

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ALEXANDRE CAVALCANTE DE OLIVEIRA

**AUTOMATIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE REDES DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Maceió-AL
2023

ALEXANDRE CAVALCANTE DE OLIVEIRA

**AUTOMATIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE REDES DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nélia Henriques Callado

Coorientador: Prof. Dr. William Wagner Matos Lira

Maceió-AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

O48a Oliveira, Alexandre Cavalcante de.
Automatização do dimensionamento de redes de esgotamento sanitário
utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG) / Alexandre
Cavalcante de Oliveira. – 2023.
70 f. : il. color.

Orientadora: Nélia Henriques Callado.
Coorientador: William Wagner Matos Lira.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil)
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 44-45.
Apêndices: f. 46-70.

1. Saneamento básico. 2. Esgotamento sanitário - Dimensionamento. 3.
Sistema de Informações Geográficas (SIG) . I. Título.

CDU: 624 : 628.3

RESUMO

A mais de um século é conhecida a relação entre o saneamento e a saúde pública de uma região. No Brasil, as campanhas sanitárias do início do século XX foram responsáveis por reduzir e até mesmo erradicar doenças endêmicas e epidemias. No entanto, com a desigualdade social, ainda existem áreas com precária infraestrutura de saneamento e saúde, o que contribui para índices relativamente elevados de mortalidade infantil, morbidade e mortalidade causadas por doenças diarreicas e parasitoses intestinais (Ministério da Saúde, 2004). A fim de alcançar a universalização dos serviços de saneamento básico, a Lei N° 14.026 de julho de 2020 estabelece o índice de 90% da população atendida por serviço de coleta e tratamento de esgoto até o ano de 2033. Para alcançar esse desafio, a ampliação das redes coletoras de esgoto sanitário é fundamental, e o uso de ferramentas computacionais tem se tornado essencial para que se execute projetos com mais agilidade e tornem os sistemas mais eficazes. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi criar um programa que possibilite a automatização do dimensionamento de redes coletoras de esgoto permitindo maior praticidade e facilidade na execução de projetos básicos e executivos. Para tanto foi aplicado os conceitos de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizando um software livre, QGIS, sendo desenvolvido um plugin baseado nas recomendações da NBR – 9.649/1986 da ABNT de dimensionamento de redes coletoras de esgoto, tendo como objeto de estudo, para validação do plugin, uma rede hipotética previamente dimensionada manualmente utilizando planilha Excel. O desenvolvimento do trabalho resultou na criação do plugin denominado DimRedEsg de interface simples e fácil, que gerou os mesmos resultados calculados manualmente com a planilha Excel.

Palavras-chave: Saneamento, dimensionamento, rede coletora de esgoto, SIG, QGIS, plugin, DimRedEsg.

ABSTRACT

For more than a century, the relationship between sanitation and public health in a region has been known. In Brazil, the health campaigns of the beginning of the 20th century were responsible for reducing and even eradicating endemic and epidemic diseases. However, with social inequality, there are still areas with poor sanitation and health infrastructure, which contributes to relatively high rates of infant mortality, morbidity and mortality caused by diarrheal diseases and intestinal parasites (Ministério da Saúde, 2004). In order to achieve the universalization of basic sanitation services, Law No. 14,026 of July 2020 establishes the rate of 90% of the population served by sewage collection and treatment services by the year 2033. To meet this challenge, the expansion of sewage collection networks is essential, and the use of computational tools has become essential to execute projects more quickly and make systems more effective. In this context, the objective of this work was to create a program that enables the automation of the dimensioning of sewage collection networks, allowing greater practicality and ease in the execution of basic and executive projects. For this purpose, the concepts of Geographic Information Systems (GIS) were applied using free software, QGIS, and a plugin was developed based on the recommendations of NBR - 9.649/1986 of ABNT for dimensioning sewage collection networks, having as object of study, for validation of the plugin, a hypothetical network previously dimensioned manually using an Excel spreadsheet. The development of the work resulted in the creation of the plugin called DimRedEsg with a simple and easy interface, which generated the same results calculated manually with the Excel spreadsheet.

Keywords: Sanitation, sizing, sewage collection network, GIS, QGIS, plugin, DimRedEsg.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que me apoiaram ao longo do desenvolvimento do meu TCC e durante toda a minha graduação em Engenharia Civil.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha esposa, Alexandra Maria, por estar sempre ao meu lado, não apenas durante o processo de elaboração deste trabalho, mas durante todo o período da minha graduação. Sua paciência, compreensão e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar aos estudos e alcançar esta conquista.

Também gostaria de agradecer aos meus pais e irmãos, que sempre estiveram presentes em minha vida, me oferecendo todo o suporte emocional e financeiro necessário para que eu pudesse seguir em frente com meus objetivos. Sou imensamente grato por todo o amor e apoio que recebi deles.

Não posso deixar de mencionar minha orientadora, Nélia Henriques Callado, por todo o empenho, paciência e confiança depositada em mim durante a orientação do meu TCC. Suas orientações foram valiosas e me ajudaram a concluir este trabalho com êxito.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os amigos e pessoas que fizeram parte da minha jornada na graduação, pois foram essenciais para que eu pudesse vencer todas as barreiras e concluir o curso com sucesso. Os vínculos que criei durante este período foram muito importantes para meu crescimento pessoal e profissional.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste sonho, o meu muito obrigado.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Exemplo de sistema unitário.....	13
Figura 2 Esquema de sistema separador absoluto.....	14
Figura 3 Exemplo de camada vetorial	16
Figura 4 Camada raster de elevação.....	17
Figura 5 Etapas do plano de trabalho.....	18
Figura 6 – Localização do empreendimento.....	19
Figura 7 – Arruamento e curva de nível.....	21
Figura 8 – Arruamento e curvas de nível com formato SHP no QGIS.....	21
Figura 9 – MDE criado a partir das curvas de nível.....	22
Figura 10 – Interface do plugin DimRedEsg.....	24
Figura 11 – Traçado da rede coletora de esgoto.....	27
Figura 12 - Tabela de atributos.....	28
Figura 13 – Rede de esgoto dimensionada.....	29
Figura 14 – Análise da tensão trativa	31
Figura 15 – Profundidade dos PVs e TLs	33
Figura 16 – Velocidade do fluido na tubulação (m/s).....	35
Figura 17 – Lâmina líquida (Y/D).....	37
Figura 18 – Perfil Rua A.....	39
Figura 19 – Perfil Rua B.....	39
Figura 20 – Perfil Rua C	40
Figura 21 – Perfil Área Verde	40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2 - Comparação dos resultados	42
Tabela 3 - Planilha gerada pelo plugin DimRedEsg - Parte 1	46
Tabela 4 - Planilha gerada pelo plugin DimRedEsg - Parte 2.....	46
Tabela 5 - planilha desenvolvida no Excel - Parte 1	47
Tabela 6 - planilha desenvolvida no Excel - Parte 2	47

SUMÁRIO

1	Introdução	10
2	Objetivo	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivo específico	12
3	Fundamentação Teórica	13
3.1	Saneamento básico	13
3.2	Sistema unitário	13
3.3	Sistema separador absoluto	14
3.4	Dimensionamento da Rede Coletora	14
3.5	SIG – Sistema de Informações Georreferenciadas	15
3.6	QGIS	15
3.6.1	Camada vetorial	16
3.6.2	Camada raster	16
3.7	Plugin	17
4	Metodologia	18
4.1	Desenvolvimento do plugin DimRedEsg	18
4.2	Validação do plugin	19
4.2.1	Caracterização da área de estudo	19
4.2.2	Parâmetros de projeto segundo a NBR 9649 de 1986	20
4.2.3	Entrada de dados	20
4.2.4	Execução do dimensionamento da rede coletora de esgoto	22
4.2.5	Avaliação dos resultados	23
5	Resultados e discussão	24
5.1	Plugin DimRedEsg	24
5.2	Validação do plugin	26
5.2.1	Saída de dados do plugin	26

5.2.2	Mapas gerados.....	28
5.2.3	Perfis dos trechos.....	38
5.2.4	Resultado do dimensionamento manual	41
5.2.5	Comparação entre os resultados	42
6	Conclusões e recomendações.....	43
7	Referências.....	44
	Apêndice A	46
	Apêndice B	47
	Apêndice C	49

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o documento institucional "Saneamento e Saúde" da Fiocruz (2018), os gregos foram os primeiros a correlacionar saneamento e saúde. São citados como fatores importantes para o surgimento de grandes problemas sanitários: a mudança de hábito de nômade para sedentário, o acúmulo de humanos em um mesmo ambiente e as atividades econômicas que foram se modificando ao longo do tempo.

No Brasil, as crises sanitárias ficaram em evidência no século XIX quando várias epidemias assolaram a população das cidades, levando à criação do movimento "Higienista". Um dos reflexos da criação desse movimento foram ações voltadas ao saneamento com intenção de reduzir a morbimortalidade por doenças infecciosas e parasitárias (Callado, 2021).

O médico sanitarista Oswaldo Cruz é um nome importante na história da saúde pública brasileira e instituição que ele fundou, a Fiocruz, é referência em promoção da saúde e difusão de conhecimentos científicos (Cury, 2012). Em 1907, o engenheiro Saturnino de Brito iniciou a construção dos "Canais de Santos" na cidade de Santos, implantando um sistema separador absoluto para melhorar a higiene local e controlar os problemas de saúde pública (Garcia, 2009). O trabalho de Saturnino, que continua ao longo do século XX, foi essencial para o avanço significativo do Brasil na área de saneamento, realizado na instalação de água encanada e coleta de esgoto em todas as capitais do país na década de 1930 (Callado, 2021).

De acordo com o Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto (2022) divulgado pelo SNIS, no ano de 2020 o índice de atendimento total de esgoto médio do Brasil é de 55%, sendo o Sudeste o melhor índice com 80,5% e o Norte o pior resultado, com apenas 13,1% da população recebendo o atendimento total de esgoto, o Nordeste possui 30,3%. No Estado de Alagoas, 22,9% da população possui atendimento com rede coletora, um valor ainda muito abaixo da previsão de 80,5% para o ano de 2023 ou 90% para o ano de 2033, após a atualização da Lei N° 11.445 de janeiro de 2007 através da Lei N° 14.026 de julho de 2020. No ano de 2021 o estado passou por processos de concessão da prestação de serviço de abastecimento de água e esgoto.

Para o atendimento das metas propostas é necessário a ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário de todas as regiões do Brasil. Desse modo, é

essencial desenvolver metodologias que possibilitem a elaboração rápida e assertiva de projetos e anteprojetos de esgotamento sanitário, de modo que o compatibilize com as outras áreas do saneamento básico.

Existem diversas ferramentas computacionais que executam o dimensionamento de redes coletoras de esgoto. Dentro do software QGIS, os plugin QEsg e o SaniBID RedBasica são duas das ferramentas mais populares no dimensionamento de redes coletora de esgoto. Essas ferramentas são úteis para o dimensionamento de sistemas condominiais, onde o número de trechos da rede coletora é pequeno.

Tanto o QEsg, quanto o SaniBID RedBasica fornecem bastante opções para personalizar o sistema de acordo com a necessidade do projetista. Além disso possuem funcionalidades interessantes como a geração dos perfis dos trechos e exportação para outros formatos, como o DWG. No entanto, essas ferramentas possuem características que prejudicam a experiência do usuário quanto à agilidade no processo de modelagem do sistema, necessitando de trabalho manual e repetitivo. Dessa forma, torna-se inviável e tedioso a utilização destes plugins para sistemas com um número elevado de trechos.

Deste modo, a proposta do desenvolvimento de um novo plugin é baseada no fácil manuseio durante a etapa de modelagem do sistema, removendo do usuário tarefas repetitivas e morosas que não são essenciais para o dimensionamento da rede. Assim, atividades como: nomeação dos trechos e a necessidade de ter o sentido correto do fluxo são executadas automaticamente pelo plugin, fornecendo agilidade no processo de modelagem e deixando para o usuário apenas a preocupação de escolher o melhor traçado para a rede.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é criar uma ferramenta que possibilite a automatização do dimensionamento de redes coletoras, permitindo maior praticidade e facilidade na execução de projetos básicos e executivos.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Desenvolvimento de plugin utilizando linguagem de programação Python, tendo como auxílio a biblioteca PyQGIS que permite interagir com o software QGIS, de modo a aplicar os conceitos SIG no dimensionamento de redes coletoras de esgoto.
- Avaliar o plugin realizando o dimensionamento de uma rede coletora de esgoto hipotética de forma tradicional, a fim de comparar e validar os dados obtidos através do plugin.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SANEAMENTO BÁSICO

De acordo com o PLANSAB (2022), o saneamento básico é composto por quatro eixos, sendo eles: drenagem urbana, gerenciamento de resíduos sólidos, abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto. Sendo este último eixo o tema abordado neste trabalho. Existem diversos modos de realizar o tratamento de efluentes residenciais, porém todos eles necessitam que o esgoto seja previamente coletado e destinado ao local de tratamento. Assim sendo, para o bom funcionamento do sistema, é imprescindível o dimensionamento adequado da rede coletora.

Esta coleta pode ser realizada por dois tipos de sistemas: o sistema unitário e o sistema separador absoluto.

3.2 SISTEMA UNITÁRIO

É o tipo de sistema onde a rede é construída para coletar as águas de esgoto doméstico e industrial juntamente com as águas pluviais. São características do sistema o alto custo de implantação, risco de refluxo para o interior das residências em caso de cheias, além da incapacidade de tratamento das estações em período de chuvas (Callado, 2021). Na

Figura 1 é possível observar um exemplo de sistema unitário, que apresenta um trecho do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Paris, na França.

Figura 1 Exemplo de sistema unitário

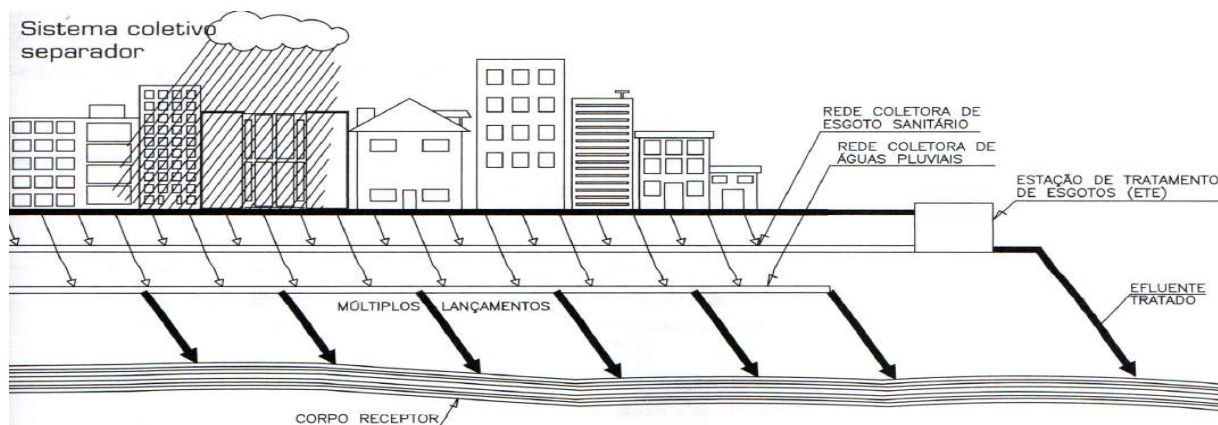


Fonte: Ignis, 2021.

3.3 SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO

No Brasil, o sistema separador absoluto consiste na separação total entre os sistemas de drenagem de águas pluviais e o sistema de esgotamento sanitário. Na Figura 2 é possível observar um esquema do sistema separador absoluto.

Figura 2 Esquema de sistema separador absoluto



Fonte: Callado, 2021.

O sistema separador absoluto de águas pluviais é dimensionado para receber exclusivamente água oriunda das chuvas, direcionando-as para o corpo receptor. Este sistema apresenta vantagens em relação ao sistema unitário, dentre elas: minimização da contaminação das águas das chuvas e redução de odores no sistema.

O sistema separador absoluto de esgoto é dimensionado para receber exclusivamente esgotos sanitários urbanos. Seu custo e tempo de implantação é reduzido se comparado ao sistema unitário ou de drenagem de águas pluviais. Isto é possível pois as tubulações possuem diâmetros reduzidos e materiais mais simples.

3.4 DIMENSIONAMENTO DA REDE COLETORA

A rede coletora é projetada segundo a NBR 9649/1986 – ABNT – que fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto hidráulico-sanitário de redes coletoras.

O esgoto sanitário é constituído 99,9% de água e seu peso específico (γ) é cerca de 0,1% maior que o da água. Desta forma, para efeitos de cálculo, as características do esgoto serão iguais às da água (Callado, s.d.).

De acordo com a NBR 9649/1986, deverão ser calculadas vazões de início (Q_i) e fim (Q_f) de plano para todos os trechos. De modo a evitar que as tubulações trabalhem à seção plena, as lâminas de água devem ser calculadas admitindo o escoamento em regime uniforme e permanente, sendo seu valor máximo, para vazão

Q_f , igual ou inferior a 75% do diâmetro do coletor. Quando a velocidade final (V_f) for maior que a velocidade crítica (V_c) (que é a velocidade de transição entre os regimes de escoamento rápido e lento), a maior lâmina admissível deve ser igual ou inferior a 50%.

A NBR 9649/1986 define ainda que, para promover o arraste de sedimentos, garantindo a autolimpeza dos condutos, a tensão trativa (σ_t) deve ser no mínimo 1 Pa. Em função disto é calculada a declividade mínima (I_{\min}). A declividade máxima (I_{\max}) é calculada em função da velocidade máxima (V_{\max}).

3.5 SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS

De acordo com Forno e Strieder (2008, p. 29) o conceito de SIG pode ser definido como “...um conjunto de hardware + software + peopleware, projetado para permitir o gerenciamento de dados localizados no espaço geográfico e realizar modelagens e análises...”. À vista disso, trabalhar no projeto de redes coletoras com auxílio de SIG possibilita não apenas o referenciamento geográfico das tubulações, mas também o armazenamento, processamento e análise dos dados.

3.6 QGIS

De acordo com o website oficial do aplicativo, QGIS é um software livre e de código aberto, de sistema de informações geográficas (SIG), que permite a visualização, edição e análise de informações georreferenciadas (QGIS, s.d.). A escolha deste software para o desenvolvimento do projeto de redes coletoras de esgoto apresenta diversas vantagens, como ser um software gratuito, com uma política colaborativa e com relativa facilidade na criação e implementação de plugins.

A programação de um plugin no QGIS, em vez de criar um software do zero, oferece benefícios significativos. Ao utilizar o QGIS como plataforma de desenvolvimento, é possível aproveitar a infraestrutura existente do SIG, como a capacidade de visualização, edição e análise de dados georreferenciados, além de se beneficiar das funcionalidades já implementadas no software. Isso resulta em economia de tempo e recursos, além de permitir uma integração mais eficiente com as ferramentas e recursos disponíveis no QGIS.

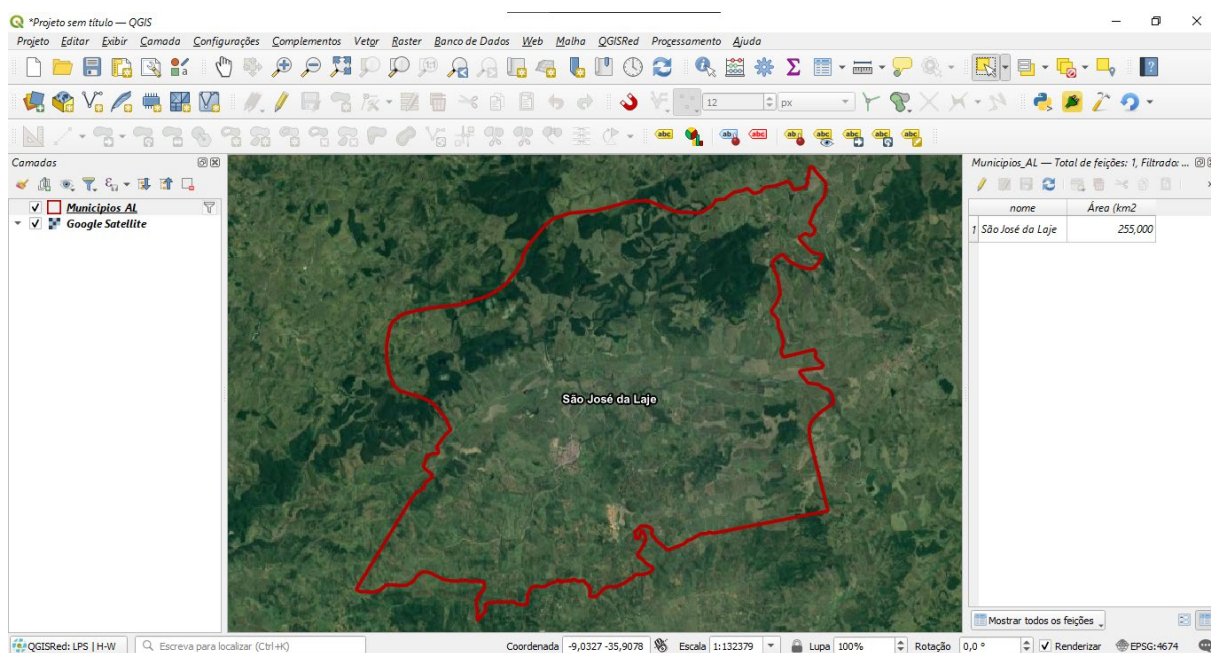
Conforme será discutido posteriormente, a ferramenta SIG desenvolvida e implementada como um plugin no QGIS utiliza camadas vetoriais de linha como fonte de dados geográficos para a rede de esgotamento, bem como camadas raster para o

Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizado para a entrada de dados de elevação do solo.

3.6.1 CAMADA VETORIAL

Os dados vetoriais são usados para fazer representações do mundo real em um SIG. Os dados vetoriais podem ser de ponto, quando possui apenas um vértice, de linhas quando possui dois ou mais vértices e de polígono, possuindo ao menos três vértices formando uma área fechada. As camadas vetoriais possuem dados de atributos, que são utilizados para armazenar informações atribuídas a uma feição (Qgis, s.d.b). Na Figura 3 tem-se o exemplo de uma camada vetorial de polígono, cuja feição apresenta os limites do município de São José da Laje - AL, nos dados de atributos é possível observar o nome da feição e a área do polígono.

Figura 3 Exemplo de camada vetorial

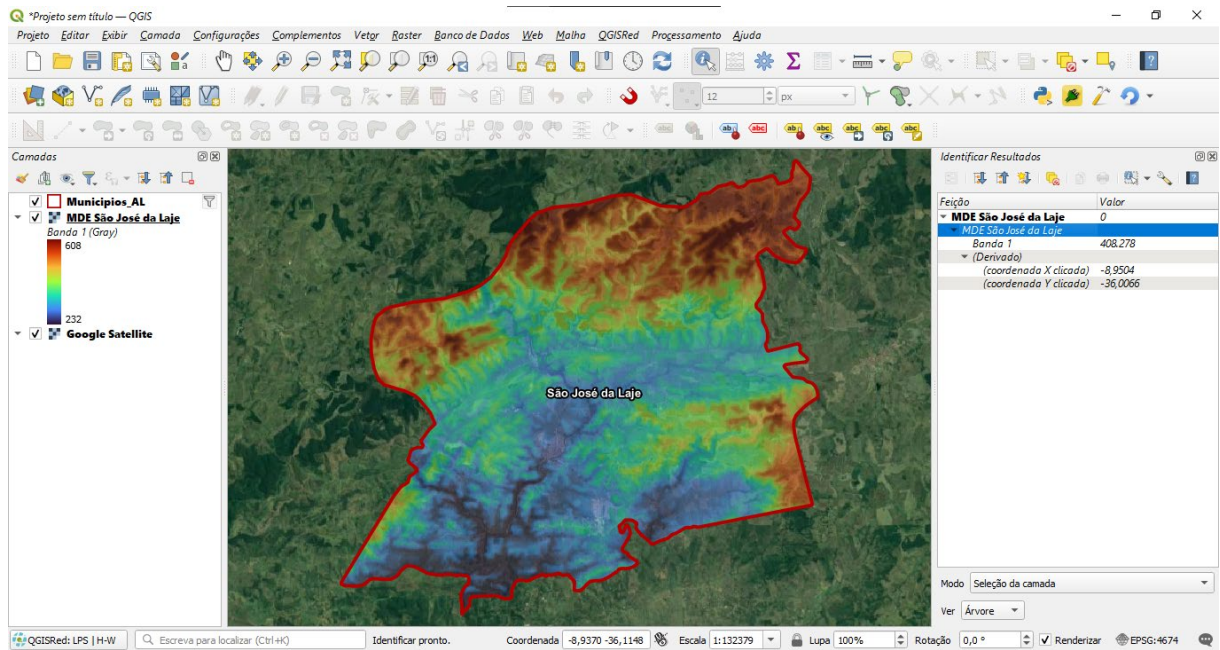


Fonte: Autor, 2022.

3.6.2 CAMADA RASTER

Dados raster são formados por uma matriz de pixels, como uma imagem digital. A diferença é que cada pixel, além de ser georreferenciado, pode armazenar informações da área coberta por esse pixel (Qgis, s.d.c). Na Figura 4 tem-se o exemplo de uma camada raster localizada no município de São José da Laje - AL, nela são apresentados valores de elevação para cada ponto dentro dos limites do município.

Figura 4 Camada raster de elevação



Fonte: Autor, 2022.

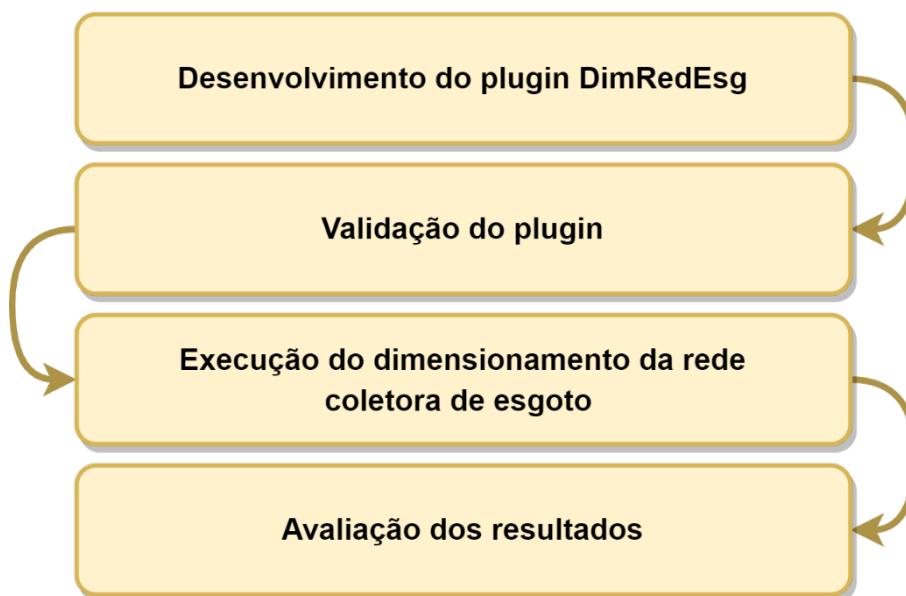
3.7 PLUGIN

Plugins são adições ou complementos de software que permitem programar rotinas ou personalizar programas. Neste trabalho em específico, o plugin de nome DimRedEsg é desenvolvido em linguagem de programação Python e implementado ao software QGIS a fim de realizar o dimensionamento hidráulico das redes coletoras de esgoto.

4 METODOLOGIA

Na Figura 5 é apresentada a divisão das atividades do trabalho.

Figura 5 Etapas do plano de trabalho.



Fonte: Autor, 2022.

4.1 DESENVOLVIMENTO DO PLUGIN DIMREDESG

O projeto de redes coletoras é desenvolvido no software QGIS. Este software foi escolhido pois é livre e de código aberto, possuindo uma política colaborativa, além da relativa facilidade na criação e implementação de plugins.

O plugin é desenvolvido com auxílio do aplicativo Plugin Builder 3, que cria um modelo de plugin QGIS para ser utilizado como ponto de partida. Para o desenvolvimento da interface gráfica é utilizado o software Qt Designer, vale ressaltar que o Qt Designer já é instalado junto ao QGIS quando selecionada a opção de desenvolvedor. O último aplicativo utilizado para auxiliar no desenvolvimento do plugin é o Plugin Reloader, que exerce a função de recarregar o código Python do plugin, essencial na fase de testes, na qual muitas correções são feitas.

O código em si foi desenvolvido no software Notepad++. Por ter código aberto, toda a documentação de API do QGIS está disponível no seu website, facilitando o acesso às ferramentas nativas. Todas as etapas de dimensionamento são realizadas por algoritmos desenvolvidos na linguagem de programação Python.

Todo o memorial de cálculo utilizado pela ferramenta é disponibilizado no apêndice deste trabalho e acessível para o usuário do plugin através do botão “Sobre o plugin”, presente na interface gráfica do mesmo.

4.2 VALIDAÇÃO DO PLUGIN

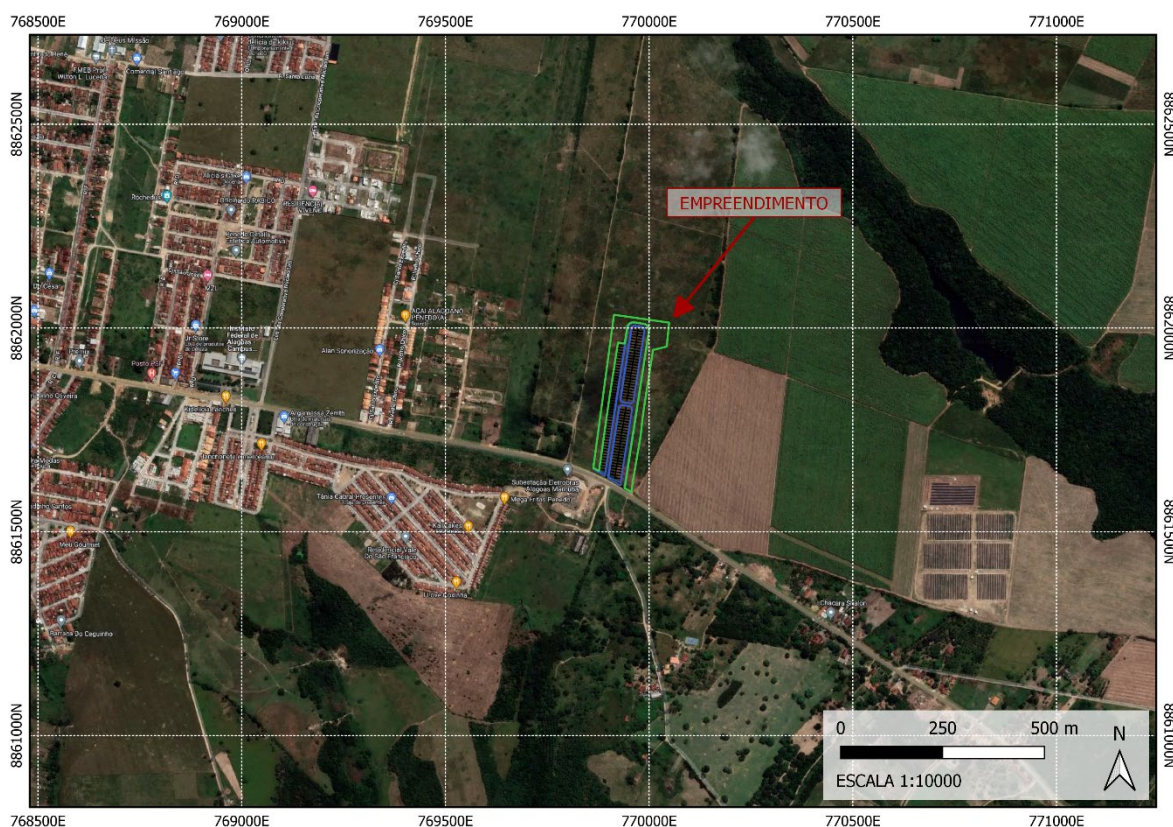
Uma rede coletora de esgoto sanitário varia em características de acordo com o local em que está instalada. Por isso, é importante adotar um loteamento fictício como objeto de estudo para comparar e validar os dados produzidos manualmente e pelo plugin.

O uso de um loteamento fictício permite a criação de um ambiente controlado para testar diferentes cenários e condições. Ao comparar os dados produzidos manualmente com os dados produzidos pelo plugin, é possível avaliar a qualidade e a precisão das informações geradas pelo sistema automatizado.

4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

É definido que o nome do empreendimento é Arrascaeta e está localizado no município de Penedo – AL, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Localização do empreendimento.



Fonte: Autor, 2023.

O empreendimento trata-se de um conjunto habitacional em que o público alvo são famílias de média a baixa renda, situado às margens da Rodovia Eng. Joaquim Gonçalves e possui as seguintes características:

- Número de lotes: 148;
- Área total: 44.140 m²
- Área verde: 17.584 m²;

4.2.2 PARÂMETROS DE PROJETO SEGUNDO A NBR 9649 DE 1986

Tendo em vista que se trata de um condomínio residencial de classe média/baixa considerou-se para fins de cálculo o total de 5 habitantes por lote (total de lotes 148), resultando no total de 740 pessoas.

Com isso, é possível determinar as vazões de consumo de água, admitindo um consumo per capita de 150 L/hab.dia e utilizando a equação 1.

O consumo médio diário é:

$$Q_{méd} = \frac{P \times q}{86.400} \quad (\text{Equação 1})$$

Desse modo, o consumo diário máximo e o consumo horário máximo são, respectivamente:

$$Q_{máx.dia} = \frac{P \times q \times K1}{86.400} \quad (\text{Equação 2})$$

$$Q_{máx.hora} = \frac{P \times q \times K1 \times K2}{86.400} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

P = População;

q = Consumo de água per capita;

K1 = coeficiente de máxima vazão diária;

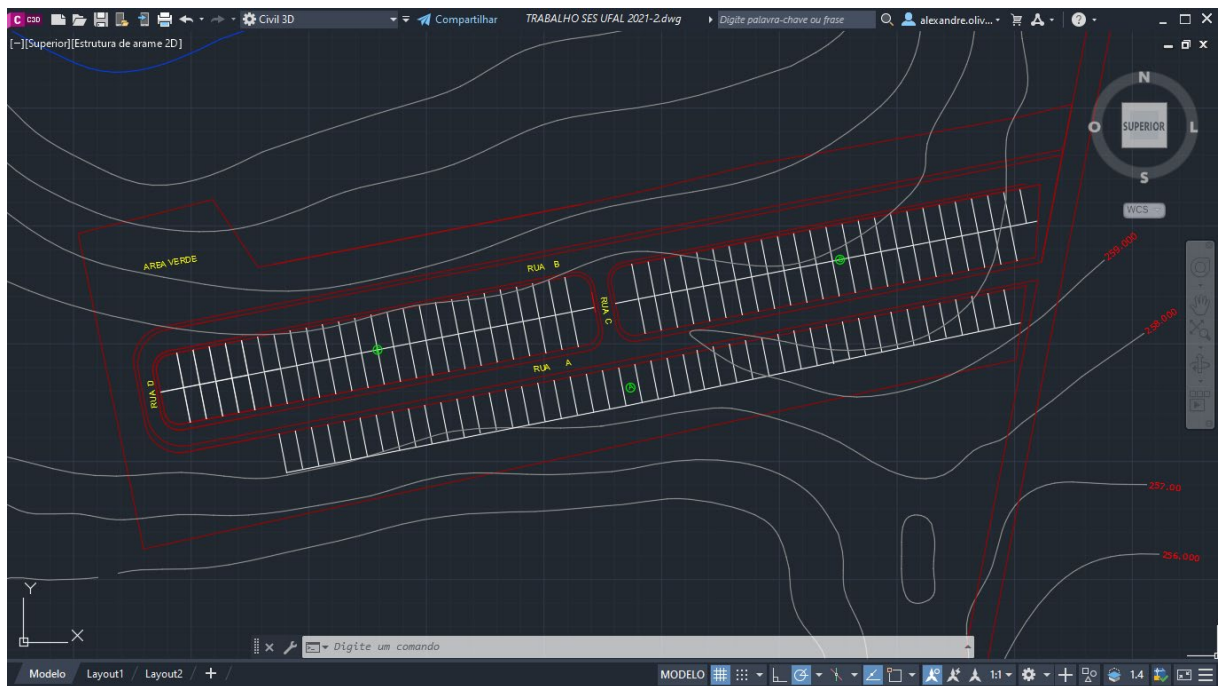
K2 = coeficiente de máxima vazão horária;

Considerando que o empreendimento é fechado e não há a possibilidade de crescimento após a saturação de 740 habitantes e o coeficiente de retorno utilizado é de 80% para calcular a vazão de fim de plano e para início de plano é adotado 70% da capacidade.

4.2.3 ENTRADA DE DADOS

A planta baixa do empreendimento com arruamento e curva de nível foi disponibilizado em arquivo DWG, como é mostrado na Figura 7.

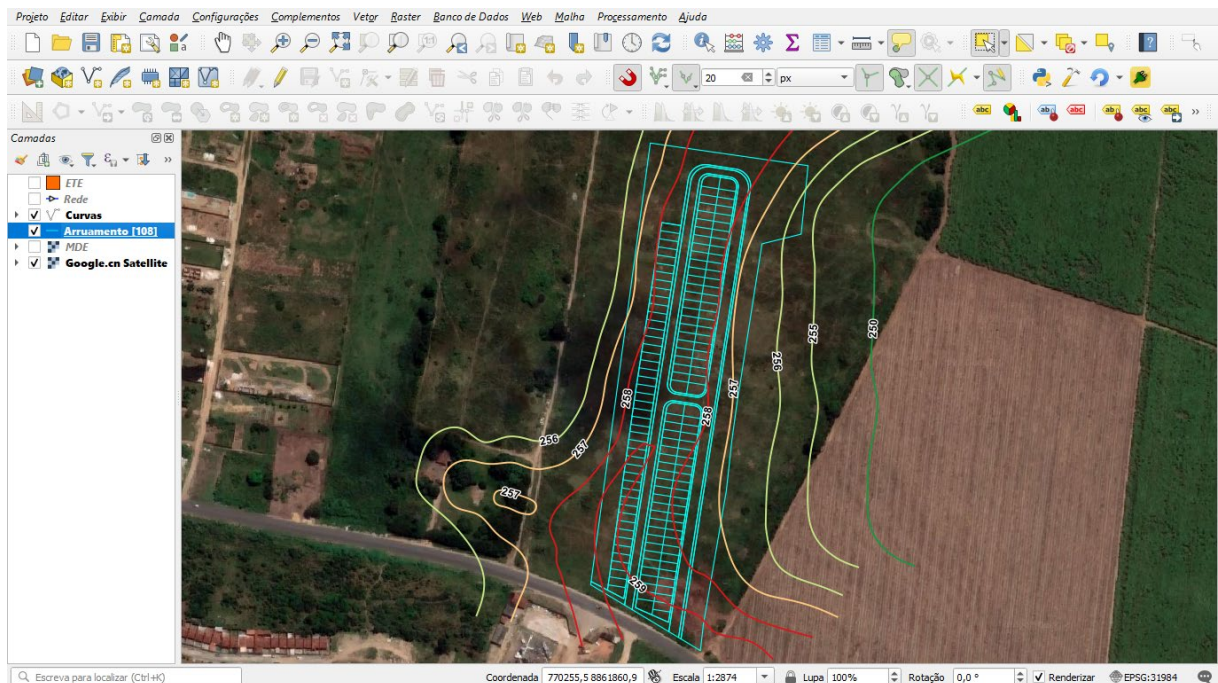
Figura 7 – Arruamento e curva de nível.



Fonte: Autor, 2023.

Faz-se necessário então, exportar o conteúdo do arquivo DWG para Shapefile (SHP) de linha a fim visualização no software QGIS, como visto na Figura 8.

Figura 8 – Arruamento e curvas de nível com formato SHP no QGIS.

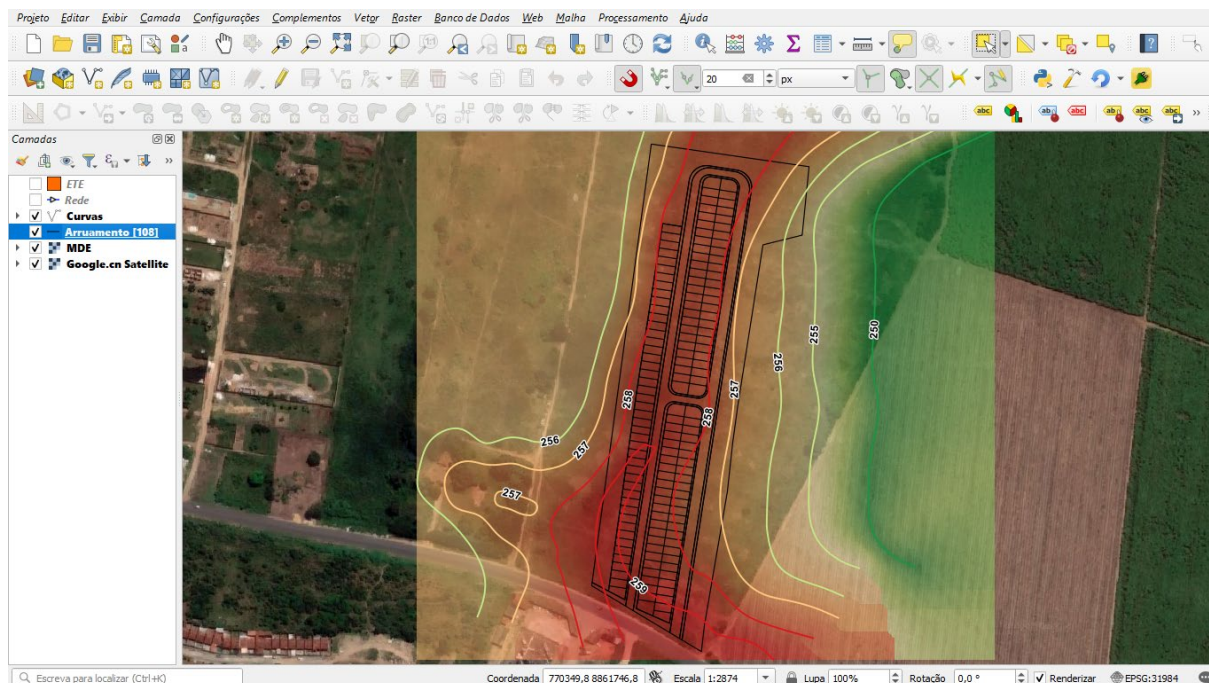


Fonte: Autor, 2023.

Tendo as curvas de nível no formato SHP, é possível interpolá-las na forma de raster, criando o Modelo Digital de Elevação (MDE), como visto na Figura 9. Avaliando

a Figura 9, é possível ver que as regiões de maior elevação estão pintadas em tons de vermelho e as regiões mais baixas estão pintadas em tons de verde.

Figura 9 – MDE criado a partir das curvas de nível.



Fonte: Autor, 2023.

De posse do MDE, é criado o traçado da rede coletora de esgoto. Além disso, os seguintes parâmetros de projeto são utilizados para o dimensionamento da rede:

- Coeficiente de rugosidade do material: 0,013;
- Recobrimento mínimo da rede: 1,10 m;
- Vazão de projeto: 1,50 l/s;
- Vazão de início de plano: 1,294 l/s;
- Vazão de fim de plano: 1,848 l/s;
- Diâmetro mínimo da tubulação: 100 mm;
- Gravidade local: 9,81 m/s².

4.2.4 EXECUÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DA REDE COLETORA DE ESGOTO

Após concluir o plugin que auxilia no dimensionamento de redes coletoras de esgoto e coletar os dados necessários do local do projeto, é possível iniciar o processo de criação do traçado da rede no software QGIS. Para isso, são necessárias pelo menos três camadas: uma camada vetorial de linha, que permitirá o traçado da rede,

uma camada raster com uma imagem georreferenciada do arruamento do local escolhido, e outra camada raster com valores de elevação do terreno.

Para o funcionamento adequado do plugin, todas as camadas deverão estar georreferenciadas através do sistema de coordenadas UTM, que usa o metro como unidade de medida. Além disso, a ferramenta de aderência do QGIS deverá estar ativa para garantir que os vértices dos vetores que representam as redes estejam exatamente sobrepostos.

Após o traçado da rede, o plugin precisa dos parâmetros de projeto para o dimensionamento, incluindo a vazão de início e fim de plano, o diâmetro nominal mínimo, o coeficiente de rugosidade do material utilizado e o recobrimento mínimo da tubulação. As informações como nome, comprimento e elevação do terreno a montante e jusante do trecho são geradas automaticamente.

Com os parâmetros de projeto inseridos, é possível efetuar o dimensionamento da rede. Nesta etapa, por padrão, o plugin usará o sistema de contribuição linear para atribuir vazões e as inclinações são as mínimas possíveis afim de reduzir ao máximo a profundidade da rede desde que seja respeitado o recobrimento mínimo. Alterações manuais de vazão, diâmetro e inclinação de trechos específicos são possíveis.

Com a rede já dimensionada, é gerada uma nova camada vetorial, sendo esta responsável por armazenar informações geográficas e dados dos PVs, como nome e profundidade.

4.2.5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

É realizada uma avaliação comparativa dos resultados obtidos pelo plugin em relação aos métodos tradicionais de dimensionamento de redes coletoras. Nessa avaliação, as redes coletoras serão dimensionadas tanto pelo plugin quanto por meio de planilhas eletrônicas. Os resultados obtidos por ambos os métodos serão confrontados e analisados. Além disso, será elaborado o perfil da rede coletora para uma melhor visualização dos resultados. Por fim, serão utilizados recursos do software QGIS para realizar análises adicionais dos resultados obtidos.

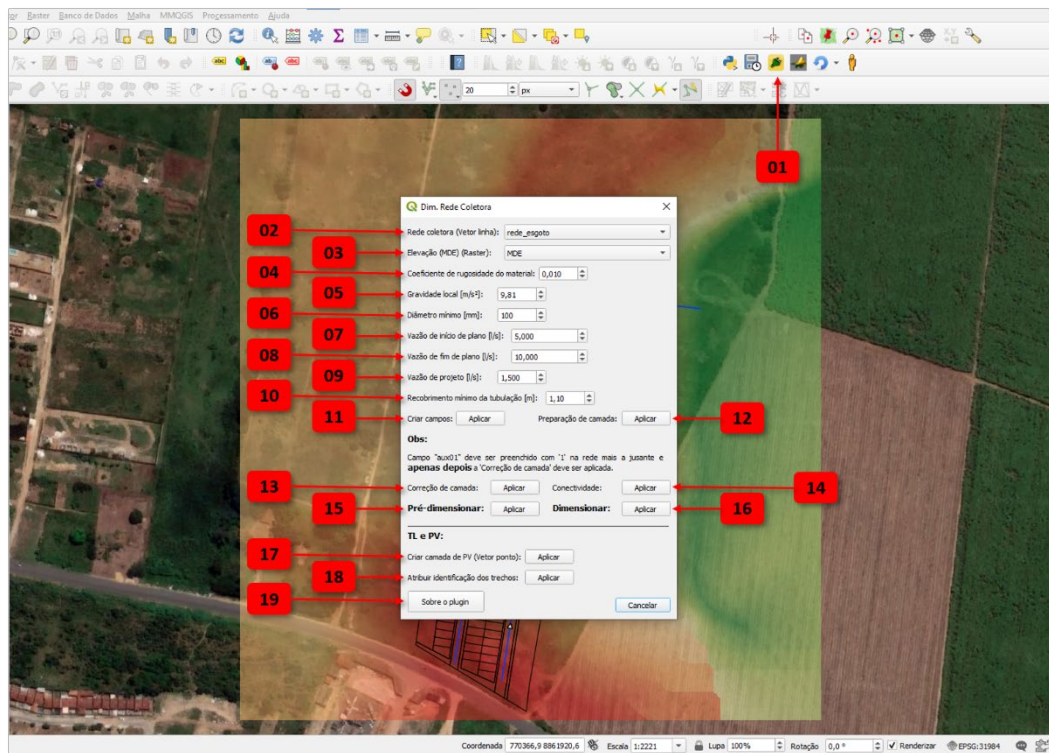
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item, são apresentados os resultados do desenvolvimento do plugin DimRedEsg para o dimensionamento de redes coletoras de esgoto. Além disso, foi realizada uma análise comparativa entre os dados gerados pelo plugin e os dados produzidos manualmente utilizando planilhas Excel, visando validar a eficácia do plugin.

5.1 PLUGIN DIMREDESG

O DimRedEsg é um plugin SIG desenvolvido em Python e integrado ao QGIS. A Figura 10 exibe a interface gráfica do plugin, destacando os botões que são explicados a seguir.

Figura 10 – Interface do plugin DimRedEsg.



Fonte: Autor, 2023.

Ao avaliar a sequência numérica presente na imagem, é possível entender o funcionamento do plugin DimRedEsg. As seguintes funções são apresentadas na imagem:

1. Ícone do plugin rede DimRedEsg presente na barra de ferramentas do QGIS. Ao clicar neste botão é aberta a interface gráfica do plugin;
2. Barra responsável por apresentar todas as camadas do formato SHP. Nela é escolhida a camada que guarda as informações de rede;

3. Barra responsável por apresentar todas as camadas do formato raster. Nela é escolhida a camada que guarda as informações de elevação do terreno;
4. Caixa responsável por armazenar valor do coeficiente de rugosidade do material escolhido para a rede de esgotamento sanitário. Valor padrão é 0,010 (Coef. de rugosidade do PVC);
5. Caixa responsável por armazenar valor da gravidade do local de estudo. Valor padrão é 9,81 m/s² (Gravidade ao nível do mar);
6. Caixa responsável por armazenar valor do diâmetro mínimo utilizado na rede coletora de esgoto. Valor padrão é 100 (Mínimo permitido pela NBR 9649/1986);
7. Caixa responsável por armazenar valor de vazão de início de plano;
8. Caixa responsável por armazenar valor de vazão de fim de plano;
9. Caixa responsável por armazenar valor de vazão de projeto. Valor padrão é 1,5 l/s (Mínimo estabelecido pela NBR 9649/1986);
10. Define qual o recobrimento mínimo da tubulação;
11. Botão responsável por criar todos os campos necessários na tabela de atributos para o dimensionamento da rede coletora;
12. Botão responsável por realizar a preparação que a camada de rede necessita para que seja efetuado o dimensionamento. Esta função extrai todos os dados necessários para a tabela de atributos, a fim executar o dimensionamento;
13. Botão responsável pela correção do sentido do escoamento;
14. Botão responsável por identificar os trechos que estejam agrupados numa mesma rede. Assim, pode ser identificado um trecho solto ou divisão de bacias de contribuição;
15. Botão responsável pelo pré-dimensionamento da rede. Deste modo, apenas as vazões e as profundidades são calculadas. Útil na etapa do traçado da rede, quando dimensionar o diâmetro da rede ainda não é fundamental;
16. Botão responsável pelo dimensionamento em si de todos os trechos do sistema;
17. Botão responsável pela criação de uma camada de ponto onde é guardada informações de PV e TL. Vale ressaltar que esta camada é temporária e caso queira guardar a informação de forma permanente, é necessário exportar para camada no formato SHP;

18. Botão responsável por nomear todos os trechos, PVs e TLs;

19. Botão retorna a abertura de um arquivo PDF contendo o manual de instruções do plugin, assim como o memorial de cálculo.

Após realizado o dimensionamento, todos os dados calculados são armazenados na tabela de atributos. Esta pode ser facilmente exportada para o formato de planilha eletrônica.

O Manual de Uso do plugin DimRedEsg está no apêndice deste trabalho. Nele é apresentado o memorial de cálculo onde são apresentadas todas as equações utilizadas no dimensionamento, assim como uma descrição de como utilizar o plugin e para que serve cada campo da tabela de atributos.

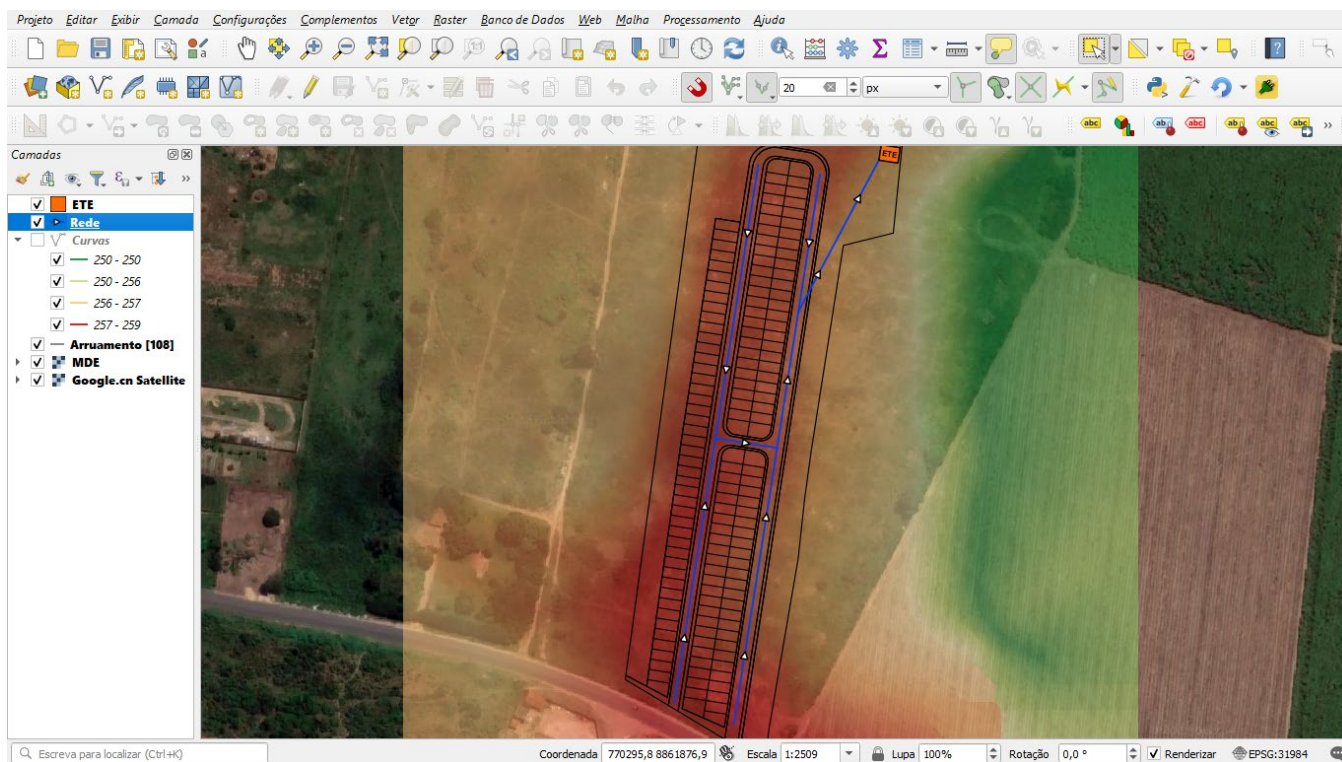
5.2 VALIDAÇÃO DO PLUGIN

Neste item são apresentados os resultados do dimensionamento de redes coletoras de esgoto utilizando o plugin DimRedEsg. Foram realizadas análises separadas dos dados gerados pelo plugin utilizando o QGIS, além da comparação dos resultados com os dados produzidos manualmente em planilhas Excel.

5.2.1 SAÍDA DE DADOS DO PLUGIN

Para aplicar a ferramenta DimRedEsg, é desenhado o traçado da rede através das ferramentas nativas do software QGIS. Na Figura 11 é possível observar o traçado da rede coletora de esgoto encaminhando o efluente até a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

Figura 11 – Traçado da rede coletora de esgoto



Fonte: Autor, 2023.

Tendo executado o dimensionamento, todos os dados da rede estão armazenados na tabela de atributos, como indica a Figura 12. Assim, é possível utilizar os recursos do QGIS para fazer análises sobre o sistema dimensionado.

Figura 12 - Tabela de atributos

Rede — Total de feições: 11, Filtrado: 11, Seleccionada: 0

id	idX	idY	NomeTrecho	Diar	Diametro	extensao	vazaalP	vLinearFP	vMontante	vTrec	vTrecho	vTotal	vAdotada	CotTerrMon	CotTerrJus	DecTerreno	DecMinima	DecC	DecAdotada	CotRedeMon	CotRedeJus	ProfuPVMon	ProfuPVJus	Tu
1	0	0	1 TL1 ~ PV2	0	100	87,7900	1,2940	0,0021	0	0	0,1844	0,1844	1,5000	258,7680	258,5810	0,0021	0,0049	0	0,0049	257,668	257,238	1,100	1,343	
2	1	0	1 TL3 ~ PV4	0	100	92,9500	1,2940	0,0021	0	0	0,1952	0,1952	1,5000	257,9130	258,1220	-0,0022	0,0049	0	0,0049	256,813	256,358	1,100	1,764	
3	2	0	0 PV5 ~ PV6	0	100	41,9800	1,2940	0,0021	0,768	0	0,0882	0,8561	1,5000	258,3910	257,9050	0,0116	0,0049	0	0,0049	255,902	255,696	2,489	2,209	
4	3	0	1 TL7 ~ PV8	0	100	94,1700	1,2940	0,0021	0	0	0,1978	0,1978	1,5000	258,8910	257,5630	0,0141	0,0049	0	0,0141	257,791	256,463	1,100	1,100	
5	4	0	1 TL9 ~ PV10	0	100	93,0000	1,2940	0,0021	0	0	0,1953	0,1953	1,5000	257,9570	257,6000	0,0038	0,0049	0	0,0049	256,857	256,401	1,100	1,199	
6	5	0	0 PV2 ~ PV5	0	100	92,0100	1,2940	0,0021	0,1844	0	0,1932	0,3776	1,5000	258,5810	258,3910	0,0021	0,0049	0	0,0049	257,238	256,787	1,343	1,604	
7	6	0	0 PV4 ~ PV5	0	100	92,9500	1,2940	0,0021	0,1952	0	0,1952	0,3904	1,5000	258,1220	258,3910	-0,0029	0,0049	0	0,0049	256,358	255,902	1,764	2,489	
8	7	0	0 PV8 ~ PV6	0	100	94,1700	1,2940	0,0021	0,1978	0	0,1978	0,3955	1,5000	257,5630	257,9050	-0,0036	0,0049	0	0,0049	256,463	256,002	1,100	1,903	
9	8	0	0 PV6 ~ PV10	0	100	92,9000	1,2940	0,0021	1,2516	0	0,1951	1,4467	1,5000	257,9050	257,6000	0,0033	0,0049	0	0,0049	255,696	255,241	2,209	2,359	
10	9	0	0 PV10 ~ PV20	0	100	57,7400	1,2940	0,0021	1,6420	0	0,1213	1,7633	1,7633	257,6000	256,8540	0,0129	0,0049	0	0,0049	255,241	254,958	2,359	1,896	
11	10	1	0 PV20 ~ PV22	0	100	57,7400	1,2940	0,0021	1,7633	0	0,1213	1,8845	1,8845	256,8540	256,9090	-0,001	0,0049	0	0,0049	254,958	254,675	1,896	2,234	

Mostrar todos os feições

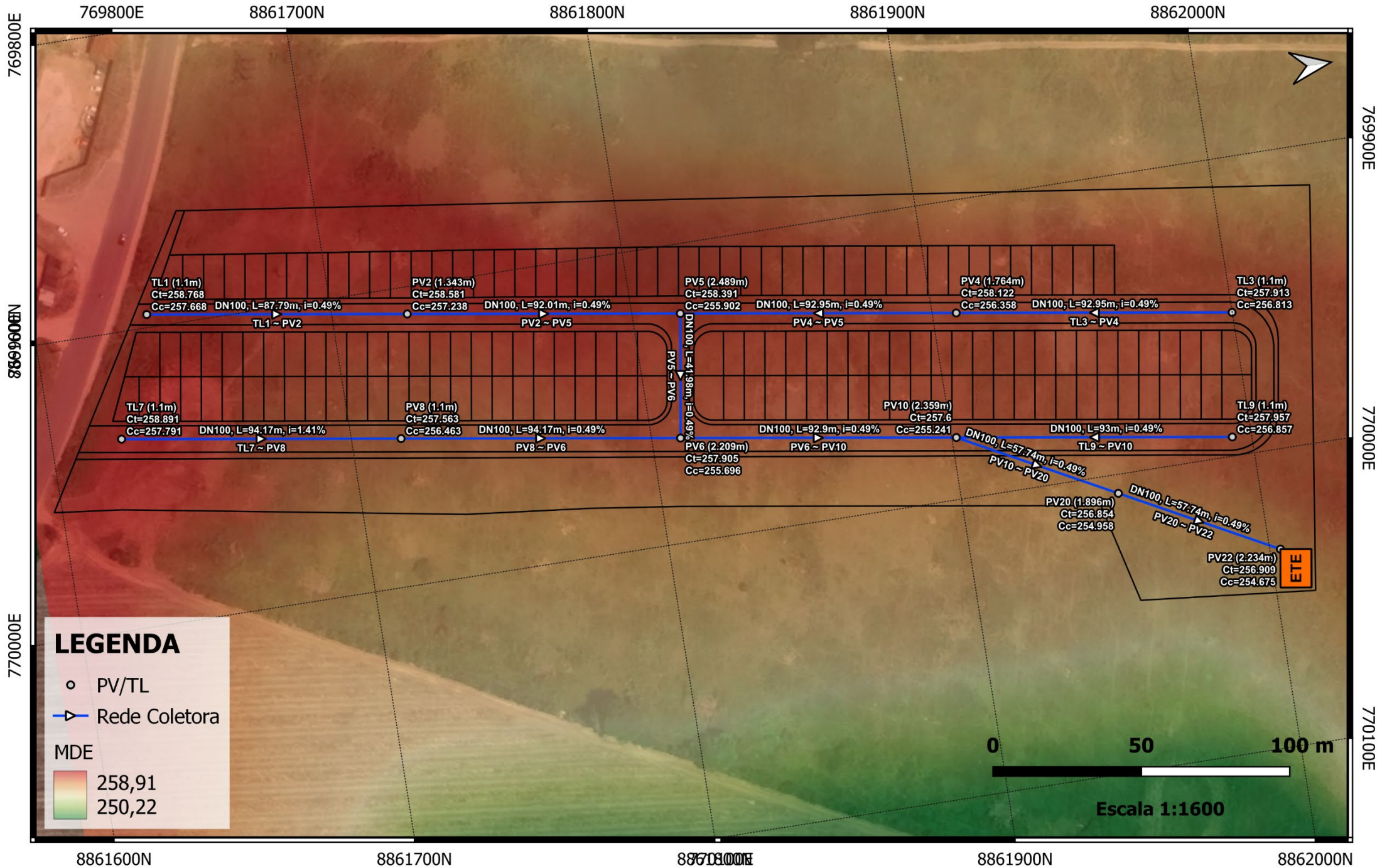
Fonte: Autor, 2023.

Para facilitar a análise do projetista sobre a rede dimensionada, foram carregados estilos pré-definidos que possibilitam obter a informação visual dos indicadores de performance da rede. Além do dimensionamento em si, esta análise visual é um dos benefícios de utilizar Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG).

5.2.2 MAPAS GERADOS

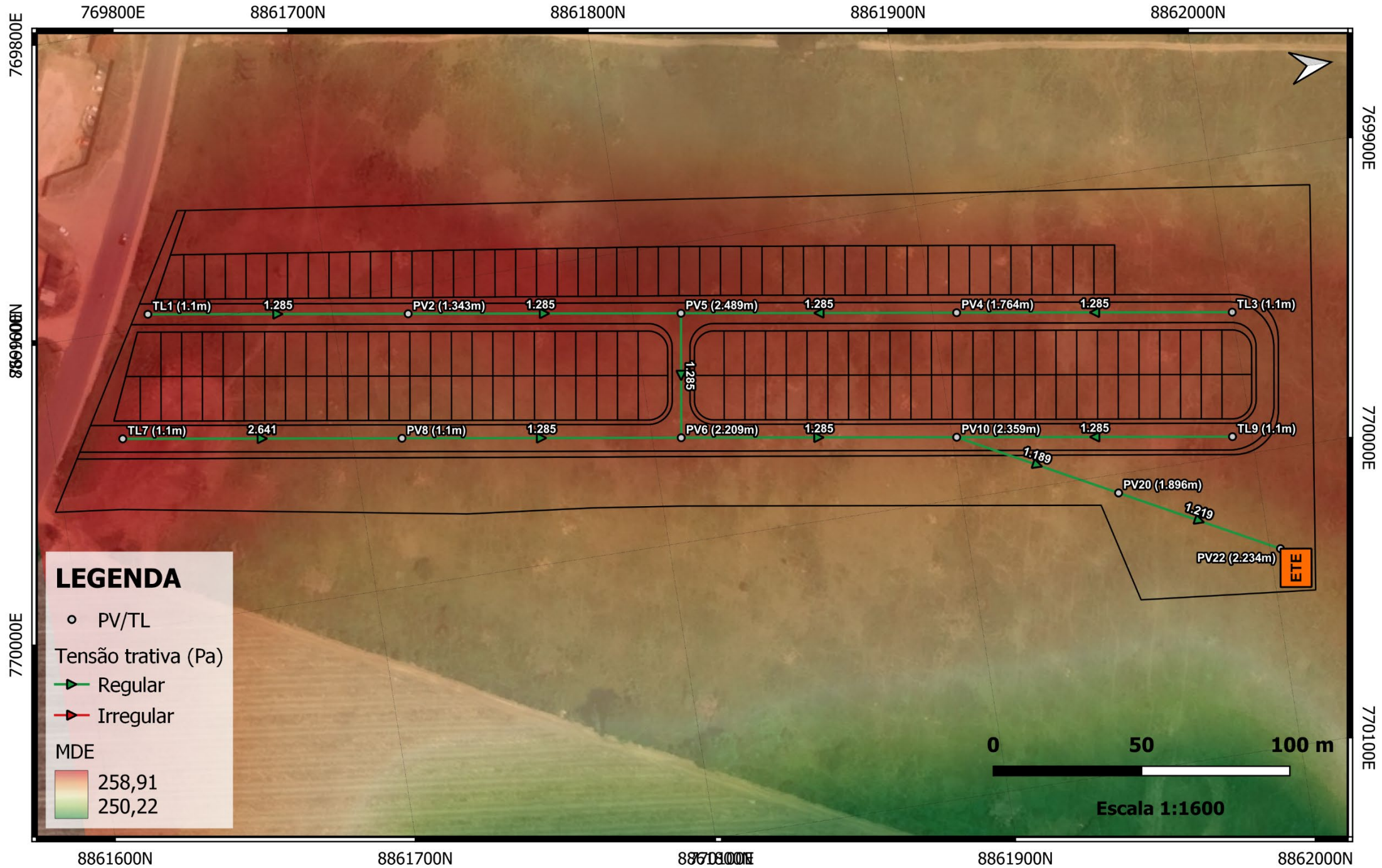
Na Figura 13, é possível observar que o mapa do empreendimento foi rotacionado em 80,50° no sentido horário para melhorar sua visualização. As legendas para os trechos, geradas automaticamente a partir dos dados contidos na tabela de atributos, apresentam informações gerais do resultado do dimensionamento, como: o diâmetro nominal, extensão, inclinação e nome do trecho. Analogamente, para os pontos de PV e TL, são geradas legendas contendo nome, profundidade, cota do terreno e cota do tubo.

Figura 13 – Rede de esgoto dimensionada



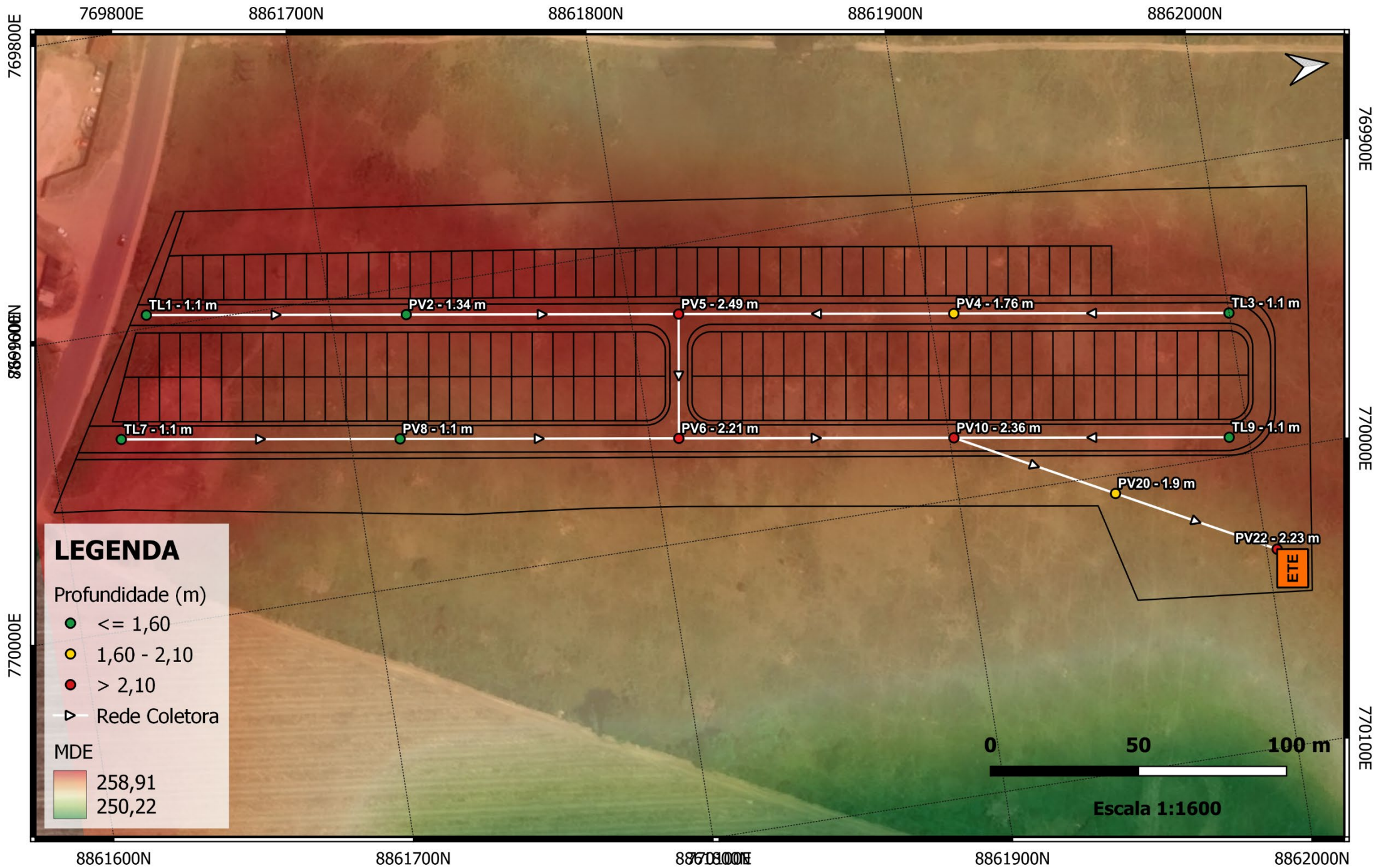
A Figura 14 apresenta as tensões trativas, em Pa, dos trechos das redes. É possível verificar que todas as redes estão na cor verde, indicando “Regular”, o que significa que todos os trechos possuem tensão trativa maior ou igual a 1 Pa, como preconiza a NBR 9649/1986.

Figura 14 – Análise da tensão trativa



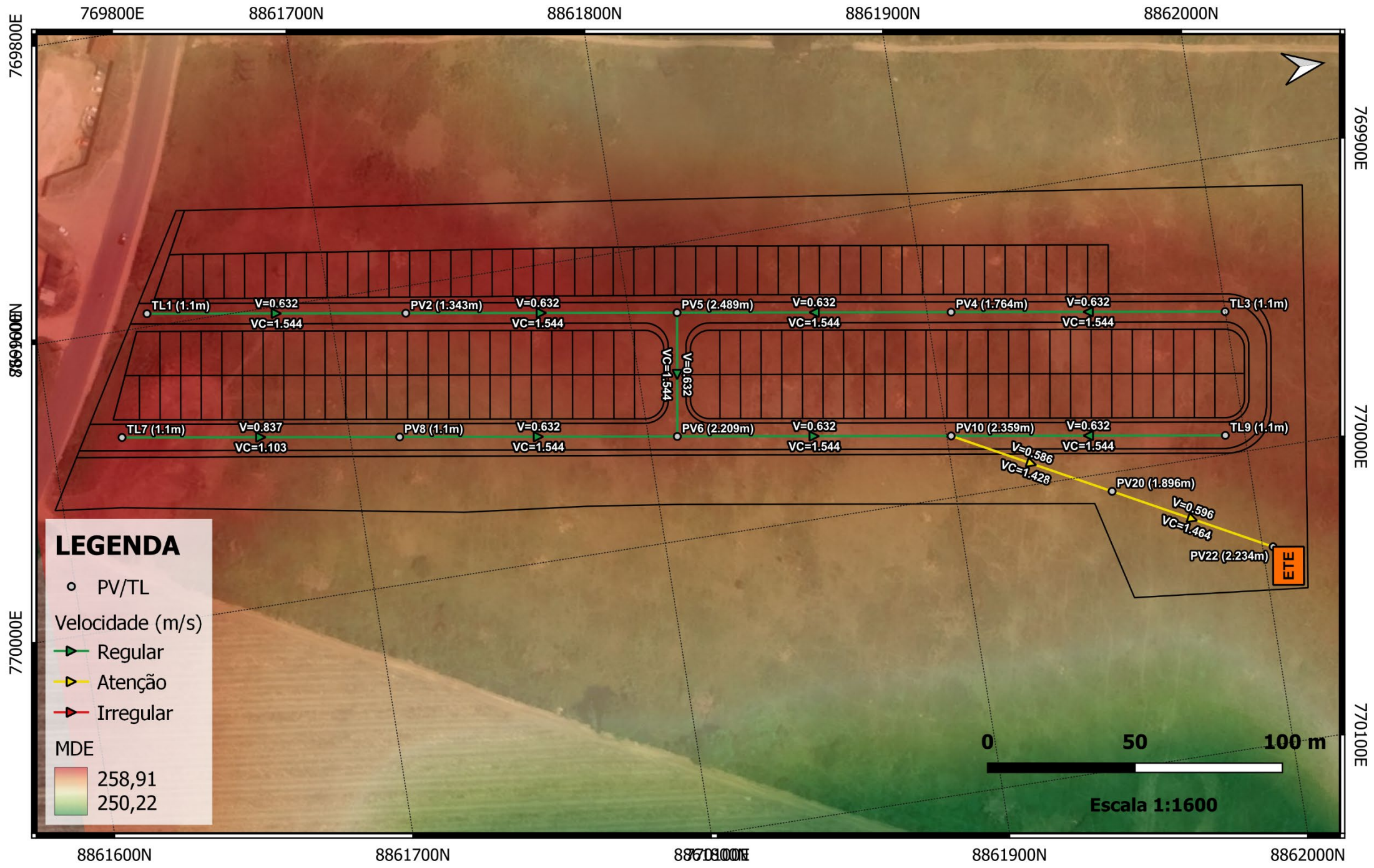
Na Figura 15 tem-se a análise das profundidades dos Poços de Visita (PV), indicando também a profundidade da rede, parâmetro que pode inviabilizar um sistema ou gerar a necessidade de implantar uma estação elevatória de esgoto (EEE). Pode-se observar que a rede sempre inicia com Tubo de Limpeza (TL) com o recobrimento mínimo de 1,10 m, 4 trechos possuem profundidade maior que 2,10 m, sendo a maior profundidade 2,49 m no PV 5. Posteriormente, analisando os perfis da rede, ficará claro o motivo de o PV 5 possuir profundidade elevada. Com esta análise é possível concluir que é possível instalar o sistema sem a necessidade de construir uma EEE.

Figura 15 – Profundidade dos PVs e TLs



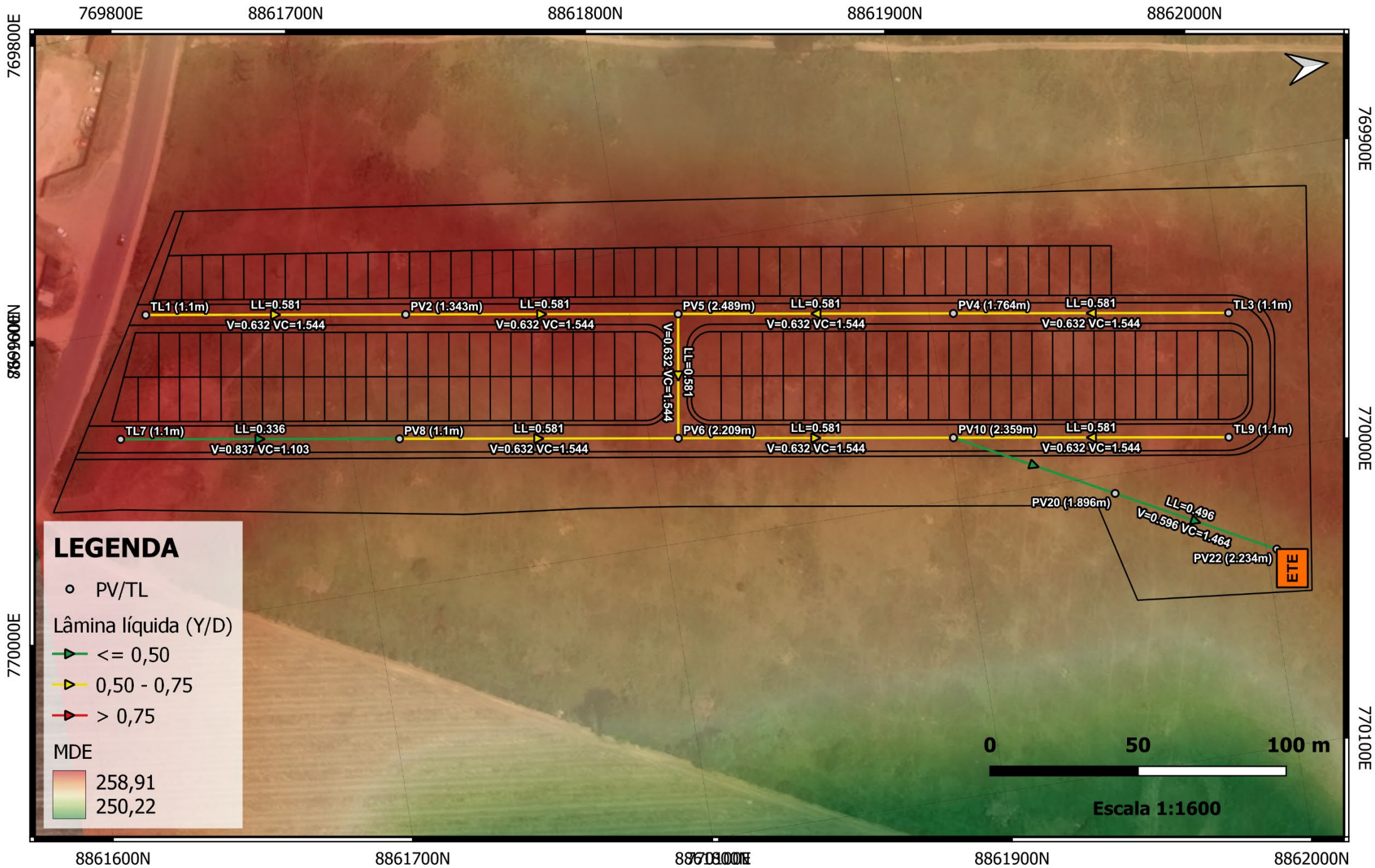
Na Figura 16 tem-se a análise das velocidades dos fluidos nas tubulações. Cada trecho apresenta duas legendas, “V” apresenta a velocidade do esgoto sanitário em m/s, enquanto “VC” apresenta a velocidade crítica de cada trecho. Com o auxílio da categorização por cor, é possível perceber com facilidade que todos os trechos possuem velocidade abaixo da velocidade crítica e é possível perceber também que 2 trechos possuem velocidade um pouco abaixo dos 0,60 m/s estabelecidos pela NBR 9649/1986, ficando a critério do projetista aumentar, ou não, a inclinação dos trechos a fim de corrigir a velocidade dos mesmos.

Figura 16 – Velocidade do fluido na tubulação (m/s)



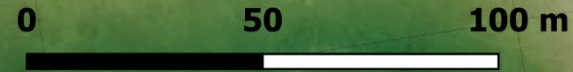
De modo objetivo, a Figura 17 apresenta a Lâmina Líquida (Y/D) dos trechos e é possível observar que muitos deles possuem o parâmetro Y/D entre 0,50 e 0,75. Todos estes trechos estão de acordo com a NBR 9649/1986 uma vez que em todos os casos, a velocidade do fluido é menor que a velocidade crítica. É válido ressaltar que, como o dimensionamento é feito de forma automática, o diâmetro da tubulação seria aumentado em 50 mm caso o indicador Y/D não atendesse os requisitos da NBR 9649/1986.

Figura 17 – Lâmina líquida (Y/D)



LEGENDA

- PV/TL
- Lâmina líquida (Y/D)
 - ≤ 0,50
 - 0,50 - 0,75
 - > 0,75
- MDE
 - 258,91
 - 250,22



Escala 1:1600

5.2.3 PERFIS DOS TRECHOS

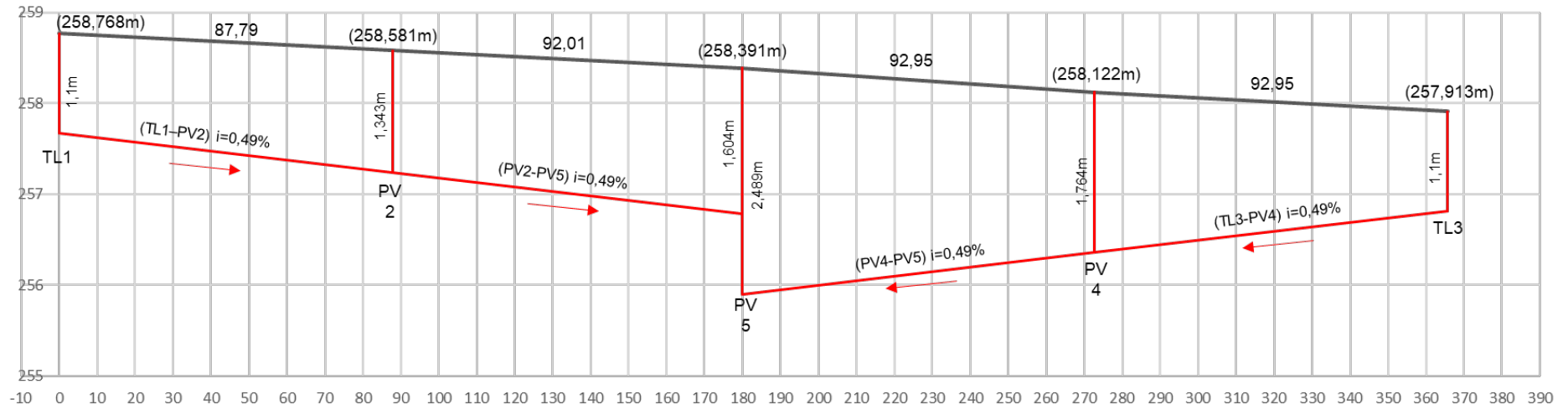
Em um projeto de rede coletora de esgoto, a análise do perfil das redes é fundamental para garantir a eficiência e segurança do sistema. Assim, foi desenvolvido o perfil da rede com auxílio do software Excel para avaliar o correto dimensionamento da rede pelo plugin DimRedEsg.

Foram desenvolvidos 4 perfis para analisar a rede. Sendo 3 deles no sentido longitudinal das ruas e 1 na área verde do empreendimento. A Figura 18 apresenta o perfil longitudinal da Rua A e é possível observar que todo o esgoto é encaminhado para o PV5 e que todos os trechos possuem declividade mínima, mas os segmentos TL3-PV4 e PV4-PV5 ganham profundidade muito mais rápida que os trechos TL1-PV2 e PV2-PV5, isto acontece pois os trechos TL3-PV4 e PV4-PV5 direcionam o fluxo do esgoto no sentido contrário ao da inclinação natural do solo.

A Figura 19 mostra a representação de como funciona o sistema de declividades do plugin. O trecho TL7-PV8 possui a mesma inclinação do terreno, pois ela é maior que a inclinação mínima, garantindo o recobrimento mínimo do trecho. Já no trecho PV8-PV6, a inclinação do terreno passa a ser contrária à do sentido do fluxo, então a inclinação do trecho é alterada para a mínima para que a profundidade do tubo seja a menor possível. O PV6 possui uma profundidade maior que a de jusante do trecho PV8-PV6, isto se justifica quando se avalia a Figura 20, onde é observado que o PV6 necessita da profundidade de 2,209 m para garantir a inclinação mínima do trecho PV5-PV6.

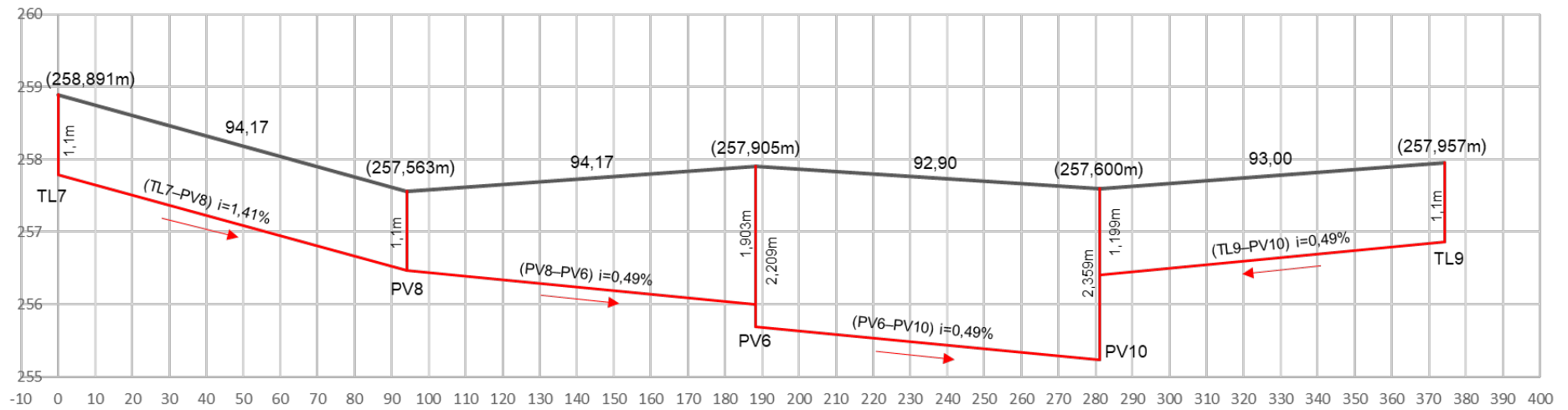
A avaliação dos perfis permitiu identificar pontos críticos, como trechos em que a inclinação natural do solo é contrária ao sentido do fluxo do esgoto. No entanto, o plugin DimRedEsg ajustou a inclinação das tubulações de acordo com as características do terreno e do fluxo de esgoto, garantindo que a rede tivesse inclinações sempre maiores ou iguais as mínimas e que as tubulações tivessem sempre a menor profundidade possível, respeitando o recobrimento mínimo. Portanto, a análise dos perfis demonstrou que a rede coletora de esgoto foi projetada de forma adequada e eficiente, atendendo às necessidades do empreendimento e garantindo a segurança do sistema.

Figura 18 – Perfil Rua A



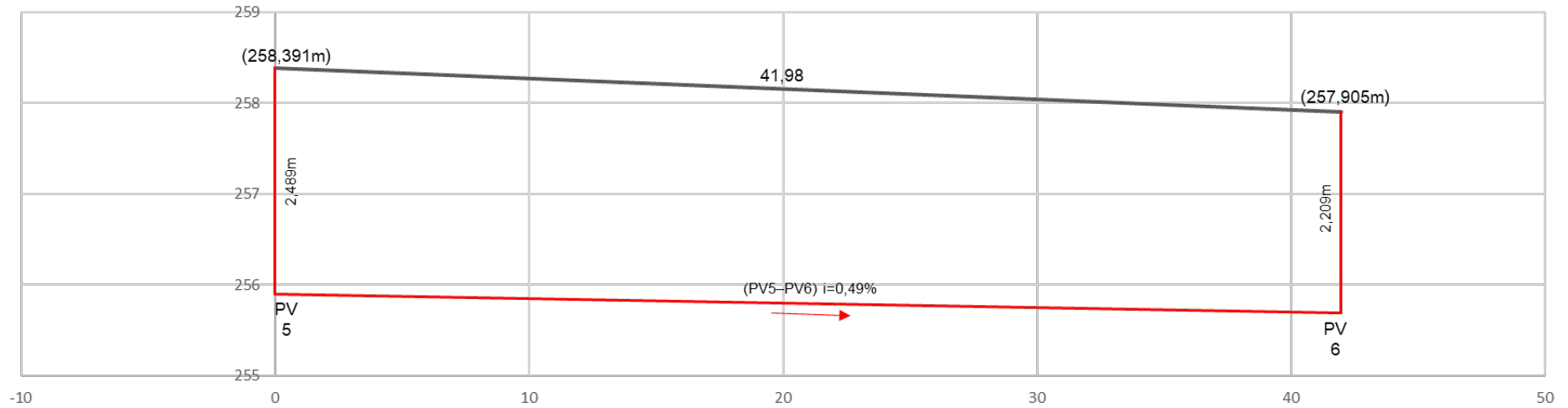
Fonte: Autor, 2023.

Figura 19 – Perfil Rua B



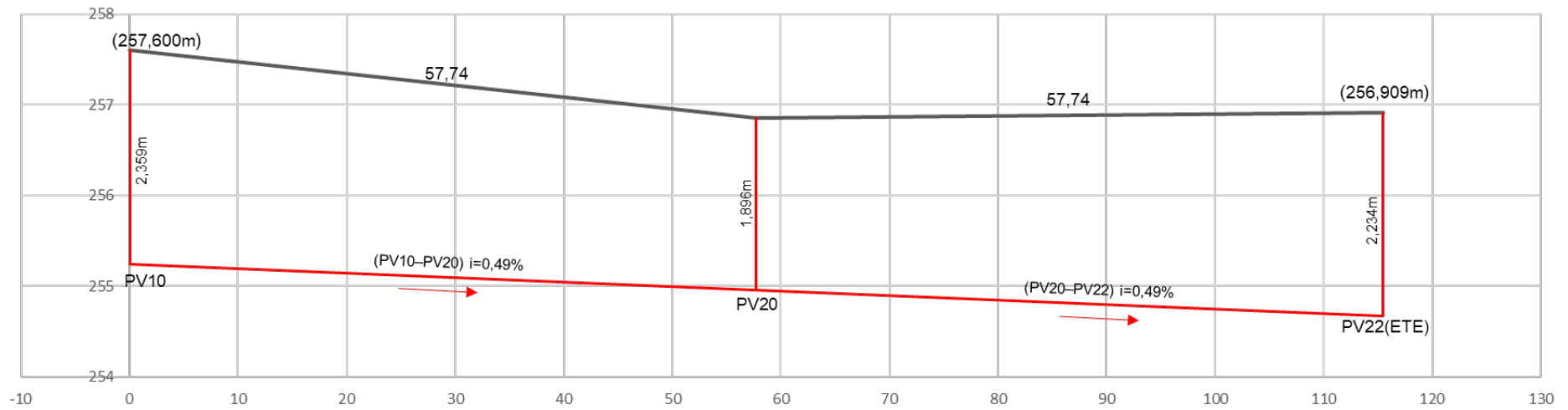
Fonte: Autor, 2023.

Figura 20 – Perfil Rua C



Fonte: Autor, 2023.

Figura 21 – Perfil Área Verde



Fonte: Autor, 2023.

5.2.4 RESULTADO DO DIMENSIONAMENTO MANUAL

O dimensionamento manual utilizando planilha eletrônica foi executado seguindo as diretrizes da norma NBR 9649/1986. Assim, todos os parâmetros e formulas aplicados ao plugin também foram usados no dimensionamento com planilha Excel. É importante destacar que embora alguns dos cálculos possam ser automatizados com a planilha eletrônica, informações como vazões e declividades precisam ser calculadas para cada trecho individualmente. A Tabela 1 apresenta uma parte dos dados provenientes do dimensionamento manual na planilha, enquanto os dados completos podem ser encontrados no Apêndice A deste trabalho.

TRECHO	DECLIV MIN (m/m)	DECLIV ADOTADA (m/m)	COTA DO COLETOR MONT (m)	COTA DO COLETOR JUSAN (m)	PROFUND. DO PV MONT (m)	PROFUND. DO PV JUSAN (m)	Qp	q/Qp	LAMINA LÍQUIDA (Y/D)
TL1-PV2	0,0049	0,0049	257,668	257,240	1,100	1,342	3,609	0,416	0,584
PV2-PV5	0,0049	0,0049	257,240	256,792	1,341	1,599	3,609	0,416	0,584
TL3-PV4	0,0049	0,0049	256,813	256,360	1,100	1,762	3,609	0,416	0,584
PV4-PV5	0,0049	0,0049	256,360	255,907	1,762	2,484	3,609	0,416	0,584
PV5-PV6	0,0049	0,0049	255,907	255,701	2,484	2,204	3,619	0,414	0,581
TL7-PV8	0,0049	0,0141	257,791	256,463	1,100	1,100	6,140	0,244	0,336
PV8-PV6	0,0049	0,0049	256,463	256,004	1,100	1,901	3,609	0,416	0,584
PV6-PV10	0,0049	0,0049	255,701	255,249	2,204	2,351	3,609	0,416	0,584
TL9-PV10	0,0049	0,0049	256,857	256,404	1,100	1,196	3,609	0,416	0,584
PV10-PV20	0,0049	0,0049	255,249	254,966	2,351	1,888	3,619	0,464	0,477
PV20-PV22	0,0049	0,0049	254,966	254,685	1,888	2,224	3,609	0,497	0,497

Fonte: Autor, 2023.

5.2.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta parte da comparação dos resultados do dimensionamento da rede coletora utilizando o software Excel e o Plugin DimRedEsg. Os valores da tabela foram muito aproximados, com pequenas diferenças que podem ser atribuídas ao número de casas decimais utilizadas em cada método. As demais informações necessárias para dimensionamento da rede, como vazão de marcha e extensão dos trechos, tiveram uma assertividade de 100%.

Tabela 1 - Comparação dos resultados

TRECHO	Prof. do PV MON (m)			Prof. do PV JUS (m)			Lâmina Líquida (Y/D)		
	Excel	Plugin	Diferença (%)	Excel	Plugin	Diferença (%)	Excel	Plugin	Diferença (%)
TL1-PV2	1,100	1,100	0,000%	1,342	1,343	0,093%	0,584	0,581	-0,506%
PV2-PV5	1,341	1,343	0,167%	1,599	1,604	0,308%	0,584	0,581	-0,506%
TL3-PV4	1,100	1,100	0,000%	1,762	1,764	0,119%	0,584	0,581	-0,506%
PV4-PV5	1,762	1,764	0,119%	2,484	2,489	0,209%	0,584	0,581	-0,506%
PV5-PV6	2,484	2,489	0,209%	2,204	2,209	0,249%	0,581	0,581	0,006%
TL7-PV8	1,100	1,100	0,000%	1,100	1,100	0,000%	0,336	0,336	0,086%
PV8-PV6	1,100	1,100	0,000%	1,901	1,903	0,113%	0,584	0,581	-0,506%
PV6-PV10	2,204	2,209	0,249%	2,351	2,359	0,333%	0,584	0,581	-0,506%
TL9-PV10	1,100	1,100	0,000%	1,196	1,199	0,239%	0,584	0,581	-0,506%
PV10-PV20	2,351	2,359	0,333%	1,888	1,896	0,419%	0,477	0,477	-0,040%
PV20-PV22	1,888	1,896	0,419%	2,224	2,234	0,430%	0,497	0,496	-0,150%

Fonte: Autor, 2023.

Os resultados demonstram que as diferenças entre os métodos são mínimas, no geral, todos os resultados tiveram diferenças menores que 0,6%, sendo que em alguns casos, as diferenças ficaram abaixo de 0,1%. Portanto, pode-se concluir que os resultados obtidos pelo Plugin DimRedEsg são confiáveis e podem ser utilizados para o dimensionamento da rede coletora. É importante destacar que o Plugin DimRedEsg apresenta vantagens em relação ao software Excel, uma vez que o plugin é específico para o dimensionamento de redes coletoras, enquanto o Excel é um software genérico que demanda significativamente mais tempo e esforço para realização do cálculo, além do risco elevado de erros atrelados à falha humana.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nas comparações realizadas entre o plugin DimRedEsg e o software Excel, é possível concluir que o desenvolvimento do plugin é uma solução eficiente e confiável para a etapa de dimensionamento das redes coletoras de esgoto. Além disso, o plugin apresentou resultados bastante aproximados aos obtidos pelo Excel, o que comprova sua assertividade.

Portanto, é possível afirmar que o uso do plugin DimRedEsg pode ser uma ferramenta valiosa para a gestão de projetos de saneamento básico. Considerando a importância do saneamento básico para a saúde pública, a universalização dos serviços de coleta e tratamento de esgoto é um objetivo fundamental para o desenvolvimento do país. Nesse sentido, o desenvolvimento do plugin para o software QGIS também é uma contribuição que pode melhorar da qualidade de vida da população e o desenvolvimento sustentável das regiões atendidas.

Por fim, em termos de complemento do trabalho em questão, sugere-se o aperfeiçoamento do plugin de modo que ele fique mais robusto visando atender as necessidades do maior número de usuários possível. Para atingir este objetivo, um complemento importante para o plugin é implementar uma ferramenta que gere automaticamente os perfis dos trechos, facilitando a identificação dos pontos críticos pelos usuários. De modo geral, a programação permite personalizar o plugin de acordo com a necessidade de cada usuário, um exemplo prático seria a implementação do georreferenciamento reverso, que possibilita, a partir das coordenadas de cada tubulação, saber o endereço completo de onde ela está projetada.

7 REFERÊNCIAS

1. ABNT NBR 9648 - **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.
2. ABNT NBR 9649 - **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.
3. Alem Sobrinho, P.; Tsutiya, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2ª ed. São Paulo: departamento de engenharia hidráulica e sanitária, 2000. 547p.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. **Organização Pan-Americana da Saúde. Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento: marco conceitual e estratégia metodológica**. Brasília. 2004. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/AvaliaC3A7ao+de+impacto+na+saude+das+aC3A7oes+de+saneamento.pdf/9d28b0ee-2beb-4976-ab03-4f03b0512a69>. Acesso: novembro, 2022.
5. Callado, Nélia Henriques. **Evolução e Situação Atual Dos Sistemas De Esgotamento Sanitário E Pluvial: Tipos De Sistemas**. Universidade Federal De Alagoas. Centro de Tecnologia. 2021.
6. FORNO, Gelson L. dal; STRIEDER, Adedir José. **Sistemas de informações georreferenciadas: precisão, acurácia, resolução e qualidade em topografia, geodésia e cartografia**. Conselho em Revista, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 29. 2008. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/modelage/download/artigos/SIG%20prec-acur-res-qual%20RevCREA-RS%2050%202008.PDF>. Acesso: novembro, 2022.
7. Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz. **Saneamento e Saúde: Coleção Saúde, Ambiente e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/46304/06_saneamento.pdf;jsessionid=6889EA792DB6CF15378B5211EEBB25A3?sequence=2. Acesso: novembro, 2022.
8. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil: Visão estratégica para o futuro do saneamento básico no Brasil**. Brasília. 2014. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/panorama_vol_06.pdf. Acesso: novembro, 2022.
9. QGIS. a. **Descubra o QGIS: A liderança do SIG de código aberto**. Sem data. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html. Acesso: novembro, 2022.
10. QGIS. b. **Uma breve introdução ao SIG: Dado Vetorial**. Sem data. Disponível em: https://docs.qgis.org/2.8/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html. Acesso: novembro, 2022.

11. QGIS. c. **Uma breve introdução ao SIG: Dados Raster**. Sem data. Disponível em:
https://docs.qgis.org/2.8/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html.
Acesso: novembro, 2022.
12. Rosen, G. 1994. **Uma história da Saúde Pública**. São Paulo: UNESP/Hucitec/ABRASCO.
13. SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto**. Ministério do Desenvolvimento. Brasília. 2018. Disponível em: <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>. Acesso: novembro, 2022.

APÊNDICE A

O Apêndice A apresenta a planilha gerada pelo plugin DimRedEsg. São suprimidas algumas colunas que não agregam aos cálculos, as colunas suprimidas foram: auxID, aux01, aux02, auxEE, auxDiamet, auxTrecho, auxDecAdot e network01.

Tabela 2 - Planilha gerada pelo plugin DimRedEsg - Parte 1

Local	NomeTrecho	Diametro	extensao	vazaoIP	vLinearFP	vMontante	vTrecho	vTotal	vAdotada	CotTerrMon	CotTerrJus	DecTerreno
Rua A	TL1 ~ PV2	100	87,79	1,294	0,002	0	0,176	0,176	1,5	258,768	258,581	0,0021
Rua A	PV2 ~ PV5	100	92,01	1,294	0,002	0,176	0,184	0,36	1,5	258,581	258,391	0,0021
Rua A	TL3 ~ PV4	100	92,95	1,294	0,002	0	0,186	0,186	1,5	257,913	258,122	-0,0022
Rua A	PV4 ~ PV5	100	92,95	1,294	0,002	0,186	0,186	0,372	1,5	258,122	258,391	-0,0029
Rua C	PV5 ~ PV6	100	41,98	1,294	0,002	0,731	0,084	0,815	1,5	258,391	257,905	0,0116
Rua B	TL7 ~ PV8	100	94,17	1,294	0,002	0	0,188	0,188	1,5	258,891	257,563	0,0141
Rua B	PV8 ~ PV6	100	94,17	1,294	0,002	0,188	0,188	0,377	1,5	257,563	257,905	-0,0036
Rua B	PV6 ~ PV10	100	92,9	1,294	0,002	1,192	0,186	1,378	1,5	257,905	257,6	0,0033
Rua B	TL9 ~ PV10	100	93	1,294	0,002	0	0,186	0,186	1,5	257,957	257,6	0,0038
Área Verde	PV10 ~ PV20	100	57,74	1,294	0,002	1,564	0,115	1,679	1,679	257,6	256,854	0,0129
Área Verde	PV20 ~ PV22	100	57,74	1,294	0,002	1,679	0,115	1,795	1,795	256,854	256,909	-0,001

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 3 - Planilha gerada pelo plugin DimRedEsg - Parte 2

NomeTrecho	DecMinima	DecAdotada	CotRedeMon	CotRedeJus	ProfuPVMon	ProfuPVJus	TuboQueda	LamLiq_D	Velocidade	VeloCrit	TensaoTrat
TL1 ~ PV2	0,0049	0,0049	257,668	257,238	1,1	1,343	0	0,581	0,632	1,544	1,285
PV2 ~ PV5	0,0049	0,0049	257,238	256,787	1,343	1,604	0,885	0,581	0,632	1,544	1,285
TL3 ~ PV4	0,0049	0,0049	256,813	256,358	1,1	1,764	0	0,581	0,632	1,544	1,285
PV4 ~ PV5	0,0049	0,0049	256,358	255,902	1,764	2,489	0	0,581	0,632	1,544	1,285
PV5 ~ PV6	0,0049	0,0049	255,902	255,696	2,489	2,209	0	0,581	0,632	1,544	1,285
TL7 ~ PV8	0,0049	0,0141	257,791	256,463	1,1	1,1	0	0,336	0,837	1,103	2,641
PV8 ~ PV6	0,0049	0,0049	256,463	256,002	1,1	1,903	0	0,581	0,632	1,544	1,285
PV6 ~ PV10	0,0049	0,0049	255,696	255,241	2,209	2,359	0	0,581	0,632	1,544	1,285

TL9 ~ PV10	0,0049	0,0049	256,857	256,401	1,1	1,199	1,16	0,581	0,632	1,544	1,285
PV10 ~ PV20	0,0049	0,0049	255,241	254,958	2,359	1,896	0	0,477	0,586	1,428	1,189
PV20 ~ PV22	0,0049	0,0049	254,958	254,675	1,896	2,234	0	0,496	0,596	1,464	1,219

Fonte: Autor, 2023.

APÊNDICE B

O Apêndice B apresenta a planilha desenvolvida no Excel para fim de comparação.

Tabela 4 - planilha desenvolvida no Excel - Parte 1

Trecho	Extensão (M)	Tx Cont. Linear Fp (L/S.M)	Tx Cont. Linear Ip (L/S.M)	Cont. Trecho (L/S)	Vazão De Mont (L/S)	Vazão De Jusan (L/S)	Vazão De Proj (L/S)	Diam (M)	Cota Do Terreno Mont (M)	Cota Do Terreno Jusan (M)	Decliv Do Terreno (M/M)
TL1-PV2	87,790	0,002	1,294	0,176	0,000	0,176	1,500	0,100	258,768	258,582	0,0021
PV2-PV5	92,010	0,002	1,294	0,184	0,176	0,360	1,500	0,100	258,581	258,391	0,0021
TL3-PV4	92,950	0,002	1,294	0,186	0,000	0,186	1,500	0,100	257,913	258,122	-0,0022
PV4-PV5	92,950	0,002	1,294	0,186	0,186	0,372	1,500	0,100	258,122	258,391	-0,0029
PV5-PV6	41,980	0,002	1,294	0,084	0,731	0,815	1,500	0,100	258,391	257,905	0,0116
TL7-PV8	94,170	0,002	1,294	0,188	0,000	0,188	1,500	0,100	258,891	257,563	0,0141
PV8-PV6	94,170	0,002	1,294	0,188	0,188	0,377	1,500	0,100	257,563	257,905	-0,0036
PV6-PV10	92,900	0,002	1,294	0,186	1,192	1,378	1,500	0,100	257,905	257,600	0,0033
TL9-PV10	93,000	0,002	1,294	0,186	0,000	0,186	1,500	0,100	257,957	257,600	0,0038
PV10-PV20	57,740	0,002	1,294	0,115	1,564	1,679	1,679	0,100	257,600	256,854	0,0129
PV20-PV22	57,740	0,002	1,294	0,115	1,679	1,795	1,795	0,100	256,854	256,909	-0,0010

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 5 - planilha desenvolvida no Excel - Parte 2

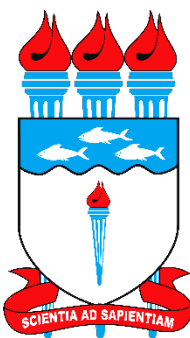
Trecho	Decliv Min (M/M)	Decliv Adotada (M/M)	Cota Do Coletor Mont (M)	Cota Do Coletor Jusan (M)	Profund. Do Pv Mont (M)	Profund. Do Pv Jusan (M)	Qp	Q/Qp	Lâmina Líquida (Y/D)
TL1-PV2	0,0049	0,0049	257,668	257,240	1,100	1,342	3,609	0,416	0,584
PV2-PV5	0,0049	0,0049	257,240	256,792	1,341	1,599	3,609	0,416	0,584
TL3-PV4	0,0049	0,0049	256,813	256,360	1,100	1,762	3,609	0,416	0,584

PV4-PV5	0,0049	0,0049	256,360	255,907	1,762	2,484	3,609	0,416	0,584
PV5-PV6	0,0049	0,0049	255,907	255,701	2,484	2,204	3,619	0,414	0,581
TL7-PV8	0,0049	0,0141	257,791	256,463	1,100	1,100	6,140	0,244	0,336
PV8-PV6	0,0049	0,0049	256,463	256,004	1,100	1,901	3,609	0,416	0,584
PV6-PV10	0,0049	0,0049	255,701	255,249	2,204	2,351	3,609	0,416	0,584
TL9-PV10	0,0049	0,0049	256,857	256,404	1,100	1,196	3,609	0,416	0,584
PV10-PV20	0,0049	0,0049	255,249	254,966	2,351	1,888	3,619	0,464	0,477
PV20-PV22	0,0049	0,0049	254,966	254,685	1,888	2,224	3,609	0,497	0,497

Fonte: Autor, 2023.

APÊNDICE C

Segue neste Apêndice o Manual de Uso do plugin DimRedEsg. Nele é apresentado o memorial de cálculo onde são apresentadas todas as equações utilizadas no dimensionamento, assim como uma descrição de como utilizar o plugin e para que serve cada campo da tabela de atributos.



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS**

Manual de Uso do Plugin DimRedEsg para o QGIS

Versão Atual: 1.0

Versão do QGIS suportada: 3.xx

Plugin DimRedEsg foi desenvolvido para o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nélia Henriques Callado

Coorientador: Prof. Dr. William Wagner Matos Lira

Autor: Alexandre Cavalcante de Oliveira

Maceió-AL

2023

A mais de um século é conhecida a relação entre o saneamento e a saúde pública de uma região (Rosen, 1994). No Brasil, as campanhas sanitárias do início do século XX foram responsáveis por reduzir e até mesmo erradicar doenças endêmicas e epidemias. No entanto, com a desigualdade social, ainda existem áreas com precária infraestrutura de saneamento e saúde, o que contribui para índices relativamente elevados de mortalidade infantil, morbidade e mortalidade causadas por doenças diarreicas e parasitoses intestinais (Ministério da Saúde, 2004). A fim de alcançar a universalização dos serviços de saneamento básico, a Lei N° 14.026 de julho de 2020 estabelece o índice de 90% da população atendida por serviço de coleta e tratamento de esgoto até o ano de 2033. Sendo assim, para contribuir com a ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário, o plugin DimRedEsg foi desenvolvido a fim de otimizar a etapa de dimensionamento de redes coletoras de esgoto com uso do QGIS.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Interface do plugin DimRedEsg.	57
Figura 2 - Cenário 1 de inclinações	59
Figura 3 - Cenário 2 de inclinações	59
Figura 4 - Cenário 3 de inclinações	60
Figura 5 – Relações dos elementos hidráulicos entre seção parcialmente cheias e seção plena	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos campos da tabela de atributos	61
Tabela 2 - Relações dos elementos hidráulicos	69

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Contribuição linear de vazão	64
Equação 2 - Inclinação mínima.....	64
Equação 3 - Relação entre vazão de projeto e à seção plena.....	65
Equação 4 - Vazão à seção plena	65
Equação 5 - Parâmetro Y/D - Parte 1	66
Equação 6 - Parâmetro Y/D - Parte 2	66
Equação 7 - Velocidade do fluxo	66
Equação 8 - Fórmula de Maning.....	67
Equação 9 - Velocidade crítica	67
Equação 10 - Tensão trativa.....	67

SUMÁRIO

Índice de Figuras	52
Índice de Tabelas	53
Índice de Equações	54
1 Requisitos	56
2 Funcionamento do Plugin	57
2.1 Interface Gráfica do Plugin	57
2.2 Visão Geral do Funcionamento	57
2.2.1 Inclinação dos Trechos.....	59
2.2.2 Vazão dos Trechos.....	60
3 Descrição dos campos da tabela de atributos	61
4 Memorial de Cálculo	64
5 Referências.....	68
6 Anexo.....	69

1 REQUISITOS

O plugin DimRedEsg é uma ferramenta SIG desenvolvida utilizando linguagem de programação Python, tendo como auxílio a biblioteca PyQGIS que permite interagir com o software QGIS. Todos os cálculos utilizados no dimensionamento estão de acordo com a norma brasileira NBR 9649/1986. Os seguintes requisitos são necessários para o funcionamento adequado do plugin:

- O plugin é compatível com todas as versões 3.XX do QGIS;
- A rede coletora de esgoto deve ser armazenada em um arquivo de formato SHP;
- O modelo digital de elevação (MDE) deve ser armazenado no formato TIFF (imagem Raster);
- A camada SHP e Raster deverão estar georreferenciadas através do sistema de coordenadas UTM, que usa o metro como unidade de medida;
- Cada feição do arquivo SHP deve armazenar apenas um trecho;
- Recomenda-se que seja utilizado geometria reta (apenas 2 vértices) para representar a tubulação;
- É imprescindível que os vértices que conectam 2 trechos estejam exatamente sobrepostos (é recomendado o uso da ferramenta de aderência).

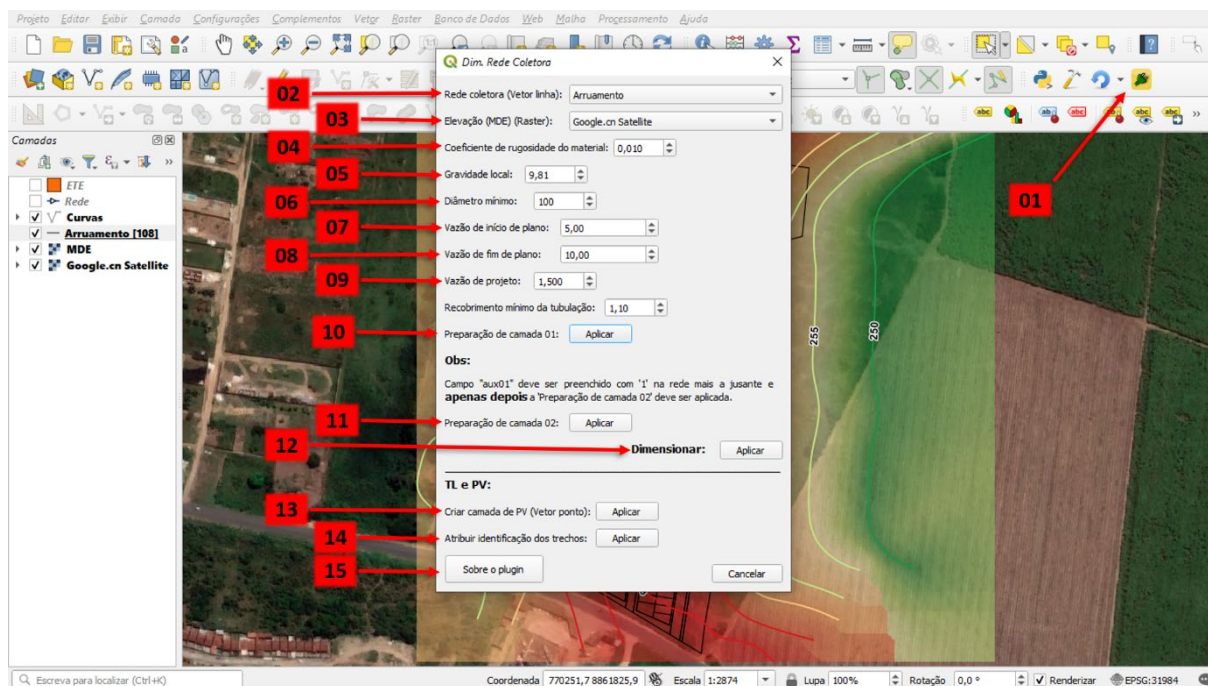
Vale ressaltar que a definição adequada das declividades em um projeto de rede coletora de esgoto está diretamente ligada às características do terreno. Essa relação é crucial, pois influencia o traçado das tubulações e a determinação das profundidades necessárias. Caso ocorram erros na interpretação do terreno, pode-se incorrer em prejuízos significativos, uma vez que movimentações de terra onerosas podem ser necessárias. Por esse motivo, é de extrema importância contar com uma representação precisa do terreno, visando assegurar a assertividade do projeto e evitar custos desnecessários.

2 FUNCIONAMENTO DO PLUGIN

2.1 INTERFACE GRÁFICA DO PLUGIN

A Figura 1 exibe a interface gráfica do plugin, destacando os botões que serão explicados a seguir.

Figura 1 – Interface do plugin DimRedEsg.



Fonte: Autor, 2023.

Ao avaliar a sequência numérica presente na Figura 1, é possível entender o funcionamento do plugin DimRedEsg. As seguintes funções são apresentadas na imagem:

1. Ícone do plugin rede DimRedEsg presente na barra de ferramentas do QGIS. Ao clicar neste botão é aberta a interface gráfica do plugin;
2. Barra responsável por apresentar todas as camadas do formato SHP. Nela é escolhida a camada que guarda as informações de rede;
3. Barra responsável por apresentar todas as camadas do formato raster. Nela é escolhida a camada que guarda as informações de elevação do terreno;
4. Caixa responsável por armazenar valor do coeficiente de rugosidade do material escolhido para a rede de esgotamento sanitário. Valor padrão é 0,010 (Coef. de rugosidade do PVC);
5. Caixa responsável por armazenar valor da gravidade do local de estudo. Valor padrão é 9,81 m/s² (Gravidade ao nível do mar);

6. Caixa responsável por armazenar valor do diâmetro mínimo utilizado na rede coletora de esgoto. Valor padrão é 100 (Mínimo permitido pela NBR 9649/1986);
7. Caixa responsável por armazenar valor de vazão de início de plano;
8. Caixa responsável por armazenar valor de vazão de fim de plano;
9. Caixa responsável por armazenar valor de vazão de projeto. Valor padrão é 1,5 l/s (Mínimo estabelecido pela NBR 9649/1986);
10. Define qual o recobrimento mínimo da tubulação;
11. Botão responsável por criar todos os campos necessários na tabela de atributos para o dimensionamento da rede coletora;
12. Botão responsável por realizar a preparação que a camada de rede necessita para que seja efetuado o dimensionamento. Esta função extrai todos os dados necessários para a tabela de atributos, a fim executar o dimensionamento;
13. Botão responsável pela correção do sentido do escoamento;
14. Botão responsável por identificar os trechos que estejam agrupados numa mesma rede. Assim, pode ser identificado um trecho solto ou divisão de bacias de contribuição;
15. Botão responsável pelo pré-dimensionamento da rede. Deste modo, apenas as vazões e as profundidades são calculadas. Útil na etapa do traçado da rede, quando dimensionar o diâmetro da rede ainda não é fundamental;
16. Botão responsável pelo dimensionamento em si de todos os trechos do sistema;
17. Botão responsável pela criação de uma camada de ponto onde é guardada informações de PV e TL. Vale ressaltar que esta camada é temporária e caso queira guardar a informação de forma permanente, é necessário exportar para camada no formato SHP;
18. Botão responsável por nomear todos os trechos, PVs e TLs;
19. Botão retorna a abertura de um arquivo PDF contendo o manual de instruções do plugin, assim como o memorial de cálculo.

2.2 VISÃO GERAL DO FUNCIONAMENTO

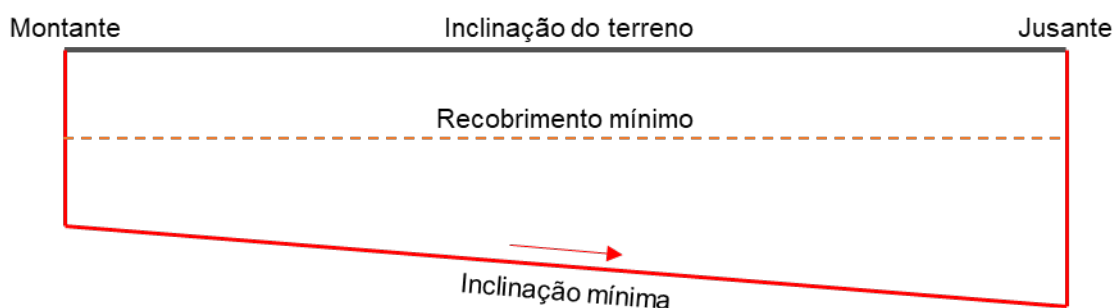
O plugin DimRedEsg utiliza o arquivo SHP como base para armazenar os dados de entrada e saída do dimensionamento, sendo esse armazenamento feito na tabela de atributos. Vale ressaltar que armazenar os dados na tabela de atributos

apresenta vantagens pois possibilita o uso das ferramentas de análise do QGIS, além de poder ser facilmente convertida em planilha eletrônica.

2.2.1 INCLINAÇÃO DOS TRECHOS

O plugin foi projetado para ter máxima eficiência em termos de profundidade da tubulação. Dessa forma, todas as inclinações são calculadas visando manter apenas o recobrimento mínimo da tubulação e ao mesmo tempo respeitando as inclinações mínimas calculadas. Deste modo, os seguintes cenários foram idealizados:

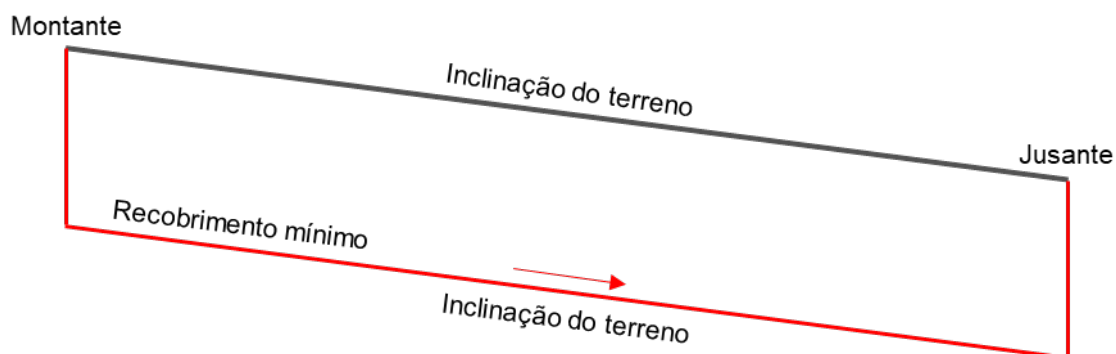
Figura 2 - Cenário 1 de inclinações



Fonte: Autor, 2023.

O cenário 1 acontece quando, mesmo utilizando a inclinação mínima do tubo, o recobrimento mínimo é garantido. Neste caso a inclinação mínima é adotada.

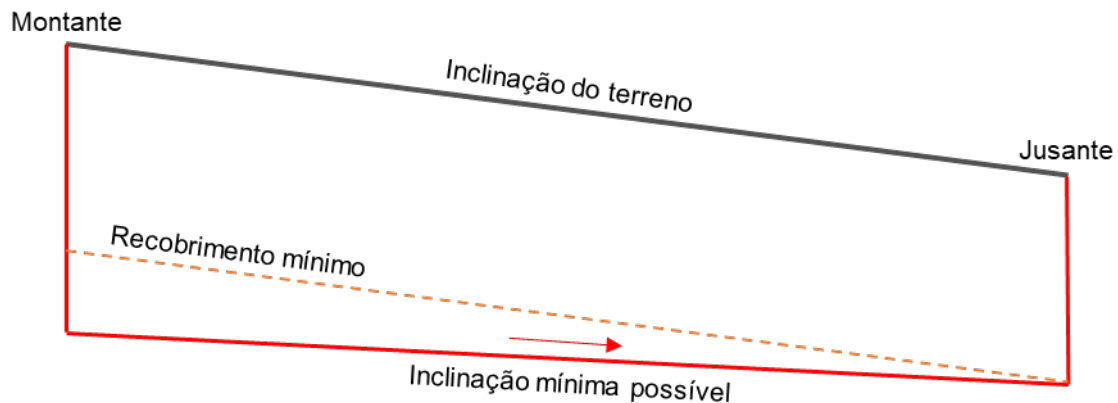
Figura 3 - Cenário 2 de inclinações



Fonte: Autor, 2023.

O cenário 2 acontece quando a inclinação do terreno é maior que a mínima e o ponto montante possui profundidade igual ao valor de recobrimento mínimo. Neste caso a inclinação do terreno é adotada, assim garantindo que no ponto jusante o recobrimento mínimo será respeitado.

Figura 4 - Cenário 3 de inclinações



Fonte: Autor, 2023.

O cenário 3 acontece quando a inclinação do terreno é maior que a mínima e o ponto montante possui profundidade maior que o valor de recobrimento mínimo. Este é um cenário interessante pois possibilita a redução da profundidade da tubulação, assim a declividade adotada é a menor possível, respeitando a inclinação e o recobrimento mínimo.

2.2.2 VAZÃO DOS TRECHOS

A vazão de uma rede de esgoto é calculada por meio de diversos fatores. Inicialmente, é necessário dividir a vazão de fim de plano pela extensão total da rede, a fim de obter a contribuição linear de cada trecho. Em seguida, é realizada a soma das contribuições lineares de cada trecho que antecede o trecho de estudo, a fim de se obter a vazão de montante (ou vazão de marcha).

Após o cálculo da vazão de montante, a vazão do trecho em questão é somada à vazão de montante, para se obter a vazão de jusante. Esta vazão é então comparada com a vazão de projeto estabelecida para a rede de esgoto.

Por fim, a vazão adotada é a maior vazão entre a vazão de jusante e a vazão de projeto. Esse cálculo é importante para garantir que a rede de esgoto tenha a capacidade necessária para suportar o fluxo de esgoto e evitar problemas como entupimentos e transbordamentos.

3 DESCRIÇÃO DOS CAMPOS DA TABELA DE ATRIBUTOS

A tabela de atributos é utilizada pelo plugin como ferramenta para entrada e saída de dados. Assim, modificar a tabela de atributos é uma forma de modelar o sistema do qual se quer dimensionar.

Tabela 1 – Descrição dos campos da tabela de atributos

Nome	Tipo	Tamanho /Precisão	Preench. Auto.	Unidade	Legenda
auxID	Inteiro	10	Sim	--	Utilizado para identificar os trechos.
aux01	Inteiro	10	Não	--	Se preenchido com '1', identifica trecho como o mais a jusante da rede. 1 ou mais trechos podem ser identificados como trecho mais a jusante da rede, isto depende do número de bacias do sistema e quantos tubos chegam ao mesmo ponto de jusante.
aux02	Inteiro	10	Sim	--	Identificação dos trechos que possuem ponta seca.
auxEE	Real	3	Não	--	Se preenchido, transforma tubo coletor em tubo de recalque. O valor preenchido será utilizado como coeficiente para multiplicar "vTotal". Isto permite simular uma Estação Elevatória no sistema.
Local	Texto	200	Não	--	Campo reservado para descrição do endereço do tubo.
NomeTrecho	Texto	200	Sim	--	Local destinado para o nome do trecho.
auxDiamet	Inteiro	10	Não	--	Se preenchido com '1', o valor preenchido no campo "Diametro" será fixado. Esta opção permite a escolha manual do diâmetro pelo usuário.
Diametro	Inteiro	10	Sim	mm	Diâmetro calculado com base em "LamLiqY_D" do trecho. Ou preenchido pelo usuário caso "auxDiamet" preenchido com 1.
extensao	Real	3	Sim	m	Extensão da tubulação. Extraída automaticamente da geometria da feição.
vazaoIP	Real	3	Sim	l/s	Vazão de Início de Plano, coletado da informação fornecida pelo usuário na interface gráfica. Pode ser alterado manualmente caso o sistema possua vazões diferentes para cada bacia de contribuição.
vLinearFP	Real	3	Sim	l/s	Contribuição linear da Vazão de Fim de Plano, coletado da informação fornecida pelo usuário na interface gráfica. Pode ser alterado manualmente caso o sistema possua vazões diferentes para cada bacia de contribuição.

Nome	Tipo	Tamanho /Precisão	Preench. Auto.	Unidade	Legenda
vMontante	Real	3	Sim	l/s	Vazão Montante.
auxTrecho	Inteiro	10	Não	--	Se preenchido com '1', o valor preenchido no campo "vTrecho" será fixado. Esta opção permite a escolha manual da vazão do trecho pelo usuário. Útil para inserir grandes vazões pontuais.
vTrecho	Real	3	Sim	l/s	Vazão calculada a partir da contribuição linear. Ou preenchido pelo usuário caso "auxTrecho" preenchido com 1.
vTotal	Real	3	Sim	l/s	Vazão Total (ou Vazão de Jusante) é a soma de "vMontante" e "vTrecho".
vAdotada	Real	3	Sim	l/s	Vazão adotada, trata-se do maior valor entre "vTotal" e Vazão de projeto.
CotTerrMon	Real	3	Sim	m	Cota do terreno à montante.
CotTerrJus	Real	3	Sim	m	Cota do terreno à jusante.
DecTerreno	Real	4	Sim	m/m	Declividade do terreno.
DecMinima	Real	4	Sim	m/m	Declividade mínima do trecho, calculada a partir de "vazaolP".
auxDecAdot	Inteiro	10	Não	--	Se preenchido com '1', o valor preenchido no campo "DecAdotada" será fixado. Esta opção permite a escolha manual da declividade do trecho pelo usuário. Útil para resolver problemas de tensão trativa e velocidade do trecho.
DecAdotada	Real	4	Sim	m/m	Declividade adotada calculada a partir de vários parâmetros analisados pelo plugin. Ou preenchido pelo usuário caso "auxDecAdot" preenchido com 1.
CotRedeMon	Real	3	Sim	m	Cota à montante (início) da tubulação.
CotRedeJus	Real	3	Sim	m	Cota à jusante (fim) da tubulação.
ProfuPVMon	Real	3	Sim	m	Profundidade do PV à montante.
ProfuPVJus	Real	3	Sim	m	Profundidade do PV à jusante.
TuboQueda	Real	3	Sim	m	Caso exista a necessidade, é informado o comprimento do tubo de queda.
LamLiqY_D	Real	3	Sim	--	Lâmina líquida do trecho.

Nome	Tipo	Tamanho /Precisão	Preench. Auto.	Unidade	Legenda
Velocidade	Real	3	Sim	m/s	Velocidade do trecho.
VeloCrit	Real	3	Sim	m/s	Velocidade crítica do trecho.
TensaoTrat	Real	3	Sim	Pa	Tensão Trativa.
network01	Inteiro	10	Sim	--	Avalia a conectividade da rede. Assim, os trechos são categorizados de acordo com a bacias em que estão inseridos. É útil também para avaliar se algum trecho está solto (vértices não sobrepostos).

Fonte: Autor, 2023.

4 MEMORIAL DE CÁLCULO

Ao dimensionar uma rede coletora de esgoto, diversas fórmulas e equações são utilizadas para garantir o seu correto dimensionamento. Essas equações são fundamentais para determinar parâmetros como vazão de projeto, diâmetro mínimo da tubulação, profundidade mínima da tubulação, velocidade de escoamento, dentre outros.

O objetivo deste manual é apresentar as principais fórmulas e equações utilizadas pelo plugin de dimensionamento de redes coletoras de esgoto. Com esse conhecimento, o usuário poderá entender o funcionamento do plugin e realizar o dimensionamento da rede coletora de esgoto de forma mais eficiente e precisa.

É importante ressaltar que essas fórmulas devem ser utilizadas de acordo com as normas técnicas estabelecidas pela NBR 9649/1986, que fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto hidráulico-sanitário de redes coletoras de esgoto sanitário.

A seguir, serão apresentadas as principais fórmulas e equações utilizadas no processo de dimensionamento da rede coletora de esgoto.

Cálculos dos campos:

Obs.: Texto entre aspas duplas se refere ao valor do campo da tabela de atributos. Exemplo: "extensao" é igual ao valor do comprimento, em metros, do trecho.

- **Diametro:**

O diâmetro da tubulação inicia com o valor mínimo definido pelo usuário, se o parâmetro lâmina líquida não atender os requisitos da NBR 9649/1986 o diâmetro é aumentado em 50 mm. Este processo é repetido até que a lâmina líquida atinja os valores desejados.

- **vLinearFP:**

Equação 1 - Contribuição linear de vazão

$$\text{"vLinearFP"} = \frac{\text{VazãoFP}}{\text{Extensão total}} \times \text{"extensao"}$$

Fonte: Callado, 2021.

- **DecMinima:**

Equação 2 - Inclinação mínima

$$\text{"DecMinima"} = 0,006 \times \text{"vazaoIP"}^{-0,47}$$

Fonte: Callado, 2021.

- **LamLiqY_D:**

O parâmetro Y/D é calculado a partir das relações dos elementos hidráulicos entre seção parcialmente cheias e seção plena. Assim, tendo a divisão:

Equação 3 - Relação entre vazão de projeto e à seção plena

$$\frac{q}{Qp} = \frac{"vAdotada"}{vazão\ à\ seção\ plena}$$

Fonte: Callado, 2021.

Sendo Qp calculado por:

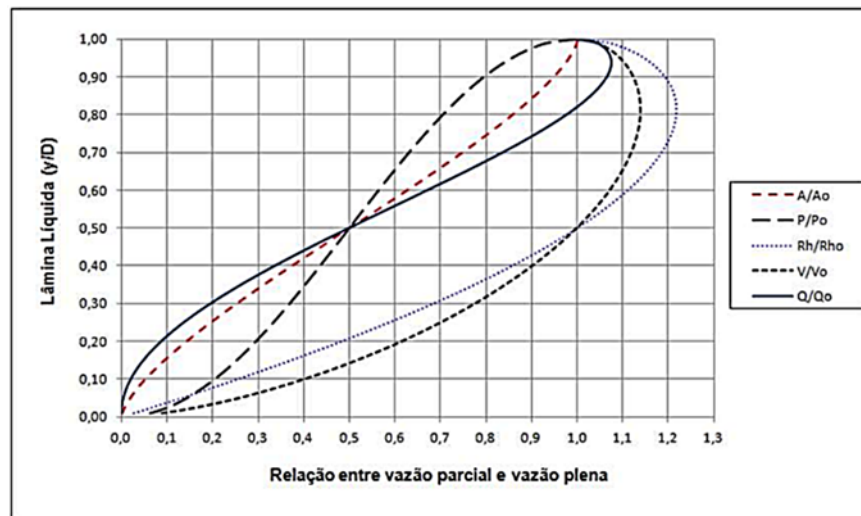
Equação 4 - Vazão à seção plena

$$Qp = 24 * \left(\left(\frac{"Diametro"}{1000} \right)^{\frac{8}{3}} \right) * ("DecAdotada")^{\frac{1}{2}} * 1000$$

Fonte: Callado, 2021.

É possível obter Y/D utilizando as seguintes equações extraídas da curva do ábaco da Figura 5:

Figura 5 – Relações dos elementos hidráulicos entre seção parcialmente cheias e seção plena



Fonte: Callado, 2021.

Se $q/Q_p \leq 0,45$:

Equação 5 - Parâmetro Y/D - Parte 1

$$\text{"LamLiqY_D"} = \left(14,308 * \frac{q^3}{Q_p^3}\right) - \left(8,8566 * \frac{q^2}{Q_p^2}\right) + \left(2,5157 * \frac{q}{Q_p}\right) + 0,0411$$

Fonte: Callado, 2021.

Se $q/Q_p > 0,45$:

Equação 6 - Parâmetro Y/D - Parte 2

$$\text{"LamLiqY_D"} = \left(0,3761 * \frac{q^3}{Q_p^3}\right) - \left(0,6581 * \frac{q^2}{Q_p^2}\right) + \left(0,9591 * \frac{q}{Q_p}\right) + 0,1363$$

Fonte: Callado, 2021.

Caso o parâmetro Y/D ("LamLiqY_D") não atenda os requisitos da NBR 9649/1986 o diâmetro é aumentado em 50 mm e o parâmetro Y/D é recalculado. Este processo é repetido até que a lâmina líquida atinja os valores desejados.

- Velocidade:

Tendo o valor Y/D, utiliza-se a Tabela 2 para se obter o valor de Z2 e através da seguinte equação obter o valor da velocidade do fluido:

Equação 7 - Velocidade do fluxo

$$\text{"Velocidade"} = Z_2 * C\sqrt{r * I}$$

Fonte: Callado, 2021.

Onde:

Equação 8 - Fórmula de Maning

$$C = \frac{R_H^{\frac{1}{6}}}{\eta}$$

Fonte: Callado, 2021.

Sendo η o coeficiente de rugosidade de Maning.

- **VeloCrit:**

A velocidade crítica do trecho é calculada através da seguinte equação:

Equação 9 - Velocidade crítica

$$\text{"VeloCrit"} = 6 * R_H * g$$

Fonte: Callado, 2021.

Onde:

R_H = Raio hidráulico;

g = Aceleração da gravidade.

- **TensaoTrat:**

A tensão trativa é calculada através da seguinte equação:

Equação 10 - Tensão trativa

$$\text{"TensaoTrat"} = \gamma * R_H * \text{"DecAdotada"}$$

Fonte: Callado, 2021.

Onde:

γ = Peso específico da água = 10^4 N/m³.

5 REFERÊNCIAS

1. ABNT NBR 9649 - **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.
2. Alem Sobrinho, P.; Tsutiya, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2ª ed. São Paulo: departamento de engenharia hidráulica e sanitária, 2000. 547p.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. **Organização Pan-Americana da Saúde. Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento**: marco conceitual e estratégia metodológica. Brasília. 2004. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/AvaliaC3A7ao+de+impacto+na+saude+das+aC3A7oes+de+saneamento.pdf/9d28b0ee-2beb-4976-ab03-4f03b0512a69>. Acesso: novembro, 2022.
4. Callado, Nélia Henriques. **Evolução e Situação Atual Dos Sistemas De Esgotamento Sanitário E Pluvial**: Tipos De Sistemas. Universidade Federal De Alagoas. Centro de Tecnologia. 2021.
5. Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz. **Saneamento e Saúde**: Coleção Saúde, Ambiente e Sustentabilidade. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/46304/06_saneamento.pdf;jsessionid=6889EA792DB6CF15378B5211EEBB25A3?sequence=2. Acesso: novembro, 2022.
6. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**: Visão estratégica para o futuro do saneamento básico no Brasil. Brasília. 2014. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/panorama_vol_06.pdf. Acesso: novembro, 2022.
7. Rosen, G. 1994. **Uma história da Saúde Pública**. São Paulo: UNESP/Hucitec/ABRASCO.
8. SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático**: Serviços de Água e Esgoto. Ministério do Desenvolvimento. Brasília. 2018. Disponível em: <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>. Acesso: novembro, 2022.

6 ANEXO

A Tabela que relaciona Y/D com os demais parâmetros hidráulicos Z1, Z2, Z3, Z4, Z5 e Z6.

Tabela 2 - Relações dos elementos hidráulicos

Altura de água	Seção molhada	Perímetro molhado	Raio hidráulico	Velocidade	Vazão
$Z_1 = \frac{h}{r}$	$Z_2 = \frac{A}{r^2}$	$Z_3 = \frac{P}{r}$	$Z_4 = \frac{R_H}{r}$	$Z_5 = \frac{V}{C\sqrt{r * I}}$	$Z_6 = \frac{Q}{C\sqrt{r^5 * I}}$
0,050	0,021	0,635	0,033	0,182	0,004
0,100	0,059	0,902	0,065	0,255	0,015
0,150	0,107	1,110	0,096	0,311	0,033
0,200	0,163	1,287	0,127	0,356	0,058
0,250	0,227	1,445	0,157	0,397	0,090
0,300	0,295	1,591	0,186	0,431	0,127
0,350	0,370	1,726	0,214	0,462	0,171
0,400	0,447	1,855	0,241	0,491	0,220
0,450	0,529	1,977	0,268	0,518	0,274
0,500	0,614	2,094	0,293	0,542	0,333
0,550	0,702	2,208	0,327	0,571	0,412
0,600	0,793	2,319	0,342	0,585	0,464
0,650	0,885	2,426	0,365	0,604	0,545
0,700	0,980	2,532	0,387	0,622	0,610
0,750	1,075	2,630	0,408	0,638	0,639
0,800	1,173	2,739	0,429	0,655	0,768
0,850	1,272	2,840	0,448	0,669	0,851
0,900	1,371	2,941	0,468	0,684	0,941
0,950	1,471	3,042	0,484	0,695	1,023
1,000	1,571	3,142	0,500	0,707	1,111
1,050	1,671	3,241	0,530	0,718	1,199
1,100	1,711	3,342	0,548	0,728	1,289
1,150	1,870	3,443	0,515	0,739	1,378
1,200	1,969	3,544	0,555	0,745	1,467
1,250	2,067	3,653	0,566	0,752	1,556
1,300	2,162	3,751	0,576	0,759	1,641
1,350	2,257	3,857	0,585	0,765	1,726
1,400	2,349	3,964	0,593	0,770	1,808
1,450	2,449	4,075	0,598	0,774	1,887
1,500	2,528	4,189	0,603	0,777	1,963
1,550	2,613	4,307	0,607	0,779	2,035
1,600	2,694	4,428	0,608	0,780	2,102
1,650	2,773	4,557	0,608	0,780	2,163
1,700	2,846	4,692	0,607	0,779	2,216

Altura de água	Seção molhada	Perímetro molhado	Raio hidráulico	Velocidade	Vazão
1,750	2,915	4,838	0,602	0,776	2,262
1,800	2,978	4,996	0,597	0,773	2,301
1,850	3,035	5,173	0,587	0,766	2,324
1,900	3,082	5,381	0,573	0,757	2,355
1,950	3,121	5,648	0,553	0,744	2,321
2,000	3,142	6,283	0,500	0,707	2,221

Fonte: Callado, 2021.