MODELAGEM HIDRÁULICA GEORREFERENCIADA PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL DE REDES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO – UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE SANTOS

Márcio Antonio Milhoratti
Engenheiro Civil pela FEIS - UNESP, com Pós-graduação em Engenharia de Saúde Pública e Ambiental pela Universidade Santa Cecília e MBA em Gestão Empresarial com Ênfase em Gerenciamento de Projetos pela FGV. Atualmente atuando como engenheiro no Departamento de Manutenção e Serviços Operacionais – Unidade de Negócio Baixada Santista e como Professor em cursos de Graduação e Pós-graduação da ESAMC / Santos.

Endereço: Av. São Francisco, 128 - Centro - Santos - SP - CEP: 11013-201
Tel: +55 (13) 3278-3500 - Fax: +55 (13) 3278-3543
E-mail: mmilhoratti@sabesp.com.br; milhoratti@gmail.com

RESUMO

O crescimento urbano e a intensificação da verticalização aumentam a complexidade da gestão das redes de esgotamento sanitário. Este trabalho apresenta uma metodologia inovadora de modelagem hidráulica georreferenciada utilizando softwares livres, como o QGIS e o complemento QEsg, para simular o desempenho das redes coletoras de esgoto em operação e identificar áreas críticas de sobrecarga.

A abordagem baseia-se na integração de dados cadastrais, informações comerciais de consumo e Modelos Digitais de Terreno, permitindo análises detalhadas sem a necessidade de levantamentos topográficos convencionais. A validação das previsões do modelo foi realizada por meio de vistoria em campo, confirmando as previsões teóricas e indicando intervenções necessárias para otimizar o funcionamento do sistema. A metodologia proposta se destaca por sua agilidade e precisão, sendo recomendada para aplicação em sistemas críticos ou com históricos de falhas operacionais, contribuindo para a eficiência e sustentabilidade dos serviços de esgotamento sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidráulica; Georreferenciamento; Esgotamento sanitário.

CONTEÚDO DO TRABALHO

Introdução

A gestão eficiente das redes de esgoto é um desafio de grande relevância para as cidades modernas, especialmente diante do crescimento populacional e da urbanização acelerada. O desafio da universalização implica em desenvolver técnicas ágeis e confiáveis para acelerar todas as fases dos empreendimentos, incluindo as de desenvolvimento de novos projetos e de diagnóstico de sistemas em operação.

A metodologia de simulação de redes de esgoto em operação utilizando informações georreferenciadas surge como uma ferramenta essencial para avaliar a possibilidade de sobrecarga em trechos já em operação, desenvolvendo soluções para garantir a sustentabilidade dos serviços de esgotamento sanitário possibilitando a tomada de ações preventivas para evitar extravasamentos e otimizar o funcionamento dos sistemas.

O cadastro técnico das redes de esgoto, aliado a informações georreferenciadas de alta qualidade, como ortofotos, Modelos Digitais de Terreno (MDT) e o posicionamento preciso das ligações, desempenha um papel fundamental na operação e manutenção dessas infraestruturas. Essas informações permitem uma visualização detalhada e precisa da rede, facilitando a identificação de pontos críticos e a tomada de decisões informadas.

Além disso, a associação dessas informações com dados comerciais de consumo é vital para uma análise mais completa e precisa. O consumo de água está diretamente relacionado à geração de esgoto, e a integração desses dados possibilita uma previsão mais acurada das cargas na rede. Dessa forma, é possível avaliar a possibilidade de sobrecarga de redes em operação ou antecipar o impacto pela implantação de novos empreendimentos, planejando intervenções preventivas, garantindo a eficiência e a longevidade do sistema.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a possibilidade de sobrecarga em redes de esgoto em operação, utilizando uma metodologia de simulação baseada em informações georreferenciadas. Através dessa abordagem, busca-se contribuir para a melhoria contínua dos serviços de esgotamento sanitário, promovendo uma gestão mais eficaz e sustentável das redes de esgoto.

Caracterização da Região

Bacia de esgotamento da EEE11 – Tolentino Filgueiras, Bairro Gonzaga, Santos.

A região de estudos está localizada na região do Canal 3, no bairro Gonzaga, em Santos, SP. Esta área é conhecida por sua intensa verticalização, com muitos edifícios em uma das localidades mais dinâmicas e valorizados da cidade, oferecendo uma infraestrutura completa e uma variedade de serviços e comércio.

Santos é reconhecida como a cidade mais verticalizada do Brasil [1]. Segundo dados do Censo Demográfico de 2022, divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Santos possui 67,1% das moradias em unidades de apartamentos. Este crescimento significativo na quantidade de apartamentos reflete a tendência de urbanização e a preferência por moradias verticais na cidade.

A intensa verticalização, especialmente no bairro Gonzaga, tem implicações importantes para a gestão das redes de esgoto. A concentração de edifícios altos aumenta a densidade populacional e, consequentemente, a geração de esgoto. Isso exige uma infraestrutura robusta e bem planejada para garantir a eficiência dos serviços de esgotamento sanitário.

A caracterização detalhada da região, incluindo a análise da verticalização, é essencial para a elaboração de um modelo hidráulico preciso e eficaz. Com base nas informações georreferenciadas e nos dados de consumo aplicados precisamente nos pontos de geração e não sob forma distribuída pela média, é possível simular e avaliar com precisão a capacidade da rede de esgoto, identificando pontos críticos e planejando intervenções necessárias para evitar sobrecargas.

Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar metodologia para avaliar a possibilidade de sobrecarga em redes de esgoto em operação de forma georreferenciada e utilizando softwares livres e informações espaciais detalhadas como ferramenta essencial na gestão das redes de esgotamento sanitário. Com base em dados georreferenciados de alta precisão, busca-se automatizar os cálculos e otimizar todas as etapas do projeto, desde o diagnóstico da infraestrutura existente até a concepção de novas redes que atendam às demandas atuais e futuras.

Ao consolidar essa abordagem georreferenciada, espera-se contribuir significativamente para a melhoria da gestão do esgotamento sanitário, agilizando o projeto e diagnóstico, facilitando o monitoramento, manutenção e expansão das redes de esgoto, garantindo maior eficiência operacional dos serviços prestados, promovendo soluções inovadoras e um planejamento eficaz das redes de esgoto para atender de forma sustentável às demandas urbanas.

Metodologia Utilizada

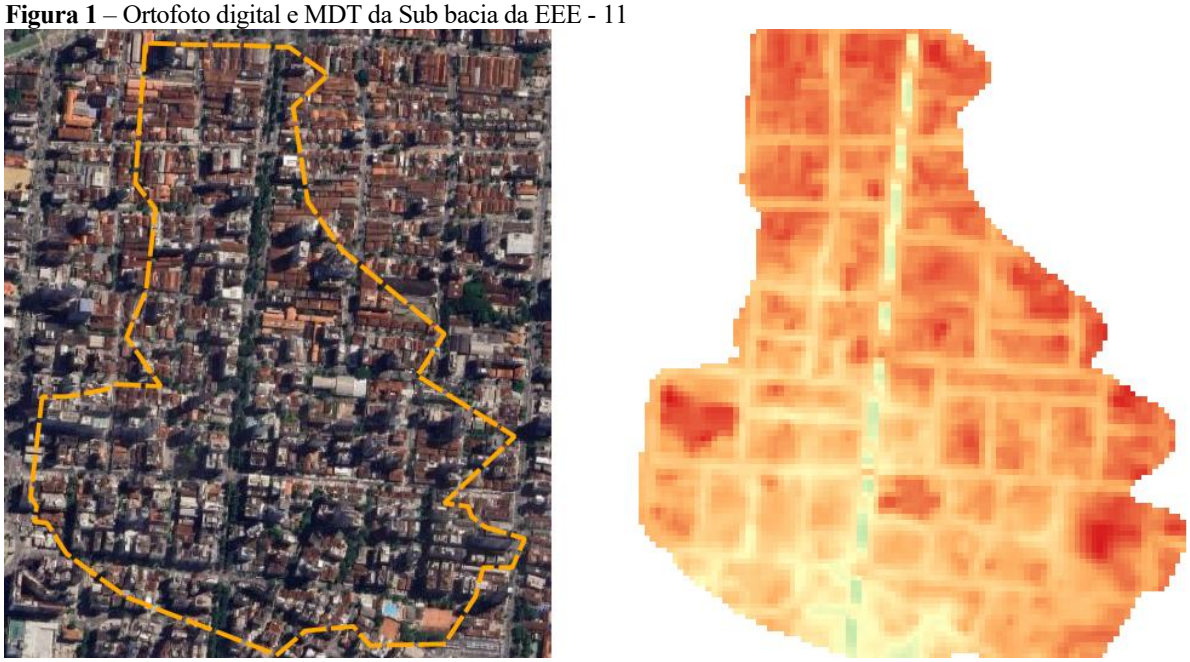
O georreferenciamento é uma ferramenta essencial para a operação eficiente dos sistemas de saneamento, permitindo uma gestão precisa e integrada das infraestruturas de esgoto. Em 2021, a Unidade de Negócio Baixada Santista, responsável pela operação dos serviços abastecimento e esgotamento sanitário na região metropolitana da Baixada Santista contratou o serviço de ortofotos digitais para as áreas urbanizadas. Essas ortofotos, geradas na escala 1:2000, juntamente com a nuvem de pontos laser obtida por LiDAR, onde foi obtido um ponto cotado a laser a cada 1,5 m^2 em toda a região urbanizada da Baixada Santista, foram ponto de partida para geração de um Modelo Digital de Terreno (MDT), tornado possível realizar estudos detalhados da topografia da região com relativa precisão, eliminando a necessidade de levantamentos topográficos convencionais em muitas situações.

O MDT gerado apresenta uma resolução espacial de **10 metros por pixel**, o que significa que cada unidade de informação representa uma área de 100 m^2 do terreno. Além disso, sua **precisão vertical de 0,10 metros** permite uma avaliação confiável das cotas altimétricas, garantindo análises técnicas fundamentadas. Essa precisão, superior outros modelos de informações disponíveis, como por exemplo a do satélite ALOS PALSAR, é essencial para o

planejamento e operação das redes de esgoto, pois influencia diretamente na modelagem hidráulica dos sistemas, permitindo estimativas mais assertivas das condições de escoamento. Tal condição possibilita a simulação de cenários diversos, facilitando estudos prospectivos para a expansão das redes e para o aprimoramento da infraestrutura existente.

Além disso a aplicação deste modelo digital no planejamento das redes de esgotamento sanitário traz benefícios significativos, como a redução de custos associados a levantamentos em campo, a otimização do tempo com relativa precisão das análises, garantindo um dimensionamento adequado das infraestruturas principalmente nas fases de estudo de concepção e na elaboração do projeto básico dos sistemas de esgotamento.

Figura 1 – Ortofoto digital e MDT da Sub bacia da EEE - 11



Cadastro Georreferenciado

Entre os anos de 2022 e 2025, foi realizado um trabalho de espacialização das ligações em campo utilizando GPS para toda a Baixada Santista. Esse esforço permitiu localizar com precisão cada ligação e permite associar à posição geográfica seus consumos mensais históricos. Com isso, as vazões de contribuição de esgoto puderam ser aplicadas diretamente nas regiões de consumo, ao invés de serem distribuídas de forma uniforme pela extensão da rede. Essa abordagem aumenta a precisão das simulações, especialmente em áreas que passaram por processos de verticalização acentuada.

O cadastro georreferenciado das redes coletoras de esgoto é fundamental para a agilidade na elaboração da modelagem matemática dos sistemas de esgotamento. A escolha do formato dos arquivos influencia diretamente a eficiência da modelagem hidráulica e a gestão das informações. Nos arquivos do AutoCAD, as redes coletoras são representadas por **linhas vetoriais simples, sem atributos associados**, o que dificulta a realização de análises avançadas. Essas linhas contêm apenas coordenadas espaciais, sem informações detalhadas sobre diâmetro das tubulações, material utilizado, profundidade, entre outros parâmetros essenciais para a simulação matemática dos sistemas de esgotamento.

Por outro lado, o modelo de cadastro baseado em **arquivos Shape** (**Shapefile**) apresenta vantagens substanciais para a modelagem hidráulica. Diferente do AutoCAD, onde as linhas são apenas representações gráficas, o SHP permite que cada segmento da rede contenha atributos técnicos detalhados, onde podem ser armazenadas informações sobre cada elemento, tais como:

- Diâmetro das tubulações;
- Material das redes coletoras (PVC, concreto, ferro fundido, etc.);
- Rugosidade de cada trecho;
- Cotas e profundidade dos poços;

- Vazões contribuintes aplicadas a cada poço;
- Ano de instalação.

Essas informações são fundamentais para a modelagem hidráulica, permitindo que os sistemas de esgotamento sejam simulados com maior agilidade e precisão.
Dessa forma, o uso de arquivos Shape para o cadastro georreferenciado das redes não apenas melhora a precisão dos estudos técnicos, mas também simplifica e agiliza a tomada de decisões estratégicas, garantindo maior eficiência operacional e sustentabilidade na gestão dos sistemas de esgotamento sanitário.

Resultados Obtidos

Foi realizado um estudo preliminar das redes da bacia de esgotamento EEE11 – Tolentino Filgueiras, localizada na cidade de Santos, com o objetivo de testar uma metodologia de simulação. A escolha dessa bacia se deu não pela sua criticidade, mas por tratar-se de uma região bem delimitada, com predominância de edificações verticalizadas e que opera de forma independente de outros sistemas, devido à presença de uma estação elevatória a jusante.

Para a análise, foram utilizados dados cadastrais extraídos do sistema Signos – Sistema de Informações Geográficas no Saneamento, incluindo e informações de consumo por ligação, obtidas do sistema comercial. A modelagem da rede foi conduzida utilizando o software **QGIS**, com o auxílio do complemento **QEsg**, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 9649.

A área de estudo está situada próxima à orla da cidade, nas imediações da Avenida Washington Luiz, Canal 3, no bairro Gonzaga, município de Santos. Além disso, foram considerados registros de serviços corretivos na rede coletora de esgoto realizados na região durante o ano de 2024

Metodologia para Elaboração do Modelo Hidráulico

A elaboração do modelo hidráulico das redes de esgotamento sanitário baseia-se na integração de dados georreferenciados, consumo e informações altimétricas, permitindo uma simulação precisa do comportamento da rede coletora. A metodologia aplicada neste estudo combina dados cadastrais detalhados, técnicas de geoprocessamento e processos automatizados para otimizar o planejamento e a gestão das infraestruturas de esgoto.

A base de dados utilizada consiste no Shapefile das redes cadastrais no sistema Signos, garantindo uma estrutura detalhada e georreferenciada da infraestrutura existente.

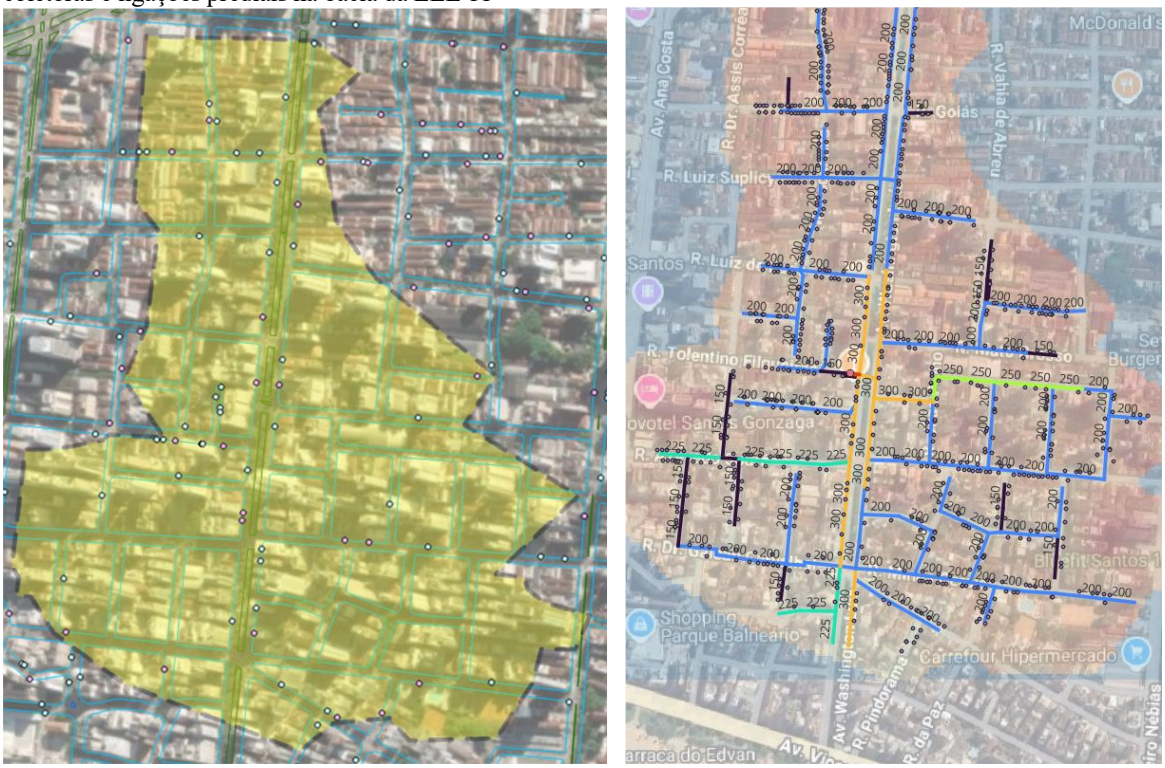
Para garantir a coerência dos cálculos de carga hidráulica, foram incorporados dados de consumo das ligações presentes na bacia, permitindo a estimativa da vazão gerada em cada segmento da rede, gerando um dimensionamento mais realista dos coletores e auxiliando na identificação de áreas com maior risco de sobrecarga.

A topografia da região foi determinada por meio do MDT gerado a partir da ortofoto Baixada Santista, garantindo a extração automática das cotas altimétricas sem necessidade de levantamentos topográficos em campo. Com resolução espacial de 10 metros por pixel e precisão vertical de 0,10 metros, esse MDT permite uma modelagem confiável da rede, otimizando a análise e garantindo um correto dimensionamento das tubulações.

O processo de distribuição de vazões foi realizado automaticamente através de ferramentas de geoprocessamento do software QGis, como a geração do polígono de Voronoi para determinar a área de influência de cada poço de visita e as ferramentas de estatística para totalizar o consumo das ligações dentro de cada área de influência, agilizando a simulação do comportamento da rede coletora. A automatização desse processo reduz o tempo necessário para ajuste dos parâmetros, facilitando a análise de múltiplos cenários, garantindo que os cálculos reflitam adequadamente as características de verticalização da ocupação urbana. A alta densidade populacional e o maior volume de esgoto gerado por edificações verticais exigem ajustes específicos para evitar distorções na previsão de carga hidráulica.

Com essa abordagem metodológica, o modelo hidráulico elaborado se apresenta como uma ferramenta robusta para análise da rede, garantindo maior precisão nas simulações.

Figura 2 – Ocorrências de desobstrução de rede e extravasamentos de esgotos em 2024 e espacialização das redes coletoras e ligações prediais na bacia da EEE 11



Modelagem Hidráulica e Confirmação das Previsões em Campo

A simulação hidráulica permitiu a comparação entre os diâmetros existentes e os calculados. A Figura 3 apresenta um detalhamento das redes cadastradas no Signos e os resultados da simulação. Os trechos destacados em amarelo indicam diâmetros projetados superiores aos existentes, sugerindo possível sobrecarga. A característica predominante de topografia plana na região favorece a análise dos resultados, uma vez que os caimentos mínimos normativos são adotados em todos os trechos, reduzindo significativamente a interferência da declividade no transporte de vazão. Nesse contexto, o diâmetro das tubulações assume um papel determinante na capacidade de escoamento, tendo influência mais significativa sobre a eficiência da rede do que a inclinação.

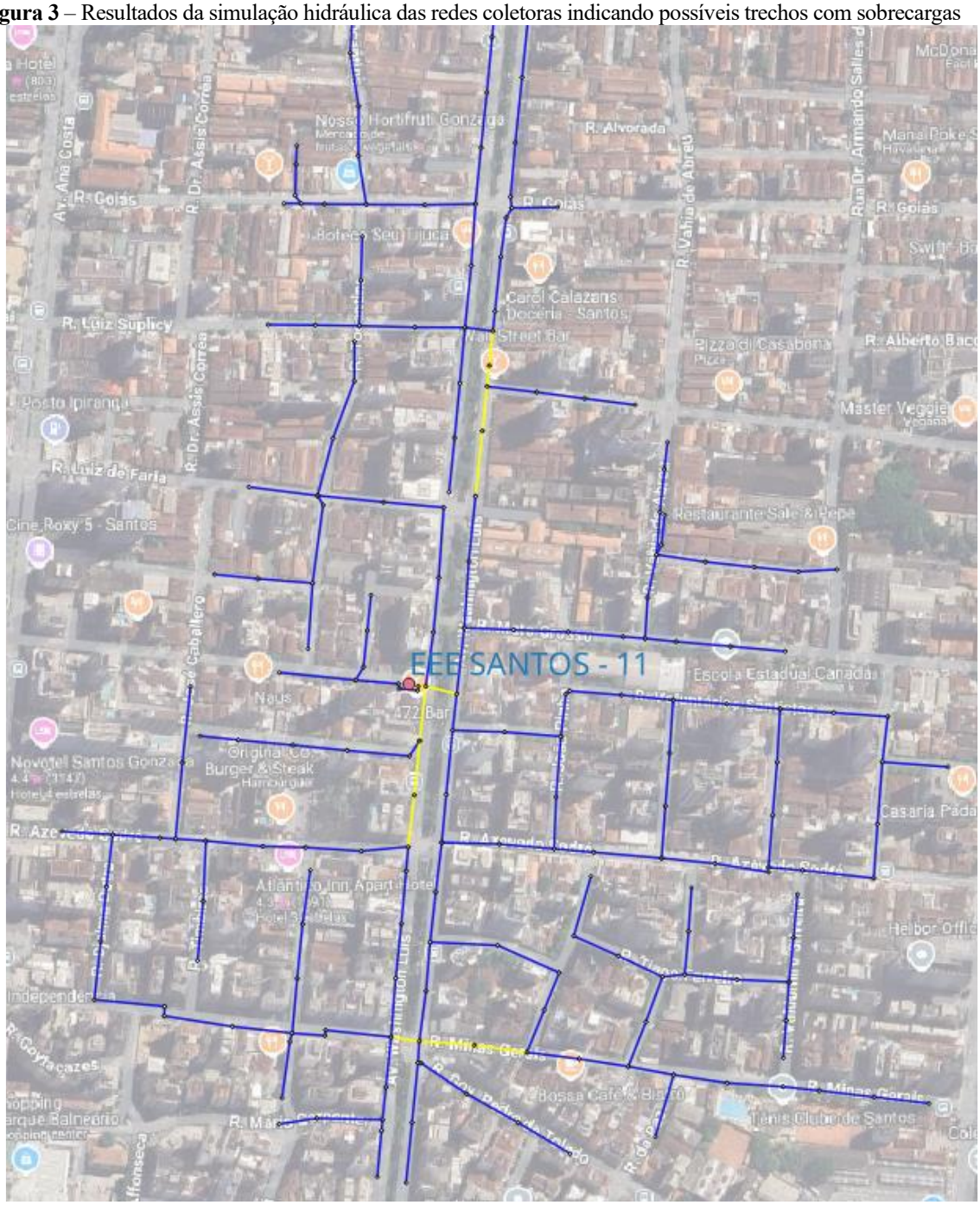
Destaca-se, em especial, o trecho de chegada à estação elevatória, onde os diâmetros calculados variaram entre 400 mm e 500 mm, enquanto os existentes são de 300 mm e 400 mm, e trechos DN 200 na rua Minas Gerais, onde o modelo indica necessidade de DN 250 mm.

No dia 22 de maio de 2025, entre 14h e 16h, foi realizada uma vistoria técnica na bacia da Estação Elevatória de Esgoto EEE 11 com o objetivo de confirmar as previsões estabelecidas pelo modelo hidráulico, tendo sido observadas as seguintes condições operacionais:

1. Funcionamento da Estação Elevatória
   Durante a inspeção, verificou-se que a EEE 11 estava operando normalmente, apresentando nível baixo no poço de visita de entrada, sem sinais de instabilidade no sistema de bombeamento.
2. Obstruções e Extravasamentos
   Não foram identificadas obstruções ou extravasamentos durante a vistoria, indicando que, sob as condições avaliadas, a rede operava dentro dos padrões admissíveis.
3. Tubulação e Coletores
   A análise das principais tubulações revelou diferentes condições operacionais, conforme previsto no estudo hidráulico:
   - Avenida Washington Luiz:
     - A tubulação DN 200 mm no sentido praia/centro estava operando em condição normal, sem apresentar sobrecarga, em divergência com as previsões do modelo hidráulico.

  - No sentido centro/praia, os trechos dos coletores estavam operando acima do nível da canaleta, confirmando as previsões do estudo hidráulico.
- Rua Minas Gerais:
  - Os coletores DN 200 mm também operavam acima do nível da canaleta, como previsto no modelo hidráulico, validando a necessidade de medidas corretivas.
- Rua José Cabalero:
  - Os coletores dessa via também operavam acima da canaleta, compatível com os resultados observados na Avenida Washington Luiz, reforçando a precisão das previsões do modelo hidráulico.

Figura 3 – Resultados da simulação hidráulica das redes coletoras indicando possíveis trechos com sobrecargas



A vistoria técnica confirmou em grande parte as previsões do modelo hidráulico, especialmente nos trechos onde se previa necessidade de maiores diâmetros para veicular a vazão do trecho. A não contatação de sobrecarga na tubulação DN 200 mm da Avenida Washington Luiz no sentido praia/centro indicam que ajustes podem ser necessários para refinar as simulações e considerar possíveis variáveis interferentes.

A validação das previsões do modelo para as ruas Minas Gerais e José Cabalero demonstra a importância da metodologia para identificação de pontos críticos. Esses resultados reforçam a necessidade de intervenções estratégicas para mitigação das sobrecargas, garantindo maior eficiência na operação das redes de esgoto.

Figura 4 – Entrada da EEE 11 operando com nível normal





Figura 5 – Poço de visita Avenida Washington Luiz





Figura 6 – Poço de visita Avenida Washington Luiz operando com nível acima da canaleta





Figura 7 – Poço de visita na esquina da Av. Washington Luiz x Rua Minas Gerais





Figura 8 – Poço de visita da Rua Minas Gerais operando acima da canaleta



Conclusões e Recomendações

A metodologia de modelagem hidráulica utilizando softwares livres, como o **QGIS** em conjunto com o complemento **QEsg**, demonstrou ser uma abordagem eficiente e acessível para a análise do desempenho dos sistemas de coleta de esgoto. Essa ferramenta possibilitou uma avaliação detalhada das condições operacionais da rede, permitindo não apenas a identificação de pontos críticos, mas também a definição de intervenções necessárias.

O modelo hidráulico desenvolvido foi validado por meio de vistoria em campo, confirmando a precisão das previsões teóricas, o que reforça a confiabilidade da metodologia aplicada. A partir dessa análise, foi possível determinar que a substituição de 192 metros de tubulação DN 300 mm e 158 metros de tubulação DN 200 mm por diâmetros maiores representa uma solução viável para a melhoria significativa do desempenho do sistema de esgotamento sanitário da região.

Além da validação das previsões, a modelagem baseada em georreferenciamento se mostrou essencial na otimização do tempo de análise, eliminando a necessidade de levantamentos de campo extensivos. O uso de informações extraídas automaticamente do MDT e aplicação dos consumos de forma automatica garantiu maior agilidade no dimensionamento dos coletores, permitindo decisões mais rápidas e embasadas tecnicamente.

Essa abordagem se mostra altamente recomendável para aplicação em sistemas de esgotamento sanitário com elevado nível de criticidade, seja devido à sua relevância para a infraestrutura urbana ou ao histórico de intervenções corretivas. A capacidade da modelagem de antecipar problemas e propor soluções antes da ocorrência de falhas é um fator determinante para garantir a eficiência operacional e a sustentabilidade dos serviços de esgotamento sanitário.

Dessa forma, a metodologia apresentada neste estudo não apenas se confirma como uma ferramenta valiosa para planejamento e operação das redes de esgoto, mas também como um modelo de gestão preventiva, capaz de minimizar impactos ambientais e otimizar recursos para a expansão e manutenção da infraestrutura urbana. O avanço e aprimoramento contínuo dessas técnicas podem contribuir para desenvolver cidades mais inteligentes e resilientes, garantindo sistemas de esgotamento sanitário mais eficientes, seguros e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Santos é a cidade mais vertical do Brasil, segundo Censo 2022, disponível em https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2024/02/23/santos-e-a-cidade-mais-vertical-do-brasil-segundo-censo-2022.ghtml.
2. ABRAHÃO, N.C. "Aplicações GIS para empresas de saneamento básico". 1a edição. ABES. São Paulo, Brasil, 2020.
3. SILVA, Peri Guilherme Monteiro da *et al*. Utilização do simulador hidráulico QEsg no bairro de São João do Outeiro – Belém/PA. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, [*S. l.*], ISSN: 1517-0276 / EISSN: 2236-5362 v. 17 n. 1 Ano 2019.