declividade.

4.2. Potencial de aplicação de softwares gratuitos

A integração entre QGIS, SWMM 5.2 e Plúvio 2.1 demonstrou elevado potencial técnico para aplicação em estudos hidrológicos urbanos desenvolvidos em municípios de pequeno porte. A utilização conjunta dessas plataformas possibilitou estruturar uma metodologia baseada integralmente em softwares gratuitos e dados públicos, reduzindo significativamente os custos operacionais associados ao desenvolvimento de projetos de drenagem urbana.

O QGIS apresentou elevada eficiência na organização das bases geoespaciais e no processamento topográfico, enquanto o SWMM demonstrou elevada capacidade de representação do comportamento hidráulico das sub-bacias e dos condutos simulados. Sob a perspectiva institucional, a utilização de softwares gratuitos fortalece a democratização tecnológica no setor de saneamento e amplia o acesso de pequenos municípios a ferramentas de suporte à tomada de decisão.

A Figura 5 sintetiza o fluxo de utilização e integração entre as ferramentas e bases de dados empregadas, evidenciando a simplicidade da metodologia proposta e o baixo custo operacional associado.

As Figuras 6 e 7 representam as velocidades máximas por trecho e profundidades máximas por poço de visita após simulação no SWMM, respectivamente. Com isso, é notável a necessidade de adaptações, como maiores profundidades em PVs, para atender velocidades máximas aceitáveis.

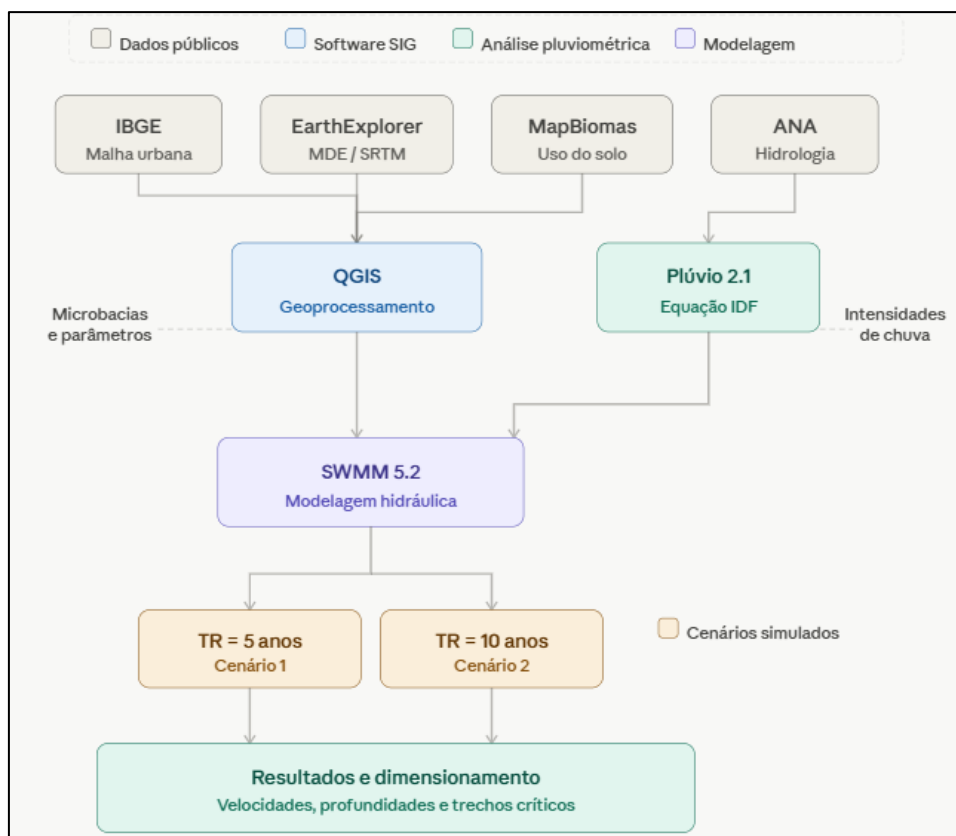


Figura 5 – Fluxograma de integração entre softwares gratuitos e bases de dados públicas.

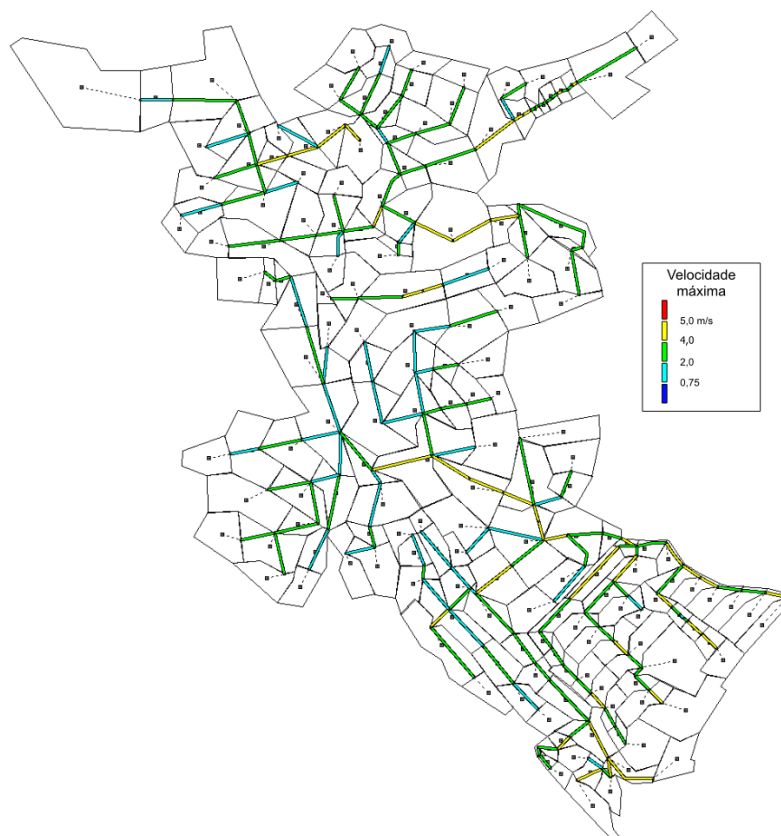


Figura 6 – Resultado das velocidades máximas por trecho após simulação.

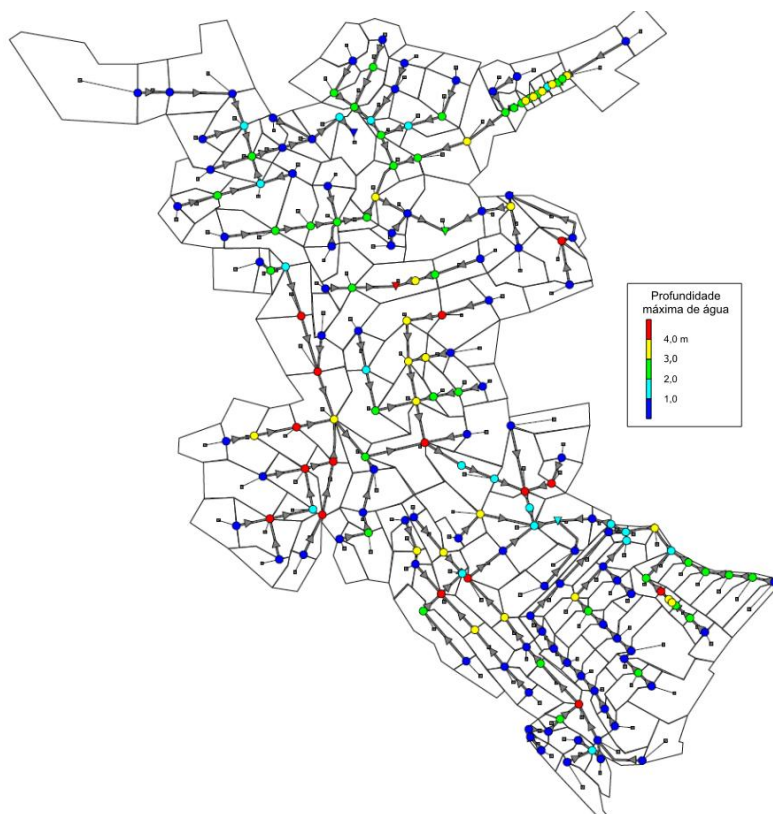


Figura 7 – Resultado das profundidades máximas por ponto após simulação.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou a aplicação integrada de softwares gratuitos na modelagem hidrológica e hidráulica da drenagem urbana do município de Bocaiúva do Sul – PR, demonstrando o potencial das geotecnologias livres como ferramentas de suporte ao planejamento de infraestrutura sanitária sustentável em municípios de pequeno porte.

A integração entre QGIS, SWMM 5.2 e Plúvio 2.1 apresentou elevada eficiência técnica, viabilizando as etapas de delimitação de microbacias, definição de parâmetros hidrológicos, dimensionamento e simulação hidráulica da rede de drenagem integralmente a partir de dados públicos. Além da viabilidade técnica, a metodologia demonstrou importante potencial de replicação em municípios com limitada disponibilidade de recursos, contribuindo para a democratização da gestão sustentável das águas urbanas.

A abordagem proposta apresenta ainda potencial de expansão para outros sistemas de infraestrutura sanitária, como abastecimento de água e esgotamento sanitário, por meio da integração com plataformas gratuitas como o EPANET e a extensão QESg do QGIS. Por fim, o estudo contribui diretamente para ações relacionadas aos ODS 6, 11 e 13, promovendo estratégias de gestão sustentável das águas urbanas, resiliência e adaptação frente às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA).** (2022). *Guia Prático para Cálculo de Vazão de Projeto em Drenagem Urbana*. Brasília: ANA.
- BARROS, M.T.; PORTO, R.L.; TUCCI, C.E.M.** (1995). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 428 p.
- BRASIL.** (2007). *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: Presidência da República.
- BRASIL.** (2020). *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília: Presidência da República.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA).** Storm Water Management Model – SWMM 5.2. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.** (2022). Malhas municipais e dados demográficos – Bocaiúva do Sul/PR. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.
- MAPBIOMAS.** (2024). Plataforma de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra no Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org>.
- PARANÁ.** (2002). *Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba*. Curitiba: SUDERHSA.
- PFAFSTETTER, O.** (1982). *Chuvvas intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: DNOS, 426 p.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM.** QGIS Geographic Information System (versão 3.40). Disponível em: <https://qgis.org>.
- TUCCI, C.E.M.** (1995). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: ABRH/UFRGS.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS).** EarthExplorer – SRTM. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV).** Plúvio 2.1 – Software para análise de chuvas intensas. Viçosa: UFV.