



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARJORY BARBOSA LEITE TAVARES

DETECCÃO E CORREÇÃO AUTOMÁTICAS DE INTERFERÊNCIAS ENTRE
REDES DE SANEAMENTO UTILIZANDO SOFTWARE BIM

FORTALEZA

2023

MARJORY BARBOSA LEITE TAVARES

DETECÇÃO E CORREÇÃO AUTOMÁTICAS DE INTERFERÊNCIAS ENTRE REDES
DE SANEAMENTO UTILIZANDO SOFTWARE BIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil – Recursos Hídricos. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, PhD.

FORTALEZA
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T231d Tavares, Marjory Barbosa Leite.
Detecção e correção automáticas de interferências entre redes de saneamento utilizando software BIM /
Marjory Barbosa Leite Tavares. – 2023.
92 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro.

1. redes de saneamento. 2. detecção de interferências. 3. building information modeling. I. Título.
CDD 628

MARJORY BARBOSA LEITE TAVARES

DETECÇÃO E CORREÇÃO AUTOMÁTICAS DE INTERFERÊNCIAS ENTRE REDES
DE SANEAMENTO UTILIZANDO SOFTWARE BIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil – Recursos Hídricos. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 20/04/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, PhD (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Iran Eduardo Lima Neto, PhD
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Pedro Henrique Augusto Medeiros, PhD
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, Lúcia e Elcy, minha irmã
Bruna e meu esposo Glauemberg.

AGRADECIMENTOS

À Instituição Funcap, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio Durante o primeiro ano.

Ao Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, Phd por sempre me impelir a superar os meus limites.

Aos professores participantes da banca examinadora Pedro Henrique Augusto Medeiros, PhD e Iran Eduardo Lima Neto, PhD pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas de laboratório e amigos Gilnário e Erlandson por tornar mais leves as manhãs de sábado e por todo o apoio e auxílio na pesquisa.

À Jota Barros Projetos e Assessoria, em especial aos meus chefes Cláudio e Beto pelo apoio e incentivo.

Aos meus pais pelo suporte que precisei para chegar até aqui. À minha irmã pelo apoio emocional. Ao meu esposo pelo refúgio e amparo incondicional.

“Sabe o que é mais caro na engenharia? O desconhecimento.”

Luiz Anibal de Oliveira Santos

RESUMO

A tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) se destaca por incrementar o modelo estabelecido de projeto em diversos aspectos que aproximam o projeto em sua concepção à realidade. O setor do saneamento – que abrange o abastecimento de água, coleta, transporte e tratamento de esgoto, estruturas de drenagem e coleta, tratamento e disposição de resíduos – apresenta atraso na utilização de BIM se comparado a outros setores da construção civil, devido a diversos fatores como a interpretação inicial de que o formato seria mais facilmente aplicado à construção de edificações que possuem elementos repetitivos, como edifícios com pavimentos tipo, por exemplo. Uma das ferramentas BIM que pode ser amplamente utilizada nos projetos de saneamento é a detecção de interferências. As interferências entre as redes de saneamento acontecem pelo fato de que tais sistemas dividem o mesmo espaço sob o pavimento. Se não previstas na fase de projeto, essas interferências acarretam diversos problemas na fase de execução, o que em muitos casos leva à adoção de soluções inadequadas. No presente trabalho foi proposta a utilização de uma ferramenta de dimensionamento consolidada para redes de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana, o sistema UFC, em associação a um *software* BIM livre e gratuito, o FreeCAD, a fim de realizar a verificação e compatibilização das interferências entre essas redes. Para tal, foram desenvolvidos programas em Python para obtenção dos modelos BIM das redes previamente calculadas, bem como para verificação e correção das interferências. Os resultados demonstraram a eficiência da utilização dessas ferramentas. Foi observado que a maior parte das interferências acontece entre redes de esgoto e drenagem, e que se for possível mover verticalmente a rede de drenagem, seria a forma mais eficiente de sanar as interferências. Por fim, ressalta-se que para utilização de verificação de interferências nos mais diversos casos é preciso ter um cadastro adequado das redes existentes e é preciso se atentar também a outras redes de infraestrutura que podem dividir o espaço subterrâneo como rede de fornecimento de energia elétrica e cabeamento telefônico ou de internet.

Palavras-chave: redes de saneamento; detecção de interferências; *building information modeling*.

ABSTRACT

The technology Building Information Modeling (BIM) stands out for improving the usual model for projects in several aspects so that brings it closer to reality. In the sanitation sector – which includes water supply, sewage collection, transportation and treatment, stormwater structures and waste collection, treatment and disposal – which is lagging behind in the broad adoption of BIM when compared to others construction sectors, due to several factors as the initial interpretation that the format would be more easily applied to building construction that have repetitive elements, as multi story buildings, for example. One of BIM tools that may be broadly used is clash detection. Clashes between sanitation networks happen because those systems share the same space under the street pavement. If they are not predict in project phase, theses clashes bring several problems in the execution, which in most cases leads to inadequate solutions. In the present work was proposed the usage of a consolidated dimensioning tool for water supply networks, sewage network and urban stormwater, UFC system, in association to a free BIM software, FreeCAD, in order to perform clash detection and correction between those networks. For this purpose, programs were developed in Python to obtain the BIM models of networks previously calculated, as well as to clash detection and correction. The results showed the efficiency of using these tools. The most clashes happen between sewage and stormwater networks, and if is possible to vertically move stormwater network it would be the most efficient way to remedy the interferences. The results showed the efficiency of using these tools. It was noticed that most part of the interferences happen between sewage and stormwater networks, and if is possible to vertically move stormwater network, it would be the most efficient way to remedy the interferences. Finally, it is emphasized that In order to use the interference check in the most diverse cases, it is necessary to have an adequate record of the existing networks and it is also necessary to pay attention to other infrastructure networks that can divide the underground space, such as the electricity supply network and telephone or internet cabling.

Keywords: sanitation networks; clash detection; building information modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Posição padrão das redes na via	21
Figura 2 – Esquema de um sistema de abastecimento de água	22
Figura 3 – Esquema de um sistema de esgotamento sanitário convencional	23
Figura 4 – Interferência de rede de esgoto durante instalação de estrutura de drenagem	27
Figura 5 – Interferências de redes de esgoto durante instalação de estrutura de macrodrenagem	28
Figura 6 – Interferência de rede de drenagem encontrada na instalação de rede de esgoto	29
Figura 7 – Interferência de rede elétrica encontrada na instalação de rede de esgoto	30
Figura 8 – Fluxograma de interação entre os módulos do sistema UFC	31
Figura 9 – Representação gráfica de projetos em diferentes LOD	35
Figura 10 – Uso de BIM por tipo de projeto no setor da água	36
Figura 11 – Modelo BIM de reservatório elevado em concreto armado no programa FreeCAD	42
Figura 12 – Modelo BIM de reservatório apoiado em concreto armado no programa FreeCAD	43
Figura 13 – Modelo BIM de reservatório em anéis de concreto no programa FreeCAD	43
Figura 14 – Fluxograma do programa de detecção das interferências	47
Figura 15 – Rede de drenagem em São Benedito no programa UFC/AutoCAD	50
Figura 16 – Rede de esgoto em São Benedito no programa UFC/AutoCAD	51
Figura 17 – Rede de água em São Benedito no programa UFC/AutoCAD	52
Figura 18 – Rede de drenagem em Aurora no programa UFC/AutoCAD	53
Figura 19 – Rede de esgoto em Aurora no programa UFC/AutoCAD	54
Figura 20 – Rede de água em Aurora no programa UFC/AutoCAD	55
Figura 21 – Rede de drenagem em Irauçuba no programa UFC/AutoCAD	56
Figura 22 – Rede de esgoto em Irauçuba no programa UFC/AutoCAD	56
Figura 23 – Rede de água em Irauçuba no programa UFC/AutoCAD	56
Figura 24 – Rede de drenagem em Antonina do Norte no programa UFC/AutoCAD	57
Figura 25 – Rede de esgoto em Antonina do Norte no programa UFC/AutoCAD	58
Figura 26 – Rede de água em Antonina do Norte no programa UFC/AutoCAD	59
Figura 27 – Rede de drenagem em Conjunto Habitacional no programa UFC/AutoCAD	60
Figura 28 – Rede de esgoto em Conjunto Habitacional no programa UFC/AutoCAD	61
Figura 29 – Rede de água em Conjunto Habitacional no programa UFC/AutoCAD	62

Figura 30 – Rede de drenagem em Eusébio no programa UFC/AutoCAD.....	63
Figura 31 – Rede de esgoto em Eusébio no programa UFC/AutoCAD.....	64
Figura 32 – Rede de água em Eusébio no programa UFC/AutoCAD.....	65
Figura 33 – Modelo BIM da rede de água em Antonina do Norte no programa FreeCAD	66
Figura 34 – Rede de água em PVC PBA ampliada modelo BIM no programa FreeCAD.....	67
Figura 35 – Adutora em PVC DEFoFo ampliada em modelo BIM no programa FreeCAD ...	67
Figura 36 – Lista de pastas padrão dos arquivos de redes de água, lista de tubos de rede e lista de tubos de adutora no FreeCAD	68
Figura 37 – Modelo BIM da rede de esgoto em Antonina do Norte no programa FreeCAD ..	69
Figura 38 – Rede de esgoto e poços de visita ampliados em modelo BIM no programa FreeCAD.....	69
Figura 39 – Terminal de limpeza ampliado em modelo BIM no programa FreeCAD.....	70
Figura 40 – Lista de pastas padrão dos arquivos de redes de esgoto, lista de tubos de esgoto e lista de órgãos acessórios no FreeCAD	71
Figura 41 – Rede de drenagem em Concreto Armado em Antonina do Norte em modelo BIM no programa FreeCAD	72
Figura 42 – Boca coletora e poço de visita aproximados em Antonina do Norte em modelo BIM no programa FreeCAD.....	72
Figura 43 – Poço de visita e caixa de ligação aproximados em Antonina do Norte em modelo BIM no programa FreeCAD.....	73
Figura 44 – Lista de pastas padrão dos arquivos de redes de drenagem, lista de tubos de drenagem e lista de órgãos acessórios no FreeCAD.....	74
Figura 45 – Interferências de esgoto (amarelo) e drenagem (verde) sobre rede de água	75
Figura 46 – Interferências de esgoto (amarelo) e drenagem (verde) sobre rede de água	75
Figura 47 – Interferências de drenagem sobre rede de esgoto	78
Figura 48 – Interferências de água (magenta) e drenagem (verde) sobre rede de esgoto	78
Figura 49 – Interferências inseridas em planta no coletor 2 na rede Conjunto Habitacional...	79
Figura 50 – Perfil do coletor 2 da rede Conjunto Habitacional antes da correção das interferências	79
Figura 51 – Perfil do coletor 2 da rede Conjunto Habitacional depois da correção das interferências	80
Figura 52 – Interferências de esgoto (amarelo) e água (magenta) sobre rede de drenagem	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resumo dos resultados das interferências sobre redes de água.....	76
Gráfico 2 – Resumo dos resultados das interferências sobre redes de esgoto.....	81
Gráfico 3 – Resumo dos resultados das interferências sobre redes de drenagem	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos resultados das interferências sobre redes de água	76
Tabela 2 – Resumo dos resultados das interferências sobre redes de esgoto	81
Tabela 3 – Resumo dos resultados das interferências sobre redes de drenagem.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
BIM	Building Information Modeling

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização e problematização	16
1.2 Objetivos.....	18
<i>1.2.1 Objetivo geral.....</i>	<i>18</i>
<i>1.2.2 Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
1.3 Estrutura da dissertação	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Redes de saneamento.....	19
<i>2.1.1 Sistema de Abastecimento de Água.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.2 Sistema de Esgotamento Sanitário.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.3 Sistema de Drenagem Urbana</i>	<i>24</i>
2.2 Interferências entre sistemas	25
2.3 Sistema UFC.....	30
2.4 As ferramentas BIM e sua adoção.....	33
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 Descrição geral.....	38
3.2 Software e linguagem de programação.....	38
3.3 Automatização da conversão do projeto em BIM.....	39
3.4 Parâmetros utilizados para desenho da rede em BIM	40
<i>3.4.1 Rede de esgoto.....</i>	<i>40</i>
<i>3.4.2 Rede de água</i>	<i>41</i>
<i>3.4.3 Rede de drenagem.....</i>	<i>44</i>
3.5 Desenvolvimento do fluxo de trabalho.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 Apresentação dos exemplos.....	48
<i>4.1.1 São Benedito - CE.....</i>	<i>50</i>
<i>4.1.2 Aurora - CE.....</i>	<i>53</i>
<i>4.1.3 Irauçuba - CE</i>	<i>56</i>
<i>4.1.4 Antonina do Norte - CE.....</i>	<i>57</i>
<i>4.1.5 Conjunto Habitacional</i>	<i>60</i>
<i>4.1.6 Eusébio - CE</i>	<i>63</i>
4.2 Modelo BIM das redes de água	66
4.3 Modelo BIM das redes de esgoto.....	68
4.4 Modelo BIM das redes de drenagem	71
4.5 Verificação de interferências com ênfase nas redes de água.....	74

4.6 Verificação de interferências com ênfase nas redes de esgoto	77
4.7 Verificação de interferências com ênfase nas redes de drenagem.....	82
4.8 Discussões	85
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	87
REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e problematização

Os projetos de construção civil estão em constante mudança e atualização no seu processo de elaboração, que envolve desde a concepção, dimensionamento, desenvolvimento de memorial e peças gráficas, das etapas de projeto básico ao projeto executivo, até a leitura do projeto por outros profissionais e sua utilização na obra. Cada vez mais os avanços na tecnologia oferecem ferramentas que promovem melhorias tornando os projetos cada vez mais fiéis ao que será executado de fato. No entanto o processo de adaptação a essas ferramentas leva um tempo, pois exige o ajuste de toda a metodologia de desenvolvimento do projeto.

A tecnologia Building Information Modeling (BIM), que pode ser traduzida como Modelo de Informação da Construção, se destaca por incrementar o modelo estabelecido de projeto em diversos aspectos que aproximam o projeto em sua concepção à realidade. Algumas aplicações do BIM podem ser destacadas, tais como: a quantificação de material a ser utilizado, a execução de simulações estruturais e hidráulicas, e a previsão e prevenção de possíveis transtornos na obra.

Gradualmente essas novas ferramentas deixam de ser um diferencial e passam a ser a regra, ao passo que se tornam, inclusive, exigências para aceitação de projetos por órgãos governamentais. Esse é o caso da implementação do BIM no Brasil que atualmente conta com esforços por parte do Governo Federal. Através do decreto nº 9.983 de 2019 (BRASIL, 2019) foi disposta a estratégia de disseminação do BIM no Brasil, que apresenta um planejamento com metas no prazo de 10 anos para a adoção e disseminação do BIM no Brasil pelas empresas da construção civil e obras públicas. Da mesma forma, através do decreto nº 10.306 de 2020 (BRASIL, 2020a) foi estabelecida a utilização do BIM na execução de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, este último dividido em três fases com prazos para janeiro de 2021 para a primeira fase e para janeiro de 2028 para a terceira e última fase.

O setor do saneamento apresenta ainda mais atraso na utilização de BIM se comparado a outros setores da construção civil. Um dos motivos apontados por Druszez, Agostinho e Scuiasiato (2017) é que o formato foi interpretado inicialmente como mais facilmente aplicado à construção de edificações que possuem elementos repetitivos, como

edifícios com pavimentos tipo, por exemplo. No entanto já se observa a aplicabilidade de BIM no saneamento também, proporcionando os diversos benefícios apontados.

Uma das ferramentas BIM que pode ser amplamente utilizada nos projetos de saneamento é a detecção de interferências, ou *clash detection*. As interferências entre as redes de saneamento acontecem pelo fato de que tais sistemas dividem o mesmo espaço sob o pavimento.

As redes de saneamento podem ser dispostas em cinco posições em relação à rua: eixo, terço par, terço ímpar, passeio par e passeio ímpar. Comumente é adotada a posição do terço mais próximo à calçada para as redes de água, eixo para as tubulações de drenagem e terço mais distante para as redes de esgoto. Em relação às redes de esgoto, as principais interferências que devem ser consideradas são as canalizações de drenagem urbana, os cursos de água que atravessam a área urbana e as grandes tubulações de água potável (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000). Nas boas práticas de projeto, no caso de cruzamento das diversas redes de saneamento, deve-se priorizar manter as redes de esgoto no nível mais baixo a fim de evitar contaminação em caso de vazamento.

A verificação de interferências na metodologia de projeto ainda comumente utilizada no setor de saneamento no Brasil atualmente se baseia em desenhos 2D e se torna um processo árduo e passível de falhas. Se não previstas na fase de projeto, essas interferências acarretam diversos problemas na fase de execução, o que em muitos casos leva à adoção de soluções inadequadas como o cruzamento das estruturas maiores de concreto por tubulações menores.

Esses problemas se dão muitas vezes por conta da dificuldade em saber onde existem redes já instaladas, além da profundidade da escavação, tipos de solo e faixas de servidão que entrem em conflito com a rede de esgoto ou tipo de sistema de inspeção utilizado pela empresa executora da rede (FONSECA; SARMENTO; PAULA, 2014).

Tendo em vista os fatores supracitados, no presente trabalho foi proposta a utilização de uma ferramenta de dimensionamento consolidada para redes de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana, o sistema UFC, em associação a um *software* BIM livre e gratuito, o FreeCAD, a fim de realizar a verificação e compatibilização das interferências entre essas redes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Esta dissertação tem como objetivo principal desenvolver um programa para detecção e correção de interferências entre redes de saneamento – esgotamento sanitário, abastecimento de água e drenagem urbana – de forma automatizada utilizando software BIM.

1.2.2 Objetivos específicos

A fim de alcançar o objetivo geral descrito acima, os seguintes objetivos específicos são apresentados:

- Converter redes de esgoto, drenagem e água calculadas pelo sistema UFC em formato de representação em 3D no programa FreeCAD de forma automatizada através da programação em python;
- Realizar a verificação das interferências entre as redes de saneamento de forma automatizada;
- Realizar a correção das interferências encontradas de forma automatizada retornando ao sistema UFC.

1.3 Estrutura da dissertação

A estrutura desta dissertação está organizada em 5 capítulos. O presente capítulo consiste na introdução do trabalho, abrangendo definições gerais, contextualização e problematização do tema, objetivo geral e objetivos específicos.

O segundo capítulo abrange a revisão bibliográfica dos principais assuntos que serão abordados, sendo dividido nos subcapítulos: Redes de saneamento, Interferências entre sistemas, Sistema UFC, As Ferramentas BIM e sua adoção.

O terceiro capítulo aborda a metodologia, os programas e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa e as etapas adotadas. É subdividido nos subcapítulos de Descrição geral, Software e linguagem de programação, Automatização da conversão do projeto em BIM, Parâmetros utilizados para desenho da rede em BIM e Desenvolvimento do fluxo de trabalho.

O quarto capítulo contém a apresentação dos resultados e discussões e está subdividido em Apresentação dos exemplos, Modelo BIM das redes de água, Modelo BIM das redes de esgoto, Modelo BIM das redes de drenagem, Verificação de interferências com ênfase nas redes de água, Verificação de interferências com ênfase nas redes de esgoto, Verificação de interferências com ênfase nas redes de drenagem e Discussões.

O quinto e último capítulo expõe as principais conclusões obtidas ao final do trabalho e recomendações para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Redes de saneamento

Saneamento pode ser descrito como ações de higiene para garantir a saúde através da prevenção do contato humano com perigos dos resíduos, estes podendo ser agentes de doenças físicos, microbiológicos, biológicos ou químicos. Em geral, resíduos que podem causar problemas à saúde são fezes humanas e animais, resíduos sólidos, esgoto doméstico, resíduos industriais e agrícolas. Sendo assim, as atividades que compõem o saneamento envolvem serviços como a coleta de resíduos, bem como soluções de engenharia entre as quais se destacam os sistemas de coleta de esgoto, drenagem de águas pluviais e abastecimento de água (GAGE, 2006).

No presente trabalho serão chamadas de redes de saneamento as malhas de redes do Sistema de Abastecimento de Água (SAA), Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) e Sistema de Drenagem Urbana (SDU).

As redes de saneamento fazem parte também da infraestrutura urbana como um todo. Segundo Bertei et al. (2014) os diversos subsistemas que formam a infraestrutura urbana podem ser classificados de várias maneiras, entre elas: subsistemas técnicos setoriais e posição dos elementos (redes) que compõem os subsistemas. Em relação aos subsistemas técnicos setoriais podemos destacar o subsistema Viário, o subsistema de Drenagem Pluvial, o subsistema de Abastecimento de Água, o subsistema de Esgotos Sanitários, o subsistema Energético e o subsistema de Comunicações.

Em relação à posição dessas redes podemos classificar em três diferentes níveis: aéreo, superficial e subterrâneo. As redes de saneamento ocupam o espaço subterrâneo. Segundo Pupin e Marins (2015) o subsolo é uma parte importante do território urbano, visto que abriga diversas redes de infraestrutura e a sua organização já é um problema

reconhecido por apresentar conflitos de informação entre os diferentes atores que precisam implantar e operar as suas redes nesse mesmo espaço, como as concessionárias de água e esgoto e empresas de telecomunicações. Os autores avaliaram uma possível solução para esses problemas que seria a utilização de galerias técnicas que facilitariam o acesso a esse espaço subterrâneo para execução de trabalhos de manutenção por exemplo. No entanto seria inviável a inserção das redes de drenagem em tais galerias, devido aos grandes diâmetros utilizados e o alto custo de investimento inicial e a necessidade da conciliação entre as diversas companhias que irão utilizar o espaço da galeria acabam por descartar essa opção na maioria das vezes.

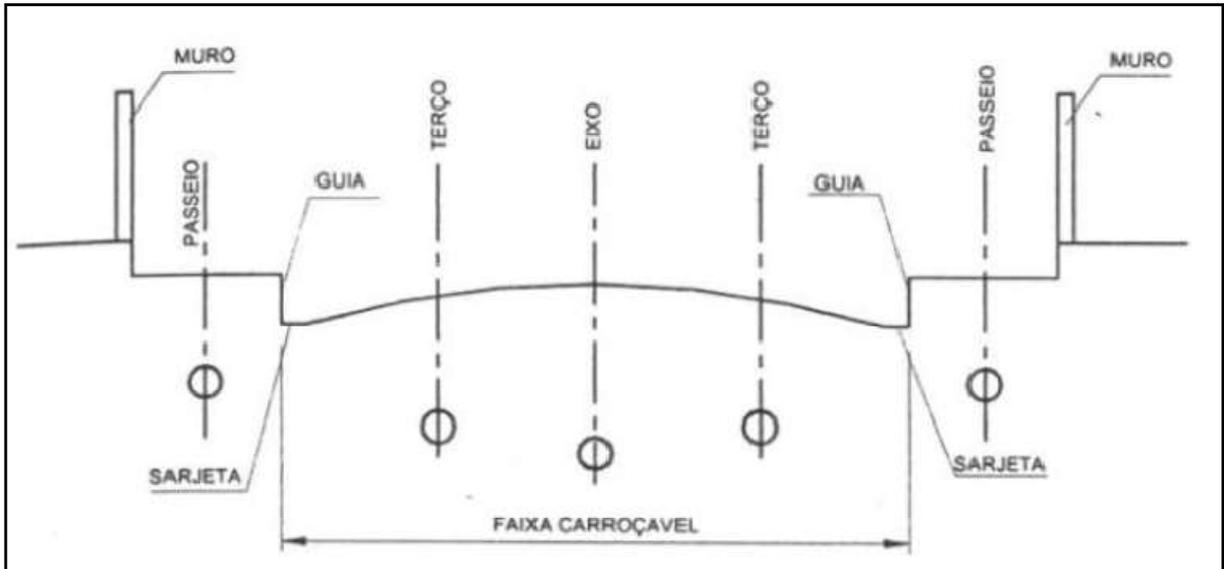
No Brasil, o sistema adotado para os SES e SDU é o separador absoluto, ou seja, as redes funcionam 100% em paralelo não devendo sofrer ligações em nenhum momento. Dessa forma o tratamento de águas residuárias se torna mais fácil e mais economicamente viável, devido à ausência de sazonalidade na vazão e qualidade do esgoto doméstico, bem como o encaminhamento das águas pluviais aos corpos hídricos pode ser feito sem a necessidade de tratamento (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013).

Por outro lado, observa-se que na prática a maioria dos sistemas acaba acontecendo no formato de separador parcial devido a ligações clandestinas, bem como lançamento final de trechos das galerias de águas pluviais na rede de esgoto sanitário. Tais situações ocorrem por diversos fatores como regiões sem atendimento de sistema público de esgotamento sanitário, reminiscência de sistemas antigos, falta de prioridade na operação e manutenção, falta de fiscalização nas obras e descontrole sobre as ligações prediais irregulares. Os principais problemas decorrentes são o aporte de esgoto sanitário não tratado nos corpos hídricos e obstrução das redes pela presença de resíduos sólidos (MACHADO; BORJA; MORAES, 2013; ROSSO; DIAS, 2011).

Outro fator que deve ser destacado é a alta densidade de urbanização até mesmo no subsolo que sofre interferências constantemente, de estruturas desativadas ou por sucessivas intervenções que ocorrem, muitas de forma arbitrária, acarretando indisponibilidade do espaço físico (ROSSO; DIAS, 2011).

As redes de saneamento ocupam idealmente as posições predefinidas no eixo da via, em um dos seus terços ou no eixo de um dos passeios (Figura 1). Em geral as redes de drenagem ocupam o eixo da via devido aos grandes diâmetros das tubulações utilizadas (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

Figura 1 – Posição padrão das redes na via



Fonte: Alem Sobrinho, Tsutiya (2000).

Em seguida será abordado cada sistema que compõe as redes de saneamento que farão parte desse trabalho: Sistema de Abastecimento de Água, Sistema de Esgotamento Sanitário e Sistema de Drenagem Urbana.

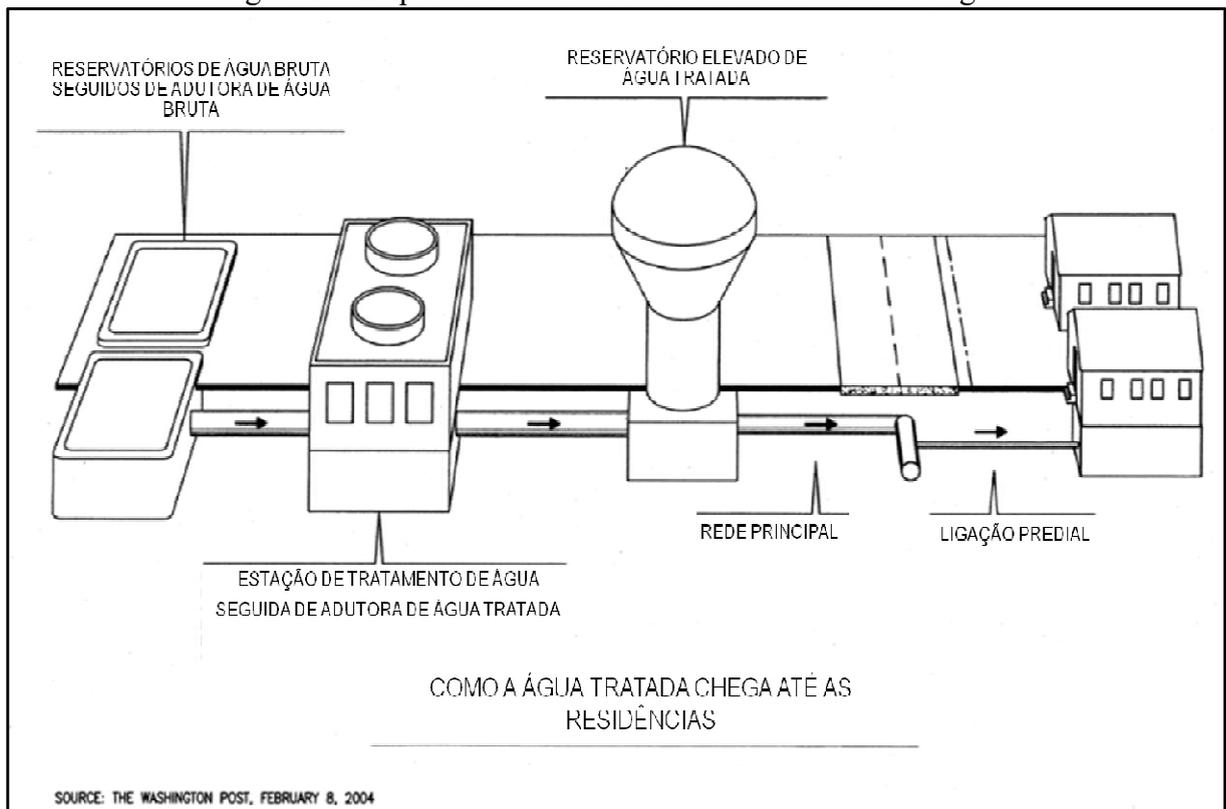
2.1.1 Sistema de Abastecimento de Água

O Sistema de Abastecimento de Água tem a finalidade de distribuir água potável para o uso residencial, comercial, industrial, dentre outros usos. O SAA tem dois principais requisitos: o primeiro é atender em quantidade à população e às demais necessidades de consumo supracitadas, bem como outras como o combate a incêndio; e o segundo é ser confiável, ou seja, funcionar 24 horas por dia e 365 dias por ano (HICKEY, 2008).

O abastecimento de água está intrinsecamente interligado com o termo saneamento, dado a sua função de manter a saúde da população no consumo de água. A agricultura consome a maior parte da água distribuída, enquanto a porção restante é utilizada para consumo doméstico e industrial. A menor parcela da água consumida de forma doméstica é utilizada para beber, enquanto a maior parte tem utilização doméstica e sanitária, estes incluem trabalhos de coleta, tratamento e eliminação, que já estão relacionados com o Sistema de Esgotamento Sanitário (GAAYAM; VINNAKOTA; ANNAMDAS, 2011).

De modo geral, esse sistema compreende três etapas principais (Figura 2): captação, tratamento e distribuição (BRASIL, 2020b).

Figura 2 – Esquema de um sistema de abastecimento de água



Fonte: Adaptado de Hickey (2008).

Na captação a água é retirada de mananciais naturais através de sistemas de captação, que podem ser superficiais no caso de rios, lagos e reservatórios, ou subterrâneos no caso de poços, e encaminhada a uma Estação de Tratamento de Água (ETA). Esse transporte pode ser feito através de adutoras de água bruta, canais ou estruturas semelhantes (BRASIL, 2020b).

Na ETA a água captada passa por diversos processos físicos e químicos para retirada de impurezas e desinfecção. A água tratada deve atender aos parâmetros de potabilidade descrito na Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

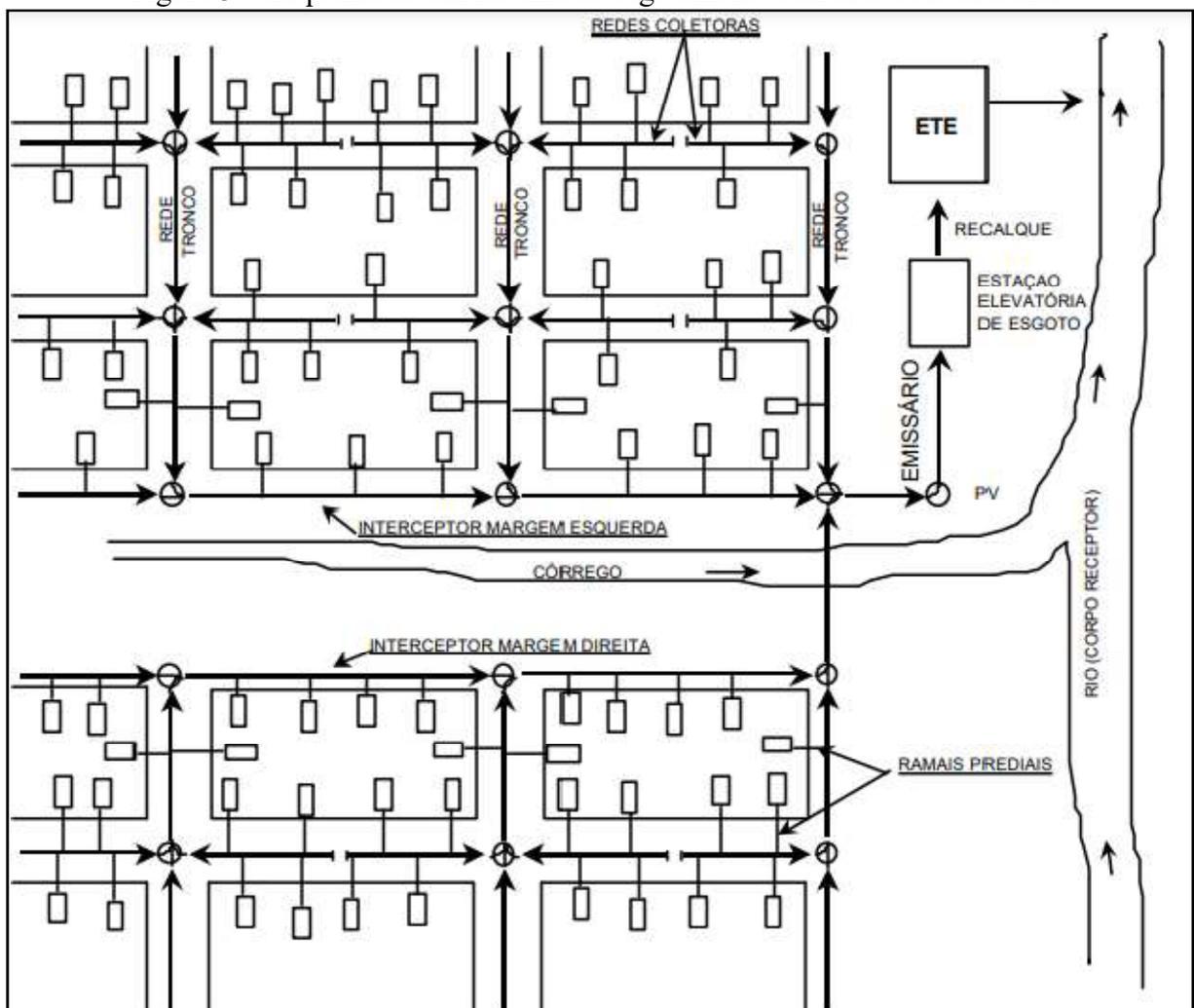
A próxima etapa é a distribuição que consiste basicamente de estações elevatórias, reservatórios elevados e da rede de distribuição que se conecta às residências e demais edificações por meio de ligações. A rede deve ser projetada por condutos principais que devem formar preferencialmente circuitos fechados e condutos secundários que devem formar rede malhada. Todos os pontos da rede devem atender à pressão estática máxima de 500 kPa e à pressão dinâmica mínima de 100 kPa. No projeto da rede ainda deve ser prevista a instalação de órgãos acessórios como ventosas e válvulas de descarga (BRASIL, 1994). Por trabalhar necessariamente sob pressão e ter diâmetros menores, a partir de 50mm, a rede de

distribuição de água acaba por ter mais flexibilidade de reposicionamento na vertical no caso de sofrer interferências.

2.1.2 Sistema de Esgotamento Sanitário

O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) tem o objetivo de coletar e tratar os esgotos domésticos e realizar o seu lançamento na natureza de forma adequada. O SES (FIGURA 3) pode ser dividido em duas etapas principais: a coleta e o tratamento com lançamento (BRASIL, 2020b).

Figura 3 – Esquema de um sistema de esgotamento sanitário convencional



Fonte: Adaptado de Barros et al. (1995).

A coleta é feita através de rede coletora composta por tubulações e órgãos acessórios tais como poço de visita, terminal de limpeza, tubo de inspeção e limpeza, entre outros. A rede de coleta pode ser dividida em coletor tronco, que só recebe contribuição de

outros coletores, e os demais coletores que possuem ligações com os geradores de esgotos domésticos (casas, prédios, edifícios comerciais) (BRASIL, 1986).

As redes coletoras de esgoto em geral trabalham utilizando a energia gravitacional, ou seja, escoam em forma de canais, em superfície livre, sempre com a pressão atmosférica atuando no sistema (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000). Essa condição faz com que haja pouca flexibilidade para mudanças de locação no eixo vertical, visto que o aprofundamento da rede em um ponto pode causar grandes profundidades a jusante, enquanto que na maioria dos casos não é possível tornar a rede menos profunda sem comprometer as declividades mínimas para as velocidades ideais de escoamento. Além dos trechos gravitários, as redes podem ser divididas em bacias, devido à topografia do local, e o transporte de esgoto entre essas é feito de forma pressurizada através de estações elevatórias de esgoto (EEE) e linhas de recalque (LR).

Em seguida os esgotos coletados são encaminhados a uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), onde são utilizados em geral no caso dos esgotos domésticos, processos físicos e biológicos para remoção de parte dos poluentes até que sejam atingidos os limites descritos na legislação para o lançamento do esgoto tratado em um corpo hídrico natural (rio, lago, mar), também chamados de corpos receptores, ou disposto no solo. No Brasil os padrões de lançamento de esgoto estão descritos na Resoluções CONAMA 357 e 430 (BRASIL, 2005, 2011).

2.1.3 Sistema de Drenagem Urbana

O Sistema de Drenagem de Águas Pluviais é necessário devido às alterações realizadas em virtude da ocupação urbana e da impermeabilização do solo que em geral interferem no escoamento natural da água e podem ocasionar inundações e outros transtornos. Ele é composto por estruturas artificiais de captação, amortecimento de vazões e direcionamento de águas pluviais até o seu lançamento em corpos hídricos (BRASIL, 2020c).

Segundo Tucci (2005), o desenvolvimento urbano acelerou na segunda metade do século XX, impactando o ecossistema terrestre e aquático e a própria população através das inundações, doenças e perda de qualidade de vida. Este processo ocorre devido à falta de controle do espaço urbano que produz efeito direto sobre a infraestrutura. A urbanização provoca a impermeabilização do solo, reduzindo a infiltração, o escoamento subterrâneo e o tempo de concentração da bacia. Com isso, sem um sistema de drenagem urbana adequado, em poucos minutos após uma chuva, aparecem os primeiros sinais de alagamento.

Os sistemas de drenagem urbana são compostos por tubulações de drenagem, valas, canais, bombeamento. O objetivo desse sistema é promover um mecanismo eficiente de transporte de águas pluviais dos locais de ocorrência dos eventos pluviométricos até os pontos de descarga sem sobrecarregar o sistema, o que causaria enchentes e outros transtornos decorrentes. Um fator que deve ser considerado no projeto de canais abertos e valas é o potencial de erosão (BROWN, S. A., SCHALL, J. D., MORRIS, J. L., DOHERTY, C. L., STEIN, S. M., WARNER, 2013).

2.2 Interferências entre sistemas

A localização das redes é, em geral, prevista no meio do pavimento ou em um dos seus terços, sendo a posição central comumente ocupada pelas redes de drenagem e os terços ocupados pela rede de água e esgoto. As interferências também acontecem nas ligações entre as tubulações principais e as residências ou bocas de lobo no caso da drenagem.

Essas interferências se não previstas na fase de projeto acarretam diversos problemas na fase de execução. Einsfeld e colaboradores (2015) observaram entre outras adversidades na implantação de redes de esgoto, a dificuldade de obtenção de informações em relação às redes de infraestrutura urbana previamente instaladas, tais como água e energia. Na ocasião da pesquisa, a ausência dessas referências gerou um incidente de rompimento de rede de água pré-existente causando falta de água na região. Os autores ressaltaram a importância da etapa de compatibilização na elaboração de projetos de rede de esgotamento sanitário.

Como já mencionado, um dos fatores que causa muitos problemas de interferência é a falta de informações disponíveis acerca de redes já instaladas. Para tanto é preciso que haja um sistema operante de cadastramento. Kim e Heo (2017) apontaram que na Coreia do Sul o sistema cadastral ainda era mantido apenas em 2D e não se mostrava mais adequado para lidar com informações complexas que se distribuem em 3D na terra. Os autores propuseram o desenvolvimento de um sistema cadastral para atender a uma variedade de requisitos de administração de terras, tanto na superfície quanto na parcela subterrânea. Tal sistema inclui cadastramento de propriedades, bem como de infraestrutura subterrânea. Isso pode ser solução de conflitos de terra verticais e problemas de compensação de propriedade, e dificuldades em proteger a propriedade de domínio subterrâneo em 3D, incluindo vários tipos de arquiteturas e infraestruturas civis.

Besner (2016) também defende que o subsolo urbano requer planejamento interdisciplinar como qualquer outro espaço que seja dividido por diferentes colaboradores

profissionais. Há uma grande difusão de iniciativas setoriais que envolvem separadamente sistemas de transporte de massa, infraestruturas para a gestão de abastecimento de energia e água, drenagem, estações de tratamento de esgoto, redes de telecomunicações, instalações de comércio e lazer e armazéns industriais. No entanto, na prática do dia-a-dia, as experiências de um planejamento urbano global, envolvendo uma abordagem holística real para um plano diretor de cidade ainda são muito raras.

A NBR 12.218 orienta que no caso de haver interferências as soluções para estas devem constar em detalhes no projeto (BRASIL, 1994). A NBR 9.649 pede o levantamento de obstáculos superficiais e subterrâneos nos logradouros onde, provavelmente, deve ser traçada a rede coletora bem como o levantamento cadastral da rede existente (BRASIL, 1986). Na prática observa-se que quando não há cadastro disponível pelo órgão responsável pelo saneamento no local, a previsão de interferências se torna uma tarefa árdua e até mesmo impraticável durante a fase de projeto, o que acarreta em dificuldades durante a instalação de novas redes de saneamento (Figura 4) e, em decorrência disso, a adoção de soluções improvisadas em campo como o desvio ou interrupção de tubulações, ou a adaptação de estruturas de concreto para abrigar trechos de tubulações de menor diâmetro no seu interior (Figura 6).

Figura 4 – Interferência de rede de esgoto durante instalação de tubulação de drenagem



Fonte: Santos (2020a).

Figura 5 - Interferência de rede de esgoto durante instalação de estrutura de drenagem



Fonte: Castro (2023).

Figura 6 – Interferências de redes de esgoto durante instalação de estrutura de macrodrenagem



Fonte: Santos (2020b).

Figura 7 – Tubulação de esgoto atravessando galeria de drenagem



Fonte: Castro (2023).

Silva Neto e Hobold (2019) realizaram um estudo de campo observando as interferências encontradas durante a instalação de rede de esgotamento sanitário. Entre as principais interferências encontradas foram destacadas rochas, lençol freático aflorado, rede de drenagem existente (Figura 8) e rede elétrica existente (Figura 9). Nos dois últimos casos citados as interferências dificultaram a instalação da rede de esgoto, mas foi possível a instalação sem a necessidade de maiores intervenções, pois as interferências cruzavam apenas a valas mas não diretamente a tubulação a ser instalada.

Figura 8 – Interferência de rede de drenagem encontrada na instalação de rede de esgoto



Fonte: Silva Neto e Hobold (2019)

Figura 9 – Interferência de rede elétrica encontrada na instalação de rede de esgoto

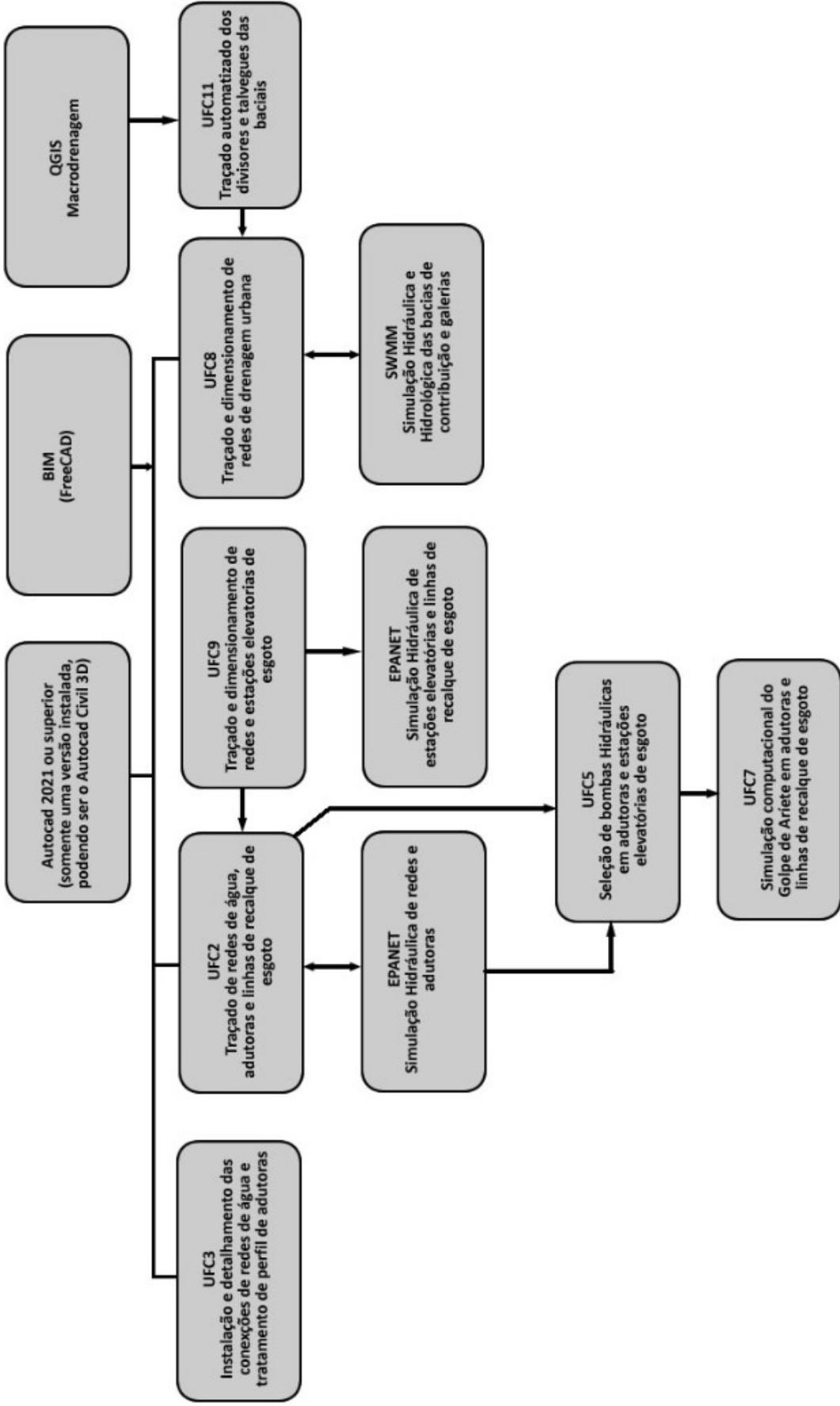


Fonte: Silva Neto e Hobold (2019)

2.3 Sistema UFC

O programa UFC apresenta facilidade de utilização e qualidade técnica na elaboração de projetos de sistemas de esgotamento sanitário, sistemas de abastecimento de água e sistema de drenagem urbana. Ele funciona integrado ao AutoCAD ou CAD Civil 3D em módulos que desempenham funções de detalhamento gráfico e dimensionamento das diversas partes dos sistemas de saneamento (Figura 10).

Figura 10 – Fluxograma de interação entre os módulos do sistema UFC



O software UFC9 é uma ferramenta que disponibiliza elementos gráficos (utilizados no desenho) e de cálculo (para dimensionamento) da rede de esgotamento sanitário. Além disso, o programa também é capaz de gerar quantitativo e orçamento da rede coletora (RODRIGUES, 2006).

O UFC 9 permite o traçado da tubulação e de acessórios como: terminal de limpeza, poço de visita (PV), terminal de inspeção e limpeza, caixa de passagem, TIL radial, TIL condominial e indicativo de ponta seca. Além disso, possui funcionalidade para fazer o reconhecimento de um obstáculo na rede, para traçar o perfil da rede, para inserir todos os PVs da rede automaticamente ou inserir um PV internamente a um trecho já traçado. Em relação ao dimensionamento da rede, o programa possui funções secundárias que auxiliam o recurso gerador da planilha de cálculo (BEZERRA, 2011).

Os módulos UFC 2 e 3 funcionam em conjunto no traçado e dimensionamento de redes de abastecimento de água. O UFC 2 é responsável pelo traçado da rede, onde são inseridos: tubulação, reservatórios, booster, poço profundo, estação de bombeamento, manancial, registro, válvula controladora de pressão, conexões, demanda especial, arquivo da demanda, aspersor, adutora e gerador de arquivos do Epanet. O UFC 3 é o ambiente onde é possível definir o detalhamento da rede em relação às peças como registros de manobra, registros de descarga e ventosas (DIUANA; OGAWA, 2015). O UFC 2 também é responsável pelo dimensionamento de redes de água.

O módulo UFC 8, por sua vez, é responsável pelo traçado e dimensionamento de redes de drenagem. Ele permite a delimitação das bacias de contribuição, bem como a inserção de tubos, bocas coletoras e singularidades da rede, como poço de visita (PV), caixa de passagem (CP), e caixa de visita. O dimensionamento se dá através do cálculo da precipitação pelos métodos de Pfafstetter, equações de chuva ou Taborga Torrico e o cálculo do escoamento através da interface com modelo SWMM (*Storm Water Management Model*) onde são geradas planilhas de dados (LIMA, 2011).

2.4 As ferramentas BIM e sua adoção

Segundo Campestrini et al. (2015), o BIM surgiu através de pesquisas científicas na construção civil na década de 70, que tinham como objetivo melhorar a tomada de decisão em função da crescente quantidade de informações disponíveis e as novas exigências e especialidades esperadas no mercado dos países desenvolvidos, entre elas segurança, certificações ambientais, sustentabilidade e conforto.

O início da adoção do BIM se deu ainda dentro do processo de projeto tradicional, segmentado em anteprojeto, projeto básico e projeto executivo, sendo utilizado como ferramenta de compatibilização espacial e não exatamente como um novo processo de desenvolvimento de projetos por inteiro. Esse fato pode ser devido à redução do entendimento do BIM à visualização 3D ou à utilização de um software. Estima-se que a utilização na perspectiva apresentada possa gerar redução de custos de 2 a 5% devido à compatibilização correta, ao passo que se utilizado como processo de projeto como um todo pode alcançar economia bem maior devido à possibilidade de avaliação de diversas concepções buscando a mais otimizada, por exemplo (CAMPESTRINI et al., 2015).

Succar e Kassem (2015) destacaram estudos que demonstram o crescimento da adoção pelo mercado de construção de BIM no Reino Unido, França, Alemanha, Estados Unidos, Canadá, Austrália e Nova Zelândia. Os estudos disponíveis acerca da implementação e difusão de BIM em escala de mercado são dominados por pesquisas de avaliação realizadas por provedores de serviços orientados ao comércio.

Barros e Librelotto (2018) analisaram publicações de 2007 a 2017, a nível nacional e internacional, classificando-as de acordo com as abordagens de adoção do BIM no âmbito profissional, inserção do BIM no âmbito acadêmico e aplicações do BIM em projeto com diferentes abordagens. Os autores concluíram que a maioria das pesquisas envolvendo a adoção do BIM no âmbito profissional foca nos impactos e desafios gerados devido à sua implantação, mas ainda carecem de pesquisas que atuem na gestão de projetos e fluxo de informação após a adoção do BIM. Já em relação à inserção no meio acadêmico, a maioria das publicações tem foco em disciplinas de projeto arquitetônico e destacam obstáculos a serem superados, competência e habilidades que devem ser ensinadas em sala de aula. Nas pesquisas que abordam as aplicações do BIM em projeto observou-se a tendência a ressaltar as potencialidades e principais desafios, bem como realizar comparativos entre o atual processo tradicional de projeto e o processo em BIM.

A disseminação do BIM na gestão de obras ainda é um desafio no Brasil. Observa-se uma resistência por parte dos profissionais para migrar a concepção de projetos consolidada em ferramentas de duas dimensões para toda a concepção do modelo tridimensional, parametrizado, que permitiria a extração de informações fundamentais para o planejamento de fases da construção coordenadas (BOMFIM; LISBOA; MATOS, 2016).

Em parte, a demora nas mudanças pode ser explicada por Cao e colaboradores (2017) que realizaram estudo na China acerca das motivações para implantação do BIM e concluíram que são complexas e multidimensionais, sendo assim o processo de implementação pode ser caracterizado por motivos econômicos e de imagem social. As respostas organizacionais ao ambiente institucional externo, caracterizado pelo desejo de não apenas buscar legitimidade social, mas também manter a eficiência econômica, podem ser relativamente estratégicas.

Fagan (2019) afirma que o uso de BIM já se tornou onipresente em toda a indústria da arquitetura e engenharia nos Estados Unidos, transformando a metodologia como essas empresas trabalham e como os projetos são concebidos e os edifícios construídos. Uma das principais plataformas de software BIM usadas em substituição ao AutoCAD nos Estados Unidos é o Autodesk Revit, cuja mudança vem acontecendo nos últimos 15 anos.

O autor compara a atual migração do desenho 2D comumente adotado no AutoCAD para os softwares BIM com a mudança que aconteceu na indústria em 1982 quando o AutoCAD começou a ser utilizado e os projetos passaram a ser desenvolvidos em um ambiente totalmente eletrônico. Ao longo do tempo o AutoCAD foi sendo atualizado com mais recursos por fim, incluíram o uso de simbologia pré-gerada (blocos) e detalhes, formatos de camadas padrão que permitiam a filtragem das informações exibidas em desenhos impressos, recursos de representação tridimensional e muito mais. Porém, em resumo, o AutoCAD ainda é apenas uma ferramenta de desenho eletrônico que permite a criação de linhas de representação de objetos, mas com inteligência limitada a esses objetos.

Em comparação, o BIM também vem ganhando mais ferramentas desde a sua criação. Uma escala como forma de mensurar o Nível de Desenvolvimento (*Level of Development – LOD*) nos Estados Unidos foi criada pelo Instituto Americano de Arquitetos (*American Institute of Architects - AIA*) através de um documento chamado *Project BIM Protocol*. Projetos em diferentes LOD tem diferentes aspectos visuais (Figura 11), embora a escala (Quadro 1) seja referente à quantidade e nível de informações incorporados no projeto (FAGAN, 2019).

Figura 11 – Representação gráfica de projetos em diferentes LOD



Fonte: Fagan (2019).

Quadro 1 – Descrição dos diferentes níveis de desenvolvimento (LOD) em BIM

LOD 100

Uma representação simbólica no modelo que indica graficamente a existência de um elemento, mas não transmite informações que não sejam as derivadas de outros elementos de modelo associados, notas, textos explicativos, cronogramas ou outros esclarecimentos externos.

LOD 200

O elemento aparece graficamente semelhante ao objeto ou agrupamento de objetos retratados. Quantidade aproximada, tamanho, forma e localização são identificados e outros dados podem ser vinculados ao elemento por meio de notas ou outra representação externa.

LOD 300

O elemento aparece graficamente semelhante à sua aparência real no modelo, incluindo acessórios que constituem um sistema ou montagem específico. Quantidade, tamanho, forma, localização e orientação podem ser inferidos pela representação. Outros dados relacionados ao elemento em formato não modelado podem ser anexados ao elemento.

LOD 400

O elemento aparece graficamente como um objeto ou montagem que define o tamanho, forma, localização, quantidade, orientação das folgas necessárias e inclui detalhes relacionados aos componentes do elemento, montagem e instalação. Informações não gráficas também podem ser anexadas.

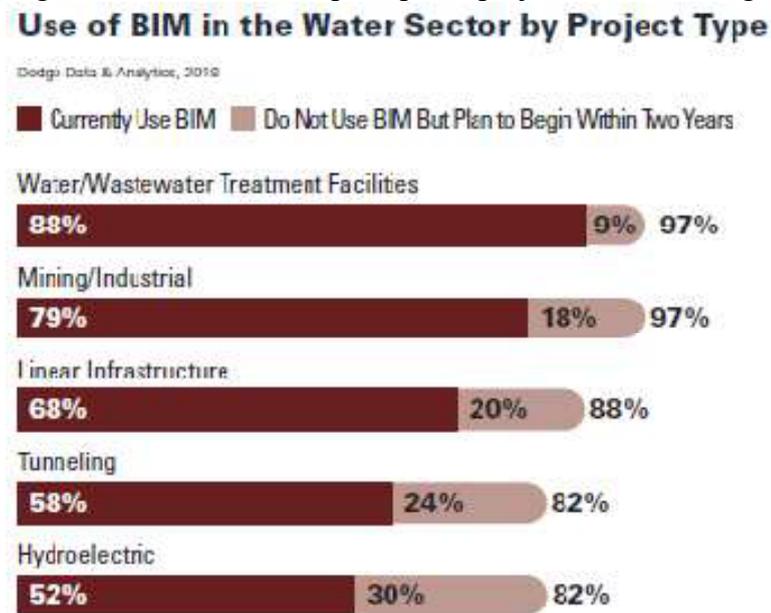
LOD 500

O elemento é um campo verificado para ter o tamanho e a forma indicados e a localização, orientação da quantidade e acessórios e interfaces para outros sistemas de construção são identificados como instalados. Informações não gráficas também podem ser anexadas.

Fonte: Adaptado de Fagan (2019).

O uso de BIM no setor da água ainda é emergente na indústria, especialmente em projetos de redes (Figura 12). Um estudo de 2018 com 74 respondentes entre empresários, engenheiros e construtores da América do Norte, Ásia e Europa mostrou um rápido crescimento da adoção de BIM no setor de água em relação a um estudo anterior de 2012. No relatório ainda é destacado os ganhos econômicos da adoção de BIM devido a diversos benefícios apontados tais como: redução de conflitos e problemas de coordenação em campo, melhor comunicação multipartido, melhor previsibilidade de custos e redução de tempo de fluxo de trabalho (JONES; LAQUIDARA-CARR, 2018).

Figura 12 – Uso de BIM por tipo de projeto no setor da água



Fonte: Jones e Laquidara-Carr (2018).

Inicialmente na pesquisa enfrentou-se muita dificuldade para encontrar estudos que envolvessem BIM e detecção de interferências em redes de saneamento. No entanto, nos anos de 2021 e 2022, com a maior adoção de BIM no setor de saneamento, já existem mais pesquisas com esse tema.

Zhao et al. (2019) investigaram a utilização de BIM através de Revit e modelo IFC (*Industry Foundation Classes*) – formato de arquivo compatível com diferentes softwares BIM – e GIS (*Geographic Information System*) – através do ArcGIS com o propósito de desenvolver um método para planejamento de redes urbanas, incluindo, além das redes de saneamento, redes de gás, eletricidade, comunicação, bem como as edificações. A utilização

de regras topológicas na ferramenta GIS é interessante, pois permite a correção de erros de desenho que tornariam as redes incongruentes e, conseqüentemente, inutilizáveis.

Huang, Ninic e Zang (2021) pesquisaram sobre o estado da arte e perspectivas futuras relacionadas a utilização de BIM, aprendizado de máquina e técnicas de visão computacional em construção no subsolo. Os autores concluíram que o BIM subterrâneo requer a consideração de características geográficas e geológicas e o aproveitamento de soluções de troca de dados para estabelecer um recurso de informações abrangente e integrado. Como principais tecnologias de IA, o aprendizado de máquina e a visão computacional estão se consolidando em uma ferramenta poderosa para análise de big data. A evolução na análise de dados em conjunto com o aumento da implantação de detecção também ajuda a capturar as variações situacionais durante a interação do sistema e o monitoramento da operação. Em combinação, essas ferramentas oferecem um modelo BIM reconciliado atualizado com dados executados e apoiam as decisões dos engenheiros. Os autores também utilizaram uma plataforma interativa tomando como exemplo o Metro Tunnel Project em Melbourne, considerando a integração abrangente e colaborativa de GIS, modelagem geológica 3D, métodos de construção e tecnologias de detecção em BIM, a fim de formar uma base confiável para decisões e gerenciamento durante o ciclo de vida de um projeto subterrâneo.

Luo et al. (2022) utilizaram o software Bentley Navigator para identificar interferências em redes subterrâneas. Além das redes de saneamento o estudo considerou os dutos de energia elétrica, comunicação e gás. Os autores criaram uma estrutura para análises das interferências. Eles dividiram as colisões classificando-as com base na sua localização espacial e na hierarquia dos elementos, além disso, definiram regras como a folga mínima na vertical e determinaram que ao ser identificada uma colisão a tubulação de menor hierarquia seria movida. Não foi mencionado no artigo nada a respeito do processo de correção das colisões.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição geral

A metodologia de trabalho desta pesquisa foi dividida nas seguintes etapas:

- Pesquisa bibliográfica acerca das características das redes de saneamento;
- Escolha do software e linguagem de programação;
- Desenvolvimento do código para automatização do processo de conversão do projeto calculado no UFC em BIM;
- Desenvolvimento da metodologia para verificação e correção de interferências;
- Construção do fluxo de trabalho com a aplicação das ferramentas desenvolvidas;
- Aplicação dos códigos desenvolvidos em diversos projetos exemplos para sua validação.

3.2 Software e linguagem de programação

O FreeCAD é um software BIM de uso gratuito e livre. No caso dos softwares comerciais o código fonte não é liberado, portanto os usuários ficam restritos à posição de consumidores não tendo a possibilidade de contribuir com melhorias para o software e necessitando confiar na precisão da sequência operacional oferecida e nos resultados obtidos. Os softwares livres e de código aberto surgiram como oposição a essas ideias permitindo ao usuário tornar-se também co-desenvolvedor. No entanto, o BIM continua fazendo parte de um campo quase inexplorado de pesquisa quando relacionado a software de código livre (DI DONATO; ABITA, 2019).

Nesse campo, Freecad surgiu recentemente como uma das poucas alternativas a softwares BIM comerciais com produto de colaboração de diversos atores após a liberação de um software originalmente comercial. O FreeCAD trabalha com ferramentas divididas em bancadas de trabalho. Nas últimas atualizações surgiu uma bancada especialmente dedicada a BIM que inicialmente foi concebida como uma implementação a outra bancada existente, Arch (DI DONATO; ABITA, 2019).

O FreeCAD é um programa construído em Python desde as bancadas nativas e extras, além disso é possível utilizar Python para enviar comandos ao programa através do interpretador, bem como criar macros.

3.3 Automatização da conversão do projeto em BIM

O fluxo de trabalho se inicia no desenho em 2D e dimensionamento das redes de água, esgoto e drenagem nos respectivos módulos UFC no programa AutoCAD. No processo de dimensionamento, os módulos UFC geram arquivos de texto contendo os parâmetros que descrevem o posicionamento e características das redes, tais como: coordenadas de nós e órgãos acessórios, diâmetro e material dos tubos, cotas de terreno e cotas de assentamento dos tubos.

A partir do dimensionamento das redes no UFC, foram identificados os seguintes arquivos, apresentados abaixo com nomes genéricos, para obtenção dos parâmetros das redes:

- Sistema de Abastecimento de Água: Rede_Nome-do-projeto_Agua.INP - É referente ao arquivo de cálculo da rede, compatível com a interface com o EPANET, apresenta os dados de coordenadas, diâmetros, cotas de terreno, identificação dos nós e dimensões dos reservatórios.
- Sistema de Esgotamento Sanitário: Rede_Nome-do-projeto_esgoto.NSE - É referente ao arquivo gerado de nota de serviço, apresenta os dados de coordenadas, diâmetros, cotas de terreno, cotas de fundo e identificação dos trechos e órgãos acessórios.
- Sistema de Drenagem: No caso da drenagem serão utilizados 3 arquivos:
 - Rede_Nome-do-projeto_drenagem.NSE - É referente ao arquivo gerado de nota de serviço, apresenta os dados de coordenadas, diâmetros, cotas de terreno, cotas de fundo e identificação dos trechos e órgãos acessórios.
 - Nome-do-projeto_drenagem.INP - É referente ao arquivo gerado no modelo SWMM, apresenta os dados das bacias, coordenadas das bocas coletoras e tubos de ligação, entre outros.
 - DefUFC8 – Arquivo default do sistema que armazena os dados de configuração do projeto, apresenta dados das bocas coletoras, como tipo utilizado e comprimento da abertura.

No ambiente do programa FreeCAD há o suporte para programação em python no qual foi realizada a leitura dos arquivos de texto supracitados e a utilização de tais parâmetros para o desenho das redes em 3D. O nível de detalhamento do desenho irá incluir o formato, tamanho, localização e identificação das tubulações e órgãos acessórios, bem como informação de material e diferenciação por cor, a fim de permitir fácil visualização.

3.4 Parâmetros utilizados para desenho da rede em BIM

Os elementos das redes foram definidos em BIM utilizando nível de detalhamento (LOD) 200. Os elementos incluem informações como material, com a sua respectiva cor, espessura e formato. Algumas dificuldades encontradas foram impedimento para aprimorar mais o nível de detalhamento: O caráter automático do programa desenvolvido exige que, por exemplo, conexões na rede de água tenham uma lógica própria desenvolvida, já que tal informação não é fornecida de forma adequada pelo sistema UFC. Julgou-se, portanto, que não seria prejudicial à verificação de interferências prosseguir sem as conexões, já que a elaboração dessa lógica não fez parte do escopo desse trabalho.

Para o desenvolvimento das redes em BIM foram utilizados os seguintes parâmetros:

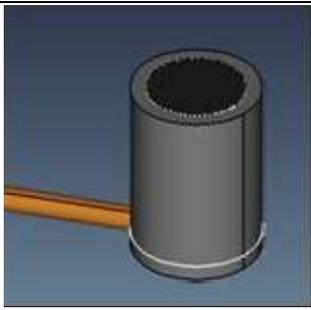
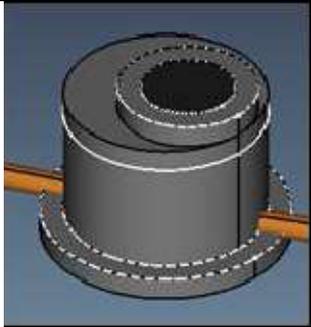
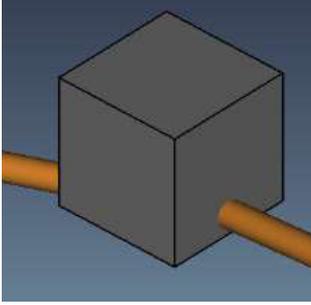
3.4.1 Rede de esgoto

Os parâmetros utilizados para os cálculos das redes de esgoto e para desenvolver os modelos em BIM estão expostos a seguir:

- Recobrimento mínimo: 0,90m
- Distância máxima entre as singularidades: 100,00m
- Metodologia de cálculo: Tensão trativa mínima
- Diâmetro mínimo: 150mm
- n de Manning: 0,010
- Material da tubulação: PVC Ocre

Para os órgãos acessórios foram adotadas as seguintes características resumidas no Quadro 2:

Quadro 2 – Características dos órgãos acessórios de esgoto

Órgão acessório	Desenho	Material	Dimensão interna	Espessura
Terminal de limpeza (TL)		Concreto	Φ60cm	10cm
Poço de visita (PV)		Concreto	Φ100cm	15cm
Tubo de inspeção e limpeza (TIL)/ Tubo radial (TR)		PVC Ocre	Φ60cm	0,2cm
Caixa de passagem		Concreto	60cm x 60cm	10cm

Fonte: Elaborado pela autora.

3.4.2 Rede de água

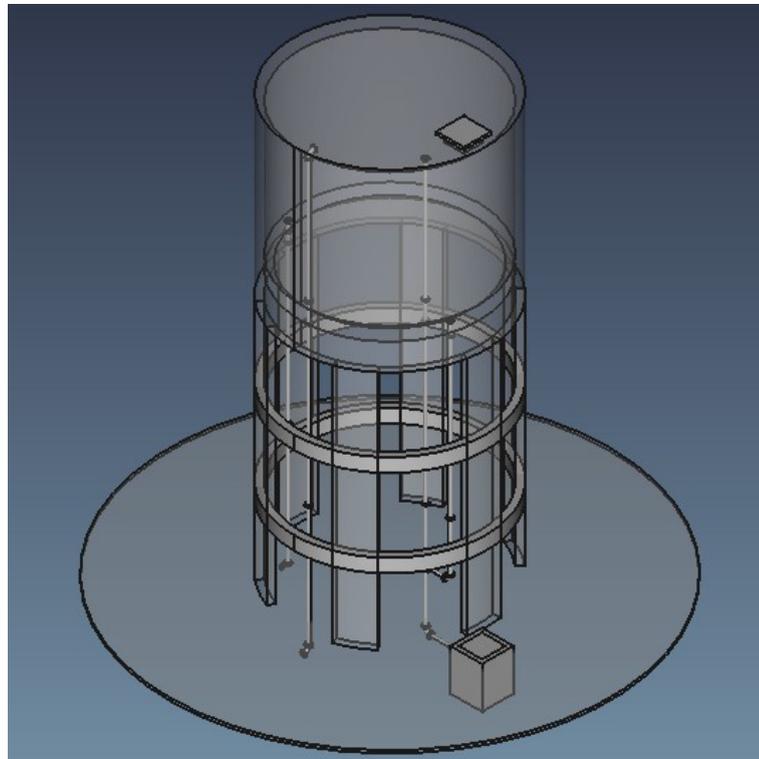
Os parâmetros utilizados para o cálculo das redes de água e para desenvolver os modelos em BIM estão expostos a seguir:

- Recobrimento mínimo: 0,90m
- Metodologia de cálculo da perda de carga: Darcy Weisbach

- Diâmetro mínimo: 50mm
- Rugosidade equivalente (ϵ): 0,06mm
- Material da tubulação: PVC PBA e PVC DEFoFo

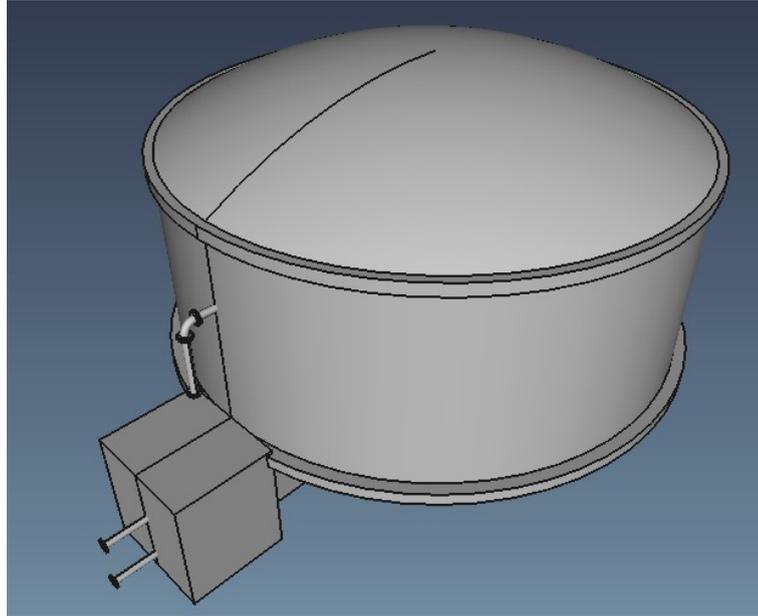
Além das tubulações, foram desenvolvidos também alguns modelos de reservatório com base nos modelos mais utilizados: Reservatório elevado de concreto armado (Figura 13), reservatório apoiado de concreto armado (Figura 14), reservatório elevado em anéis de concreto (Figura 15).

Figura 13 – Modelo BIM de reservatório elevado em concreto armado no programa FreeCAD



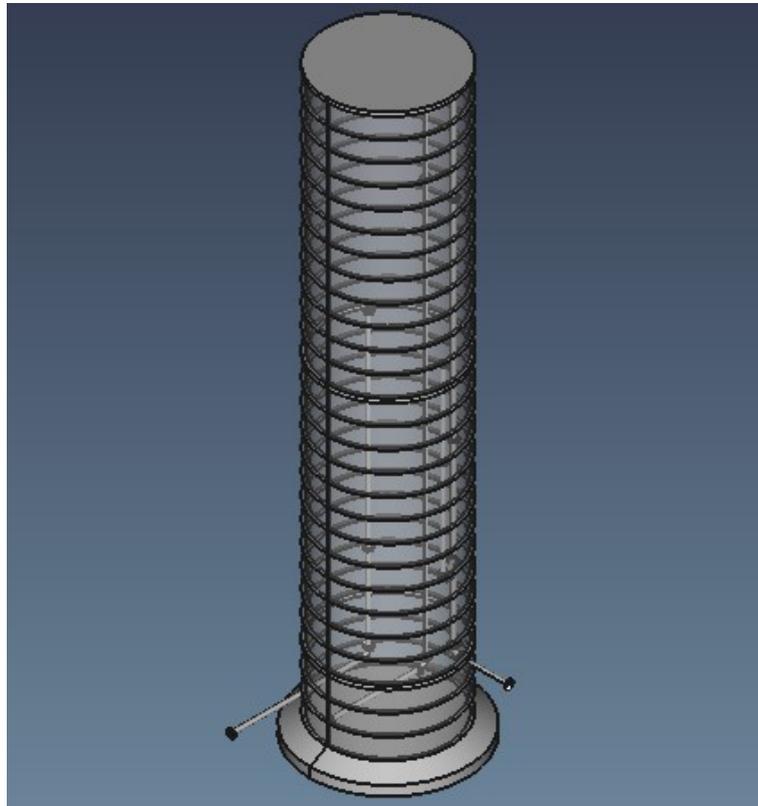
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 – Modelo BIM de reservatório apoiado em concreto armado no programa FreeCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 15 – Modelo BIM de reservatório em anéis de concreto no programa FreeCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

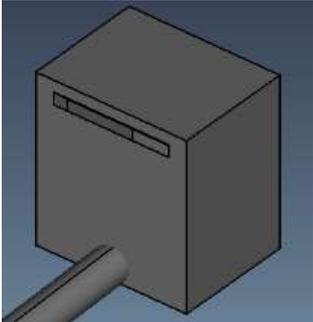
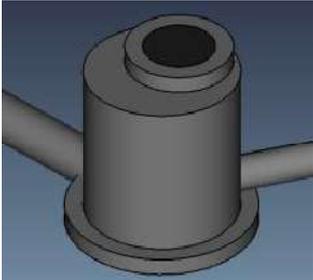
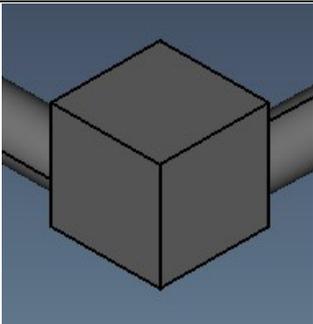
3.4.3 Rede de drenagem

Os parâmetros utilizados para o cálculo das redes de drenagem e para desenvolver os modelos em BIM estão expostos a seguir:

- Duração da precipitação: 10 min
- Tempo de retorno: 10 anos
- Método para o cálculo do tempo de concentração: Kirpich ($A < 1\text{km}^2$)
- Método de cálculo: Método racional de onda dinâmica
- Recobrimento mínimo: 1,00m
- Material da tubulação: Concreto armado

Para os órgãos acessórios foram adotadas as seguintes características resumidas no Quadro 3:

Quadro 3 – Características dos órgãos acessórios de drenagem

Órgão acessório	Desenho	Material	Dimensão interna	Espessura
Boca coletora (BC)		Concreto	100cm x 70cm	10cm
Poço de visita (PV)		Concreto	Φ100cm	15cm
Caixa de Ligação (CL)		Concreto	60cm x 60cm	10cm

Fonte: Elaborado pela autora.

3.5 Desenvolvimento do fluxo de trabalho

O desenvolvimento do fluxo de trabalho consiste na forma que o usuário poderá utilizar o programa. O fluxo de trabalho conforme planejado está detalhado nos tópicos a seguir:

1. Definir os critérios de projeto, tais como área de cobertura, população, material a ser utilizado, recobrimento;
2. Desenhar as redes no sistema UFC. Obs.: arquivos das redes que serão testadas as interferências deverão ser salvos em uma mesma pasta no computador;
3. Calcular das redes no sistema UFC;
4. Produzir os arquivos necessários: No caso da água é necessário gerar o arquivo INP, no caso do esgoto é necessário gerar o arquivo NSE (nota de serviço), no caso da drenagem é necessário gerar os arquivos INP e NSE;
5. Deixar ativo o arquivo da rede que sofrerá interferência das demais e apertar o botão BIM;
6. Selecionar o(s) arquivo(s) da(s) rede(s) que representarão as interferências e clicar em ok: o sistema irá iniciar automaticamente o programa FreeCAD e os programas desenvolvidos para desenho automático dessas redes e verificação de interferências.

Existem 3 cenários possíveis:

- a. Não haver interferências: Nesse caso, o programa não apontará nenhuma interferência;
- b. Haver interferências horizontais: Nesse caso, o programa irá mostrar uma mensagem na tela indicando quais são os elementos que estão envolvidos nas interferências horizontais. As interferências horizontais são aquelas que os projetistas devem estar atentos no momento do projeto da rede, pois elas são facilmente detectáveis, elas ocorrem envolvendo pelo menos um elemento de órgão acessório, nesse caso não haveria como automatizar a solução;
- c. Haver interferências verticais: Nesse caso, as interferências estarão destacadas da seguinte forma:
 - i. Esferas amarelas para interferências de esgoto
 - ii. Esferas verdes para interferências de água
 - iii. Esferas magenta para interferências de drenagem

O fluxograma a seguir (Figura 16) mostra de forma resumida as etapas apresentadas e destaca em vermelho a contribuição desse trabalho para o procedimento de projeto.

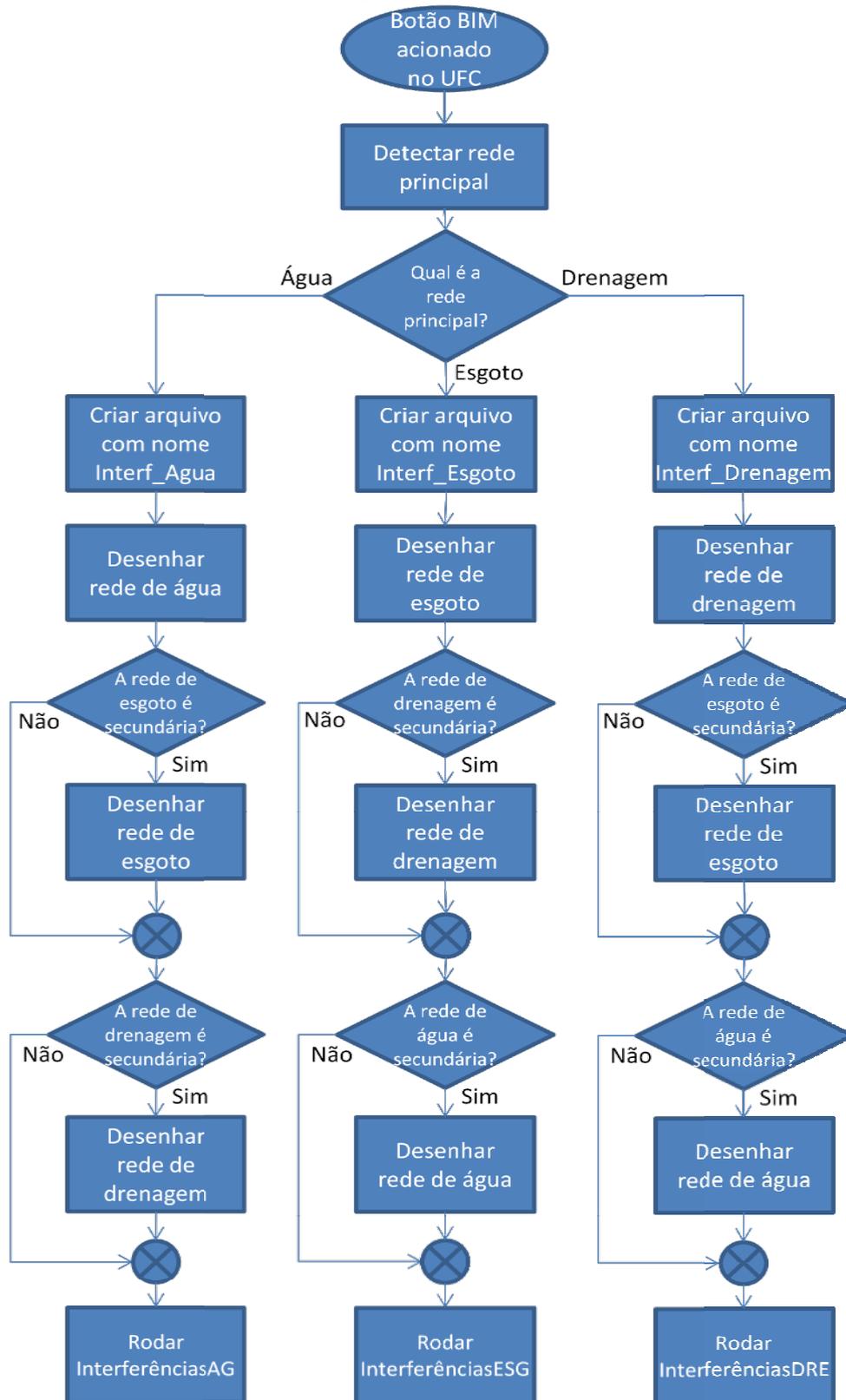
Figura 16 – Fluxograma do fluxo de trabalho



Fonte: Elaborado pela autora.

O fluxograma a seguir (Figura 17) mostra as etapas na utilização do programa de detecção de interferências.

Figura 17 – Fluxograma do programa de detecção das interferências



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao verificar uma interferência entre tubulação de água e elemento de outra rede de saneamento a correção é feita deslocando o trecho de tubulação da rede de água para baixo já no arquivo do FreeCAD e o arquivo de cálculo também já é atualizado. Para realizar a compatibilização com o arquivo do UFC e compatibilização do cálculo é necessário utilizar a função de redesenhar e em seguida dimensionar.

No caso da verificação de interferência entre tubulação de esgoto ou drenagem e elemento de outra rede de saneamento é gerado um arquivo de texto com as informações da interferência, tais como o trecho em que acontece a interferência, a geratriz inferior, e o diâmetro da tubulação que gerou a interferência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados se deu com o seguinte formato:

Primeiro serão apresentados os exemplos que foram utilizados e suas características gerais, em seguida serão apresentados respectivamente os modelos BIM das redes de água, esgoto e drenagem para cada exemplo e os resultados das verificações de interferências, e por último serão feitas discussões acerca dos resultados obtidos.

4.1 Apresentação dos exemplos

Para validar a viabilidade do método proposto foram utilizados 6 exemplos. Para elaboração de cada exemplo foram necessários os arquivos de arruamento e curvas de nível de cada local. Foram então traçadas as redes de água, esgoto e drenagem de forma fictícias a partir de arruamentos e curvas de nível disponíveis na pata exemplos do UFC ou de acervo pessoal, com a precaução de se evitar interferências em planta, ou seja, evitando posicionar elementos como poços de visita, caixas de ligação, entre outros, de forma sobreposta uns aos outros ou a trechos de rede. Cada rede foi dimensionada separadamente utilizando os módulos correspondentes do sistema UFC. Para testar todas as funcionalidades tomou-se o cuidado de variar as especificações de cada rede de esgoto, por exemplo se usa como órgãos acessórios, poço de visita, caixa de passagem, terminal de limpeza, etc. Segue abaixo um quadro resumo das redes exemplo (Quadro 4):

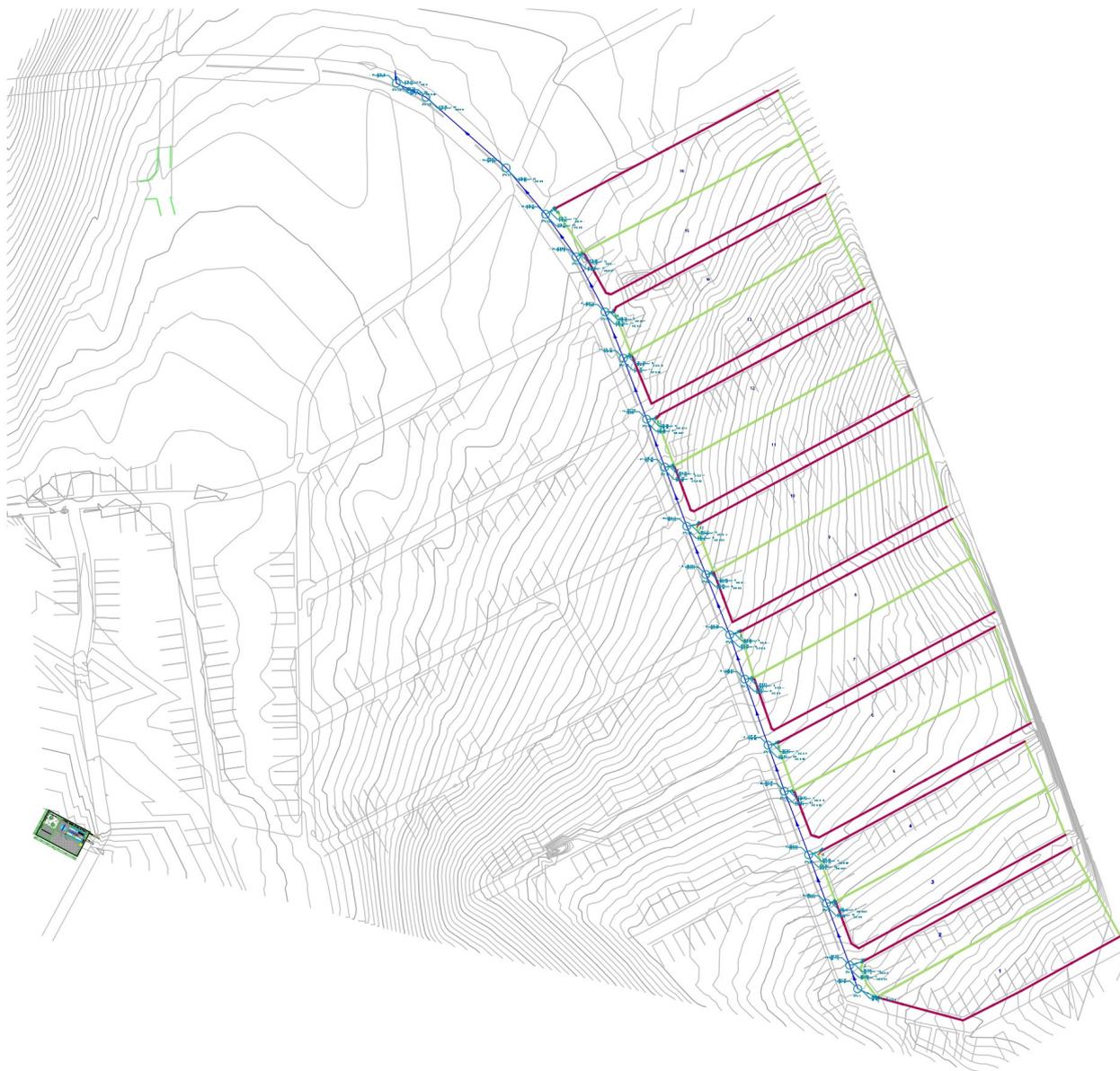
Quadro 4 – Resumo das redes utilizadas como exemplos

Cidade / Nome da rede	Habitantes	Comprimento da rede (m)		
		Drenagem	Esgoto	Água
São Benedito - CE	1600	636,90	3.318,40	1.772,18
Aurora - CE	1408	919,1	1.321,80	1.408,15
Irauçuba - CE	1400	1.889,50	2.737,60	2.910,05
Antonina do Norte - CE	1400	1.105,90	2.027,00	3.379,08
Conjunto Habitacional	1000	761,80	933,40	895,80
Eusébio - CE	5000	2.414,90	3.285,60	7.245,38

Fonte: Elaborado pela autora.

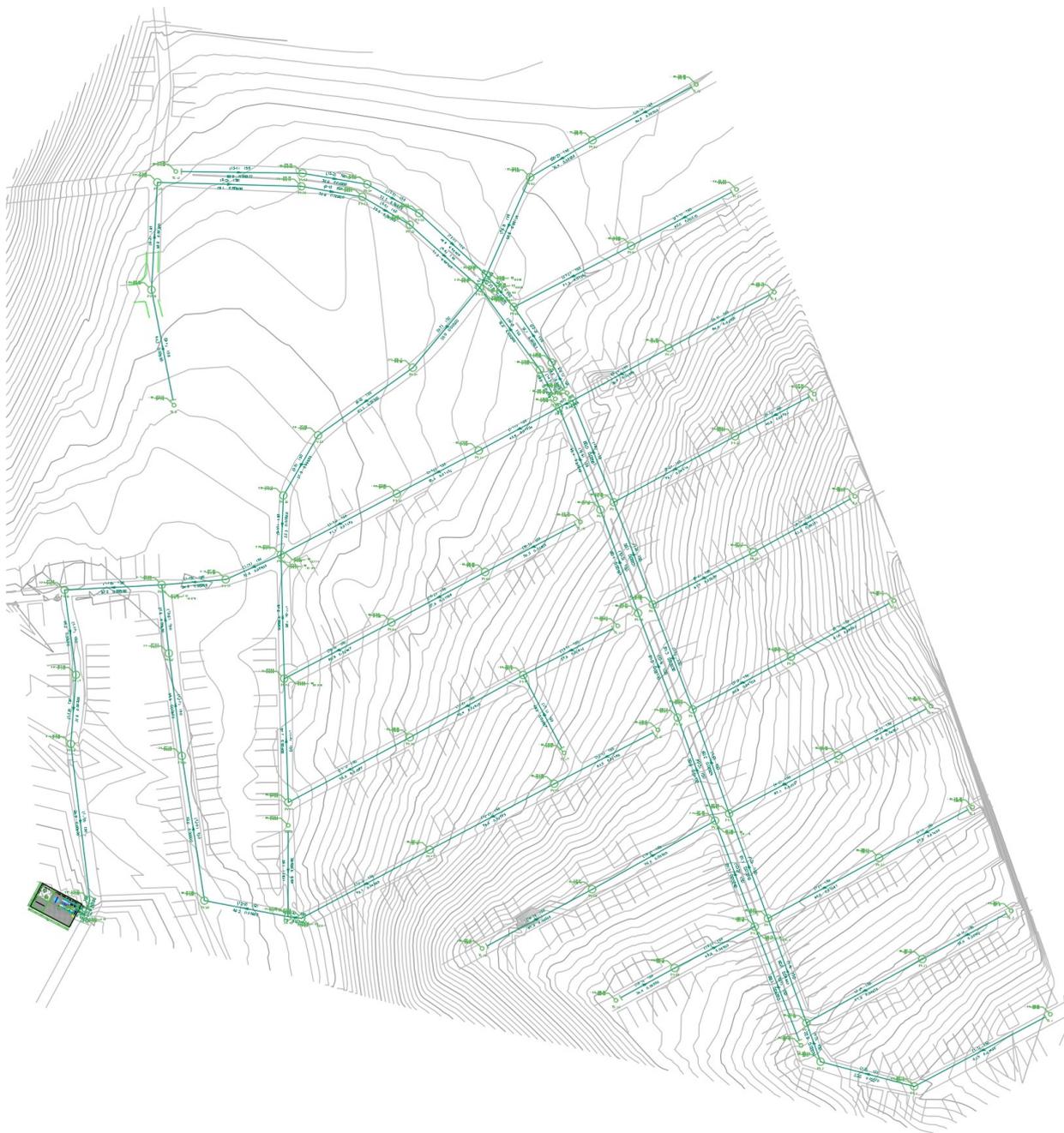
4.1.1 São Benedito - CE

Figura 18 – Rede de drenagem em São Benedito no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

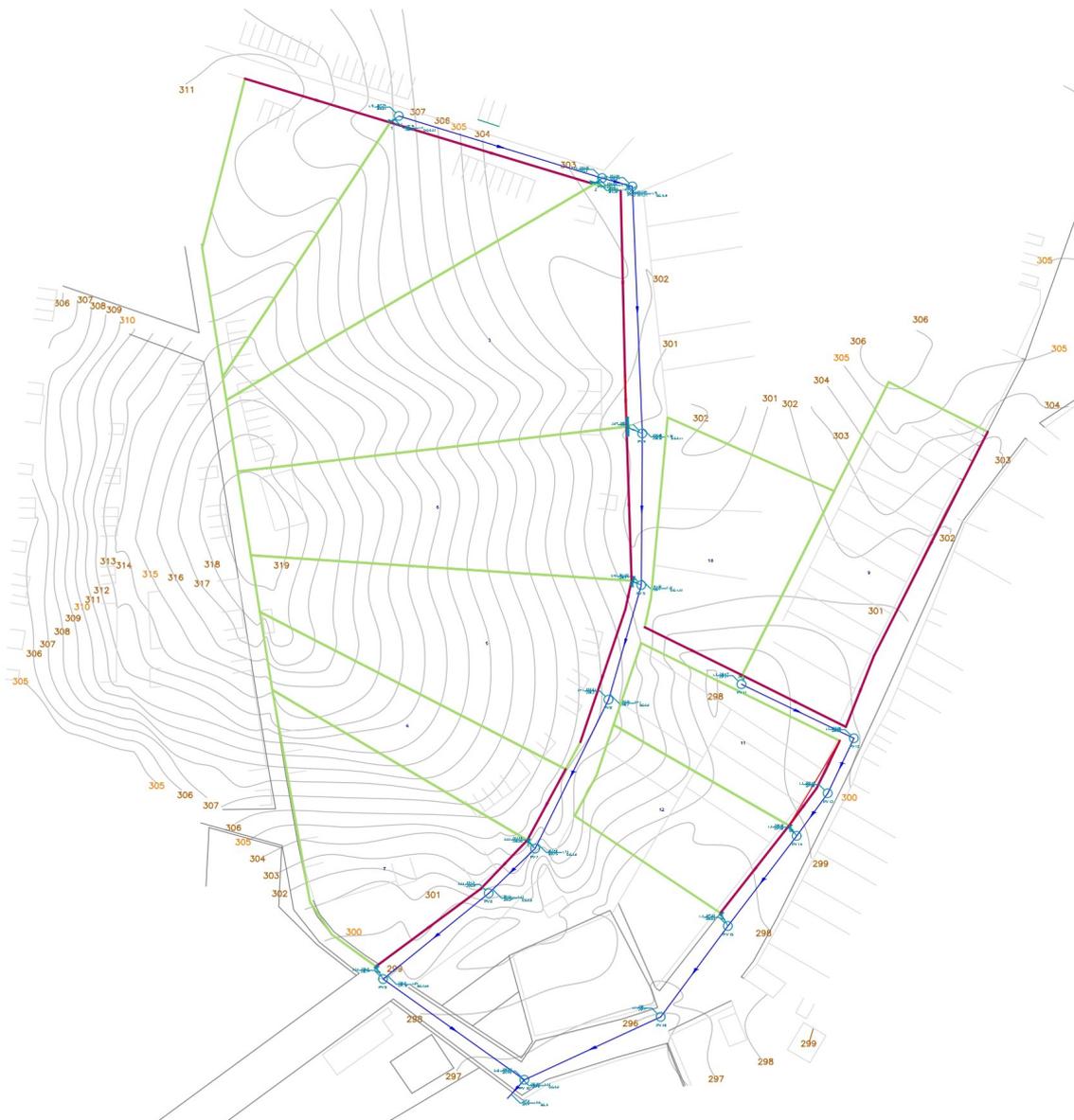
Figura 19 – Rede de esgoto em São Benedito no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

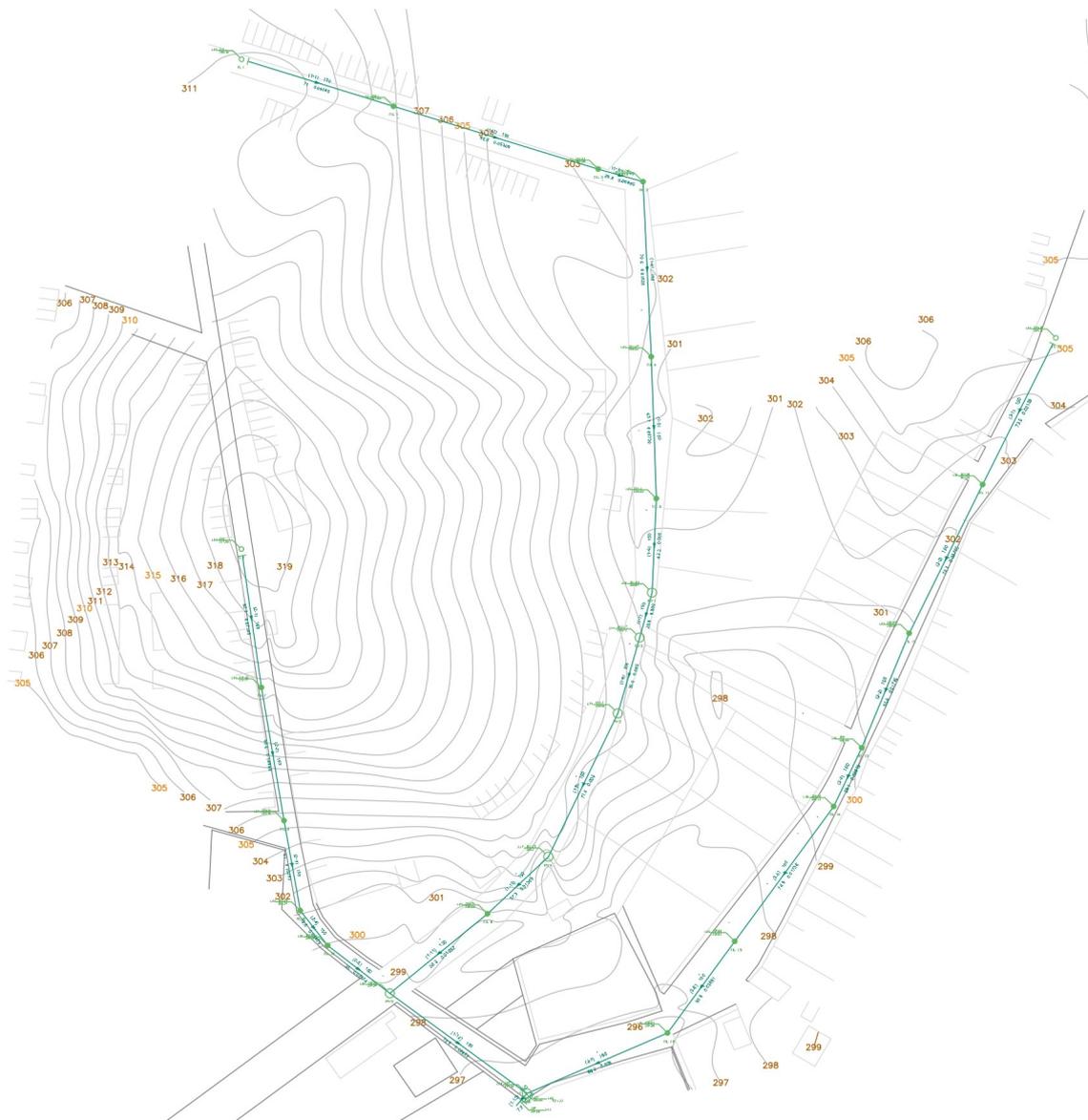
4.1.2 Aurora - CE

Figura 21 – Rede de drenagem em Aurora no programa UFC/AutoCAD



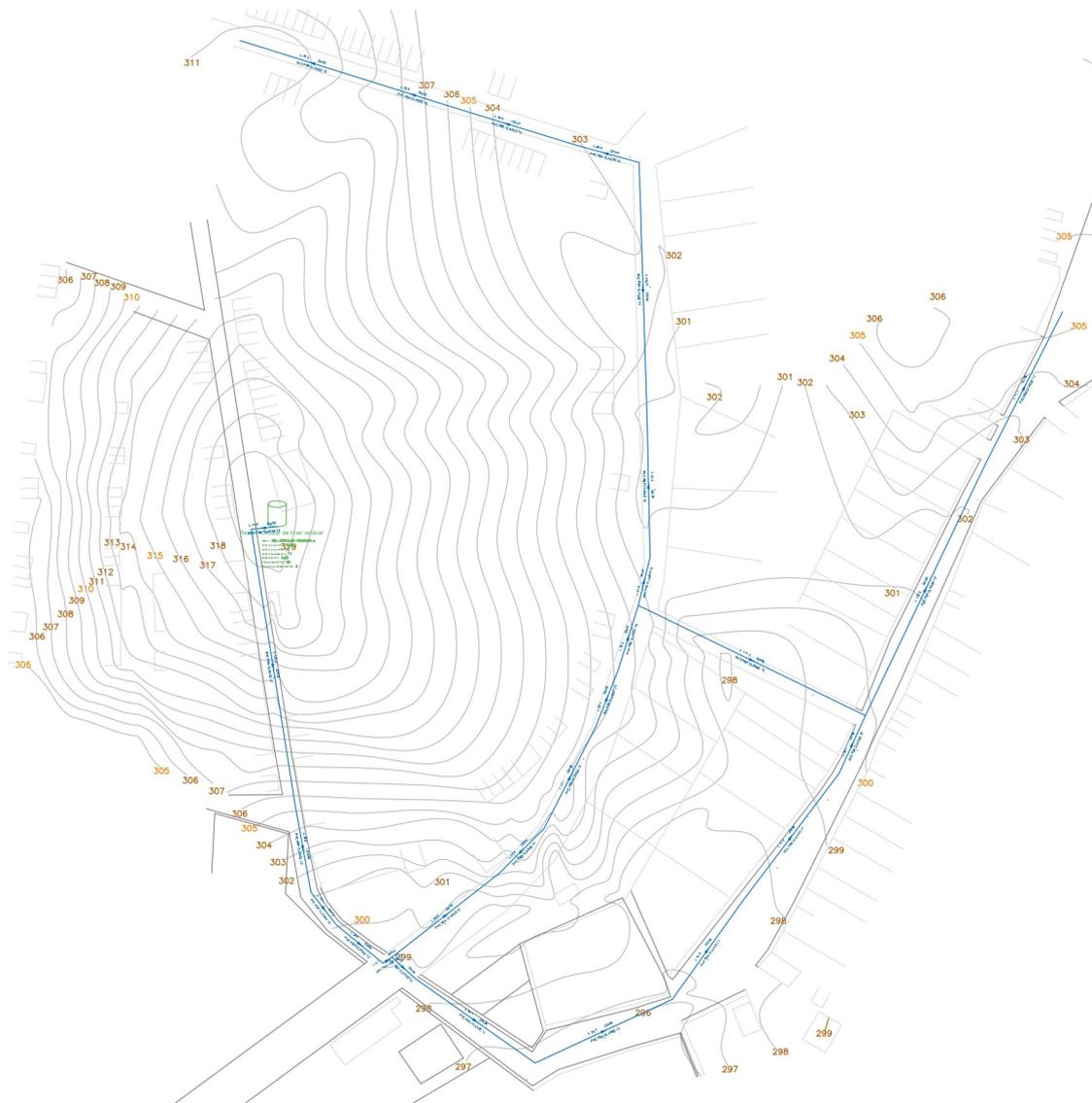
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 22 – Rede de esgoto em Aurora no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

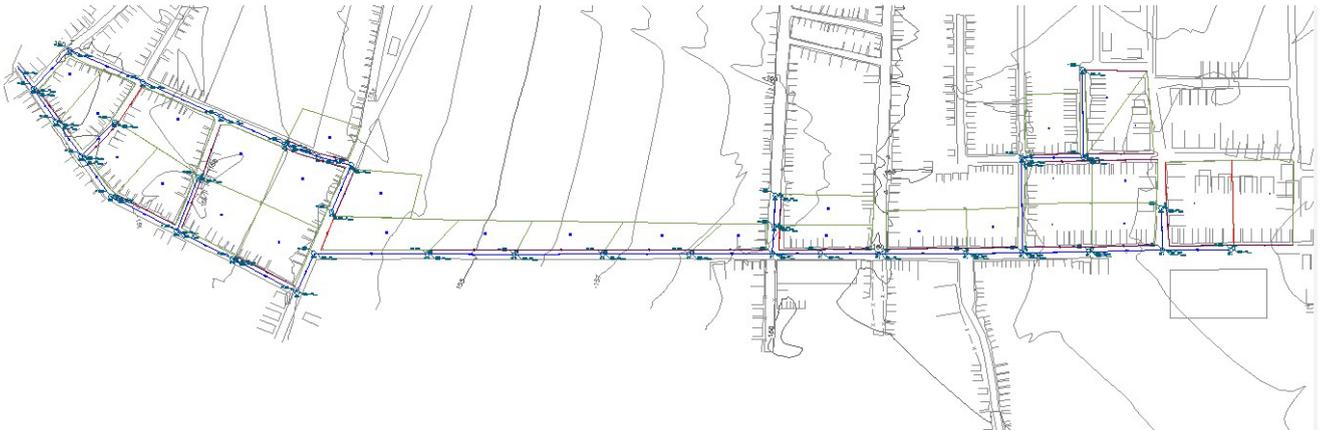
Figura 23 – Rede de água em Aurora no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

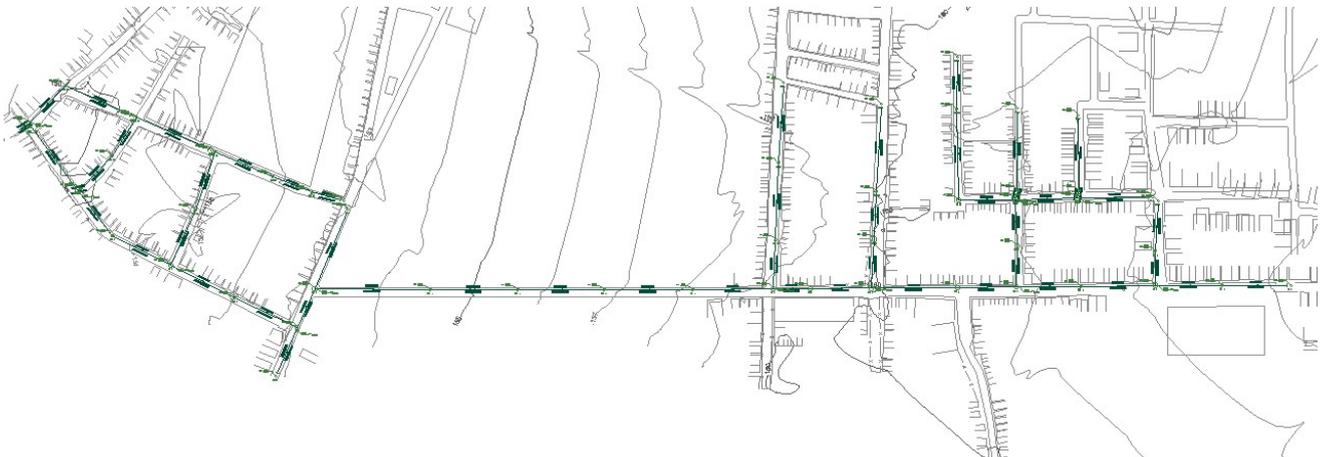
4.1.3 Irauçuba - CE

Figura 24 – Rede de drenagem em Irauçuba no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 25 – Rede de esgoto em Irauçuba no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26 – Rede de água em Irauçuba no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.4 Antonina do Norte - CE

Figura 27 – Rede de drenagem em Antonina do Norte no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 28 – Rede de esgoto em Antonina do Norte no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

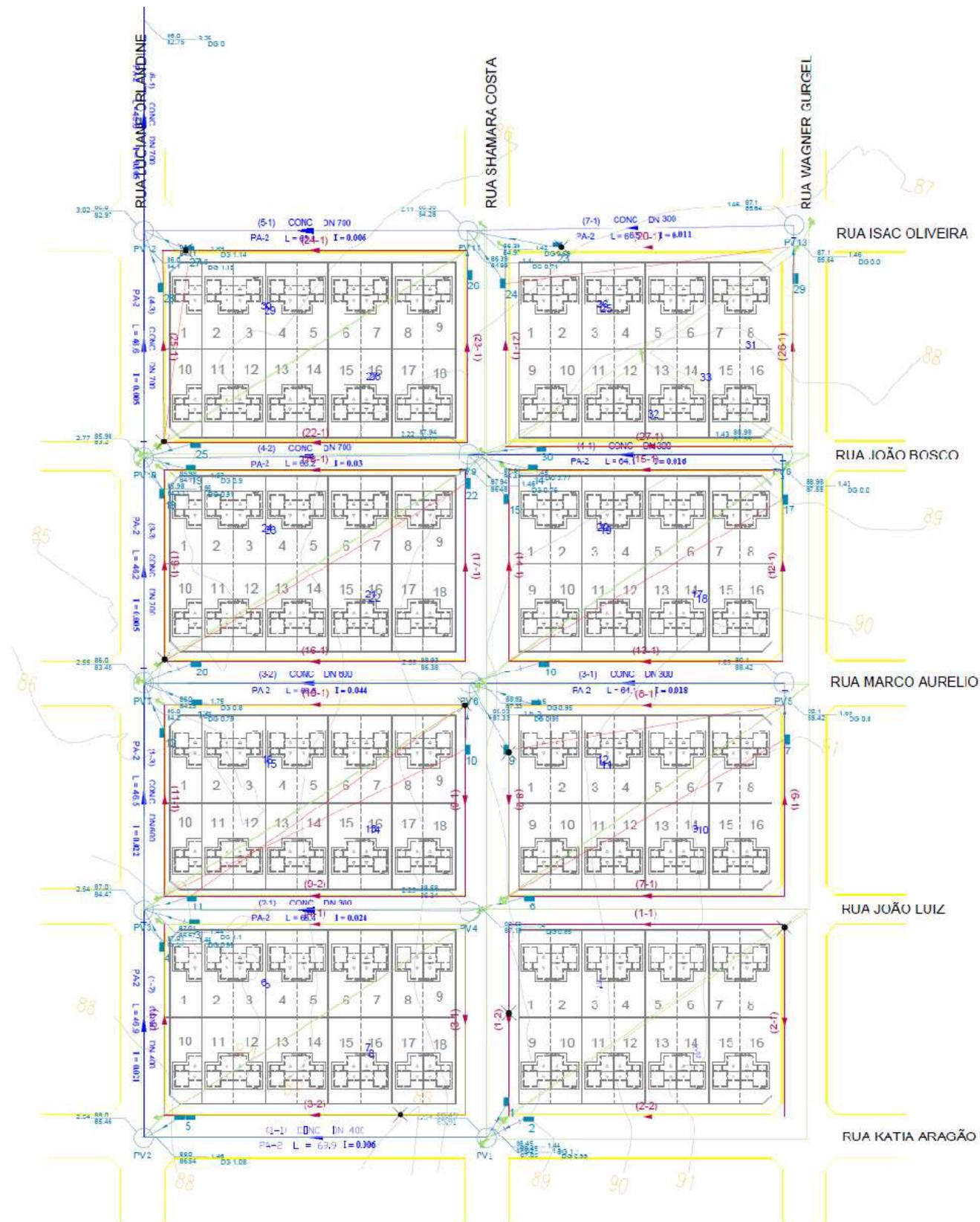
Figura 29 – Rede de água em Antonina do Norte no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.5 Conjunto Habitacional

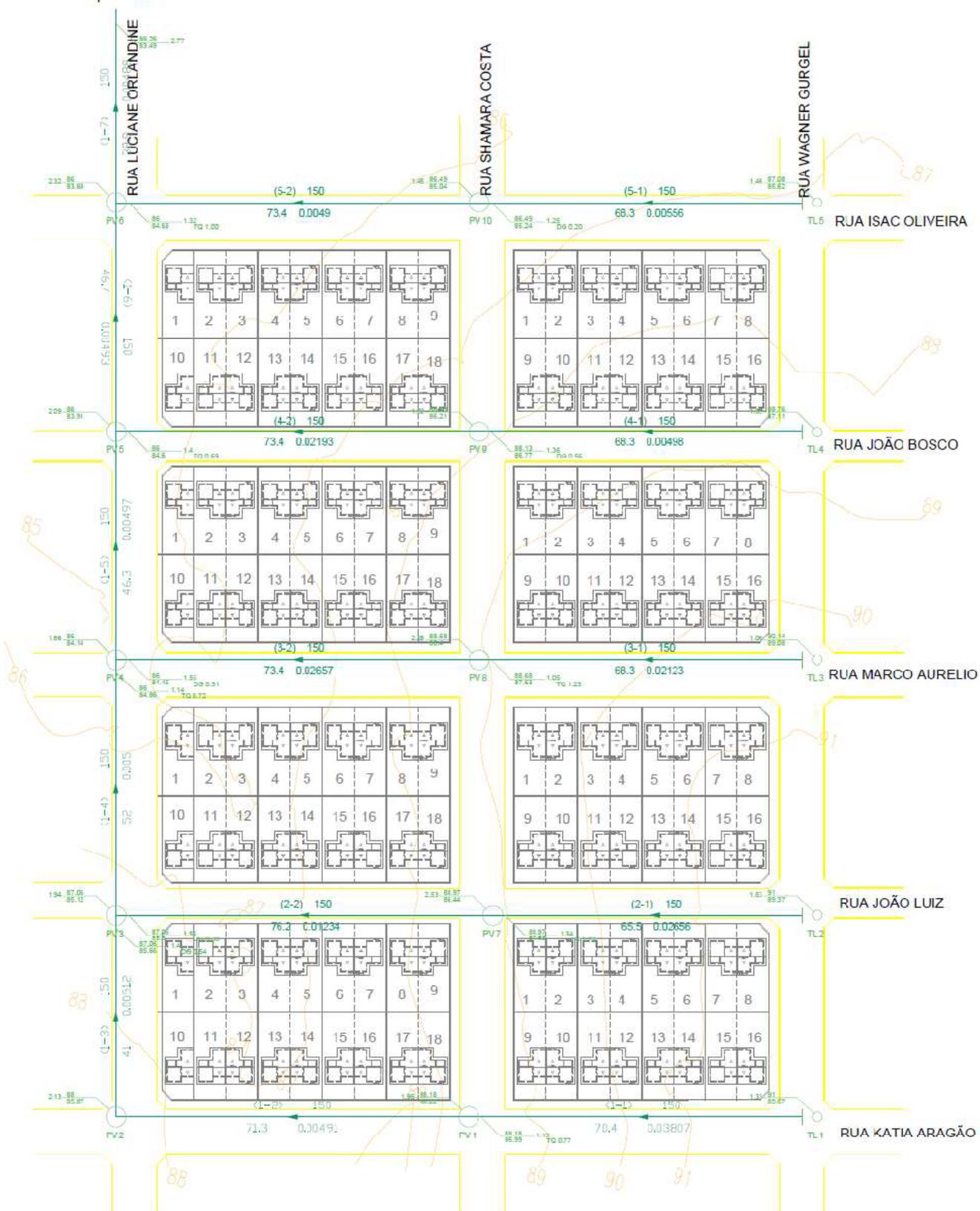
Figura 30 – Rede de drenagem em Conjunto Habitacional no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 31 – Rede de esgoto em Conjunto Habitacional no programa UFC/AutoCAD

Vai para a ETE



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 32 – Rede de água em Conjunto Habitacional no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.6 Eusébio - CE

Figura 33 – Rede de drenagem em Eusébio no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 34 – Rede de esgoto em Eusébio no programa UFC/AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 35 – Rede de água em Eusébio no programa UFC/AutoCAD

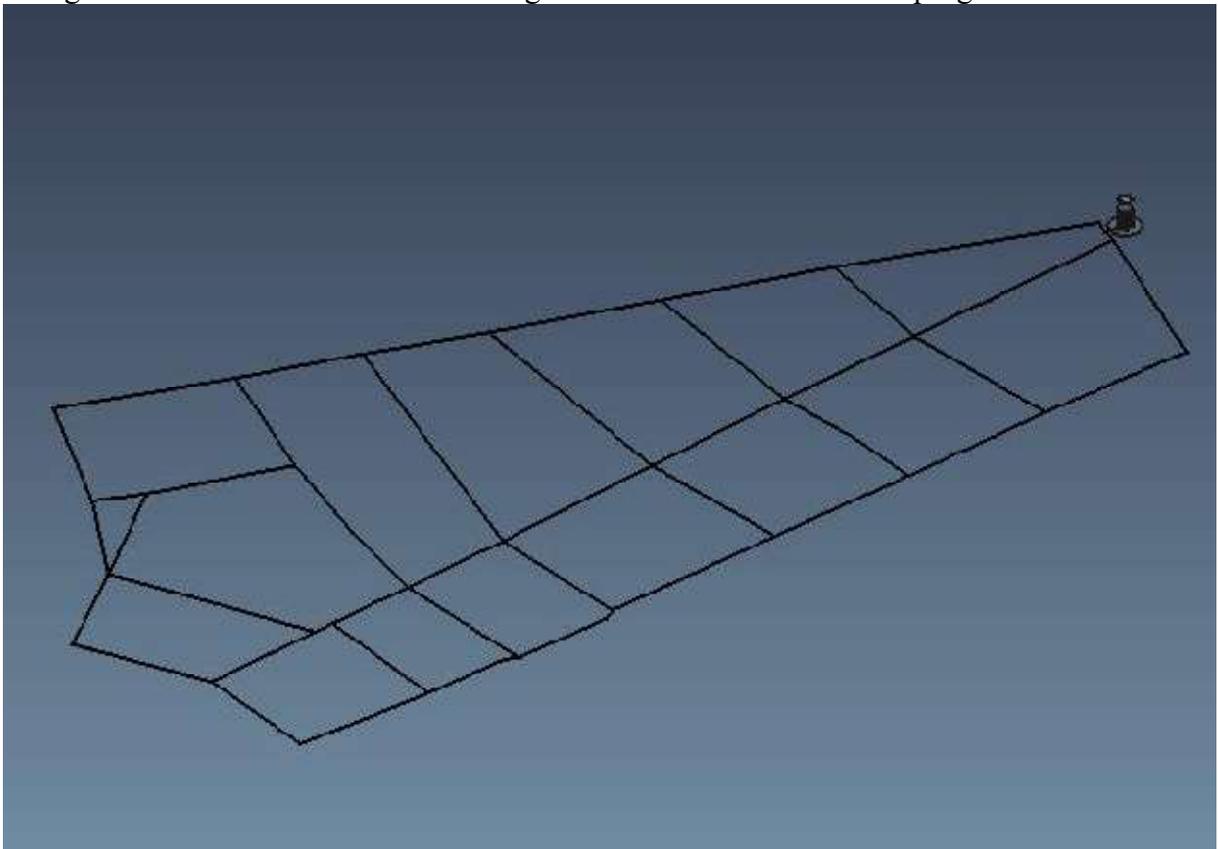


Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 Modelo BIM das redes de água

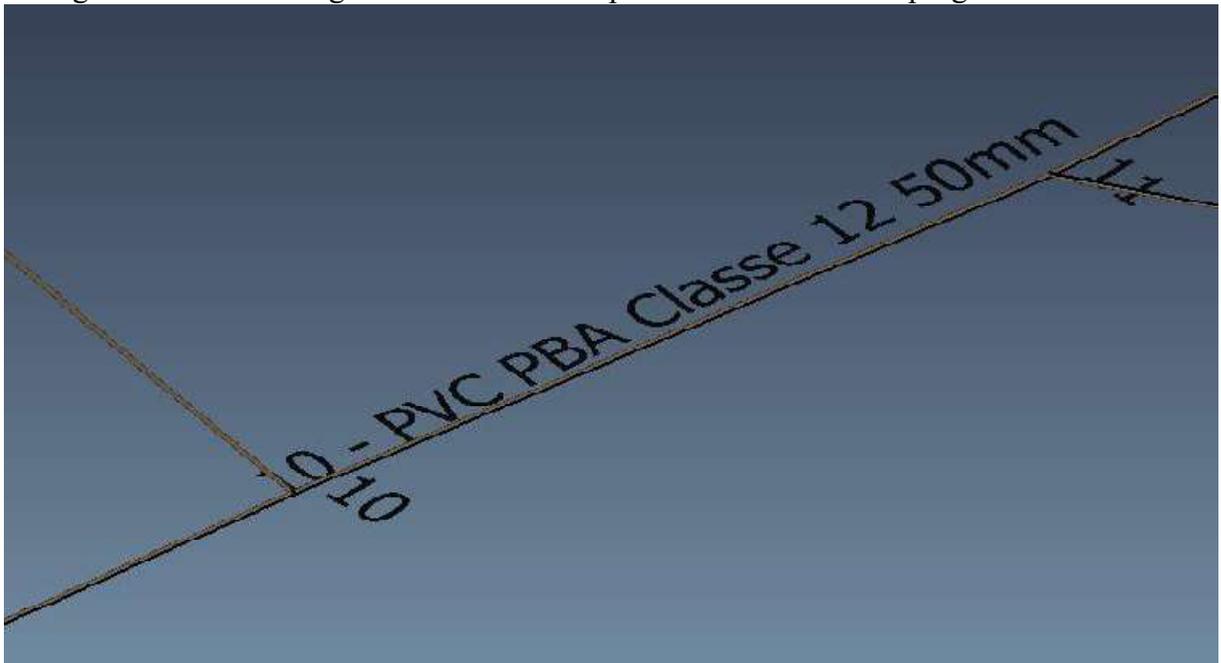
Os desenhos das redes de água no FreeCAD incluíram os trechos da rede de distribuição com informações de material (PVC PBA, PVC DEFoFo ou PEAD), espessura, diâmetro, reservatórios, legendas de trechos e nós (Figura 36 e Figura 37). Os trechos de adutora também incluíram as curvas (Figura 38). Os trechos da rede e adutora estão localizados nas coordenadas e cotas corretamente o que permite o cruzamento com as demais redes de saneamento para verificação de interferências.

Figura 36 – Modelo BIM da rede de água em Antonina do Norte no programa FreeCAD



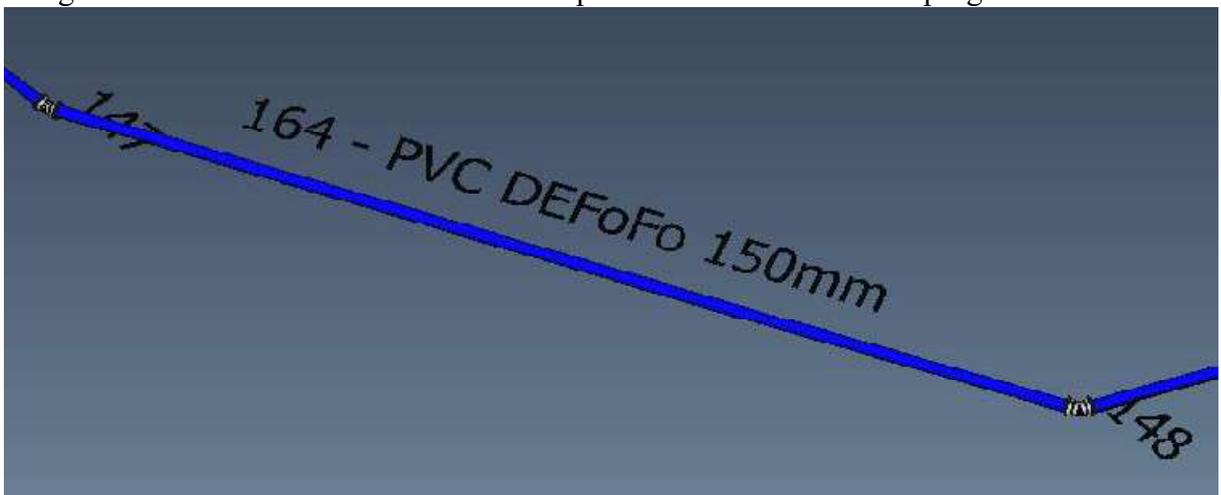
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 37 – Rede de água em PVC PBA ampliada modelo BIM no programa FreeCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 38 – Adutora em PVC DEFoFo ampliada em modelo BIM no programa FreeCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

No FreeCAD também é possível ver os objetos representativos de trechos de rede, de adutora e reservatório agrupados em forma de lista (Figura 39).