

APLICAÇÃO DE MODELO DE FILTRAGEM DIGITAL

Samuel Marcos Tavares¹ ; Marina Batalini de Macedo²

RESUMO – Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um plugin via PyQGIS, projetado para automatizar o dimensionamento de redes de drenagem pluvial com precisão e fluidez. A ferramenta utiliza Python para processar Modelos Digitais de Terreno (MDT) e camadas vetoriais, realizando uma amostragem densa a cada 2 metros para garantir o rigor altimétrico. Através de análises de vizinhança e do índice espacial QgsSpatialIndex, o algoritmo identifica pontos baixos e aloca dispositivos de captação de forma inteligente, respeitando critérios de segurança de 60 metros. A modelagem hidrológica baseia-se no Método Racional e na segmentação de sarjeta, enquanto o dimensionamento hidráulico emprega a Fórmula de Manning para selecionar diâmetros comerciais e assegurar a autolimpeza da rede. O sistema culmina na geração automatizada de camadas georreferenciadas e simbologia técnica, integrando cálculos de terraplenagem e volumes de corte/aterro. O plugin transforma dados complexos em soluções práticas, consolidando-se como uma ferramenta ágil e capaz de interpretar dados complexos.

Palavras-Chave – Automação via PyQGIS; Drenagem Pluvial Urbana; Modelagem Hidro-hidráulica.

ABSTRACT– This work presents the development of a plugin via PyQGIS, designed to automate the sizing of stormwater drainage networks with precision and fluidity. The tool uses Python to process Digital Terrain Models (DTM) and vector layers, performing dense sampling every 2 meters to ensure altimetric accuracy. Through neighborhood analysis and the QgsSpatialIndex, the algorithm identifies low points and intelligently allocates catchment devices, respecting a 60-meter safety criterion. Hydrological modeling is based on the Rational Method and gutter segmentation, while hydraulic sizing employs Manning's Formula to select commercial diameters and ensure network self-cleaning. The system culminates in the automated generation of georeferenced layers and technical symbology, integrating earthwork calculations and cut/fill volumes. The plugin transforms complex data into practical solutions, establishing itself as an agile tool capable of interpreting complex data.

Key-words – PyQGIS Automation; Urban Stormwater Drainage; Hydro-hydraulic Modeling.

INTRODUÇÃO

Alagamentos em áreas urbanas representam um grande desafio para a gestão pública, os prejuízos chegam a 732,2 bilhões segundo um estudo feito pela Confederação Nacional de Municípios (CNM) "Panorama dos Desastres no Brasil – 2013 a 2024". Esses impactos afetam em especial pequenas cidades, que em sua maioria não dispõe de recursos financeiros e técnicos para a elaboração de planos de drenagem e contingência de riscos. É evidente que existe uma necessidade

1) Pesquisador de Iniciação Científica, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Instituto de Recursos Naturais, d2023014092@unifei.edu.br

2) Professora, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Instituto de Recursos Naturais, marinamacedo@unifei.edu.br

de soluções que sejam mais acessíveis e de rápida implementação, que sirvam de apoio ao planejamento preventivo.

Desta forma este trabalho apresenta o desenvolvimento de um plugin que visa automatizar o dimensionamento preliminar de redes de drenagem urbana. A ferramenta identifica pontos baixos identificados em um Modelo Digital de Terreno (MDT), os alocando de forma inteligente integrando dados hidrológicos e hidráulicos fundamentados no Método Racional e na Fórmula de Manning.

O principal objetivo desta ferramenta é democratizar o acesso ao planejamento e parâmetros para a implantação de infraestrutura básica e eficiente. Gerando camadas georreferenciadas, com simbologia técnica e de fácil entendimento. O plugin oferece um diagnostico preliminar rápido e robusto, capaz de sanar dificuldades enfrentadas por pequenos municípios. Tornando se uma alternativa de baixo custo, otimizando e servindo de apoio para sistemas de drenagem mais robustos.

METODOLOGIA

Arquitetura do Sistema e Estrutura de Processamento de Dados

A fundação principal deste sistema está na sua capacidade de interpretar o ambiente físico através de dados geoespaciais. A arquitetura do sistema do plugin desenvolvido é apresentado na Figura 1.

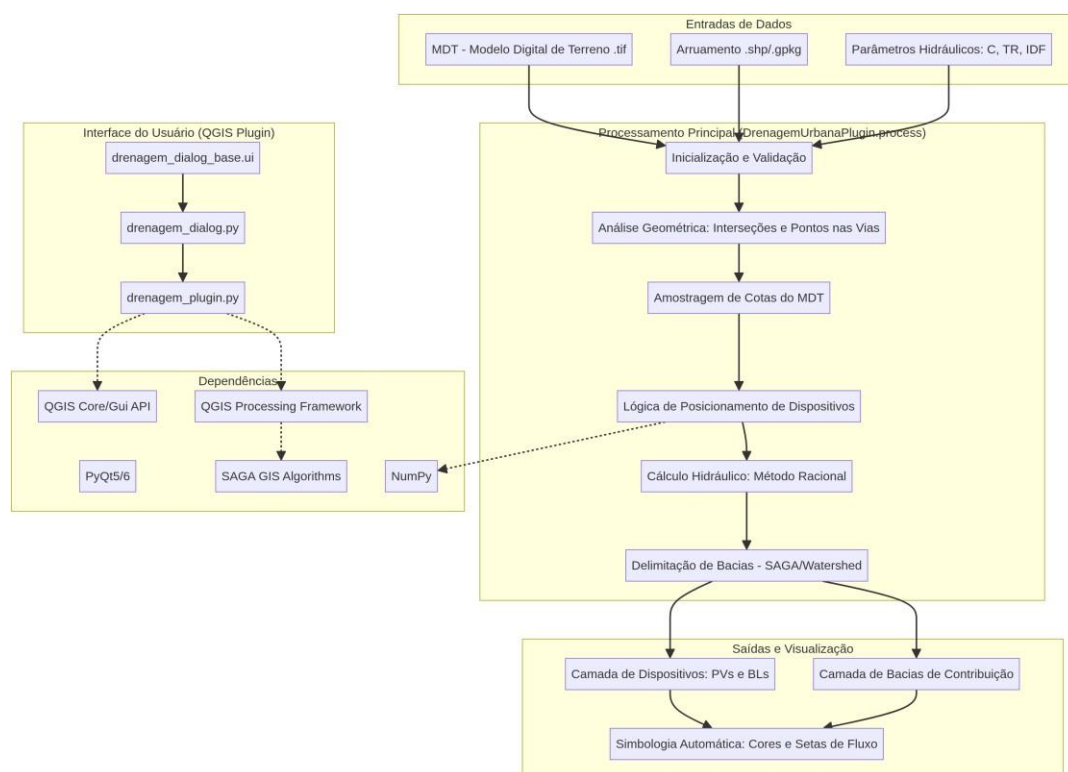


Figura 1 – Arquitetura do sistema

Tabela 1 - Filtros e Critérios

Categoria do Filtro	Trecho de Código do Filtro	Finalidade
Entrada de Dados	if not all([mdt_path, ruas_path, output_path]):	Assegurar que os caminhos do MDT, Arruamento e Saída foram fornecidos.
Validação de Camadas	if not mdt_layer.isValid() or not ruas_layer.isValid():	Impedir o processamento se os arquivos não puderem ser lidos pelo QGIS.
Geometria de Vias	if f.hasGeometry():	Ignorar registros na tabela de atributos que não possuam representação espacial.
Geometria de Vias	idx_ruas.intersects(g1.boundingBox())	Otimizar a detecção de cruzamentos usando o índice espacial das ruas.
Geometria de Vias	if cid <= fid: continue	Garantir que o cruzamento entre Rua A e Rua B seja processado apenas uma vez.
Geometria de Vias	if g1.intersects(g2):	Confirmar que as linhas das ruas realmente se tocam.
Filtragem de Dados Z	if z_val < -900 or math.isnan(z_val): continue	Filtrar pontos fora da área de cobertura do MDT ou com erro de leitura.
Posicionamento Espacial	if esquina_idx.intersects(p_geom.boundingBox().buffered(d_esquina)): continue	Evitar a criação de Bocas de Lobo dentro do raio de influência de uma esquina (PV).
Posicionamento Espacial	if i != j and pts[j]['z'] < p['z'] - 0.02: is_low = False; break	Filtra o ponto como "baixo" apenas se nenhum vizinho num raio de 4 amostras for menor que ele.
Posicionamento Espacial	if not global_pts_idx.intersects(p_geom.boundingBox().buffered(15.0/M_TO_DEG)):	Filtra a criação de BLs em pontos baixos se já houver outra a menos de 15 metros.
Posicionamento Espacial	if not global_pts_idx.intersects(p_geom.boundingBox().buffered(60.0/M_TO_DEG)):	Filtra a criação de BLs de percurso para garantir que não fiquem a mais de 60 metros uma da outra.
Classificação Hidráulica	decliv_m_m = max(0.005, decliv_natural)	Força o uso de 0.5% de declividade no dimensionamento se o terreno for muito plano.
Classificação Hidráulica	if acum_vazao <= 60: attrs[idx_tipo] = "BL Simples"	Filtra o tipo de dispositivo para vazões baixas.
Classificação Hidráulica	elif acum_vazao <= 120: attrs[idx_tipo] = "BL Dupla"	Filtra o tipo de dispositivo para vazões médias.
Classificação Hidráulica	elif acum_vazao <= 150: attrs[idx_tipo] = "BL Grelha Grande"	Filtra o tipo de dispositivo para vazões altas.
Classificação Hidráulica	else: attrs[idx_tipo] = "BL Combinada"	Filtro para vazões extremas que exigem captação lateral e de grelha.
Classificação Hidráulica	if acum_vazao > 500: attrs[idx_tipo] = "PV Especial (>500 L/s)"	Classifica o Poço de Visita como especial se a vazão for crítica.
Dimensionamento de Rede	for d in [400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500]: if diam_estimado > d:	Filtra o diâmetro calculado para o próximo valor comercial disponível.

	diam_comercial = d	
Terraplenagem	if abs(diff) > 0.05:	Filtra apenas áreas onde a diferença entre terreno e projeto é maior que 5cm para gerar polígonos de corte/aterro.
Processamento Raster	'MINSLOPE': 0.01	Critério de inclinação mínima para preenchimento de depressões no MDT.
Processamento Raster	'DISTANCE': 3.0	Filtro de distância máxima para ajustar o ponto de drenagem à calha de fluxo.

Modelo digital de terreno e traçado inicial de bocas de lobos

O processo inicia-se com a aquisição de um Modelo Digital de Terreno (MDT) em formato raster, é importante frizar que a qualidade do MDT é crucial para o dimensionamento da rede de drenagem, o tornando indispensável para os passos a seguir, e uma camada vetorial de arruamento em LineString. Esses dois arquivos de entrada são fundamentais para o desenvolvimento do plugin. A precisão é garantida por uma amostragem densa ao longo dos eixos das vias de modo que a cada 2 metros, o algoritmo extrai a cota altimétrica (Z) de cada ponto, consultando o valor do pixel correspondente no MDT. Estes dados são então organizados em uma estrutura de dicionário Python, indexada pelo identificador único de cada rua, permitindo uma representação contínua do perfil longitudinal das vias e facilitando a identificação de gradientes e variações de declividade.

A lógica de processamento espacial é otimizada pelo QgsSpatialIndex (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024), ferramenta indispensável para a busca eficiente de interseções e vizinhanças, sendo essencial na identificação de pontos baixos ao longo da via. Para a detecção de dispositivos de captação lateral, o algoritmo emprega uma análise de vizinhança linear: para cada ponto amostrado P_i , sua cota Z_i é comparada com as cotas de uma janela de pontos adjacentes. Se Z_i for o valor mínimo local, o ponto é classificado como um “Ponto Baixo”, indicando uma área natural de acumulação de escoamento superficial. Para garantir a segurança em casos em que não seja detectado um ponto de alagamento um critério de segurança foi adotado. Desta forma se um trecho de via exceda 60 metros sem um ponto baixo natural, o sistema insere proativamente uma Boca de Lobo (BL) intermediária, prevenindo a sobrecarga da sarjeta e aderindo aos limites de projeto para escoamento em vias pavimentadas (DAEE, 2005).

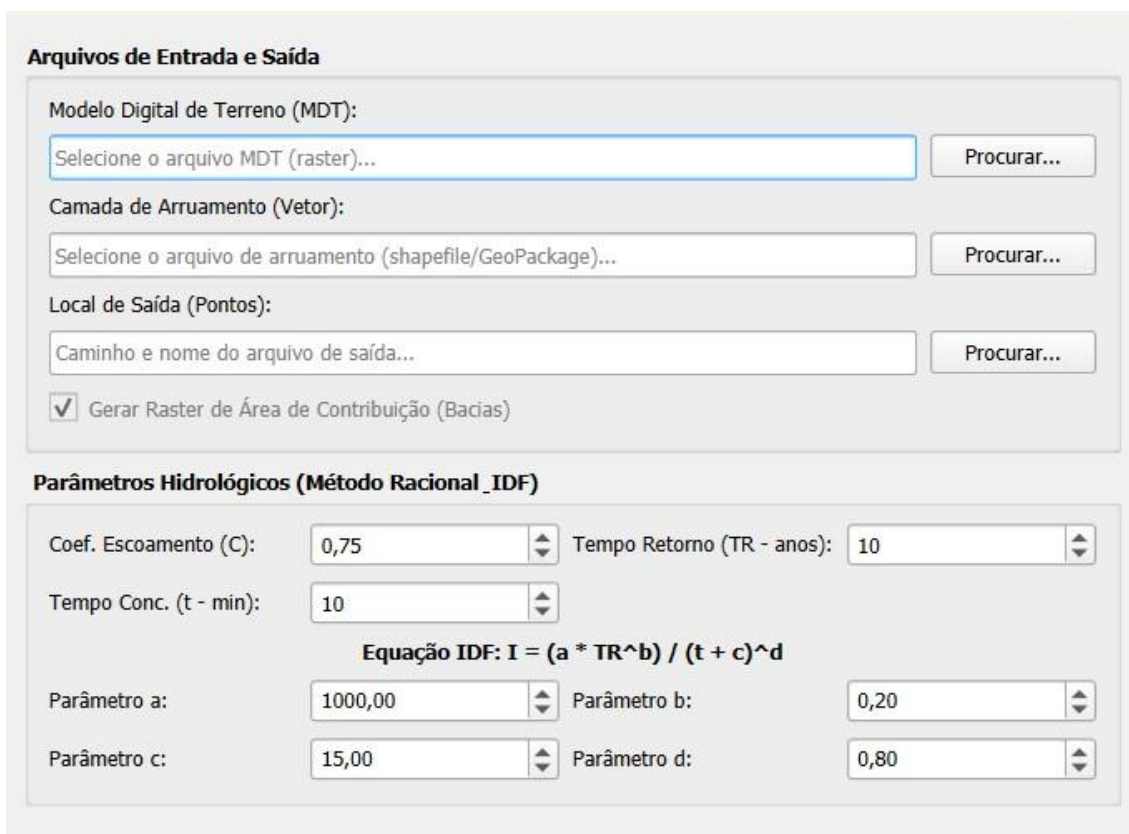
Modelagem Hidrológica e Algoritmos de Área de Contribuição

A determinação da vazão de projeto é um componente central, fundamentada no consagrado Método Racional (Tucci, 2002). A implementação no plugin integra variáveis estáticas e dinâmicas com rigor matemático. A intensidade da chuva (I) é calculada pela resolução da equação IDF local, cujos parâmetros a , b , c e d são fornecidos pelo usuário, esses dados são inseridos na tela inicial do plugin como mostra a Figura 2.

Nesta tela o usuário também pode fornecer o tempo de retorno (TR) e o tempo de concentração mínimo (t_{min}), elementos cruciais para definir a magnitude do evento crítico. O cálculo da área de contribuição (A) reside no método de “Segmentação de Sarjeta” (Gutter Flow). O algoritmo percorre a lista de dispositivos ordenados ao longo da via, calculando o trecho de influência de cada um pela soma da metade da distância para o dispositivo de montante e metade para o de jusante. Este comprimento linear é multiplicado por uma largura de contribuição transversal (padrão de 15 metros), que abrange a meia-pista, a calçada e a testada dos lotes adjacentes. A área resultante, convertida para hectares, é vinculada ao atributo do dispositivo, servindo de base para o cálculo da vazão local que é definida pela Equação 1:

$$Q = \frac{(C I A)}{360} \quad (1)$$

Em que: Q é a vazão de pico, C é o coeficiente de escoamento superficial, I é a intensidade máxima de precipitação e A é a área de contribuição.



Arquivos de Entrada e Saída

Modelo Digital de Terreno (MDT):
 Seleccione o arquivo MDT (raster)... Procurar...

Camada de Arruamento (Vetor):
 Seleccione o arquivo de arruamento (shapefile/GeoPackage)... Procurar...

Local de Saída (Pontos):
 Caminho e nome do arquivo de saída... Procurar...

☒ Gerar Raster de Área de Contribuição (Bacias)

Parâmetros Hidrológicos (Método Racional_IDF)

Coef. Escoamento (C): Tempo Retorno (TR - anos):

Tempo Conc. (t - min):

Equação IDF: $I = (a * TR^b) / (t + c)^d$

Parâmetro a: Parâmetro b:

Parâmetro c: Parâmetro d:

Figura 2 – Tela arquivos de entrada e saída

Para topografias mais complexas ou irregulares, o plugin incorpora funcionalidades avançadas de processamento raster via algoritmos SAGA. A função (saga:fill_sinks_wang_liu) é empregada para pré-processar o MDT, removendo micro depressões espúrias que poderiam distorcer o fluxo digital. Subsequentemente, o algoritmo de acúmulo de fluxo D-Infinity (Tarboton, 1997) é aplicado, proporcionando uma representação mais fiel do escoamento superficial em comparação com o método tradicional. O plugin então realiza um “Snap” dos pontos de drenagem para as células de maior acúmulo de fluxo em um raio de 3 metros, ou seja, ele força o elemento que você está movendo a se ajustar perfeitamente às bordas de outro objeto, assegurando que o exutório da bacia de contribuição se alinhe precisamente com a posição física da boca de lobo na sarjeta. Este refinamento técnico garante que a área de contribuição, derivada da topografia digital, reflita com precisão o comportamento hidráulico real da bacia urbana.

Dimensionamento Hidráulico e Propagação de Fluxo na Rede

O algoritmo estabelece uma hierarquia da rede, acumulando as vazões parciais de cada bacia de contribuição à medida que o fluxo avança pelos trechos de tubulação. Essa funcionalidade é representada por uma camada de saída com simbologia de seta, apresentando o sentido do escoamento superficial do sistema.

Para a definição dos diâmetros nominais, o sistema aplica a Fórmula de Manning (Chow, 1959) para condutos circulares operando em regime de canal aberto (lâmina livre), adotando um coeficiente de rugosidade $n = 0,013$ para concreto. O cálculo do diâmetro necessário (D) é realizado pela Equação 2.

$$D = \frac{(Q n)}{(0,312 \sqrt{S})^{3/8}} \quad (2)$$

Em que: Q é a vazão de pico, n é o coeficiente de rugosidade de Manning da tubulação, e S é a declividade da tubulação.

O plugin compara o valor calculado com uma tabela de diâmetros comerciais (300mm a 1500mm), selecionando o diâmetro imediatamente superior. Esta abordagem garante uma margem de segurança operacional, prevenindo o funcionamento em carga (pressão) para a vazão de projeto estabelecida. Um diferencial técnico notável é a classificação automática da tipologia das Bocas de Lobo.

Essa funcionalidade é baseada em sua capacidade de engolimento. O plugin avalia a vazão acumulada em cada ponto de captação e atribui uma classificação: BL Simples para vazões até 60 L/s, BL Dupla até 120 L/s, e BL Combinada ou de Grelha para vazões superiores. Assim, o sistema verifica a declividade mínima de autolimpeza, fixada em 0,5%. Se a declividade natural do terreno for insuficiente, o algoritmo ajusta a cota de jusante do trecho para assegurar a inclinação mínima requerida. Este ajuste dinâmico fundamenta o módulo de terraplenagem, que calcula a diferença entre a cota do terreno original e a cota da geratriz superior da tubulação. O sistema gera polígonos de intervenção que contêm atributos de volume de corte e aterro, proporcionando uma análise quantitativa imediata da movimentação de terra necessária para a implantação da rede projetada.

RESULTADOS

A visualização do desenvolvimento destas funcionalidades resulta na materialização dos cálculos em camadas geográficas prontas para a representação visual, conforme apresentado nas Figuras 3 a 5. O plugin emprega o QgsVectorFileWriter para gerar arquivos Shapefile ou GeoPackage, contendo três camadas principais: Dispositivos, Rede e Terraplenagem.

A camada de Dispositivos é estilizada automaticamente via QgsCategorizedSymbolRenderer, que atribui cores e símbolos distintos para cada tipo de Bocas de Lobo e Poços de visita (Figura 3), assim como na tabela de atributos da camada (Tabela 1).

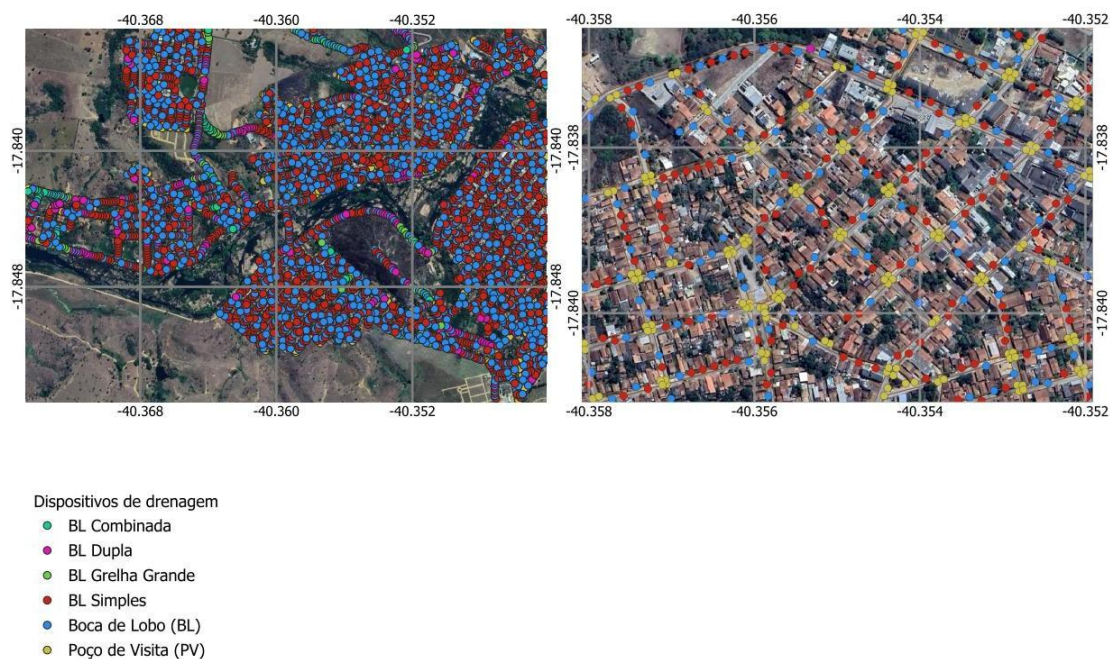


Figura 3 – Localização e classificação dos dispositivos de drenagem

Tabela 2– Recorte da tabela de atributos da camada dispositivos

Rua ID	Cota	Decliv	Tipo	Motivo	Área (ha)	Vazão (L/s)	Prioridade
1959	98,00	0.5	BL Simples	Ponto Baixo (Re...	0,04017449686...	9,42744437912...	Alta
1959	98,00	0.5	Boca de Lobo (BL)	Ponto Baixo (Re...	-	-	Alta
1959	97,00	9,14	BL Simples	Ponto Baixo	0,01649999999...	17,1713040109...	Alta
1959	97,00	0.5	BL Simples	Ponto Baixo (Re...	0,01649780078...	21,0427177542...	Alta

A camada de Rede utiliza uma simbologia de linha com marcadores de seta no último vértice (QgsMarkerLineSymbolLayer) (Figura 4), indicando inequivocamente o sentido do fluxo d'água, além de rótulos automáticos que exibem o diâmetro nominal e a declividade de cada trecho (Tabela 2).



Fluxo das sarjetas
 → Sentido do Fluxo

Figura 4 – Fluxo e sentido do escoamento superficial

Tabela 3 – Recorte da tabela de atributos da Rede

id	decliv	vazao_ls	diam_mm	tipo	simbologia
1	8.333333	9.8558213	300	Trecho Rua	seta
2	4.545455	17.951675	300	Trecho Rua	seta
3	0.5	29.919458	300	Trecho Rua	seta
4	1.969791	45.927062	300	Trecho Rua	seta
5	17.50669	11.230835	300	Trecho Rua	seta
6	11.11111	5.9838915	300	Trecho Rua	seta
7	0.5	11.967783	300	Trecho Rua	seta
8	3.846154	23.935566	300	Trecho Rua	seta
9	0.5	35.903349	300	Trecho Rua	seta
10	6.25	41.535247	300	Trecho Rua	seta

A camada de Terraplenagem é gerada como um conjunto de polígonos de buffer ao longo da rede, onde a cor e a transparência indicam a intensidade da intervenção (corte ou aterro – Figura 5), assim como na camada dispositivos, podemos analisar os resultados a partir da tabela de atributos, como mostra a Tabela 3.

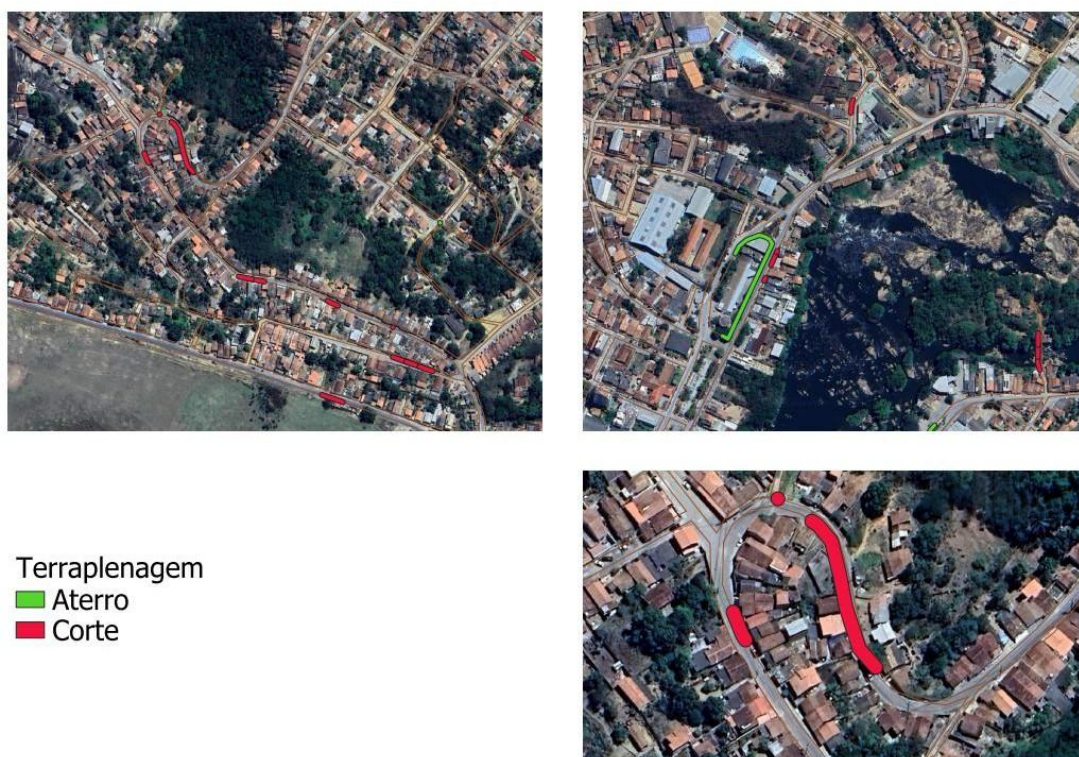


Figura 5 – Localização e classificação da terraplanagem

Tabela 4 – Recorte da tabela de atributos da camada terraplanagem

Tipo	Profundidade	Área (m²)	Volume (m³)
Corte	1,0	123,811155723...	123,811155723...
Corte	2,0	147,786540762...	295,573081524...
Aterro	1,0	86,9242596068...	86,9242596068...
Aterro	1,0	39,7597376897...	39,7597376897...
Aterro	1,0	74,6304529448...	74,6304529448...
Corte	2,0	104,730130047...	209,460260095...
Corte	1,0	91,6983858954...	91,6983858954...

Esta integração entre o processamento de dados alfanuméricos e a representação cartográfica

automatizada garante uma otimização e análises importantes para o desenvolvimento de um projeto de drenagem urbana. O resultado final é um conjunto de dados georreferenciados que encapsulam não apenas a geometria da rede, mas toda a memória de cálculo hidráulico e hidrológico nos atributos das tabelas.

CONCLUSÃO

Esta abordagem capacita o usuário a realizar consultas espaciais complexas e a gerar relatórios estatísticos sobre a eficiência do sistema de drenagem projetado, tornando o plugin uma ferramenta que pode ser usada em conjunto a outros modelos de análise e softwares de drenagem urbana.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIFEI pelo auxílio concedido para desenvolvimento da Iniciação Científica, por meio do edital n ° 03/2025 e o apoio financeiro para auxílio a divulgação científica e participação em evento científico.

REFERÊNCIAS

- CHOW, V.T. (1959). Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.
- DAEE (2005). Drenagem Urbana – Manual de Projeto. Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM (2024). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. Disponível em: <https://www.qgis.org>. Acesso em: 21 abr. 2026.
- TARBOTON, D.G. (1997). “A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models”. Water Resources Research, 33(2), pp. 309-319.
- TUCCI, C.E.M. (2002). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 943 p.