



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

MATEUS CAVALCANTE SA

AUTOMATIZAÇÃO DO BIM EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

**FORTALEZA
2025**

MATEUS CAVALCANTE SA

AUTOMATIZAÇÃO DO BIM EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

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. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro

FORTALEZA
2025

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)

C364a Cavalcante Sá, Mateus.

Automatização do BIM em Redes de Abastecimento de Água / Mateus Cavalcante Sá. – 2025.
88 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro.

1. redes de abastecimento de água. 2. automatização. 3. building information modeling. I. Título.
CDD 628

MATEUS CAVALCANTE SA

AUTOMATIZAÇÃO DO BIM EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

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: 17/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

AGRADECIMENTOS

À Deus, sem ele, nada é possível.

Aos meus pais, à minha irmã, à minha família por todo apoio e encorajamento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio concedida a mim durante o período de curso.

Ao Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro, pela excelente orientação e encorajamento.

Aos professores Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes e Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares, membros da banca examinadora.

Aos professores do Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental.

Aos colegas do Laboratório de Hidráulica Computacional do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental e demais colegas do curso.

Ao corpo de servidores técnico-administrativos e aos trabalhadores terceirizados do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

A todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

A Universidade Federal do Ceará.

“O Senhor é o meu pastor, nada me faltará.”
(Salmo 23)

RESUMO

O BIM (*Building Information Modeling*) é uma tecnologia promissora na Indústria da Construção Civil percebe-se sua consolidação, as aplicações desta tecnologia tornam-se indispensáveis para o dia a dia das empresas e projetistas. No segmento de projetos de infraestrutura, especificamente, no setor de saneamento, a metodologia BIM vem sendo implementada e disseminada. Uma implementação apropriada facilita o processo de projeto e construção, podendo resultar em construções de melhor qualidade e prazo reduzido. Nesse sentido, este trabalho apresenta uma proposta de automatização da geração de Redes de Abastecimento de Água em BIM com o uso de uma interface entre sistema UFC e o Civil 3D. Essa interface foi desenvolvida através de rotinas Dynamo e, com o uso do Python. Entre as funcionalidades, a interface permite realizar conversões entre os formatos .inp e excel. Para validar a funcionalidade da interface, foram realizados testes através da geração automática em BIM de redes de abastecimento de água de diversos formatos, incluindo tubos e conexões, dimensionadas com o Sistema UFC com diferentes características, permitindo uma avaliação mais ampla. Os resultados demonstraram a utilização da ferramenta proposta, o que poderá ser uma alternativa para uso em fluxos de trabalho.

Palavras chave: redes de abastecimento de água; automatização; *building information modeling*.

ABSTRACT

BIM (Building Information Modeling) is a promising technology in the construction industry and its consolidation is noticeable. Applications of this technology are becoming indispensable in the day-to-day lives of companies and designers. In infrastructure projects, specifically in the sanitation sector, the BIM methodology has been implemented and disseminated. Proper implementation facilitates the design and construction process and can result in better quality buildings with reduced deadlines. With this in mind, this paper presents a proposal to automate the generation of water supply networks in BIM using an interface between the UFC system and Civil 3D. This interface was developed using Dynamo routines and Python. Among its features, the interface allows conversions between .inp and excel formats. To validate the functionality of the interface, tests were carried out using automatic BIM generation of water supply networks of various formats, including pipes and fittings, dimensioned using the UFC System with different characteristics, allowing for a broader evaluation. The results demonstrated the usability of the proposed tool, which could be an alternative for use in workflows.

Keywords: water supply networks; automation; *building information modeling*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Posição padrão das redes na via	06
Figura 2	– Visão geral de um sistema de abastecimento de água	07
Figura 3	– Disposição de uma rede ramificada	08
Figura 4	– Disposição de uma rede malhada	09
Figura 5	– Dimensões BIM	11
Figura 6	– Fluxograma do sistema UFC	16
Figura 7	– Módulos UFC	16
Figura 8	– Ícones do módulo UFC 2	16
Figura 9	– Exemplo de Design Script Dynamo	18
Figura 10	– Code Block Dynamo	19
Figura 11	– Nô Python Dynamo	20
Figura 12	– Catálogo de Peças BIM - <i>Content Catalog</i>	22
Figura 13	– Dados do reservatório no arquivo .inp	23
Figura 14	– Descrição do tipo de reservatório no arquivo .inp	23
Figura 15	– Modelo BIM Reservatório Circular Elevado de Concreto Armado	24
Figura 16	– Modelo BIM Reservatório Retangular Elevado de Concreto Armado	25
Figura 17	– Modelo BIM Reservatório Metálico Elevado	26
Figura 18	– Modelo BIM Reservatório Circular Apoiado de Concreto Armado	26
Figura 19	– Modelo BIM Reservatório Retangular Apoiado de Concreto Armado	27
Figura 20	– Visão geral da interface e das rotinas	27
Figura 21	– Utilização da interface	30
Figura 22	– Visão geral das rotinas	30
Figura 23	– Rede Juazeiro - CE, dimensionada no UFC 2	33
Figura 24	– Rede Sobral - CE, dimensionada no UFC 2	33
Figura 25	– Rede Acaraú - CE, dimensionada no UFC 2	34
Figura 26	– Rede Conjunto Habitacional, dimensionada no UFC 2	34
Figura 27	– Rede Bonito - MG, dimensionada no UFC 2	35
Figura 28	– Rede criada em <i>Pressure Networks</i> no CIVIL 3D	35
Figura 29	– Rede modelada em BIM Juazeiro - CE	36
Figura 30	– Reservatório BIM Juazeiro - CE	36

Figura 31 – Rede modelada em BIM Sobral - CE	37
Figura 32 – Reservatório em BIM Sobral - CE	38
Figura 33 – Rede modelada em BIM Acaraú - CE	39
Figura 34 – Reservatório em BIM Acaraú - CE	39
Figura 35 – Rede modelada em BIM Conjunto Habitacional	40
Figura 36 – Reservatório em BIM Conjunto Habitacional	41
Figura 37 – Rede modelada em BIM Bonito - MG	42
Figura 38 – Reservatório em BIM Bonito - MG	42
Figura 39 – Tubos em BIM	44
Figura 40 – Tubo criado e suas propriedades	44
Figura 41 – Conexões em BIM	45
Figura 42 – Conexões em BIM	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Conexões inseridas no exemplo Juazeiro - CE	46
Gráfico 2 – Conexões inseridas no exemplo Sobral - CE	46
Gráfico 3 – Conexões inseridas no exemplo Acaraú - CE	47
Gráfico 4 – Conexões inseridas no exemplo Conjunto Habitacional	47
Gráfico 5 – Conexões inseridas no exemplo Bonito - MG	48
Gráfico 6 – Comprimento das redes	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– <i>Level of Detail BIM</i>	12
Tabela 2	– Resumo das redes exemplos	32
Tabela 3	– Quantitativos Juazeiro – CE	37
Tabela 4	– Quantitativos Sobral – CE	38
Tabela 5	– Quantitativos Acaraú – CE	40
Tabela 6	– Quantitativos Conjunto Habitacional	41
Tabela 7	– Quantitativos Bonito - MG	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	American Institute of Architects
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
LOD	Level of Development
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
VPL	Visual Programming Languages

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Panorama e questão central.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo geral.....	3
1.2.2	Objetivos específicos.....	3
1.3	Estrutura da dissertação.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Desenvolvimento de projetos.....	4
2.2	Saneamento.....	4
2.3	Sistema de Abastecimento de Água.....	6
2.4	Building Information Modeling (BIM).....	10
2.5	BIM no setor de Saneamento.....	12
2.6	Exemplos do uso da automação em modelos BIM.....	14
2.7	Sistema UFC.....	14
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Descrição geral.....	17
3.2	Software e linguagem de programação.....	17
3.2.1	Visual Programming Language.....	17
3.3	Automatização da conversão do projeto em BIM.....	20
3.3.1	Criação de catálogo de peças.....	21
3.3.2	Configuração do template.....	22
3.3.3	Arquivos parametrizados dos reservatórios.....	22
3.3.4	Visão geral da interface e das rotinas Dynamo.....	27
3.3.5	Automatização da geração BIM da rede de água.....	28
3.3.6	Inserção e posicionamento automático das conexões.....	28
3.3.7	Geração de quantitativos.....	29
3.3.8	Utilização da interface.....	29
3.4	Parâmetros das redes na interface.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1	Demonstração dos exemplos.....	32
4.2	Exemplos no Sistema UFC.....	32

4.3	Modelo BIM das redes de água.....	35
4.4	Verificação das peças.....	43
4.5	Discussões.....	49
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	49
	REFERÊNCIAS.....	51
	APÊNDICE A - ROTINAS DYNAMO.....	54
	APÊNDICE B - EXEMPLOS NO SISTEMA UFC.....	59
	APÊNDICE C – MODELOS BIM GERADOS.....	64
	APÊNDICE D – MANUAL DO USUÁRIO.....	69
	APÊNDICE E – NÓ PYTHON NO DYNAMO 1.....	71
	APÊNDICE F – NÓ PYTHON NO DYNAMO 2.....	72
	APÊNDICE G – NÓ PYTHON NO DYNAMO 3.....	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 Panorama e questão central

A elaboração de projetos na construção civil passa por constantes transformações, desde a fase inicial de concepção até a execução em campo. Esse processo inclui o dimensionamento, a produção de documentos técnicos e gráficos nas etapas de projeto básico e executivo, bem como a leitura e aplicação por diferentes profissionais durante a obra.

O avanço das tecnologias tem proporcionado ferramentas que contribuem para que os projetos se tornem mais precisos e condizentes com a realidade da construção. Entretanto, a adoção dessas soluções tecnológicas requer um período de transição, com ajustes metodológicos na forma de projetar.

Nesse cenário, destaca-se o uso do *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, como uma abordagem que aprimora significativamente o desenvolvimento dos projetos. O BIM permite integrar diversas informações ao modelo digital, o que favorece maior precisão e controle. Entre suas principais funcionalidades estão: estimativas automáticas de materiais, análises estruturais e hidráulicas simuladas previamente e identificação antecipada de interferências ou problemas que possam surgir durante a execução.

A Metodologia BIM vem se consolidando e as suas aplicações tornam-se indispensáveis para o dia a dia das empresas. Contratantes de obras públicas e privadas solicitam cada vez mais a adoção do BIM nos projetos. Essas exigências podem ser até mesmo contratuais para as empresas que prestam serviço.

O Governo Federal Brasileiro vem direcionando esforços para a disseminação da tecnologia BIM no país e estabeleceu inovadoras Políticas Públicas específicas para a disseminação dessa metodologia. A adoção do BIM se tornou oficialmente uma política pública, com a criação do Decreto Federal nº 9.377, de 17 de maio de 2018 (BRASIL, 2018), que instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modeling - Estratégia BIM BR. O decreto criou subsídios e diretrizes para adotar o BIM no âmbito nacional.

Outro marco fundamental, foi a promulgação do Decreto nº 10.306 (BRASIL, 2020), de 2 de abril de 2020, que definiu a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizadas pelos órgãos da administração pública federal.

Ampliando a diretriz, para obras públicas em BIM, a partir de janeiro de 2024, entrou em vigor a nova lei de licitações públicas (BRASIL, 2021), a Lei nº 14.133/21, que, em seu Art. 19, § 3, estabelece que sempre que adequada ao objeto da licitação, será preferencialmente adotada a Modelagem BIM.

Atualmente, a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, estabelecida como novo Marco Legal do Saneamento (BRASIL, 2020), busca aprimorar as condições do saneamento básico no país, estabelecendo metas para acelerar a cobertura de água e esgotos, com estímulo para investimentos de novas redes e expansão da área de cobertura desses importantes serviços.

Neste cenário, as empresas e profissionais que utilizarem o BIM poderão encontrar melhores soluções técnicas e econômicas para os desafios encontrados. A partir da perspectiva das plataformas de *software* BIM, os projetos de infraestrutura são diferentes dos de edificações, uma vez que são objetos com geometria extrudada e com seções transversais variáveis e caminhos de extrusão não lineares são muito mais comuns e bem maiores que os das edificações.

Mesmo considerando o paradigma apresentado, o BIM aplica-se igualmente aos projetos de infraestrutura, como estradas, rodovias, ferrovias, sistemas de metrô, aeroportos, portos, pontes, barragens, oleodutos e usinas de energia. Pode-se esperar dos projetos de infraestrutura a conquista dos mesmos benefícios a partir da aplicação do BIM que os projetos de edificação obtêm. Os alinhamentos de rodovias, ferrovias, pontes e túneis são quase todos deste tipo. (Sacks et al., 2021).

Atualmente, as organizações compreendem que a substituição do método convencional de projetar em 2D pelo uso do BIM deixou de ser uma escolha e passou a ser uma exigência fundamental nos processos de trabalho, não podendo mais ser vista apenas como um avanço tecnológico ou uma alternativa ao modelo anterior (Sampaio, 2021).

Embora os Decretos citados não abordem de forma específica o uso do BIM em obras de infraestrutura voltadas ao saneamento, é perceptível o esforço para incorporar essa metodologia à construção civil no país, destacando seus benefícios no planejamento, execução e operação de edificações. Diante disso, torna-se pertinente explorar como o BIM pode ser aplicado às redes de abastecimento de água.

Nos projetos voltados ao setor de saneamento, uma das possíveis aplicações da metodologia BIM é o uso de rotinas automatizadas para otimizar etapas do desenvolvimento de projetos.

Considerando os aspectos abordados anteriormente no presente trabalho, foi proposta uma interface entre uma ferramenta de dimensionamento consolidada para redes de

abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana, o sistema UFC, e um *software BIM*, o Civil 3D, com o objetivo de realizar a modelagem BIM para redes de abastecimento de água de forma automatizada.

2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo geral*

Desenvolver uma interface para realizar a automatização da geração em BIM de redes de abastecimento de água com programação visual.

1.2.2 *Objetivos específicos*

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

- Converter redes de água calculadas pelo sistema UFC em formato de representação em 3D no programa Civil 3D de forma automatizada através de rotinas Dynamo e Python;
- Realizar a inserção e o posicionamento das conexões das redes de abastecimento de água de forma automatizada;
- Realizar o levantamento de quantitativos da rede de abastecimento de água gerada.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos. O primeiro capítulo trata da introdução do trabalho, traz um panorama e questão central sobre o tema, objetivo geral e os objetivos específicos.

O segundo capítulo contempla a revisão bibliográfica dos principais assuntos que serão abordados, sendo organizado em: Desenvolvimento de Projetos, Saneamento, Sistema de Abastecimento de Água, Building Information Modeling, BIM no Brasil e no Setor de Saneamento, Automação de Modelos BIM para infraestrutura de Saneamento, Sistema UFC.

No capítulo três é abordado a metodologia, abrangendo os programas e as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa e as etapas que foram adotadas no trabalho. É subdividido nos tópicos de Descrição geral, Software e linguagem de programação, Visual Programming Language, Geração do Projeto em BIM e Parâmetros das Redes de Água.

No quarto capítulo está a apresentação dos resultados, as discussões sobre o estudo e está subdividido em Demonstração dos Exemplos, Exemplos no UFC, Modelo BIM das redes de água, Verificação das Peças e Discussões.

No quinto capítulo é exposto as principais conclusões obtidas ao final do trabalho e recomendações para possíveis pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desenvolvimento de Projetos

Historicamente, o desenvolvimento de projetos ocorre de forma segmentada, com forte dependência da troca de informações por meio de desenhos 2D. A utilização de documentos impressos frequentemente pode levar a falhas e esquecimentos que acabam gerando custos adicionais durante a execução, além de atrasos e possíveis disputas legais entre os envolvidos no projeto.

Essas dificuldades contribuem para conflitos, prejuízos financeiros e cronogramas comprometidos. Algumas iniciativas para mitigar esses desafios incluem a adoção de modelos organizacionais alternativos, como o contrato de projeto e construção integrados (design-build), o uso de tecnologias em tempo real, como plataformas online para compartilhamento de projetos, e a aplicação de ferramentas de modelagem tridimensional (CAD 3D). Apesar dessas inovações terem melhorado a agilidade na troca de informações, elas ainda não foram suficientes para eliminar os problemas associados ao uso de documentação tradicional.

De acordo com Sacks et al. (2021), a utilização de desenhos bidimensionais na etapa de concepção do projeto frequentemente acarreta dificuldades, especialmente no que diz respeito ao tempo e aos custos envolvidos na obtenção de dados essenciais para avaliar a proposta, como estimativas financeiras, desempenho energético e especificações. Essas avaliações costumam ser deixadas para fases mais avançadas, dificultando alterações significativas. Como consequência, é necessário recorrer posteriormente a revisões para corrigir incompatibilidades, o que muitas vezes leva à necessidade de comprometer aspectos do projeto inicial.

A tendência futura da indústria da construção é que com o avanço tecnológico, cada vez mais os dispositivos ou máquinas façam o trabalho repetitivo, cabendo aos projetistas a concepção e idealização dos projetos.

2.2 Saneamento

Os sistemas de distribuição de água, tratamento e coleta de esgoto, drenagem urbana e

resíduos sólidos, integram um conjunto de estruturas fundamentais conhecido como saneamento, essencial para a promoção da saúde pública.

O tema tem sido amplamente discutido em âmbitos nacionais e internacionais ao longo dos anos. Diversos estudos apontam que ampliar o acesso a esses serviços resulta em melhorias significativas na qualidade de vida da população e no meio ambiente, além de diminuir a ocorrência de enfermidades e os gastos com tratamentos médicos. Há estimativas da Organização Mundial da Saúde (OMS) que indicam que, para cada dólar investido em saneamento básico, há uma economia global de cerca de quatro dólares em despesas com saúde (Who, 2012).

Em 2015, a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas estabeleceu a Agenda 2030 contendo 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O acesso universal ao saneamento básico é essencial para a promoção da saúde pública, da dignidade humana e da sustentabilidade ambiental. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) visa "assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todas as pessoas", destacando a importância da ampliação do acesso a esses serviços (ONU, 2015).

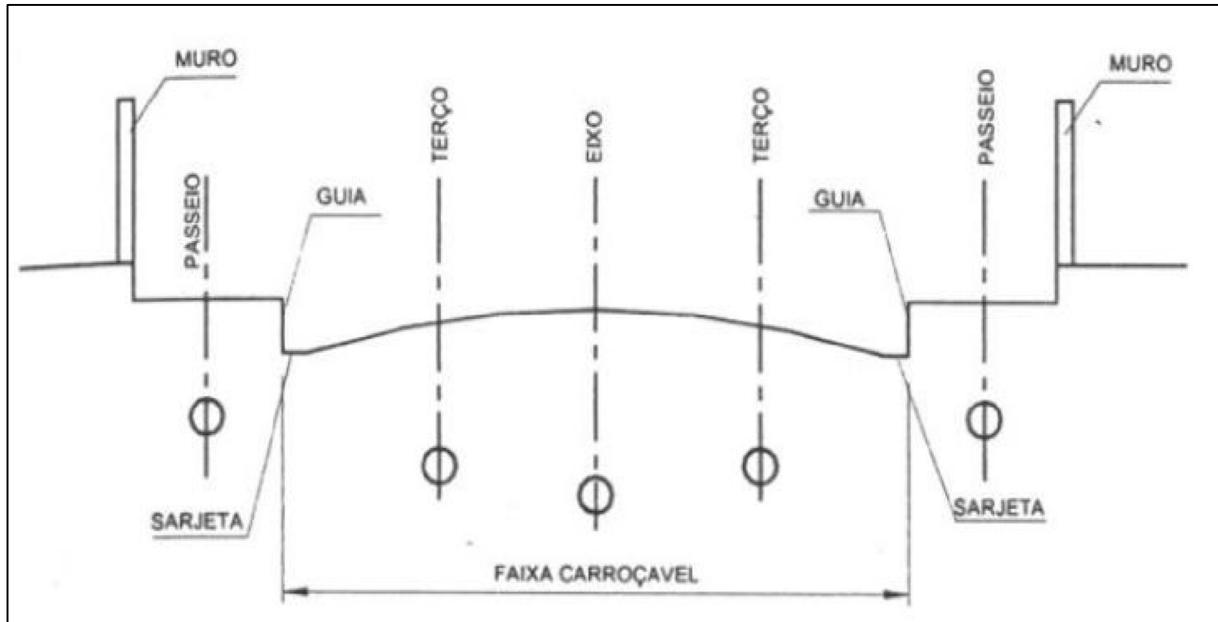
As redes de saneamento são componentes da infraestrutura urbana. Um subsistema de abastecimento de água pode ser idealizado para atender desde pequenas comunidades até grandes metrópoles, diferenciando-se em suas características e portes das instalações (Puppi, 1981).

Segundo Tucci et al (1995), o sistema de drenagem é responsável pela coleta e transporte da água proveniente da chuva até os corpos hídricos.

As redes de esgotos sanitários são canalizações completamente separadas daquelas em que escoam as águas pluviais. No Brasil, é adotado o sistema separador absoluto, sendo o único atualmente aplicável por exigência da legislação ambiental (BRASIL, 2019).

A infraestrutura de saneamento costuma ser instalada em locais previamente determinados ao longo das vias urbanas, preferencialmente em um dos terços da pista de rolamento ou no centro de uma das calçadas. Normalmente, as tubulações de drenagem são posicionadas no eixo da via, por exigirem diâmetros maiores do que as redes de distribuição de água e a rede de coleta de esgoto (Tsutiya; Alem Sobrinho, 2000). Na Figura 1, observa-se a posição padrão das tubulações, na perspectiva de um perfil transversal da via.

Figura 1 – Posição padrão das redes na via



Fonte: Tsutiya e Alem Sobrinho (2000).

Em sequência será discutido um sistema componente do saneamento: os Sistemas de Abastecimento de Água.

2.3 Sistema de Abastecimento de Água

O acesso à água potável é frequentemente considerado o serviço mais crítico dentro do espectro do saneamento básico, devido a ser um recurso indispensável à sobrevivência humana. Acesso à água limpa e segura é essencial para a hidratação diária e preparação de alimentos, higiene pessoal e prevenção de doenças.

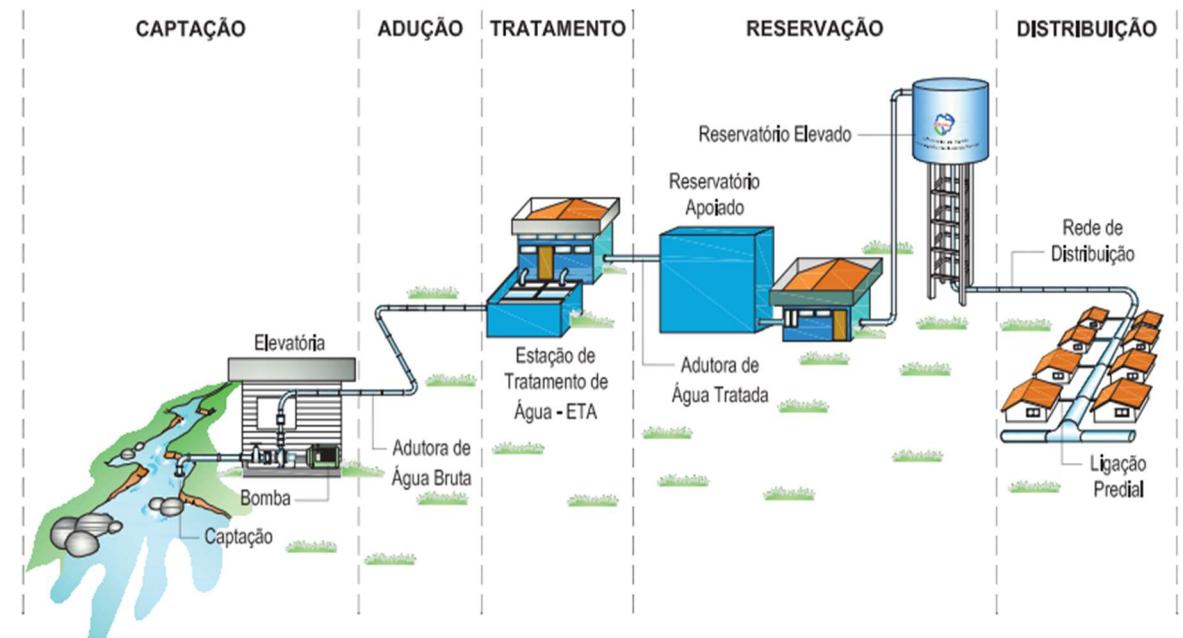
Enquanto outros serviços de saneamento, como o tratamento de esgoto, a gestão de resíduos sólidos e a drenagem urbana, são igualmente importantes para a saúde ambiental e urbana, a priorização do abastecimento de água reflete a necessidade imediata de proteger as comunidades contra patógenos e contaminações que podem ser transmitidos através da água. Assim, investimentos e políticas que garantam a qualidade e a disponibilidade de água potável são fundamentais para o bem-estar e o desenvolvimento sustentável (Who, 2019).

A elaboração de um sistema de abastecimento de água envolve etapas de planejamento que consideram desde a definição dos objetivos e parâmetros locais até a análise técnico-econômica das alternativas. O projeto deve contemplar as necessidades atuais e futuras, com horizonte de atendimento entre 10 e 30 anos, levando em conta aspectos como características

geológicas, demanda hídrica, integração com sistemas existentes e viabilidade financeira (Azevedo Netto *et al.*, 2015).

De modo geral, esse sistema compreende as etapas destacadas na Figura 2: captação, adução, tratamento, reservação e distribuição.

Figura 2 – Visão geral de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: BRASIL (2019)

A captação é o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao abastecimento coletivo ou individual. De acordo com o tipo do manancial a ser aproveitado, podem ser utilizadas as seguintes formas de captação: água de chuva, nascente de encosta, fundo de vales, lençol freático, lençol subterrâneo, rios, lagos e açudes (BRASIL, 2019).

Segundo o manual da Fundação Nacional de Saúde, as adutoras são responsáveis por transportar a água entre diferentes unidades do sistema de abastecimento, como entre a captação, a Estação de Tratamento de Água (ETA), os reservatórios e a rede de distribuição, podendo envolver diversas configurações conforme o arranjo do sistema (BRASIL, 2019).

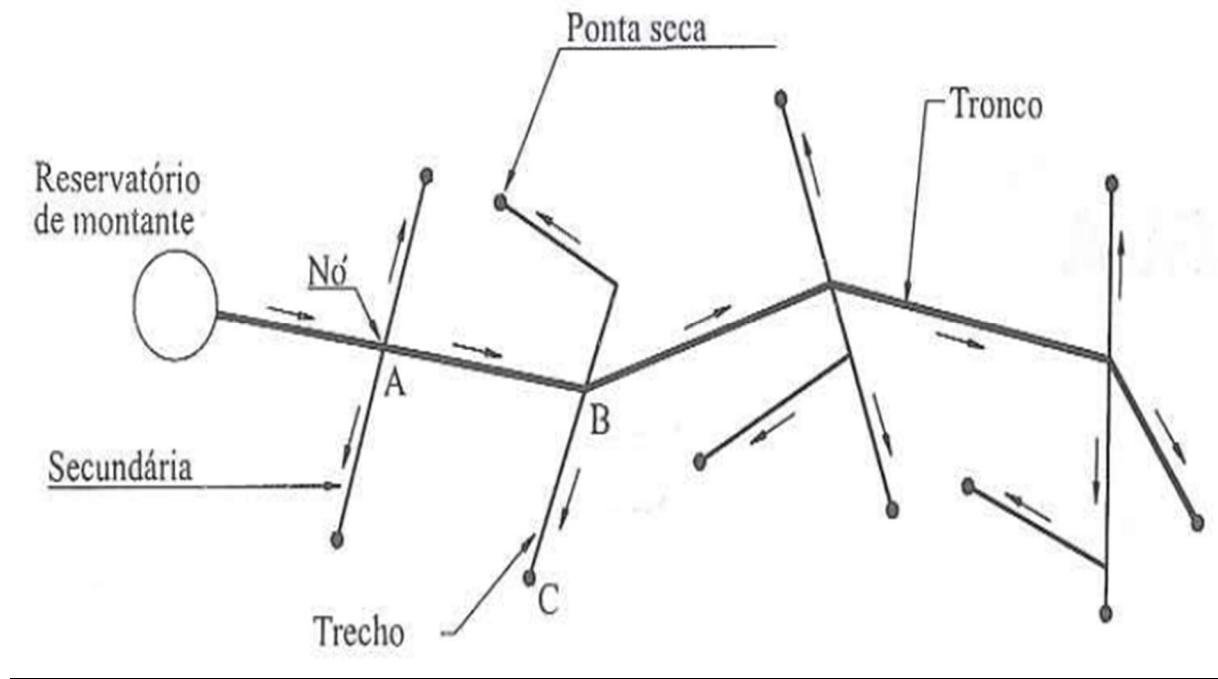
O tratamento de água consiste em melhorar suas características físicas, químicas e microbiológicas, a fim de que se torne adequado ao consumo humano. Do ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser, em princípio, transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar o uso de um determinado corpo d'água como fonte de abastecimento (BRASIL, 2019).

O produto final precisa estar em conformidade com os critérios de qualidade definidos pela 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, subterrâneos ou apoiados, 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.

A rede é classificada como ramificada quando o abastecimento se faz a partir de uma tubulação tronco, alimentada por um reservatório de montante ou mesmo sob pressão de um bombeamento, e a distribuição de água é feita diretamente para os condutos secundários, e o sentido da vazão em qualquer trecho é conhecido (Porto, 2006). Na Figura 3, temos a representação de uma rede ramificada.

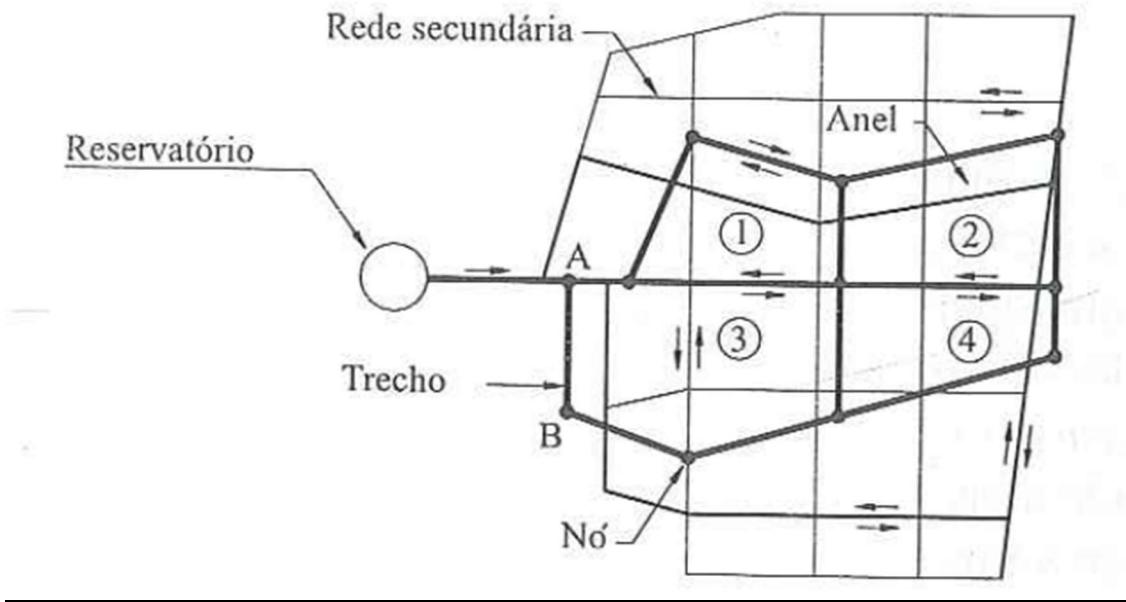
Figura 3 – Disposição de uma rede ramificada



Fonte: Porto (2006)

As redes malhadas, em vez de possuírem uma única tubulação tronco, são constituídas por tubulações tronco que formam anéis ou malhas, nos quais há possibilidade de reversibilidade no sentido das vazões, em função das solicitações de demanda. Com esta disposição, permite-se abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho (Porto, 2006). Na Figura 4, temos uma rede malhada.

Figura 4 – Disposição de uma rede malhada.



Fonte: Porto (2006)

O projeto de redes de distribuição de água para abastecimento público deve seguir diretrizes normativas que assegurem o desempenho hidráulico, a durabilidade e a segurança sanitária do sistema. No Brasil, a norma técnica que estabelece os critérios para esse tipo de projeto é a NBR 12218:2017, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017).

Na concepção do traçado da rede devem ser respeitadas as características técnicas dos materiais aplicados, para evitar esforços e assegurar a estanqueidade. No cálculo hidráulico das tubulações ao longo do horizonte de projeto, é necessário utilizar o coeficiente de rugosidade da fórmula de Hazen-Williams ou equivalente da equação universal e também levar em conta também os efeitos do tempo, como incrustações, acúmulo de sedimentos e desgaste nas paredes internas da tubulação.

De acordo com essa norma, a rede de distribuição deve garantir pressão dinâmica mínima de 100 kPa. A pressão estática máxima não deve exceder 400 kPa, embora valores de até 500 kPa possam ser admitidos em casos justificados. A vazão de dimensionamento deve atender toda a área a ser abastecida (ABNT, 2017).

Para fins de manutenção e operação eficiente, recomenda-se a setorização da rede, com a instalação de válvulas de controle e medidores, possibilitando o monitoramento da pressão e da vazão em diferentes áreas da cidade (ABNT, 2017). Por fim, o sistema de distribuição deve ser concebido de forma a assegurar a continuidade do abastecimento, mesmo em situações de manutenção corretiva.

2.4 Building Information Modeling (BIM)

De maneira simples, podemos definir o BIM como uma tecnologia de construção no qual os modelos de informações são utilizados para buscar uma construção eficiente em todo o ciclo de vida do empreendimento.

O BIM não se refere a um único *software* ou ferramenta, mas sim a um processo voltado à gestão e uso estratégico de informações na construção civil. Ele propõe uma transformação significativa na forma como os dados de projetos e obras são organizados e utilizados. Enquanto os desenhos técnicos tradicionais representaram a primeira grande mudança na comunicação da construção, o BIM é visto como a próxima grande evolução. Diferente da simples digitalização de desenhos em papel, o BIM altera profundamente a lógica de trabalho, marcando uma verdadeira mudança de paradigma (Sacks et al., 2021).

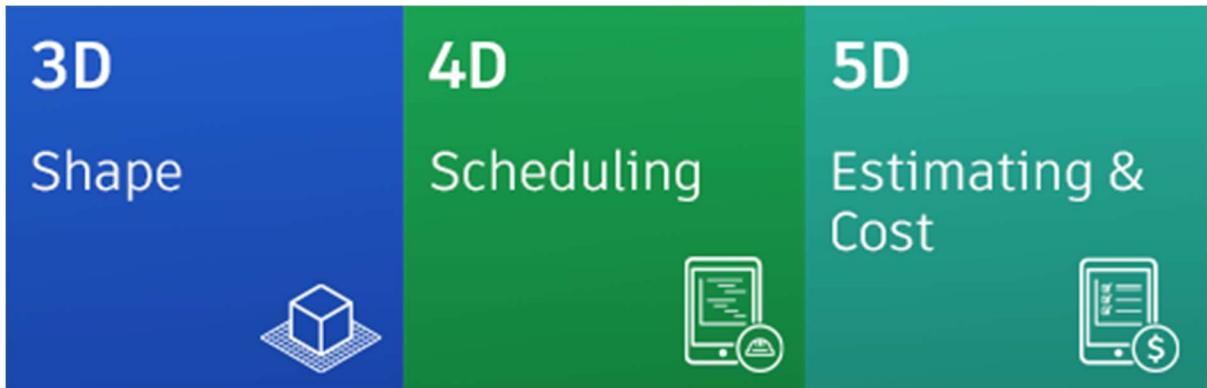
Um aspecto importante com relação à tecnologia BIM, refere-se às “dimensões” das informações que o modelo da construção está vinculado ao longo de sua vida útil. A tecnologia BIM permite que o modelo carregue em seu banco de dados informações sobre as volumetrias dos elementos e suas características físicas (cor, resistência, modelo, fabricante, etc). Esta “memória” da informação, conhecida como 3D contém, portanto, atributos volumétricos e físicos que a construção apresentará quando concluída (Coutinho, 2015).

Em diversos países, muitos contratantes já exigem a adoção do BIM em seus projetos. Governos ao redor do mundo também têm implementado a obrigatoriedade do uso do BIM em obras públicas, impulsionando mudanças significativas no setor da construção civil. Essa exigência é apoiada por contratos padronizados, normas técnicas e guias específicas que orientam sua aplicação. Como resultado, o mercado tem passado por uma transformação, com o surgimento de novas funções e a necessidade de capacitação em habilidades específicas relacionadas ao BIM (Sacks et al., 2021).

A introdução do BIM tem promovido uma transformação significativa no setor da Engenharia e Construção substituindo os métodos tradicionais de representação bidimensional por modelos tridimensionais baseados em objetos digitais. Essa mudança também vem impactando a forma de produzir e utilizar a documentação, que passou de registros manuais para arquivos digitais integrados, incorporando aspectos como cronograma e custos. Esse tipo de abordagem é conhecido como modelagem n-dimensional, na qual diversas camadas de informação são agregadas a um modelo digital da edificação (LEE et al., 2016).

Na Figura 5, é exemplificado as dimensões BIM.

Figura 5 – Dimensões BIM.



Fonte: Autodesk (2022).

Segundo a Autodesk (2022), o BIM 3D constitui a base do modelo tridimensional, acrescentando a dimensão da profundidade (eixo Z) aos tradicionais eixos X e Y do desenho 2D. A partir disso, o BIM 4D integra o fator tempo ao modelo, possibilitando a visualização da sequência construtiva. O BIM 5D, por sua vez, incorpora estimativas de custo, permitindo uma análise financeira mais precisa. Além dessas, outras aplicações como sustentabilidade, gestão de instalações, segurança e métodos construtivos industrializados são associadas a dimensões adicionais, embora ainda não haja um consenso global sobre a padronização dessas extensões.

No contexto de detalhamento, a expressão *Level of Development* (ou *Level of Detail*) foi introduzida em 2005 como resultado dos esforços de profissionais do setor de softwares, que buscavam estabelecer um conceito capaz de organizar o avanço do projeto e seu nível de detalhamento ao longo do tempo (BIM FORUM, 2017a).

Em 2008, o American Institute of Architects (AIA) introduziu diretrizes mais precisas sobre o desenvolvimento de modelos BIM por meio do documento E-202 – BIM Protocol Exhibit. Esse material apresenta uma estrutura de níveis de desenvolvimento (LOD), que vai do LOD 100 ao LOD 500, descrevendo os conteúdos mínimos exigidos em cada etapa do modelo e os usos permitidos conforme o nível. Além disso, o documento atribui responsabilidades específicas aos agentes envolvidos no projeto em relação ao detalhamento dos elementos em cada fase. (Adaptado de AIA, 2008).

Segundo Sacks et al. (2021), nem sempre os modelos BIM com maior nível de desenvolvimento apresentam o maior grau de detalhamento. Em muitos casos, como nas atividades de gestão de edificações após a construção, utiliza-se um detalhamento inferior ao que é empregado na etapa construtiva. Na Tabela 1, é exemplificado o nível de detalhamento BIM.

Tabela 1 - *Level of Detail BIM.*

LOD	200	<ul style="list-style-type: none"> - Layout esquemático com tamanho, forma e localização aproximados de tubulações principais e de elevação. 	
LOD	300	<ul style="list-style-type: none"> - Especificação de tamanho, forma, espaçamento e localização de tubos, válvulas, conexões e isolamento, tubulações principais e ramificações; - Tolerâncias para folgas de ganchos. 	
LOD	350	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos reais de construção, incluindo tamanho, forma, espaçamento e localização/conexões de tubulações, válvulas, acessórios, isolamento, suportes, redes principais e ramificações 	

Fonte: Adaptada de Bim Forum, 2023.

2.5 BIM no setor de Saneamento

Em diversos países, tem se tornado cada vez mais comum que tanto o setor público quanto o privado exijam a aplicação do BIM em seus empreendimentos. Um dos principais fatores econômicos que incentivam essa exigência é o valor agregado pela qualidade das informações fornecidas ao cliente.

Sacks et al. (2021), apontam que a utilização do BIM contribui significativamente para a

melhora na precisão das informações, na visualização dos projetos, na previsão de custos e na realização de análises, o que pode resultar em decisões mais assertivas na fase de projeto e redução de desperdícios na execução. Essas vantagens impactam positivamente tanto os custos de construção quanto os custos ao longo do ciclo de vida da edificação. Além disso, os modelos gerados facilitam atividades de operação e manutenção, o que fortalece ainda mais a demanda dos contratantes pela aplicação da metodologia.

De acordo com Souza (2020), a utilização do BIM em projetos de infraestrutura, especificamente no setor de saneamento, ainda está em estágio inicial comparando-se ao setor da construção civil, isso pode ocorrer devido à ausência de normativas, manuais, orientações e documentos específicos voltados para o setor.

Em pesquisa, Souza (2020) analisou o contexto de uma companhia pública atuante no desenvolvimento de obras voltadas ao abastecimento de água e esgoto no estado do Rio Grande do Norte. O levantamento evidenciou os obstáculos enfrentados pelo setor de projetos, como a persistência de métodos convencionais de projeto, sem o uso do BIM, baixa construção colaborativa entre profissionais (Souza, 2020).

Checcucci (2019) realizou um estudo que identificou que, apesar do crescimento expressivo no número de dissertações e teses relacionadas ao BIM no Brasil entre 2013 e 2018, a maior parte dos trabalhos se concentrou nas etapas de projeto e execução de edificações, sendo raras as abordagens BIM voltadas ao setor de saneamento.

Succar e Kassem (2015) explicam que a implementação do BIM em uma organização ocorre por meio de três marcos distintos, relacionados a diferentes níveis de maturidade. Ainda que diversas organizações consigam atingir o primeiro marco, que representa a transição do estágio sem BIM para uma adoção inicial (Estágio 1), isso não implica, necessariamente, no avanço para práticas colaborativas mais complexas (Estágio 2) ou integração entre disciplinas (Estágio 3). Além disso, os autores ressaltam que o BIM não deve ser visto apenas como uma ferramenta tecnológica, mas como um conjunto de transformações envolvendo processos, métodos e tecnologias.

O ambiente BIM representa uma nova abordagem tecnológica que demanda capacitação, ajustes nos sistemas e na estruturação dos modelos, bem como a organização de bibliotecas e documentos. Também exige adaptações nos processos de revisão e aprovação de projetos, geralmente acompanhadas de mudanças nas rotinas organizacionais. Sacks et al. (2021), reforçam que essa transição deve ocorrer de maneira gradual, integrando-se aos métodos já utilizados, para que os desafios iniciais de implementação não comprometam o andamento dos projetos em execução.

2.6 Exemplos do uso automação em modelos BIM

A incorporação de novas tecnologias têm impulsionado a aplicação do BIM para automatizar processos. Enquanto algumas empresas de software ampliam suas ferramentas para cobrir múltiplas fases da construção, outras desenvolvem funcionalidades específicas voltadas à gestão da execução. Simultaneamente, fabricantes têm investido em bibliotecas tridimensionais de seus produtos, o que, aliado ao BIM, tem favorecido o crescimento da fabricação de componentes mais sofisticados e economicamente vantajosos (Sacks et al., 2021).

Anupama et al. (2023) analisaram como a integração entre ferramentas como Revit, Navisworks e Dynamo pode contribuir para tornar o processo baseado em BIM mais eficiente ao aplicar conceitos do lean. A estratégia adotada possibilitou gerar cronogramas de materiais automaticamente, promovendo economia de tempo e otimizando o desempenho das atividades na organização.

No estudo de Yang et al. (2022), o Building Information Modeling (BIM) foi aplicado para a organização automática do arranjo construtivo de estruturas pré-fabricadas. A ferramenta Dynamo teve papel fundamental ao converter os modelos tridimensionais do canteiro em dados 2D, o que permitiu a otimização do posicionamento dos elementos. Também foi utilizada para gerar e atualizar automaticamente modelos paramétricos, evitando o uso de plataformas adicionais.

2.7 Sistema UFC

O Sistema UFC é um conjunto de softwares escritos em diversas linguagens de programação, que realizam todas as tarefas referentes ao traçado e dimensionamento hidráulico otimizado de redes de abastecimento de água, adutoras, redes de coleta de esgoto sanitário, redes de Microdrenagem Urbana e Simulação Hidrológica e Hidráulica de Sistemas de Macrodrenagem (LAHC, 2024).

É integrado com os ambientes AutoCAD ou Civil 3D através de módulos específicos, que atuam nos diferentes elementos que compõem os sistemas projetados. Esses módulos possibilitam ao usuário realizar simulações, ajustes e verificações, otimizando o processo de projeto e garantindo confiabilidade.

São os seguintes os componentes do Sistema UFC:

UFC2: Módulo de Traçado da rede e/ou Adutoras no AutoCAD, Versão 2016 ou superior e em inglês. Realiza também a transferência de dados da rede/adutora para o EPANET e recebe de volta os dados do EPANET.

UFC3: Módulo de traçado de ligações em redes de abastecimento de água, traçado de perfil de Adutoras e Linhas de Recalque de Esgoto e geração de Quantitativos de redes de água e adutoras.

UFC4: Módulo de dimensionamento hidráulico e otimização (determinação de diâmetros para obter a rede de menor custo) de redes de água.

UFC5: Módulo de seleção de bombas hidráulicas e traçado da linha piezométrica de adutoras e Linhas de Recalque de Esgoto.

UFC7: Módulo que simula computacionalmente o Golpe de Ariete em adutoras e Linhas de Recalque de Esgoto, além de inserir, simular e dimensionar dispositivos de alívio do Golpe de Ariete, tais como a Ventosa de Tríplice ou de Dupla função, o TAU, a Chaminé de Equilíbrio e o Reservatório Hidropneumático.

UFC8: Módulo de traçado de rede de Microdrenagem Urbana no AutoCAD e de transferência de dados da rede para o SWMM.

UFC9: Módulo de traçado e dimensionamento de redes de Esgotamento Sanitário e Estações Elevatórias de Esgoto

UFC10: Módulo de Calibração da Rugosidade de Darcy-Weisbach e dos Coeficientes dos Modelos de Simulação do Decaimento do teor de Cloro (e outros químicos) em redes reais de Distribuição de água.

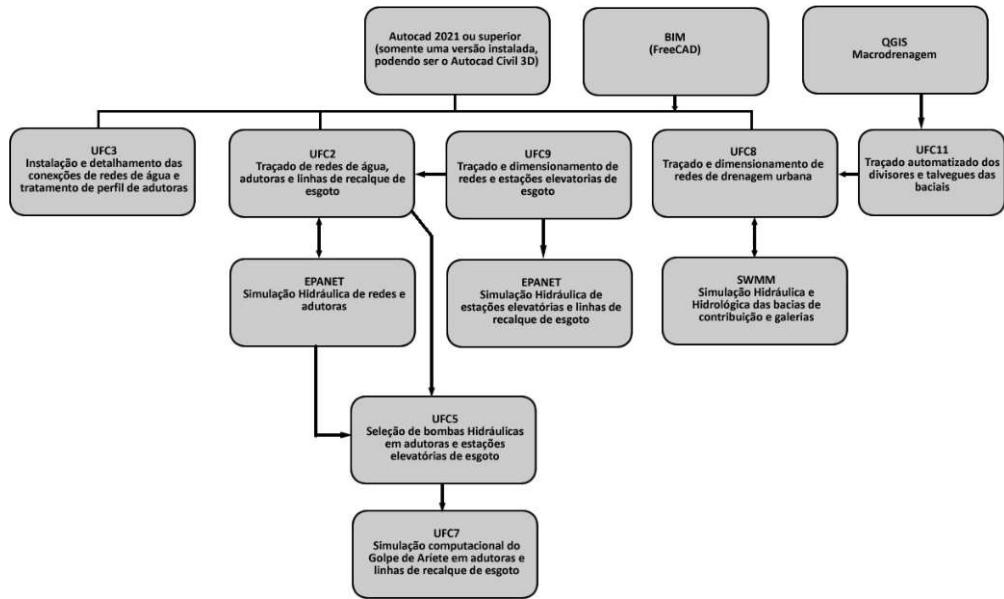
UFC11: Módulo de Macrodrrenagem e geração de curvas de nível (INPE) baseado no ArcMAP (Versão 10.2 ou superior) e transferência de dados para o Módulo UFC8

UFC12: Software para otimização do custo energético de estações elevatórias de água. Trata-se de um software executável, construído no ambiente de desenvolvimento Free Pascal Lazarus, portanto não necessita de instalador

UFCFLOW: Simulação computacional do fluxo hídrico subterrâneo e do transporte de contaminantes em aquíferos através do estabelecimento de uma interface com o MODFLOW

Na Figura 6, observamos um fluxograma geral do software UFC.

Figura 6 – Fluxograma do sistema UFC



Fonte: Laboratório de Hidráulica Computacional (2025).

Em síntese, os módulos UFC 2, 3 e 4 trabalham e funcionam em conjunto no traçado e dimensionamento de redes de abastecimento de água.

De acordo com Castro (2025), o módulo UFC 2 é programado em AutoLISP, linguagem de programação presente no AutoCAD e Civil 3D, é aquele na qual as redes e os seus elementos devem ser traçados. Ao ser executado, este módulo carrega uma palheta no AutoCAD com os ícones disponíveis para desenho dos elementos da rede a ser modelada, como: tubulação da rede, reservatórios (tipos circular e retangular), 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. A Figura 7, representa os módulos do UFC e a Figura 8 os ícones do módulo UFC 2.

Figura 7 – Módulos UFC



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 8 – Ícones do módulo UFC 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição geral

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

- Escolha do software e linguagem de programação;
- Desenvolvimento do código para automatização do processo de conversão do projeto calculado no UFC em BIM;
- Construção do fluxo de trabalho com a aplicação das ferramentas desenvolvidas;
- Aplicação dos códigos desenvolvidos em diversos projetos exemplos para validação.

3.2 Software e linguagem de programação

O Civil 3D, desenvolvido pela Autodesk, é um software voltado para a área de infraestrutura. Ele mantém todas as funcionalidades do AutoCAD, mas se destaca por incluir ferramentas específicas que facilitam a elaboração de projetos nas áreas de transportes, geoprocessamento, meio ambiente, análise de bacias hidrográficas e estudos hidrológicos e hidráulicos. Além disso, o software oferece suporte completo à aplicação da metodologia BIM, contribuindo para a integração e eficiência em projetos de engenharia.

No programa, os usuários têm a opção de personalizar rotinas e automatizar tarefas de projeto no ambiente Dynamo, uma ferramenta que é disponibilizada e tem como base a programação visual, estando presente na maioria dos softwares BIM da Autodesk.

3.2.1 Visual Programming Language

De acordo com informações da própria plataforma (DYNAMO, 2025), trata-se de uma solução digital baseada em programação visual que viabiliza a automação de processos. A ferramenta permite criar modelos com parâmetros ajustáveis, promover a interoperabilidade entre softwares distintos e uniformizar procedimentos. Além disso, possibilita a experimentação de diferentes alternativas projetuais e a elaboração de rotinas customizadas, contribuindo para a eficiência no desenvolvimento de projetos arquitetônicos e de engenharia.

Segundo o Dynamo Primer (2025), apesar de sua concepção inicial voltada ao Revit, o Dynamo é uma ferramenta de programação visual com uso ampliado em outras plataformas, como o Civil 3D. Nesse ambiente, ele permite automatizar processos relacionados a projetos de infraestrutura, contribuindo para maior eficiência, melhorias nos fluxos operacionais e

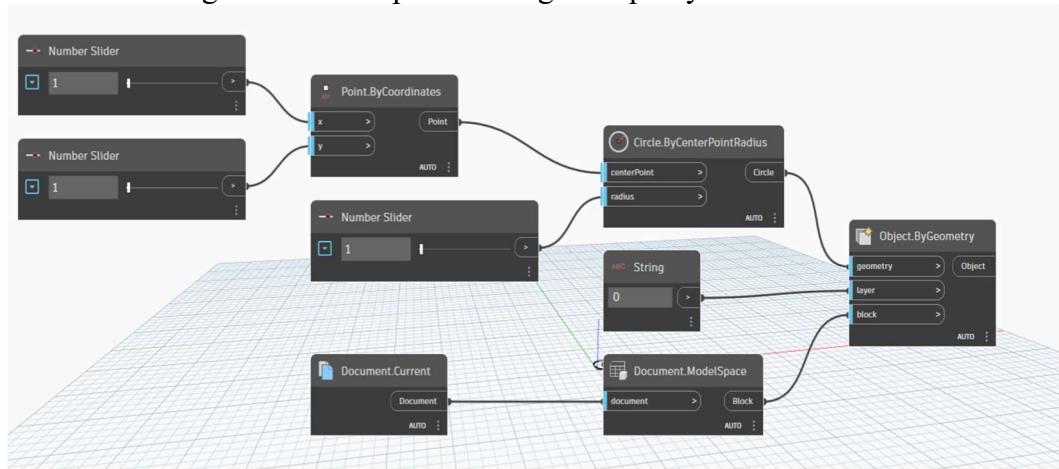
auxílio na tomada de decisões. A ferramenta também dispõe de nós específicos para o Civil 3D e conta com bibliotecas adicionais desenvolvidas e compartilhadas por uma comunidade ativa.

Segundo Korus, Czerniawski e Salamak (2023), o Dynamo pode operar como um aplicativo autônomo de código aberto e, como tal, processar modelos geométricos. No entanto, devido à possível integração, também pode operar em modelos BIM.

Segundo Morykin e Kahle (2019) o Dynamo é uma plataforma de programação visual integrada ao Civil 3D e a outros softwares da Autodesk. Esse tipo de ferramenta permite desenvolver rotinas e scripts por meio da manipulação gráfica de componentes, em vez da escrita direta de código. A lógica do sistema baseia-se em elementos visuais conectados por linhas que indicam suas relações funcionais. No centro desta plataforma está o Design Script, uma linguagem de programação clara e compacta, projetada para suportar processos de design iterativo. Ela oferece respostas imediatas durante a construção dos scripts e permite alternar com facilidade entre a programação por nós e a textual.

Dentro do Dynamo, os fluxos visuais são construídos por meio de nós, que são organizados na biblioteca de acordo com suas funções. Na versão específica para o Civil 3D, existem agrupamentos voltados ao controle de elementos característicos dessa plataforma, como alinhamentos e perfis. Outras categorias incluem recursos compartilhados entre diferentes versões, como o Dynamo para Revit e o Dynamo Sandbox (DYNAMO, 2025). Na Figura 9, temos um exemplo de um fluxo no Design Script do Dynamo.

Figura 9 - Exemplo de Design Script Dynamo



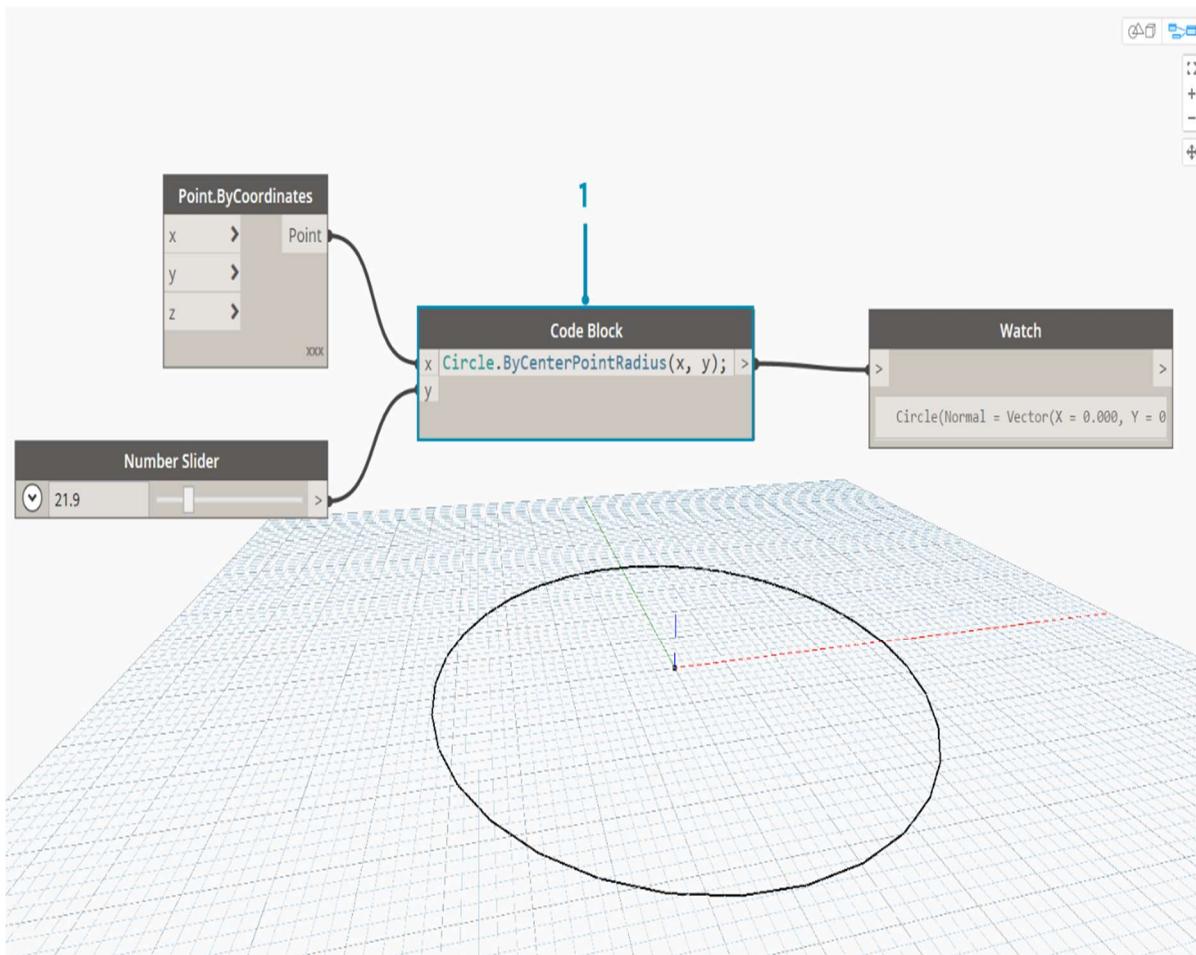
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os pacotes do Dynamo nada mais são do que extensões criadas por desenvolvedores externos que ampliam as funcionalidades do programa. Esses recursos adicionais estão disponíveis para todos os usuários e podem ser instalados facilmente. Embora o Dynamo

ofereça grandes possibilidades por meio da programação visual, ele também permite a escrita de códigos diretamente. Isso pode ser feito de duas formas principais: utilizando blocos de código (Code Block) ou inserindo scripts em Python através de um nós personalizados. (DYNAMO, 2025).

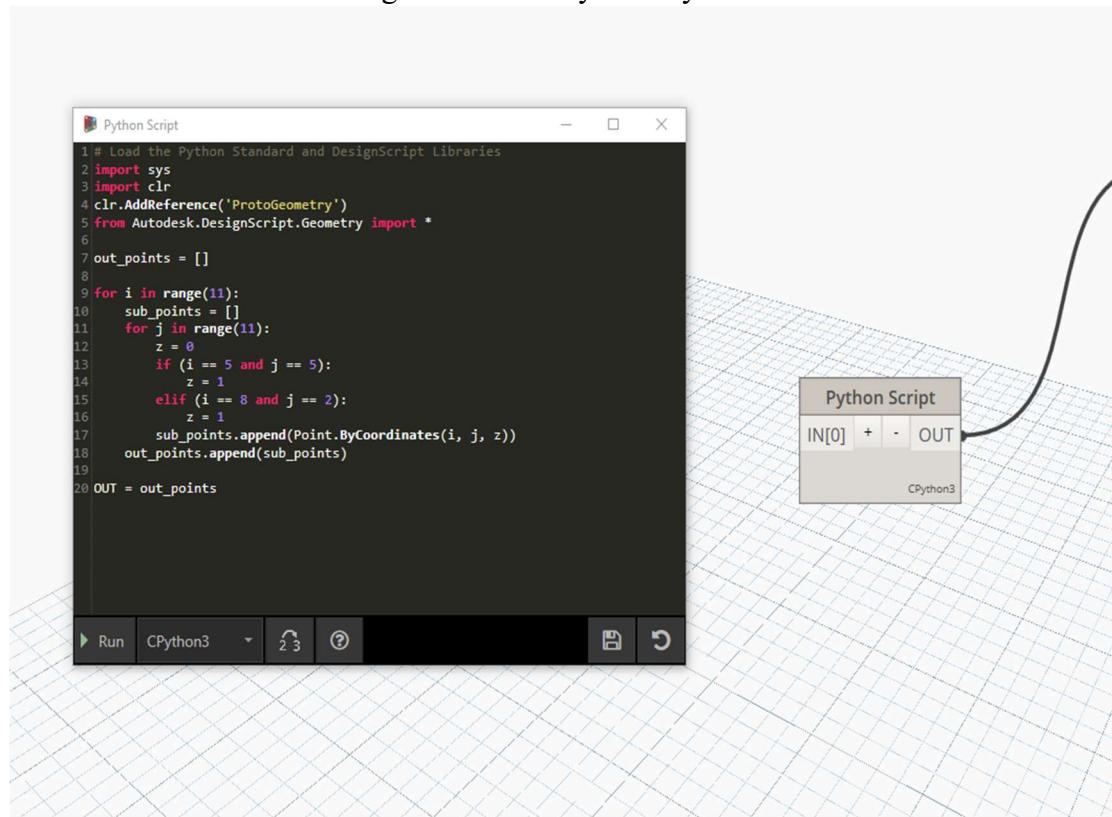
O Python é uma linguagem de programação amplamente utilizada por sua simplicidade e flexibilidade e, nesse contexto, torna-se ideal para criar rotinas mais avançadas dentro do Dynamo. Na Figura 10, observa-se um fluxo no formato de bloco de código (Code block) do Dynamo. Na Figura 11, temos um exemplo de um nó Python dentro do ambiente do Dynamo.

Figura 10 - Code Block Dynamo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 11 - Nô Python Dynamo



Fonte: Dynamo BIM (2025)

O AutoCAD e o Civil 3D disponibilizam interfaces de programação (APIs) que possibilitam aos desenvolvedores adicionar recursos personalizados às funcionalidades nativas dos softwares. Essas interfaces consistem em coleções de comandos, métodos e rotinas que viabilizam a interação entre diferentes programas. Por meio da API, é possível enviar e receber instruções, permitindo a troca de informações e a execução de tarefas de forma automatizada entre os sistemas envolvidos.

O guia do desenvolvedor da (API) do Autodesk Civil 3D foi projetado para desenvolvedores que desejam personalizar o Civil 3D ou criar aplicativos usando as APIs subjacentes. Ele também pode ser usado para criar macros para automatizar tarefas repetitivas para usuários do Autodesk Civil 3D e para desenvolvedores de subconjuntos personalizados (AUTODESK, 2020).

3.3 Automatização da conversão do projeto em BIM

O processo tem início com a elaboração do traçado da rede por meio do módulo UFC 2 no software AutoCAD ou Civil 3D. Na sequência, é realizado o dimensionamento, no UFC 2 e

a simulação hidráulica no EPANET. Completado o dimensionamento, o UFC 2 gera um arquivo de texto que contém características da rede de abastecimento de água dimensionada como:

1. coordenadas das junções,
2. material dos tubos,
3. diâmetro dos tubos,
4. cotas de assentamento dos tubos,
5. cotas do terreno natural.

Com as informações do arquivo texto gerado pelo UFC, é feita identificação desse arquivo e a leitura dos dados através de um script python, no próprio Dynamo. O arquivo é identificado da seguinte forma:

- Sistema de Abastecimento de Água: rede_nome_agua.inp

A rotina Dynamo é responsável pela conversão para uma planilha no formato Excel, que foi estabelecido como padrão de entrada para a utilização no Dynamo. A planilha é gerada na nomenclatura:

- Sistema de Abastecimento de Água: rede_nome_agua.xlsx

Utilizando os dados da Planilha Excel, é possível fornecer as informações necessárias para que o Dynamo faça a leitura dessas informações para a geração da Rede de Abastecimento e Reservatório, de acordo com o que foi dimensionado no UFC.

3.3.1 Criação de Catálogos de Peças

Para a automatização, se fez necessário a criação de um catálogo personalizado de materiais, considerando que o template padrão do Civil 3D não contempla alguns dos diversos materiais que podem ser definidos para o projeto no Sistema UFC. A criação das peças foi iniciada através da construção do desenho 3D de cada uma delas e após isso realizou-se a devida exportação para o catálogo do CIVIL 3D, através do *Content Catalog Editor*, ferramenta que o software disponibiliza. O catálogo de peças criado consistiu nos seguintes materiais:

- Tubos de PVC PBA nos diâmetros correspondentes: 50, 75 e 100 mm.
- Tubos de PVC DeFoFo nos diâmetros correspondentes: 100, 150, 200, 250, 300, 400, 450 e 500 mm,
- Tubos de PEAD nos diâmetros correspondentes: 63, 90, 110, 160, 200, 250, 280 e 315 mm.

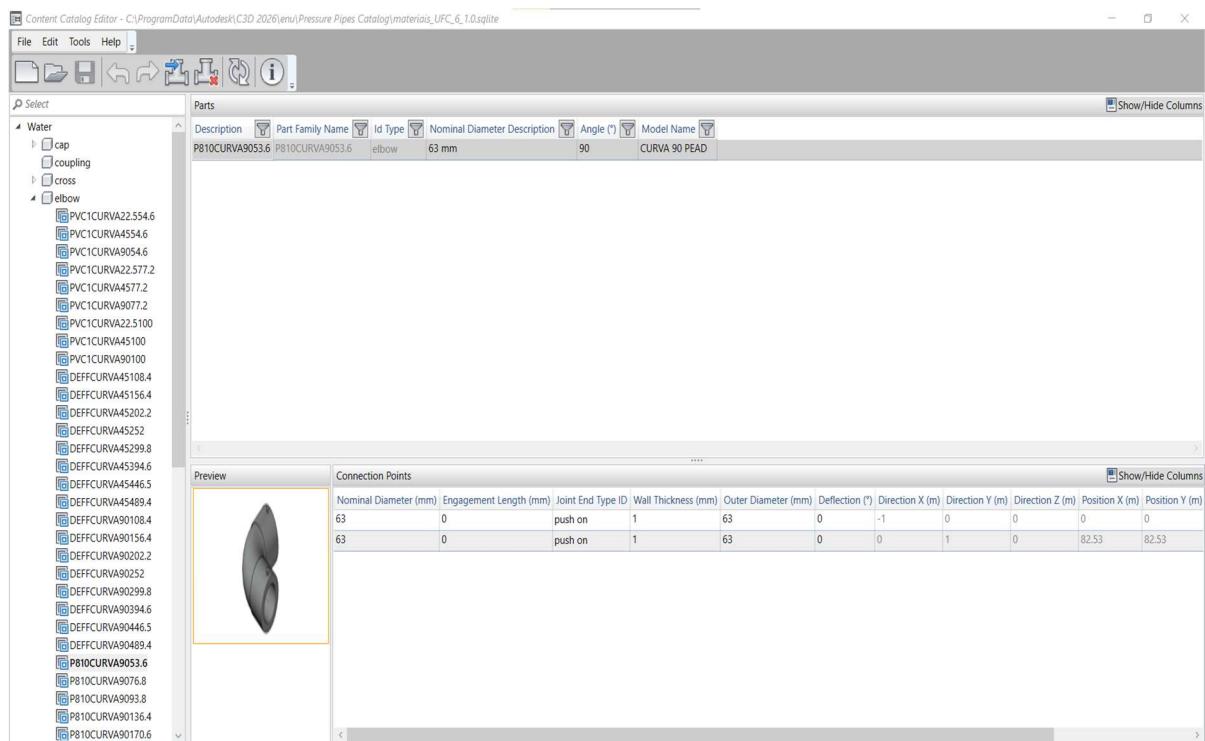
Já para as conexões, utilizou-se o mesmo método e o catálogo de peças foi configurado com as seguintes peças nos respectivos diâmetros dos tubos: Cruzetas, Tês, Curvas, Reduções, Cap. As conexões foram criadas para os materiais:

- PVC PBA.

- PEAD.
- PVC DeFoFo.

É importante destacar que o usuário poderá personalizar o catálogo desenvolvido como base para a automatização através do *Content Catalog Editor*, do Civil 3D, incluindo outros diâmetros. Para a inserção de novas peças, tubos e válvulas é necessário adaptar a rotina Dynamo para essas novas funcionalidades. Na Figura 12, é mostrado o catálogo de peças BIM onde foram configuradas as peças.

Figura 12 - Catálogo de Peças BIM *Content Catalog*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3.3.2 Configuração do Template

Com o catálogo de materiais pronto, se tornou necessário padronizar um arquivo template, base para a automatização, sendo pré configurado o catálogo de materiais, estilos de visualização, padronização de legendas, tabelas de levantamento de materiais para posteriormente, na execução do código Dynamo as informações dos materiais serem extraídas do template.

3.3.3 Arquivos parametrizados dos Reservatórios

Para representar a geometria dos reservatórios utilizados que foram dimensionados pelo sistema UFC 2, foram criadas rotinas dynamo específicas para desenhar a geometria em 3D dos

reservatórios, adaptadas a trabalhar de forma parametrizada com os resultados possíveis resultantes do cálculo no sistema UFC 2. Os parâmetros utilizados para cada reservatório foram:

- Tipo de Reservatório;
- Altura útil;
- Altura Total;
- Altura do Fuste;
- Diâmetro;
- Lado.

Tais parâmetros usados como base para a geração automática dos desenhos dos reservatórios foram extraídos do arquivo .inp através das rotinas Dynamo. Nas Figuras 13 e 14, observa - se a forma como os dados se apresentam no arquivo .inp gerado após o dimensionamento da rede pelo UFC.

Figura 13 – Dados do reservatório no arquivo .inp

```
[RESERVOIRS]
;ID          Head          Pattern
 1          102.959      ;Reserv. Circular (10, 16.22, 17.22, 3.2, 92.96)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 14 – Descrição do tipo reservatório no arquivo .inp

```
[TAGS]
LINK 1          PVC1
LINK 2          PVC1
LINK 3          PVC1
LINK 4          PVC1
LINK 5          PVC1
LINK 6          PVC1
LINK 7          PVC1
LINK 8          PVC1
LINK 9          PVC1
LINK 10         PVC1
LINK 11         PVC1
LINK 12         PVC1
LINK 13         PVC1
LINK 14         PVC1
LINK 15         PVC1
LINK 16         PVC1
LINK 17         PVC1
LINK 18         PVC1
LINK 19         PVC1
LINK 20         PVC1
LINK 21         PVC1
LINK 22         PVC1
LINK 23         PVC1
NODE 1          REL-CIRCULAR-METAL50-RES
```

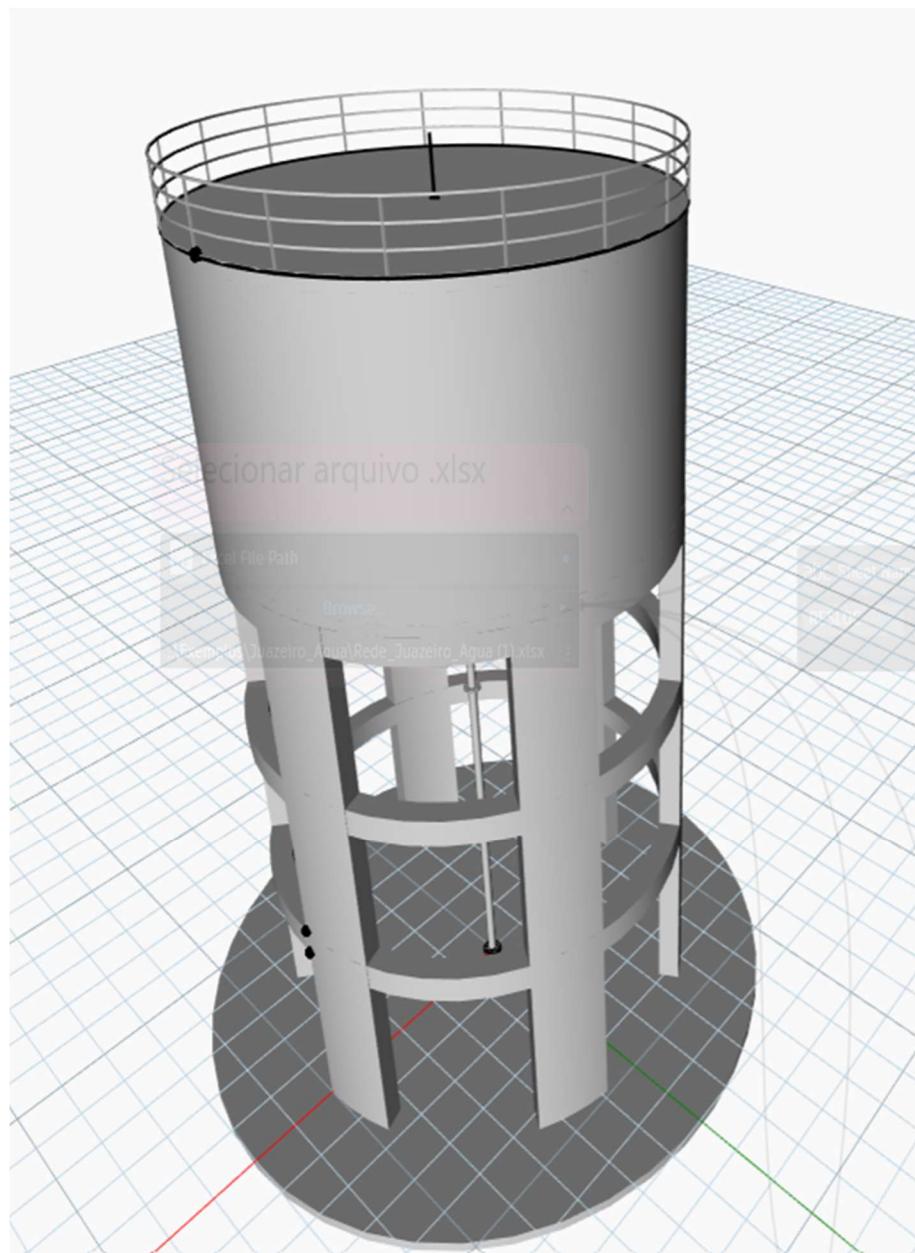
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os scripts Dynamo desenvolvidos são capazes de gerar a geometria de tais tipos de reservatórios:

1. Reservatório Circular Elevado de Concreto Armado (Figura 15);
2. Reservatório Retangular Elevado de Concreto Armado (Figura 16);

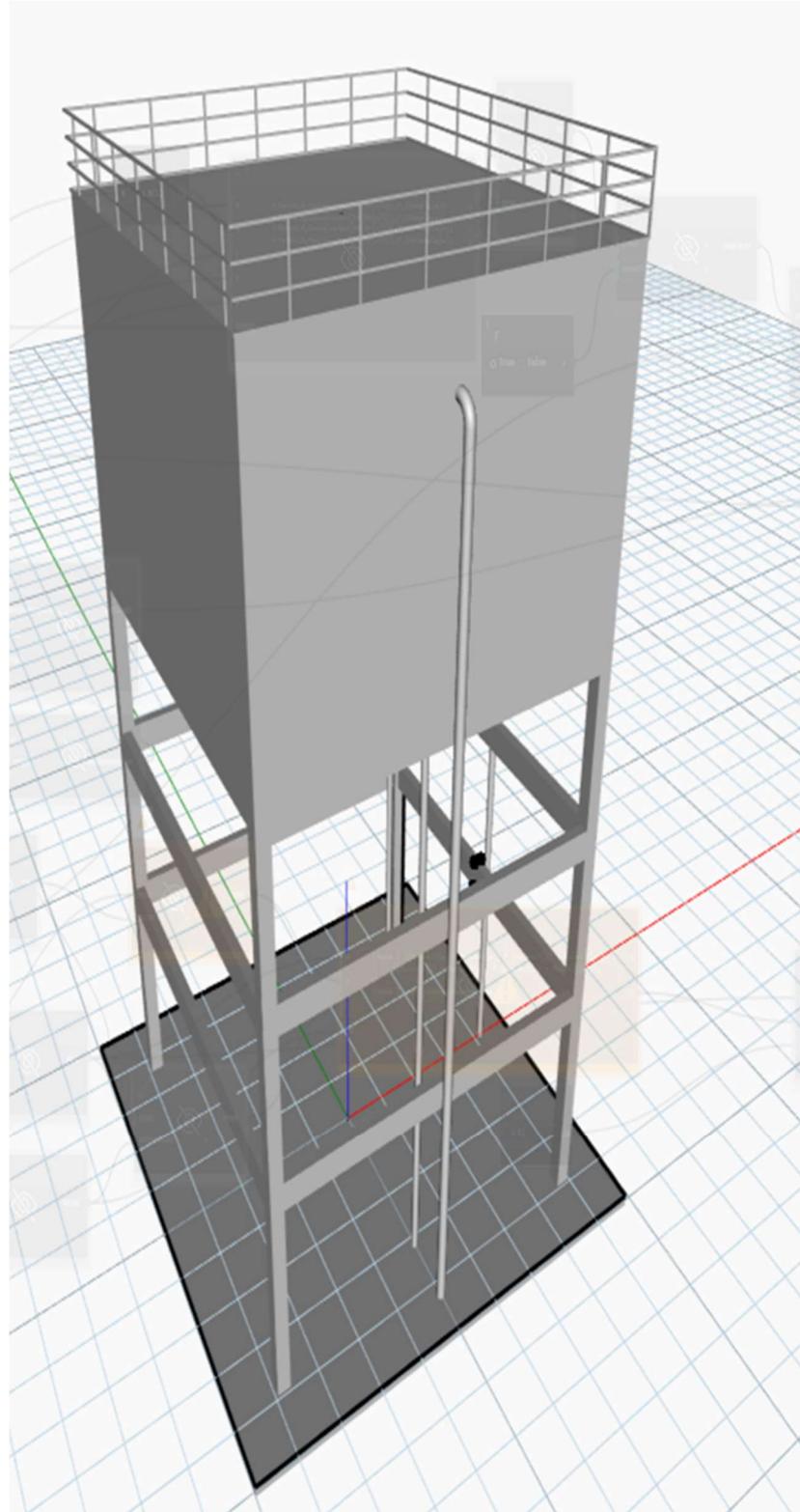
3. Reservatório Metálico Elevado (Figura 17);
4. Reservatório Circular Apoiado em Concreto Armado (Figura 18);
5. Reservatório Retangular Apoiado em Concreto Armado (Figura 19);

Figura 15 – Modelo BIM de Reservatório Circular Elevado de Concreto Armado no Civil 3D



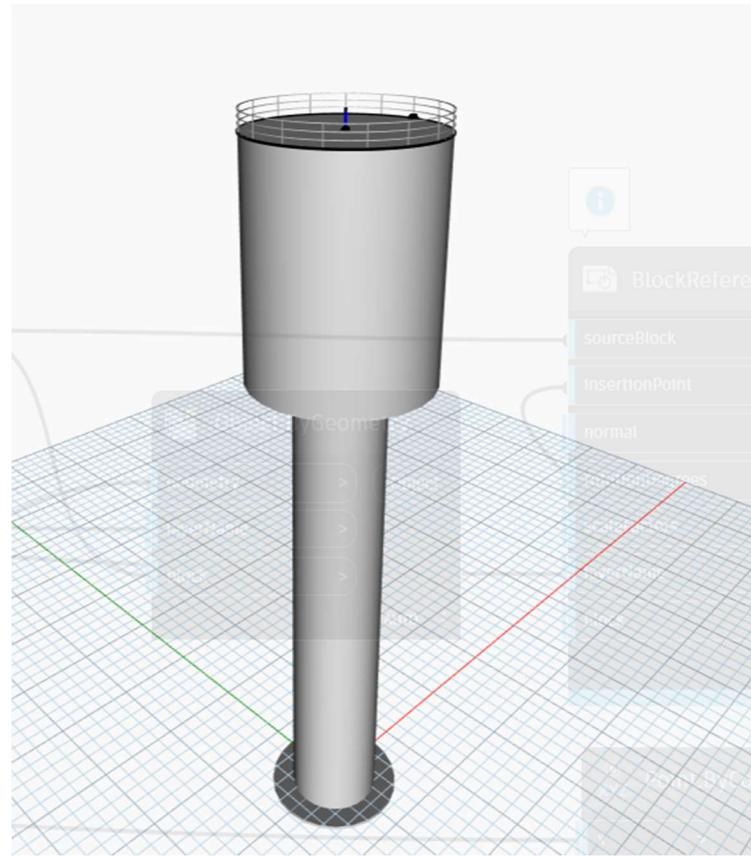
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 16 – Modelo BIM de Reservatório Retangular Elevado de Concreto Armado no Civil 3D



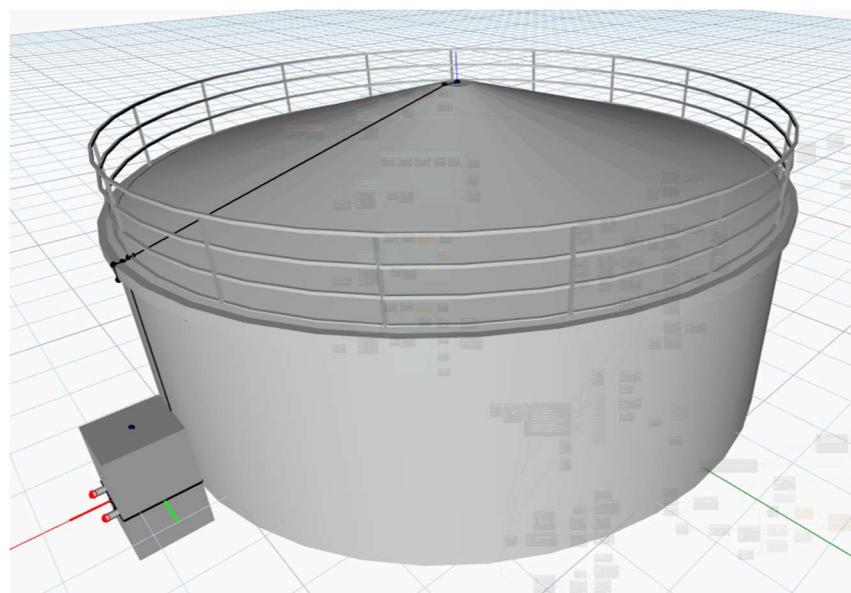
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 17 – Modelo BIM de Reservatório Metálico Elevado no Civil 3D



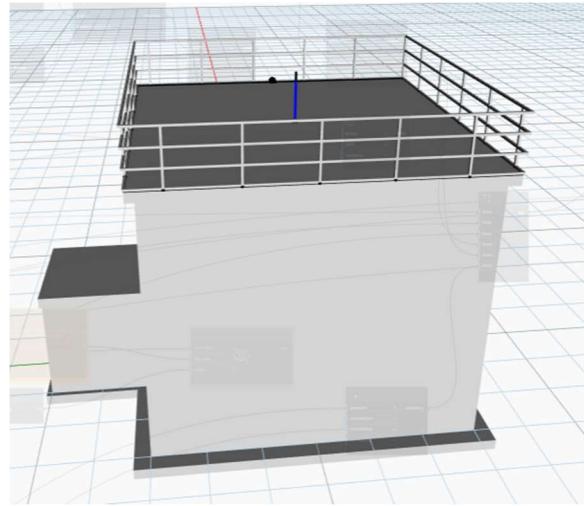
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 18 – Modelo BIM de Reservatório Circular Apoiado em Concreto Armado no Civil 3D



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 19 – Modelo BIM de Reservatório Retangular Apoiado em Concreto Armado no Civil 3D

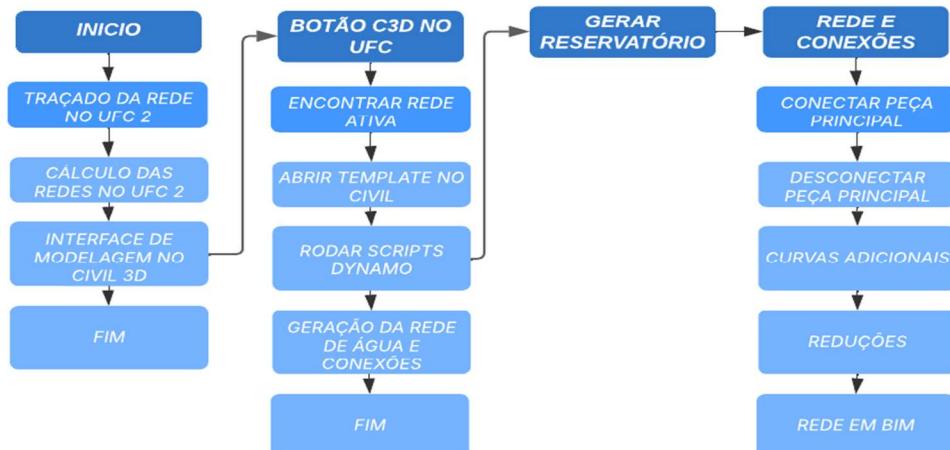


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3.4 Visão geral da interface e das rotinas Dynamo

Organizando preparando os arquivos, partiu, na sequência, para o desenvolvimento das rotinas responsáveis pela geração dos elementos no Civil 3D, e possibilitar a criação da rede BIM. Inicialmente, verificou-se quais funcionalidades do Dynamo poderiam ser utilizadas para criar as redes de pressão no formato pressure networks. Diante disso, surgiu a necessidade de utilizar add-ons pacotes do Dynamo para criar os pressure networks, visto que não haviam funções disponíveis para tais tarefas nativas no Dynamo. Na Figura 20, é destacado uma visão do processo.

Figura 20 - Visão geral do processo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Destacam- se, no entanto, as rotinas desenvolvidas e as funções que cada uma é responsável no processo de automatização da geração da rede em BIM. Tais rotinas foram organizadas da seguinte forma:

1. Rotina 1 - Criação dos Reservatórios.
2. Rotina 2 - Criação da Rede e inserção automática das conexões.
3. Rotina 3 - Posicionamento das conexões principais.
4. Rotina 4 - Inserção de curvas adicionais.
5. Rotina 5 - Inserção de reduções de diâmetro.

As rotinas encontram - se no apêndice A.

3.3.5 Automatização da geração BIM da rede de água

Detalhando as rotinas de automatização da geração da rede, foi desenvolvido um arquivo Dynamo que faz a leitura do arquivo texto gerado pelo UFC, convertendo esse arquivo para excel. Usando o Excel como base, adaptou-se a rotina dynamo para realizar a leitura de todas as características da rede como: junções, coordenadas iniciais e finais dos tubos, cotas dos tubos, diâmetro dos tubos, material dos tubos para cada trecho, cotas do terreno e cotas de assentamento dos tubos.

Após a padronização da leitura das características da rede, foi organizado devidamente a ordem dos trechos e coordenadas, para a utilização da funcionalidade Pressure Pipe Run, disponível no pacote add-on Camber do Dynamo. Essa funcionalidade permite a criação dentro do ambiente do Civil 3D dos tubos da rede na categoria Pressure Pipes.

A entidade *PressurePipeRun* é criada em um nível base, o que foi necessário desenvolver uma rotina para posteriormente adequar as cotas da tubulação gerada. A rotina atualiza automaticamente as cotas dos pontos iniciais e finais dos tubos de pressão (*Pressure Pipes*) no Civil 3D, utilizando as coordenadas fornecidas no Dynamo, conforme acessando as propriedades do elemento. Foi necessário também, criar a rotina da geração de legendas para toda a tubulação da rede, seguindo as características projetadas.

3.3.6 Inserção e posicionamento automático das conexões

Quanto à inserção automática das peças de conexão, foi criado uma rotina Dynamo para analisar e comparar as coordenadas dos pontos iniciais e finais dos tubos para identificar junções, agrupando esses pontos e determinando quantos tubos estão conectados em cada junção. Com base no número de conexões e nos ângulos entre elas, a rotina classifica as peças associadas aquela junção (por exemplo, tê, cruzeta, curva ou redução). Ele calcula, também, a direção dos tubos para cada peça, formatando todas as informações em uma lista.

Dessa forma, a rotina retorna as cotas e informações de descrição da peça, diâmetro e demais atributos para representação com precisão a rede no Civil 3D. Para a inserção de peças foi utilizado a descrição da peça no catálogo de materiais e o ponto referente a junção, resultante da rotina. Diante disso, foi utilizado o método: *AddFitting*, disponível na documentação oficial da API Reference Guide da Autodesk (AUTODESK, 2023).

Após a inserção de peças foi criado uma rotina que conecta as peças de conexão nos respectivos tubos da junção, posicionando-as de forma a ajustar a geometria no Civil 3D de forma automática. Para isso, foram usadas listas de entrada com as peças previamente criadas e também definiu quais objetos e portas conectar. Para cada conexão, determina a extremidade correta do tubo e utiliza, para realizar a ligação, o método *ConnectToPipe*, disponível na documentação oficial da API Reference Guide da Autodesk (AUTODESK, 2023).

Por fim, a conexão é confirmada ou cancelada, retornando uma mensagem de sucesso ou de erro.

3.3.7 Geração de quantitativos

Após completa, a rede em BIM pode ser utilizada para a extração de quantitativos de materiais.

Segundo Eastman et al. (2014), os programas baseados em BIM possibilitam a obtenção de quantitativos dos elementos do modelo, permitindo também sua exportação para outros formatos, como planilhas ou bancos de dados. No entanto, embora esses modelos contribuam para automatizar o levantamento de quantidades, eles não substituem completamente o processo orçamentário, exigindo que o profissional defina a melhor forma de integrar os dados conforme as particularidades do seu método de orçamento.

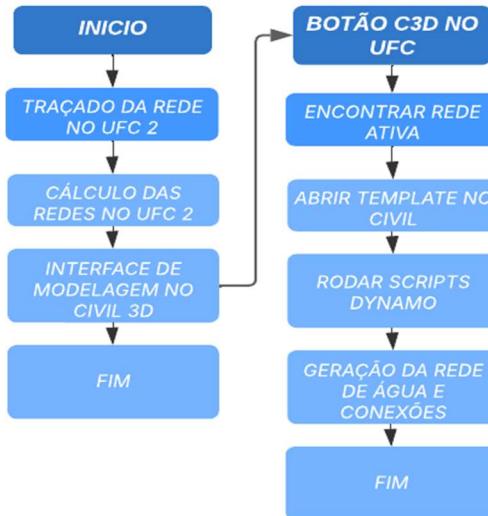
3.3.8 Utilização da Interface

De modo geral, o fluxograma para a geração da rede em BIM representa a forma como o usuário poderá utilizar a interface. Para utilização, foram definidas as seguintes etapas:

- 1) Definição dos critérios de projeto;
- 2) Traçado das redes no módulo UFC 2;
- 3) Calcular as redes no módulo UFC 2;
- 4) Gerar o arquivo de texto necessário, o arquivo INP;
- 5) Deixar ativo o arquivo que será utilizado para gerar o modelo BIM automaticamente;
- 6) Utilizar o módulo C3D.

Na Figura 21, há uma ilustração de como o usuário deverá proceder para manusear a interface desenvolvida.

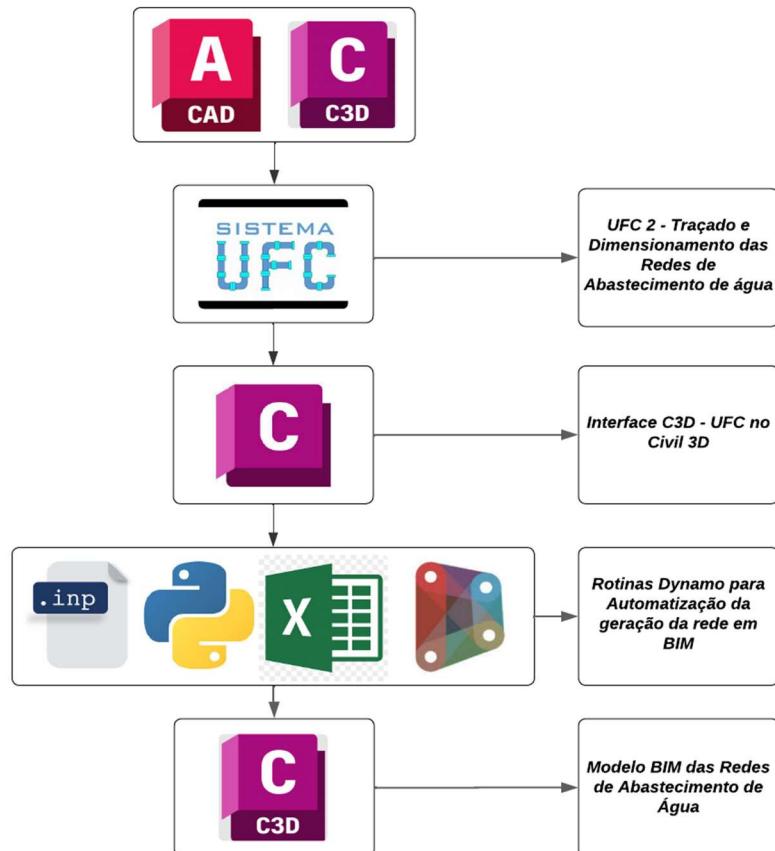
Figura 21 - Utilização da interface



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A seguir, na Figura 22, é apresentado um resumo que trata da forma como os softwares se inter-relacionam, os tipos de arquivos, e a interface.

Figura 22 - Visão geral das rotinas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A validação da interface para a modelagem BIM das redes de abastecimento de água foi realizada por meio da aplicação prática em diferentes projetos de redes de abastecimento de água. Foram selecionadas redes com variadas características de traçados e dimensionadas previamente no sistema UFC, para verificar se a solução proposta seria adaptável a múltiplos cenários. A ideia geral é testar a capacidade da interface em lidar com diferentes padrões de dados de entrada. As etapas de validação envolveram a comparação dos modelos BIM gerados automaticamente com os projetos originais, verificando a precisão geométrica e a consistência das informações atribuídas aos elementos. O foco principal foi identificar eventuais limitações e possibilidades de melhoria para o uso em projetos.

As componentes da rede foram modeladas em ambiente BIM com nível de detalhamento incluindo atributos como especificação de tamanho, forma, espaçamento e localização de tubos, válvulas, conexões, tubulações principais e ramificações. O que de acordo BIM FORUM (2023), é correspondente ao LOD 300. Durante o processo, alguns desafios limitaram o avanço para níveis mais altos de detalhamento. Um dos principais entraves foi a natureza automatizada da aplicação utilizada, que demanda a criação de lógicas específicas para representar os elementos de conexões hidráulicas e inicialmente foram feitos para alguns tipos de conexão. Foi necessário, portanto, desenvolver uma lógica para inserir as conexões e posicioná-las.

3.4 Parâmetros das Redes na Interface

De acordo com o template desenvolvido para a interface, o usuário poderá projetar no UFC e gerar as redes BIM com os seguintes parâmetros:

1. Material: PVC - PBA ou PEAD - 80 PN 10

Além das tubulações, para os reservatórios os modelos definidos pelo usuário para a modelagem poderão ser os seguintes:

1. Reservatório Circular Elevado de Concreto Armado;
2. Reservatório Retangular Elevado de Concreto Armado;
3. Reservatório Metálico Elevado;
4. Reservatório Circular Apoiado em Concreto Armado;
5. Reservatório Retangular Apoiado em Concreto Armado;

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados foi dividida em três partes. Primeiro, são apresentados os exemplos utilizados, dimensionados no Sistema UFC, com suas principais características e dados relevantes. Em seguida, exibem-se os modelos BIM gerados automaticamente das redes de água, com as peças inseridas e sua distribuição no traçado. Por fim, são realizadas análises dos resultados, destacando pontos positivos, limitações e possíveis melhorias.

4.1 Demonstração dos exemplos

Para a validação da metodologia e da interface desenvolvida entre o UFC e o Civil 3D, foram utilizadas 5 redes de abastecimento de água como exemplos. Nas redes utilizadas, foram definidos e utilizados os materiais PEAD e PVC - PBA para os tubos e conexões.

Nos exemplos foram traçadas a geometria das redes de água, dimensionando cada uma no sistema UFC e na sequência utilizando a interface o módulo C3D UFC. Nas redes de água em BIM cada material foi destacado com cor característica e peças correspondentes. Para testar as funcionalidades tomou-se o cuidado de variar os tipos de rede. Abaixo temos um resumo das redes exemplo (Tabela 2):

Tabela 2 – Resumo das redes exemplos

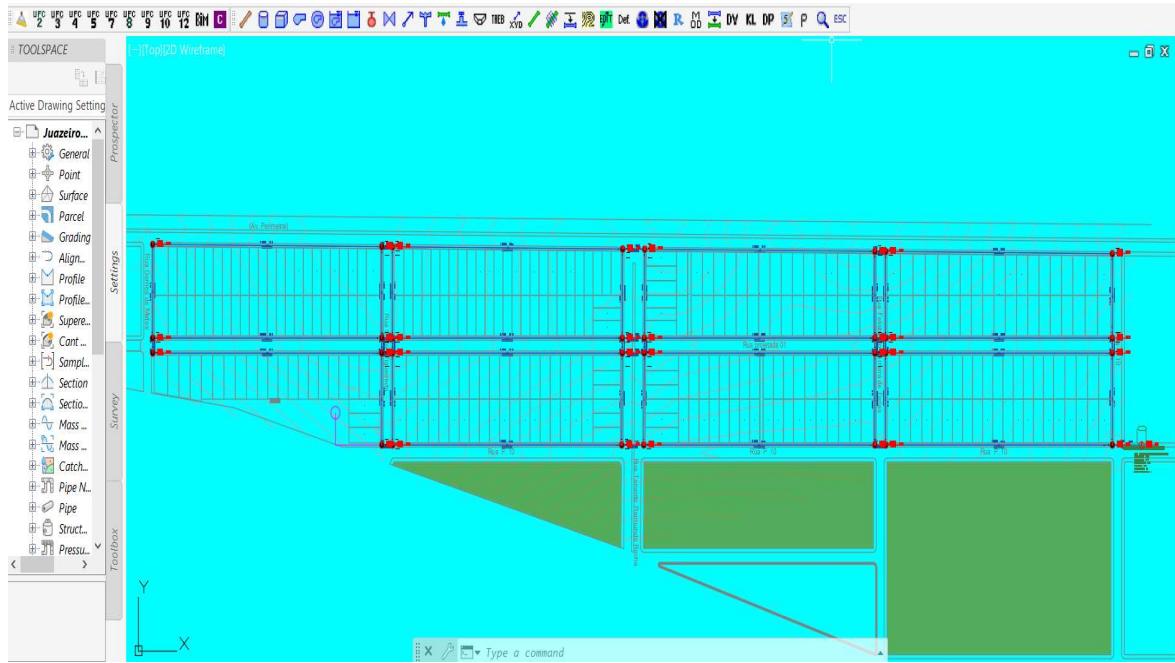
Localidade	Material Usado
Juazeiro do Norte - CE	PEAD
Sobral - CE	PVC-PBA
Acaraú - CE	PVC-PBA
Conjunto Habitacional	PEAD
Bonito - MG	PVC-PBA

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.2 Exemplos no Sistema UFC

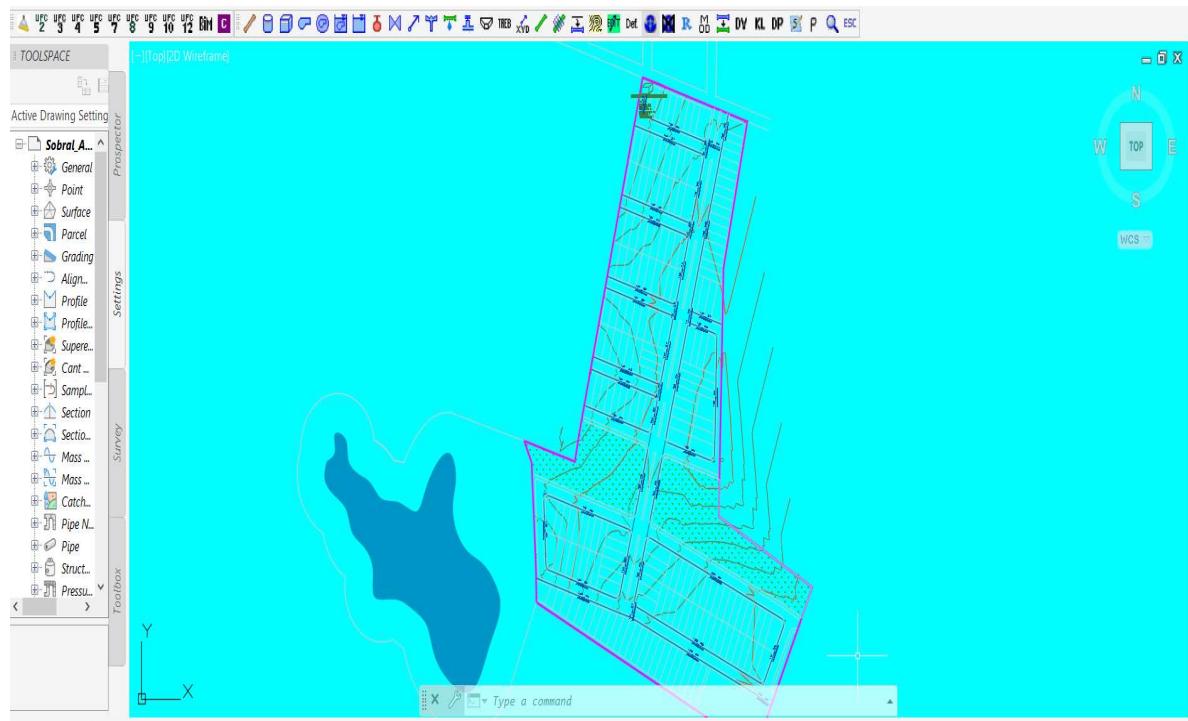
Como explicado na metodologia, para cada um dos exemplos gerados foram analisados a geometria, os quantitativos de tubos e posicionamento das conexões. Abaixo, segue o detalhamento de cada rede e suas características geradas dentro do Civil 3D, no apêndice B, os exemplos seguem em maiores detalhes. Nas Figuras 23 a 27, são mostrados cada um dos exemplos desenvolvidos no UFC.

Figura 23 - Rede Juazeiro - CE, dimensionada no UFC 2



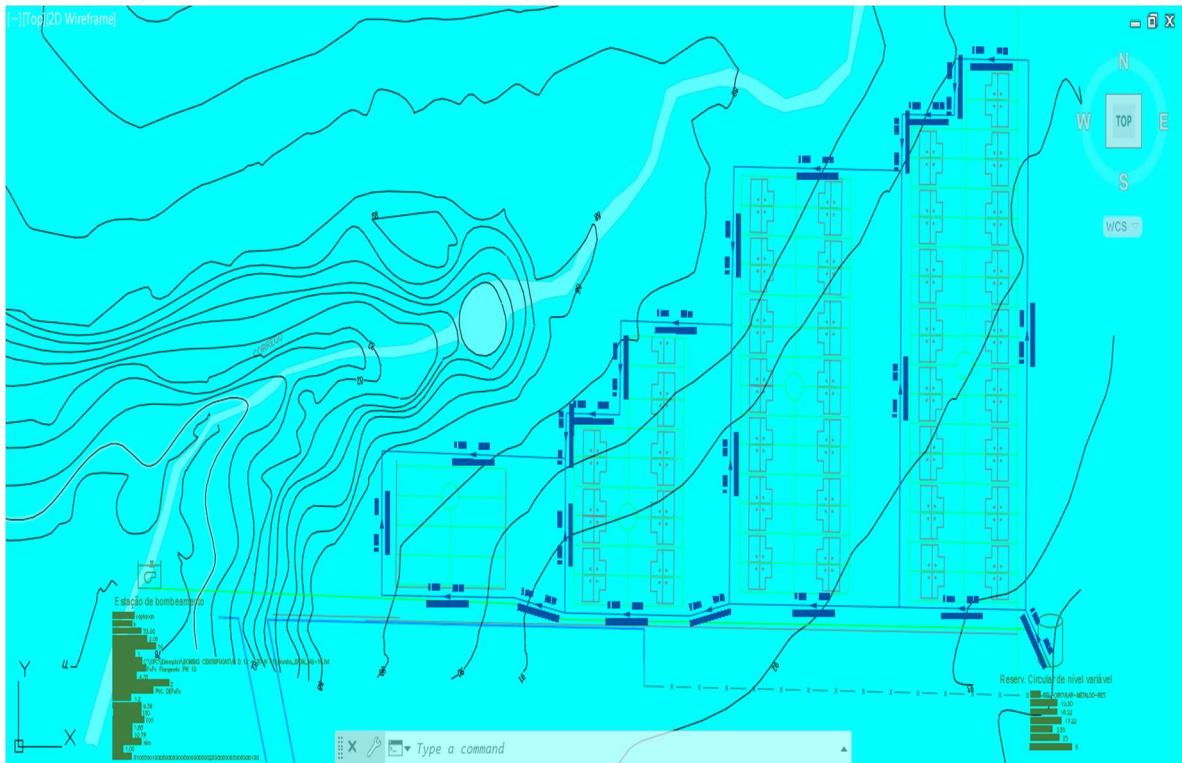
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 24 - Rede Sobral - CE, dimensionada no UFC 2.



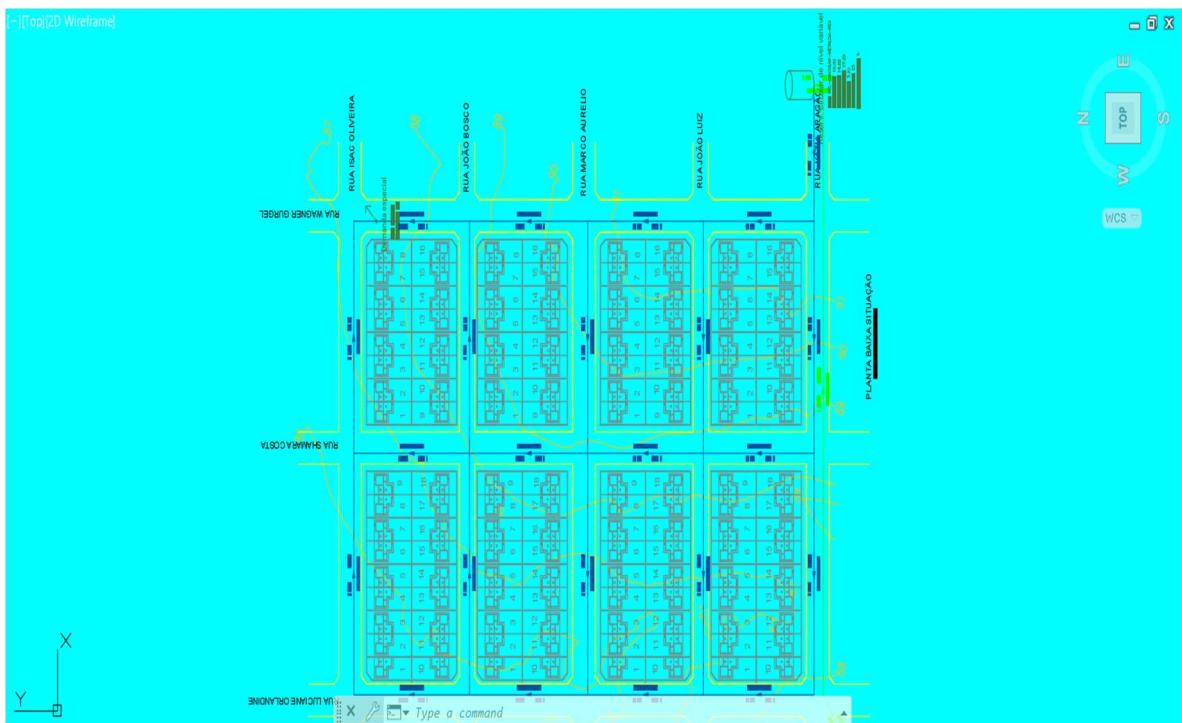
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 25 - Rede Acaraú - CE, dimensionada no UFC 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 26 - Rede Conjunto Habitacional, dimensionada no UFC 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 27 - Rede Bonito - MG, dimensionada no UFC 2.

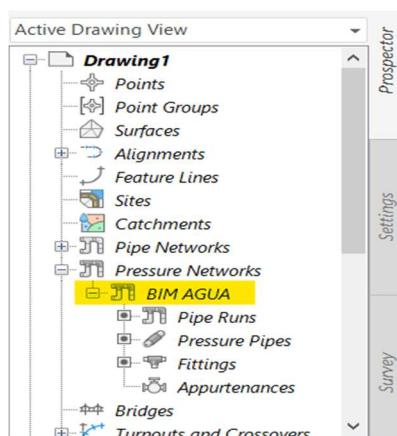


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.3 Modelo BIM das redes de água

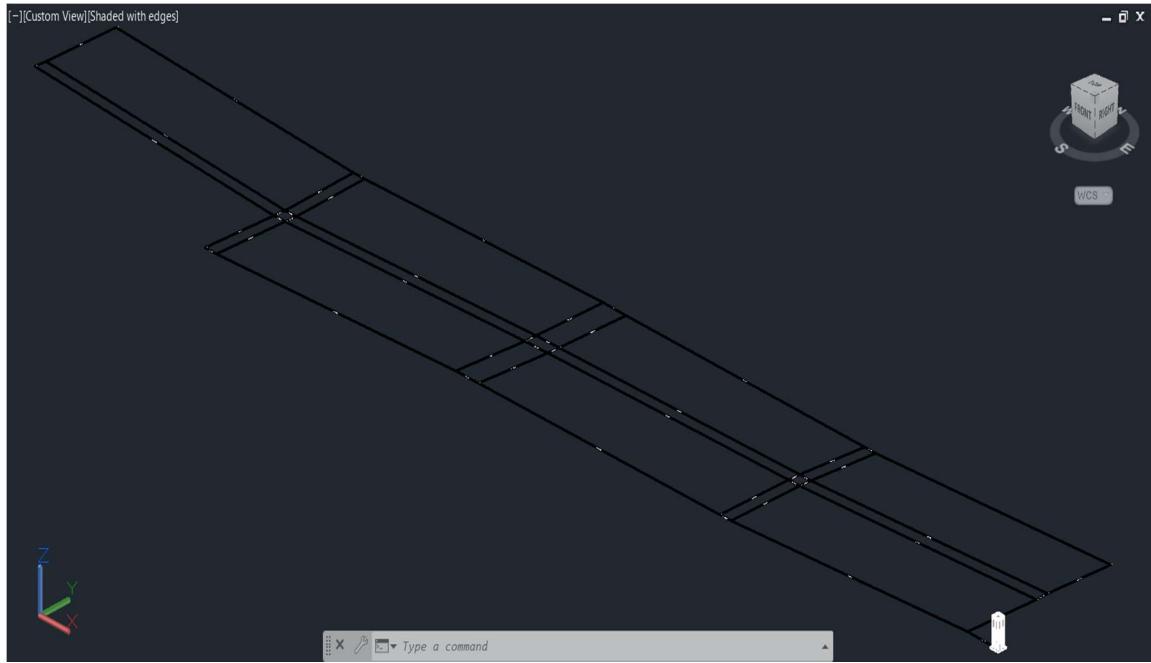
Na Figura 28, temos a rede criada em BIM na categoria *Pressure Networks* do Civil 3D. Na Figura 29, observa-se a rede Juazeiro - CE em BIM após a execução do módulo C3D. No dimensionamento foi utilizado o material PEAD. Na modelagem, destaca-se tipo de material, cor e diâmetro, a geometria em 3D do reservatório, o seu posicionamento e as características de dimensionamento. Na Figura 30, há o reservatório dimensionado: Reservatório Retangular Elevado de Concreto Armado. Na Tabela 3, observa-se os quantitativos da rede BIM gerada.

Figura 28 - Rede criada em *Pressure Networks* no CIVIL 3D



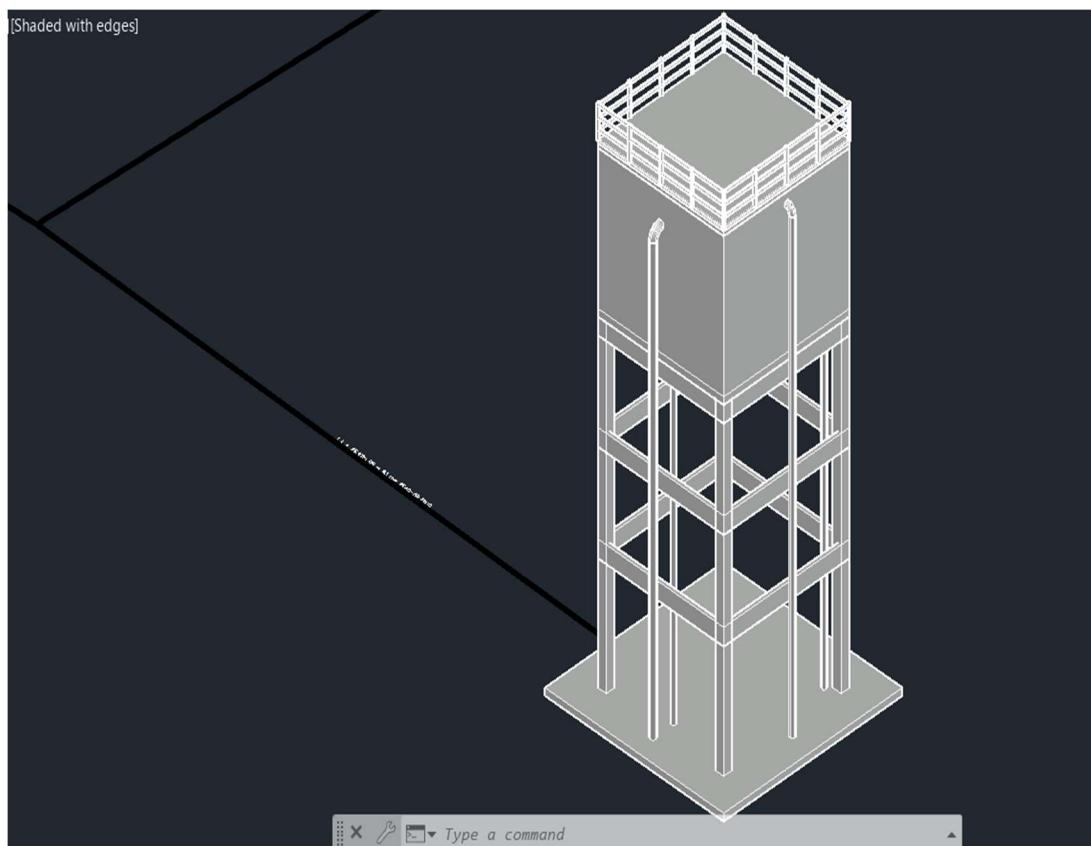
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 29 - Rede modelada em BIM Juazeiro - CE.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 30 - Reservatório BIM Juazeiro - CE.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

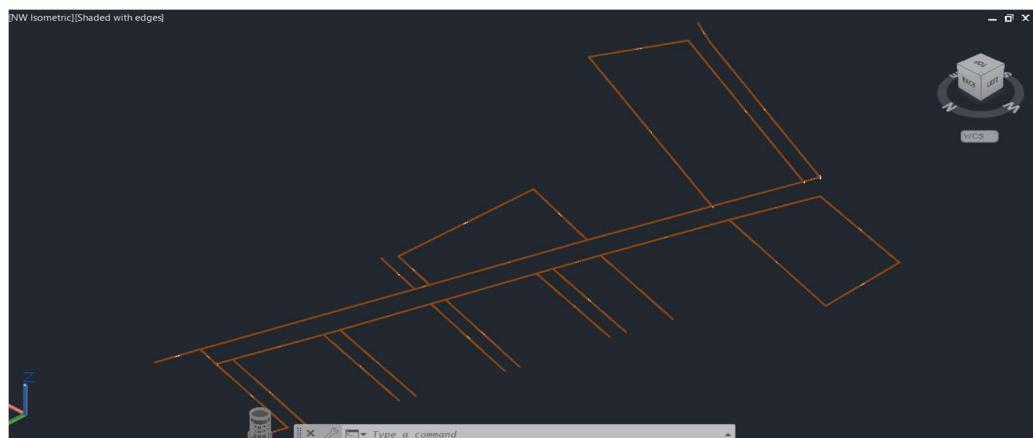
Tabela 3 - Quantitativos Juazeiro - CE.

Descrição	Quantidade	Unidade
CURVA 90 PEAD 63 mm	4	Un
CAP PEAD 63 mm	1	Un
CRUZETA PEAD 63 mm	12	Un
TUBO PEAD 63 mm	4168.5	m
TE PEAD 63 mm	15	Un

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

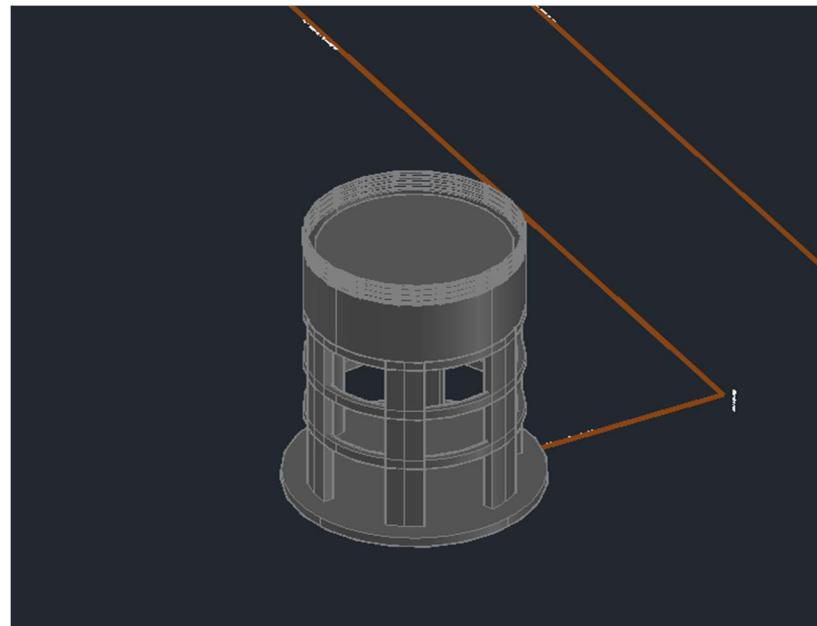
A segunda rede gerada foi uma rede dimensionada no UFC 2 para um loteamento residencial, localizado na cidade de Sobral - CE, com utilização do material PVC-PBA. Na Figura 31, tem-se representação tridimensional da rede em BIM após a execução do módulo C3D para o segundo exemplo. A modelagem evidencia não apenas o tipo de material, a cor e o diâmetro das tubulações, mas principalmente a geometria da rede em 3D para uma traçado diferente. Destacam-se as características de dimensionamento definidas no projeto também para o reservatório: Reservatório Circular Elevado de Concreto Armado, demonstrado na Figura 32. Na Tabela 4, temos os quantitativos da rede.

Figura 31 - Rede modelada em BIM Sobral - CE.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 32 - Reservatório em BIM Sobral - CE.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

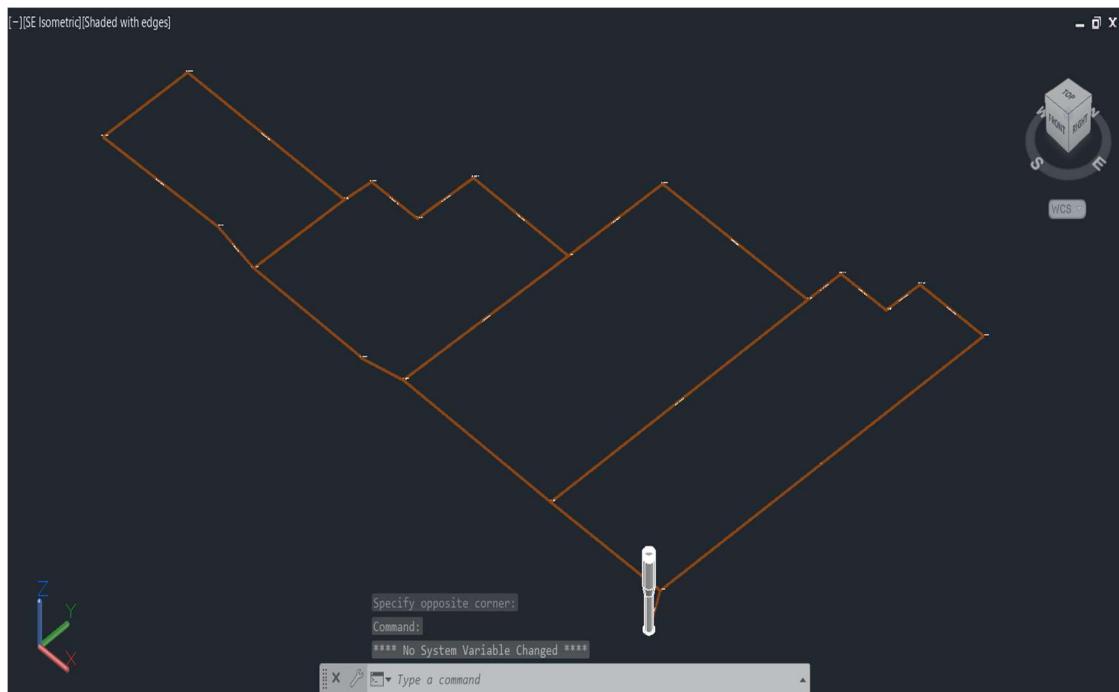
Tabela 4 - Quantitativos Sobral - CE

Descrição	Quantidade	Unidade
CURVA 22.5 PVC 50 mm	4	Un
CURVA 90 PVC 50 mm	7	Un
CURVA 90 PVC 75 mm	1	Un
CAP PVC 50 mm	12	Un
CAP PVC 75 mm	1	Un
TUBO PVC PBA 50 mm	2450.0	m
TUBO PVC PBA 75 mm	89.6	m
TE PVC 50 mm	16	Un
TE PVC 75 mm	1	Un
REDUÇÃO 75/50 mm	2	Un

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

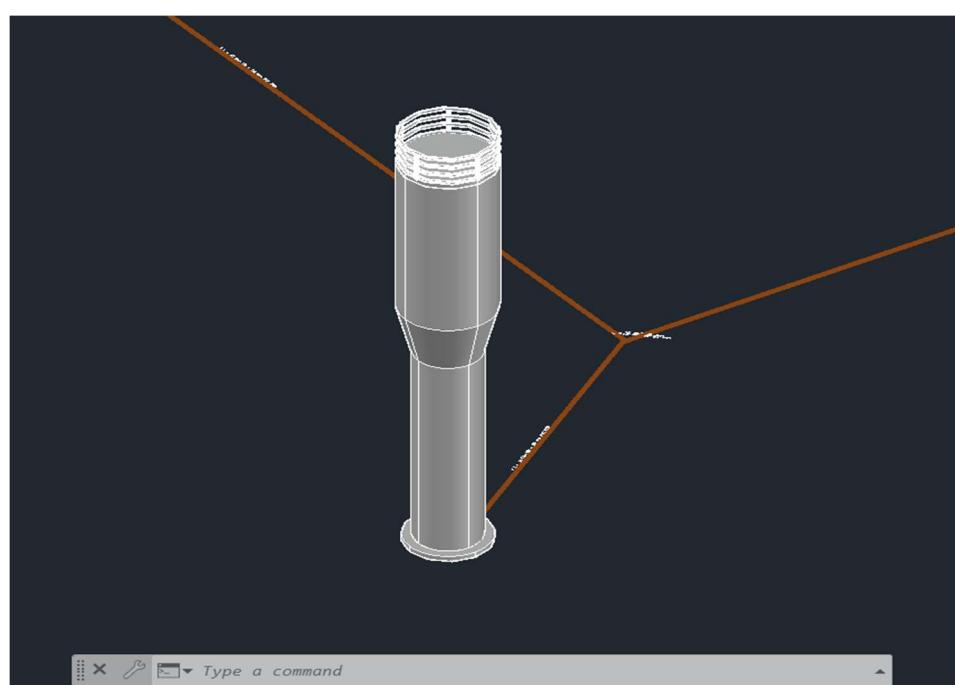
A terceira rede gerada foi dimensionada para um loteamento residencial, localizado em Acaraú-CE, com utilização do material PVC-PBA. Na Figura 33, tem-se representação tridimensional da rede em BIM após a execução do módulo C3D para o terceiro exemplo. Na figura 34, está representado o reservatório escolhido: Reservatório Metálico Elevado. Na Tabela 5, os quantitativos.

Figura 33 - Rede modelada em BIM Acaraú - CE.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 34 - Reservatório em BIM Acaraú - CE.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

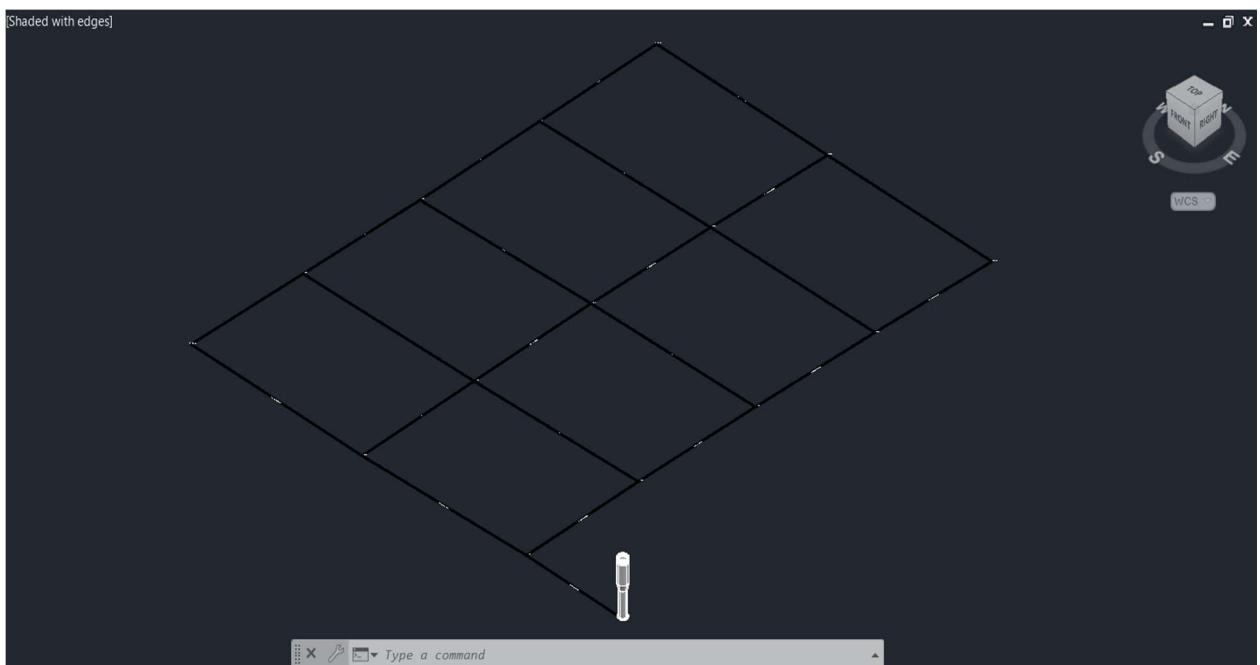
Tabela 5 - Quantitativos Acaraú - CE

Descrição	Quantidade	Unidade
CURVA 22.5 PVC 50 mm	4	Un
CURVA 45 PVC 50 mm	1	Un
CURVA 90 PVC 50 mm	10	Un
CAP PVC 50 mm	1	Un
TUBO PVC PBA 50 mm	863.4	m
TE PVC 50 mm	7	Un

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

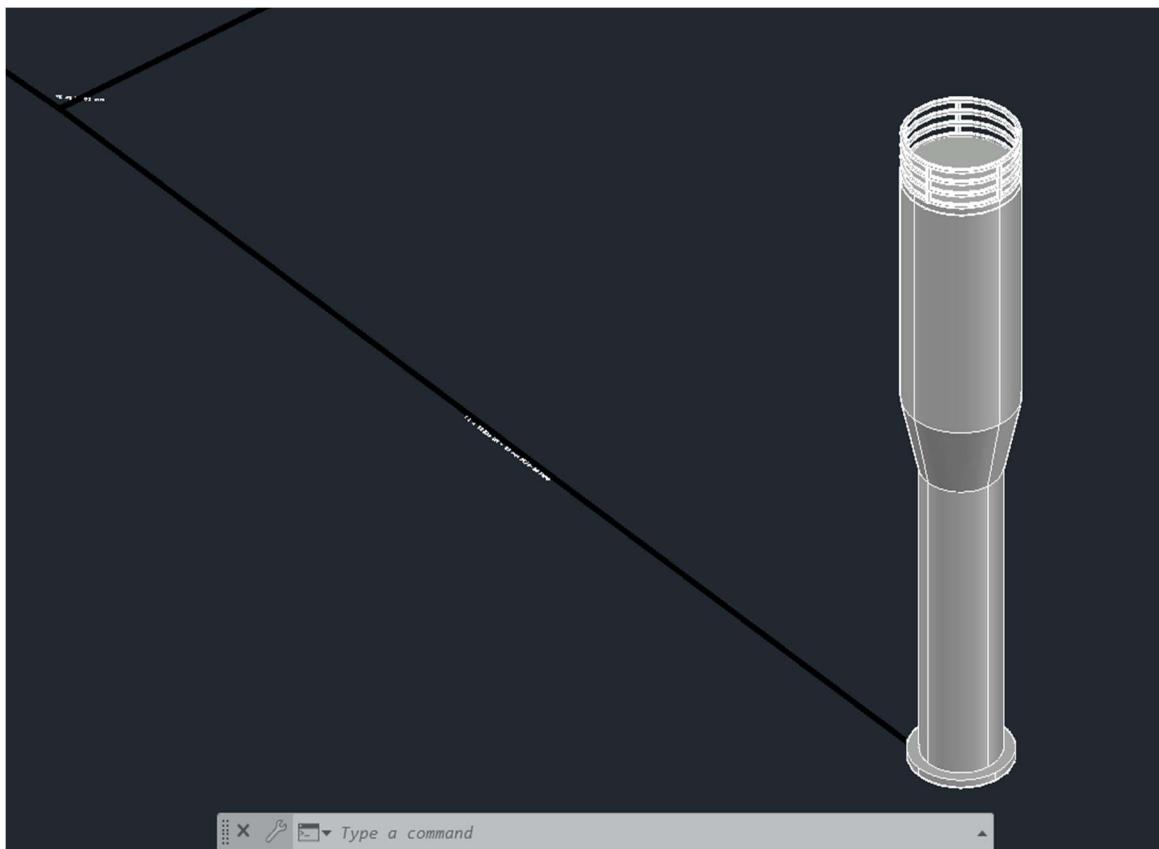
A quarta rede gerada foi dimensionada para um conjunto habitacional, com utilização de PEAD como padrão. Na Figura 35, a rede em BIM após a execução do módulo C3D para o quarto. Na figura 36, representa o Reservatório Metálico Elevado, escolhido para o exemplo. Na Tabela 6, o resumo das conexões.

Figura 35 - Rede modelada em BIM Conjunto Habitacional.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 36 - Reservatório em BIM Conjunto Habitacional.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 6 - Quantitativos Conjunto Habitacional

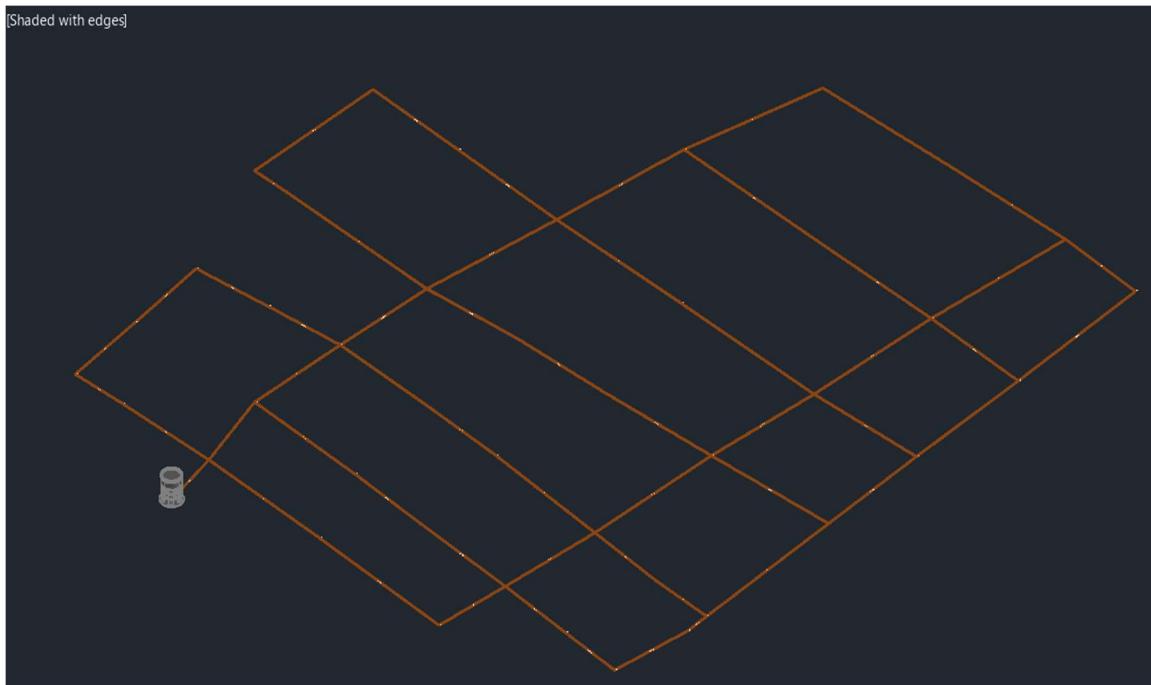
Descrição	Quantidade	Unidade
CURVA 90 PEAD 63 mm	3	Un
CAP PEAD 63 mm	1	Un
CRUZETA PEAD 63 mm	3	Un
TUBO PEAD 63 mm	1243.5	m
TE PEAD 63 mm	9	Un

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A quinta e última rede exemplificada foi dimensionada para um loteamento residencial, localizado em Bonito - MG, com utilização do material PVC-PBA. Na Figura 37, tem-se a rede

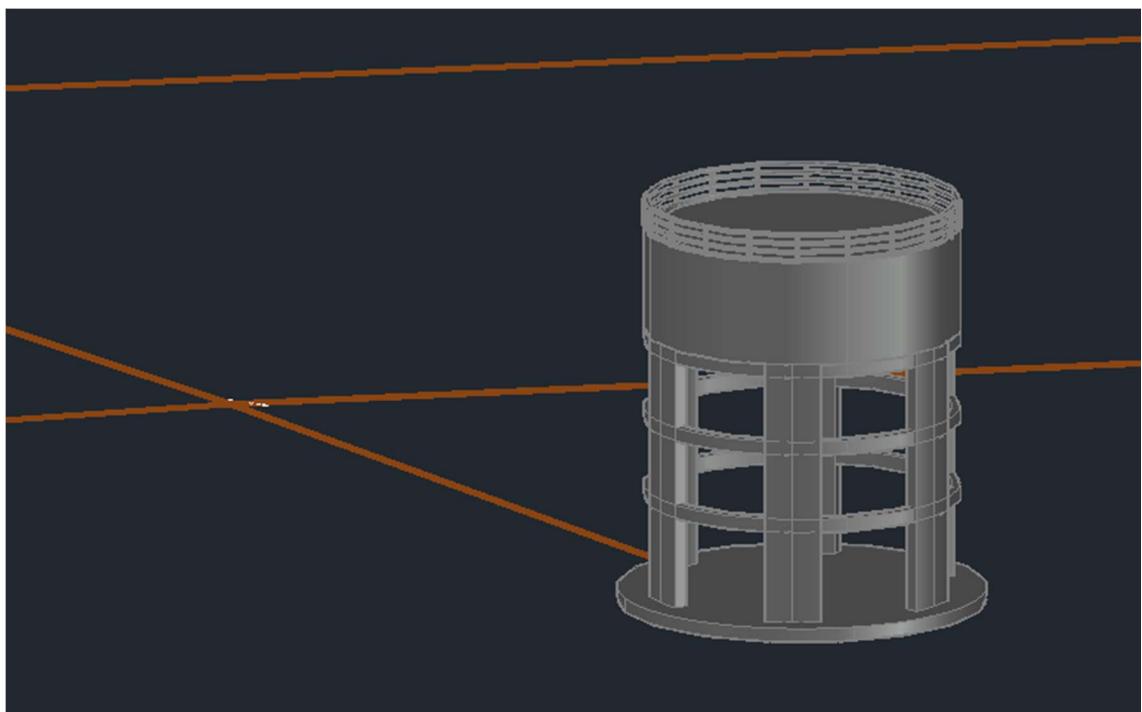
em BIM após a execução do módulo. Na Figura 38, está representado o reservatório escolhido: Reservatório Circular Elevado de Concreto Armado. Na Tabela 7, observa-se as peças geradas.

Figura 37 - Rede modelada em BIM Bonito - MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 38 - Reservatório em BIM Bonito - MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 7 - Quantitativos Bonito - MG

Descrição	Quantidade	Unidade
CURVA 22.5 PVC 50 mm	12	Un
CURVA 22.5 PVC 75 mm	6	Un
CURVA 22.5 PVC 100 mm	2	Un
CURVA 90 PVC 50 mm	6	Un
CURVA 90 PVC 75 mm	2	Un
CAP PVC 75 mm	1	Un
CRUZETA PVC 75 mm	6	Un
TUBO PVC PBA 50 mm	2257.7	m
TUBO PVC PBA 75 mm	1620.1	m
TUBO PVC PBA 100 mm	297	m
TE PVC 50 mm	3	Un
TE PVC 75 mm	4	Un
REDUÇÃO 75/50 mm	7	Un

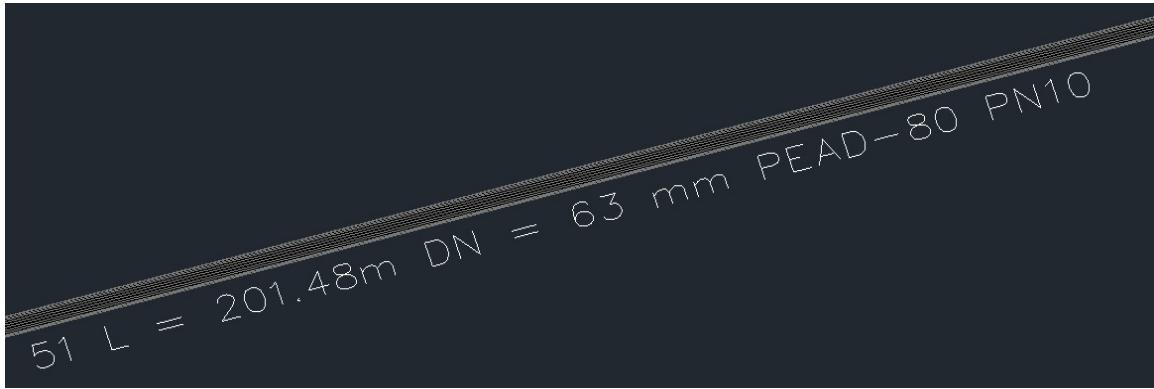
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No apêndice C, é possível encontrar todos os exemplos gerados em BIM C3D.

4.4 Verificação das peças

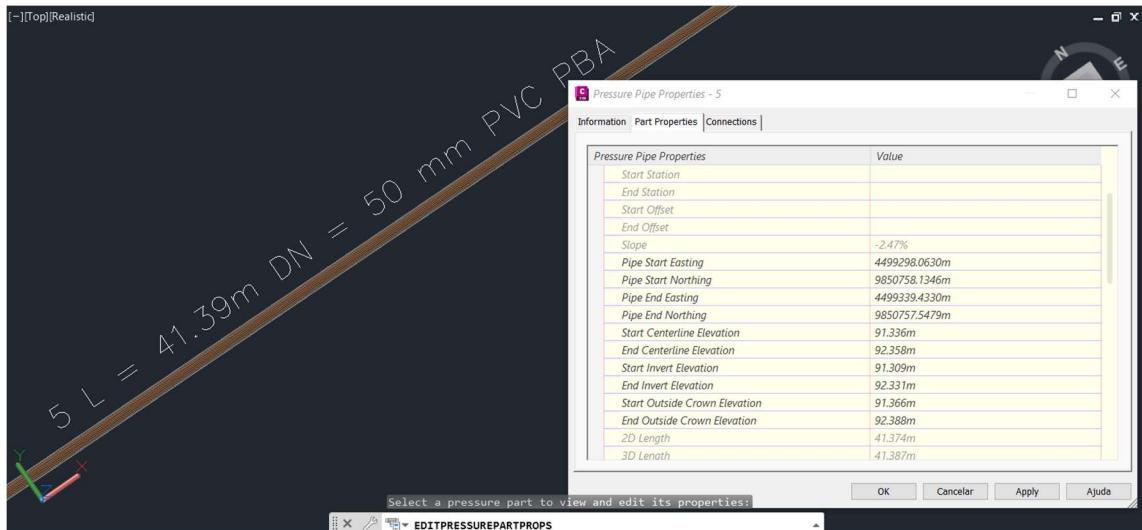
A verificação dos tubos em cada junção foi feita analisando o diâmetro, o material e o posicionamento dos trechos. Isso permitiu conferir se os tubos estavam corretamente dispostos, de acordo com as informações dimensionadas no sistema UFC, os materiais e o alinhamento entre os trechos. Com essas informações, foi possível uma análise posterior das conexões necessárias inseridas, como curvas, tês, cruzetas ou caps. Na Figura 39, temos um tubo e características associadas. Na Figura 40, há um tubo criado e suas propriedades.

Figura 39 - Tubos em BIM.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

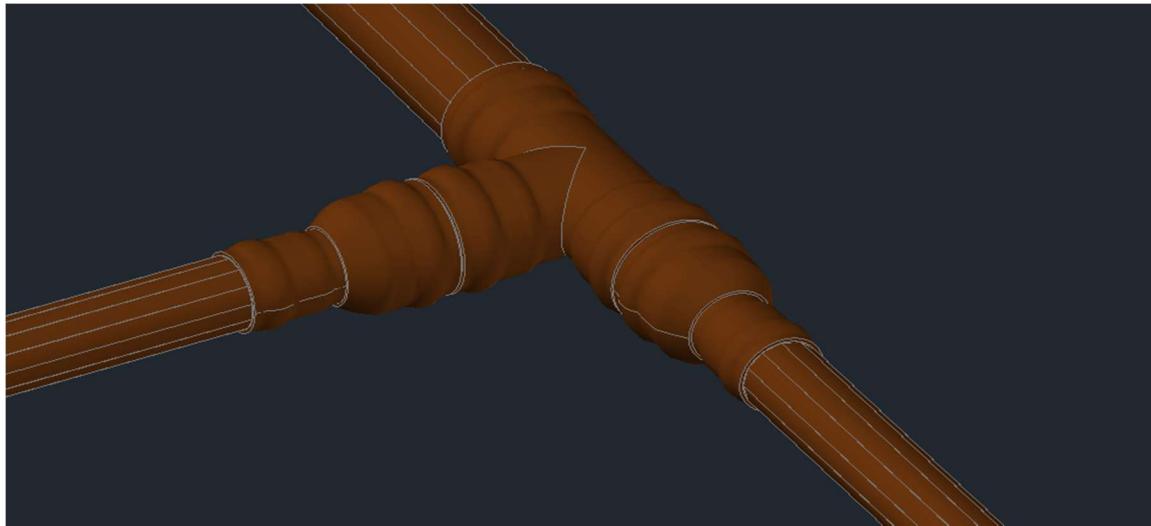
Figura 40 - Tubo criado e suas propriedades.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

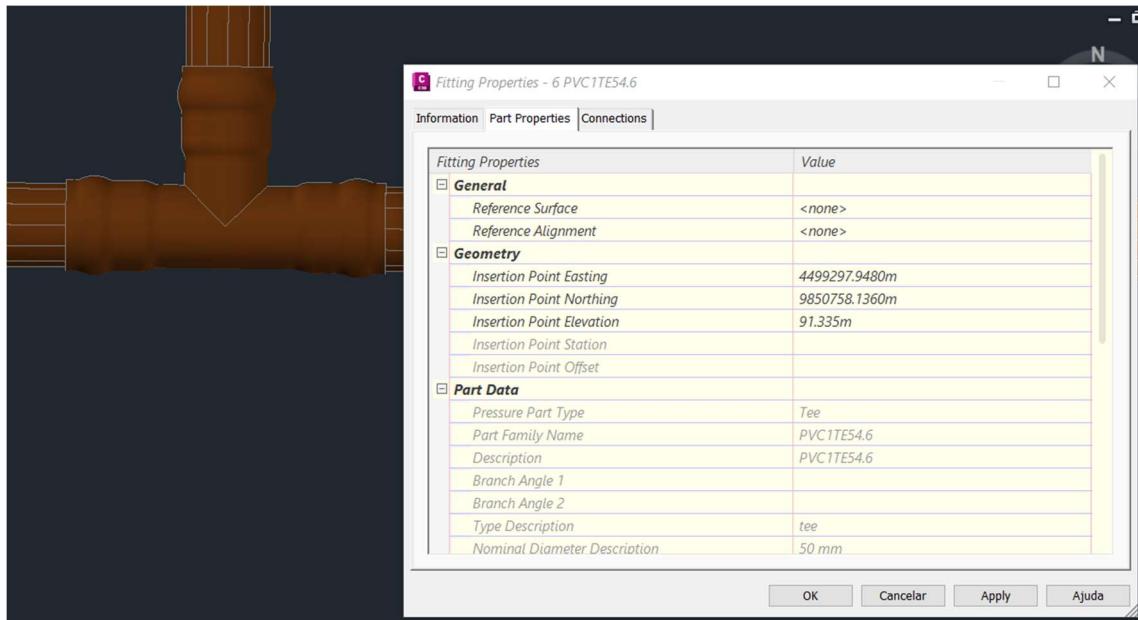
A análise das conexões foi realizada com base em três critérios principais: a quantidade de tubos conectados em uma junção, os ângulos formados entre esses tubos e a compatibilidade entre seus diâmetros. A partir dessa análise, foi possível identificar quais os tipos de peças adequados para cada situação, podendo ser cruzetas quando há quatro tubos na junção, tês quando há três tubos, curvas com a condição de dois tubos e ângulos pré estabelecidos e reduções quando há duas conexões com diâmetros diferentes. Em casos mais complexos, onde há simultâneas de quantidade de conexões e diâmetros, o módulo também associa múltiplas peças a uma mesma junção como, por exemplo, a combinação de um tê, com uma redução, como observado na Figura 41. Na Figura 42, temos as propriedades de conexões.

Figura 41 - Conexões em BIM.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 42 - Conexões em BIM.

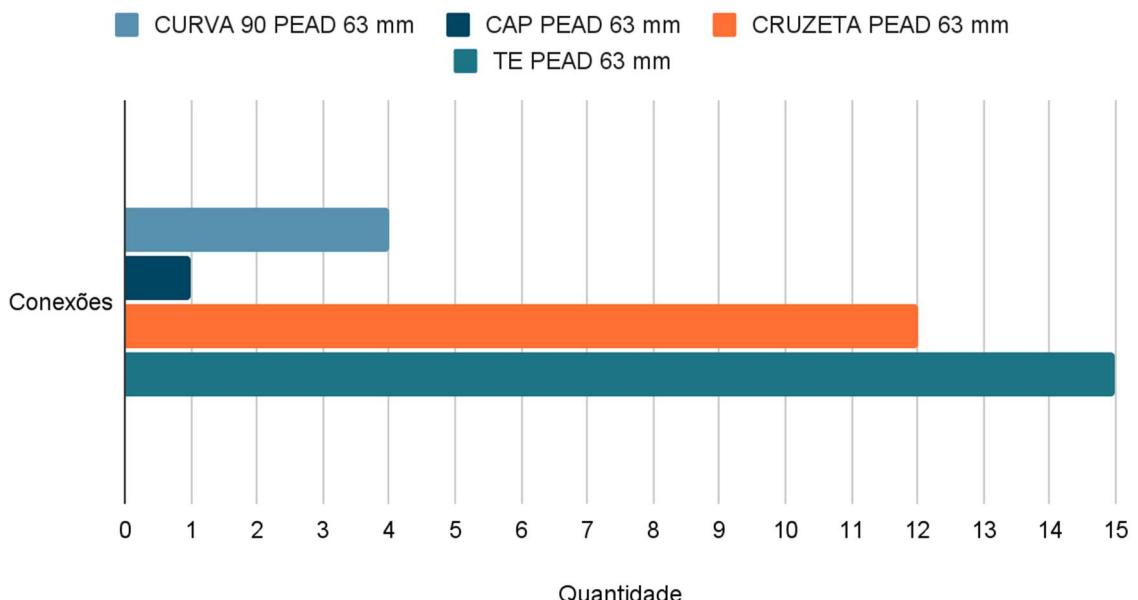


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em seguida, foram gerados gráficos para interpretação dos quantitativos de conexões e quais foram as conexões mais comuns em cada exemplo gerado em BIM. Nos Gráficos de 1 a 5, podemos observar em detalhes os resultados, em termos de quantidade, das inserções das conexões automaticamente pelo módulo em cada exemplo. No Gráfico 6, tem-se um resumo dos comprimentos dos tubos e seus respectivos materiais e diâmetros para cada exemplo.

Gráfico 1 - Conexões inseridas no exemplo Juazeiro - CE.

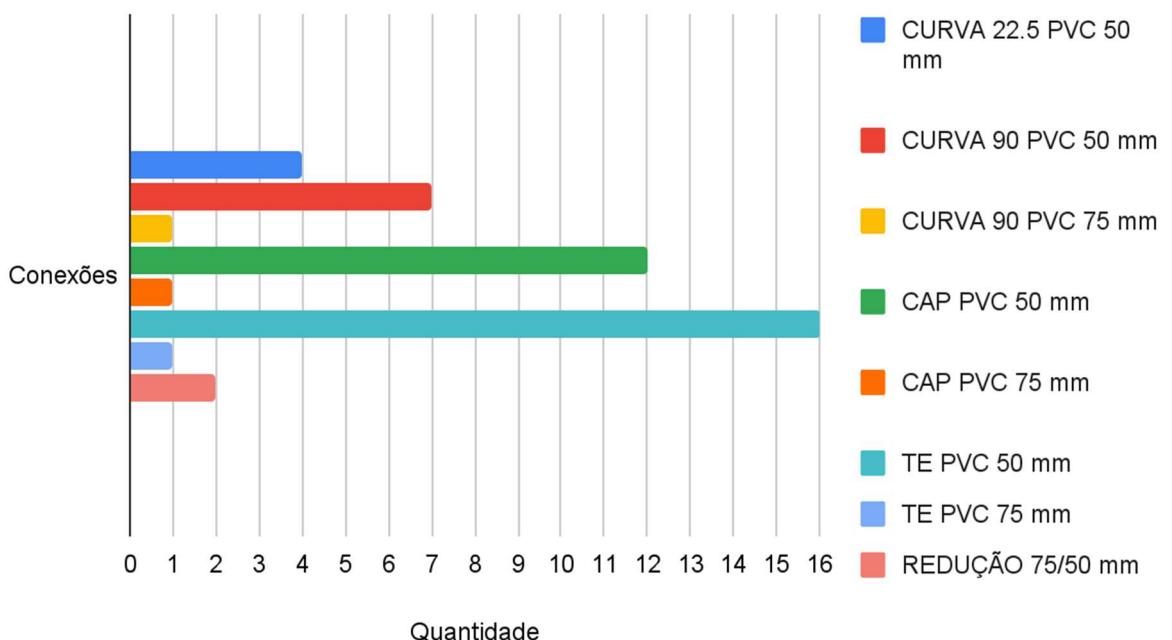
Juazeiro do Norte - CE



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 2 - Conexões inseridas no exemplo Sobral - CE.

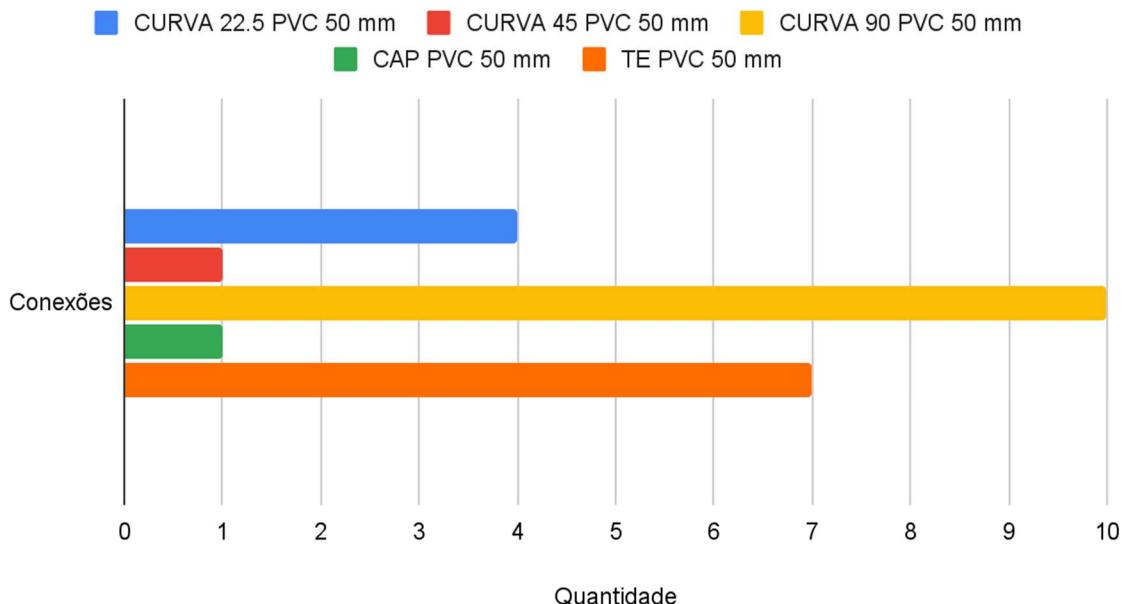
Sobral - CE



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 3 - Conexões inseridas no exemplo Acaraú - CE.

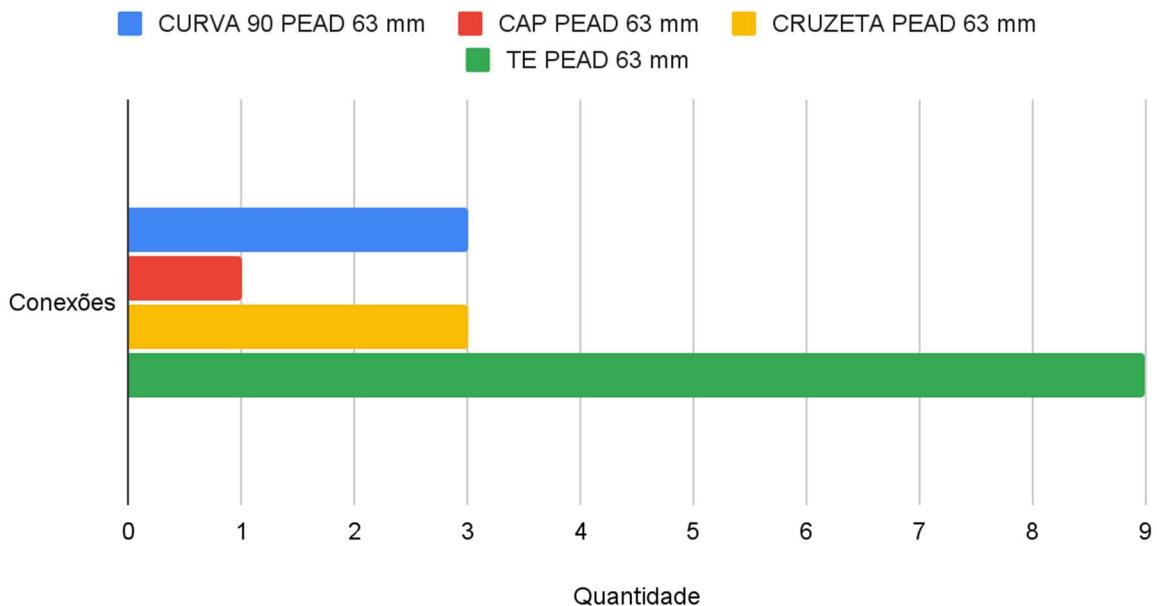
Acaraú - CE



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 4 - Conexões inseridas no exemplo Conjunto Habitacional.

Conjunto Habitacional

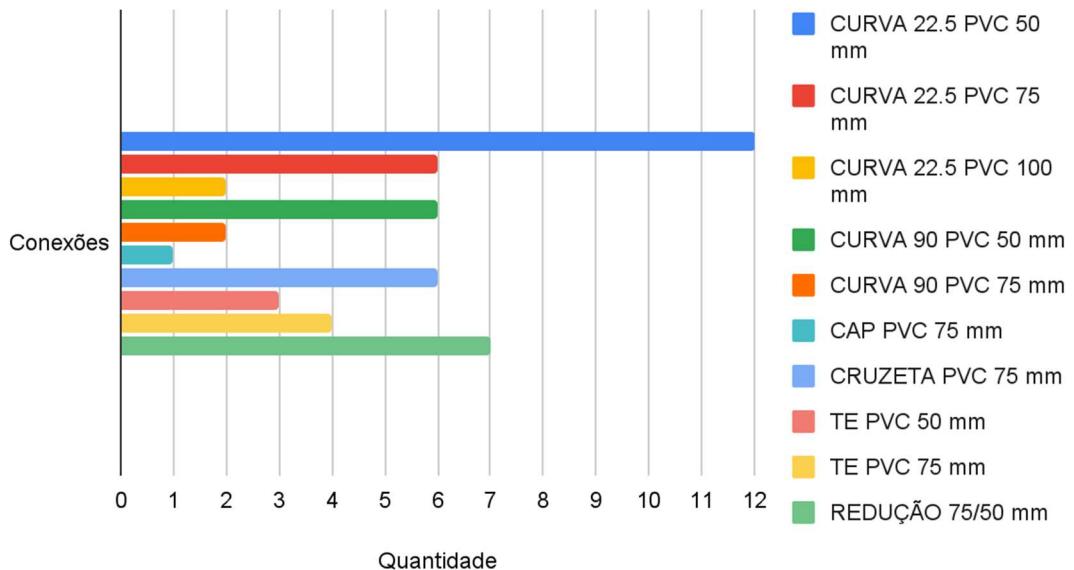


Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

,

Gráfico 5 - Conexões inseridas no exemplo Bonito - MG.

Bonito - MG

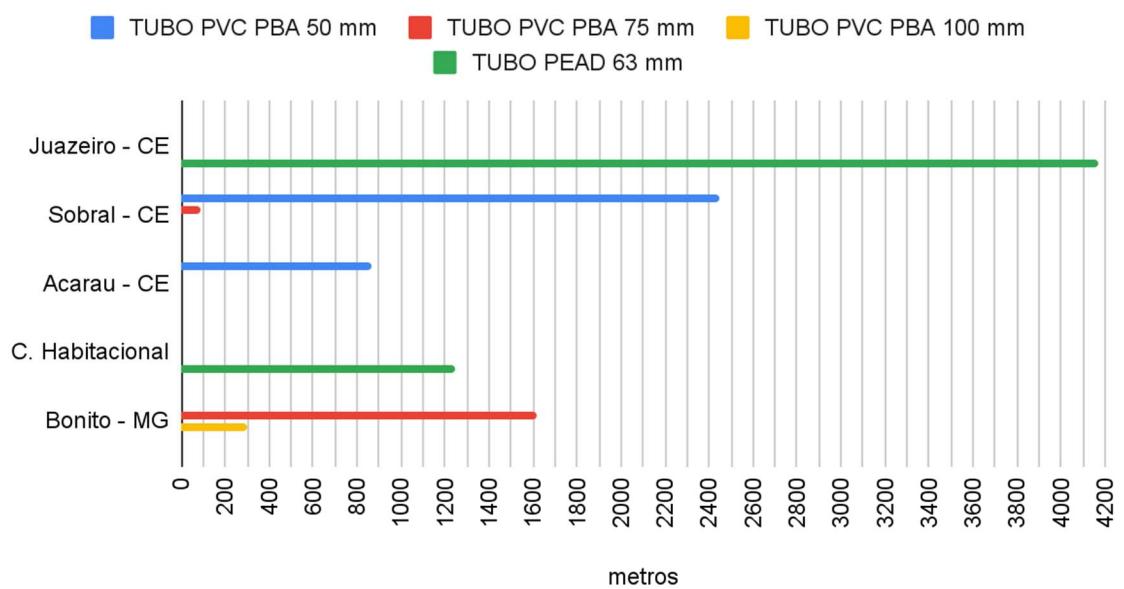


Fonte:

Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 6 - Comprimento das redes.

Comprimento da Rede em cada exemplo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.5 Discussões

A partir de uma revisão na literatura sobre publicações e artigos, foram encontrados trabalhos de automatização semelhantes, mas não especificamente aplicados a projetos de infraestrutura, a maioria das publicações encontradas se referiam a edificações, ao campo de estruturas ou orçamentos.

Os testes demonstraram que a interface desenvolvida no Dynamo, com rotinas em Python integrados ao Civil 3D, apresentou desempenho satisfatório na geração dos modelos BIM para redes de abastecimento de água nos materiais pré -estabelecidos no catálogo template. A automatização possibilitou a criação precisa de modelos 3D, atendendo aos critérios de representação de informações dos atributos e a compatibilidade com os formatos de entrada e saída. As redes modeladas automaticamente apresentaram geometria comparável à modelagem tradicional, com possível redução no tempo necessário para a elaboração dos modelos BIM. As validações dos exemplos comprovaram que as informações essenciais, como diâmetros, comprimentos e conexões entre trechos, foram mantidas de forma confiável, sem perda de dados relevantes, em sua maioria.

Além disso, a interface demonstrou flexibilidade para lidar com redes de diferentes geometrias e complexidades, indicando potencial para ser aplicada em projetos de saneamento com características variadas. Esses resultados sugerem que a integração entre o UFC, o Civil 3D e as rotinas desenvolvidas no Dynamo constitui uma alternativa viável e eficaz para a automação de projetos de redes de abastecimento de água, contribuindo para a adoção do BIM no setor de saneamento e para a modernização dos processos de modelagem e gestão de informações.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho demonstrou possibilidades da automação na modelagem BIM de redes de abastecimento de água, utilizando a integração do sistema UFC, Autodesk Civil 3D e rotinas desenvolvidas no Dynamo com Python. A interface proposta, capaz de realizar conversões de arquivos e gerar modelos BIM a partir de dados do UFC, apresentou resultados positivos nos testes realizados em diferentes redes. A automatização do processo pode reduzir o tempo de modelagem dos projetos, como também minimizar erros, melhorar a qualidade e a consistência dos modelos gerados. Essa abordagem, pode atender às crescentes demandas do setor de saneamento básico e ir no caminho que as políticas públicas brasileiras incentivam, em

relação ao uso do BIM em obras, destacando o setor de infraestrutura de saneamento. Além disso, pode-se ressaltar a importância da capacitação técnica para a utilização das ferramentas BIM, bem como a necessidade de adaptação das práticas tradicionais de projeto para incorporar fluxos de trabalho automatizados em BIM. Dessa forma, a metodologia desenvolvida é uma ferramenta que pode contribuir para consolidar o BIM como uma ferramenta essencial para projetos de redes de abastecimento de água, promovendo maior produtividade, qualidade e confiabilidade.

Recomenda-se, em estudos futuros, a ampliação dos testes em redes mais complexas, também a inclusão da automatização em redes de esgotamento sanitário e drenagem, incluindo todos os acessórios. Adaptar o processo para outros tipos de infraestrutura, de modo a potencializar os ganhos obtidos com a automatização e o uso do BIM. Deve ser considerado, também, a atividade de previsão de possíveis interferências entre as redes de saneamento com a utilização dos modelos BIM de cada disciplina gerada.

REFERÊNCIAS

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Building information modeling protocol exhibit – E202**: AIA document E202. California. American Institute of Architects, 2008. 9 p.

ANUPAMA, V.M., ANAND, K.B., RAMKRISHNAN, R. *et al.* **Application of lean principles for efficiency enhancement of BIM process**. Asian J Civ Eng 24, 2727–2737 (2023). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00628-y>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AUTODESK. **Guia do desenvolvedor da API do Autodesk Civil 3D**. 2020. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2020/ENU/?guid=GUID-D6E4AE16-31DD-42E4-86F4-29B4AC93C453>. Acesso em: 6 jul. 2025.

AUTODESK. **PressurePipeNetworkMembers**. Civil 3D 2023 API Reference Guide. Autodesk Help, 2023. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2023/ENU/?guid=7a5f03cb-b622-5fd3-08de-2d1c42deea81>. Acesso em: 8 jun. 2025.

AUTODESK. **What Are the BIM Dimensions? 3D, 4D, 5D, 6D, 7D & Beyond**. Autodesk Construction Blog, 16 fev. 2022. Disponível em: <https://www.autodesk.com/blogs/construction/bim-dimensions/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BIMFORUM. **Level of Development (LOD) Specification – Part I**: Draft for Public Comment. BIM Forum, 2023. Disponível em: <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2023/10/LOD-Spec-2023-Part-I-Public-Comment-Draft-2023-12-28.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2025.

BIMFORUM. **Level of Development Specification Guide**. 2017a. Disponível em: www.bimforum.org/lod. Acesso em: 1 jul. 2025.

BRASIL. Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do BIM em obras e serviços de engenharia na administração pública federal. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, ed. de 3 abr. 2020, p. 5.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm. Acesso em: 5 jul. 2025.

BRASIL. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM – Estratégia BIM BR. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, ed. de 18 maio 2018, p. 3.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9377.htm. Acesso em: 4 jul. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, ed. 61-F, 01 abr. 2021, p. 2.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm. Acesso em: 4 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento.** 5. ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.: il.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, ed. 85, 7 maio 2021, p. 127.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 4 jul. 2025.

CASTRO, M. A. H. **Manual de utilização do sistema UFC.** LAHC/UFC. 2025. Disponível em: <http://www.lahc.ufc.br/manual/>. Acesso em: 28 jun. 2025.

CHECCUCCI, É. DE S. **Teses e dissertações brasileiras sobre BIM:** uma análise do período de 2013 a 2018. PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019008, 2019. DOI: 10.20396/parc.v10i0.8653708. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8653708>. Acesso em: 2 jul. 2025.

COUTINHO, R. R. S. **O papel das construtoras e incorporadoras na adoção da tecnologia BIM na indústria da construção civil no Brasil:** um estudo prospectivo. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

DYNAMO BIM. **Geradores de pontos com Python no Dynamo.** 2025. Disponível em: https://primer.dynamobim.org/12_Geometry-with-DesignScript/images/12-10/PythonPointGenerators_01.png. Acesso em: 5 jul. 2025.

EASTMAN, C. *et al.* **Manual de BIM:** um guia de modelagem da informação da construção para arquiteto, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 1a ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

KORUS, Kamil; CZERNIAWSKI, Thomas; SALAMAK, Marek. **Visual programming simulator for producing realistic labeled point clouds from digital infrastructure models.** *Automation in Construction*, v. 156, 105126, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105126>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LEE, A.; WU, S.; MARSHALL PONTING, A.J. *et al.* **nD modeling road map:** A vision for nD Enabled construction. 3D to nD modeling project. University of Salford, Manchester. 2005.

MORYKIN, Stacey; KAHLE, Dylan. **Accessorize Your Design: Dynamo for Civil 3D.** Autodesk University, 2019. Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Accessorize-Your-Design-Dynamo-Civil-3D-2019#handou>. Acesso em: 26 jun. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.** Assembleia Geral das Nações Unidas, A/RES/70/1, 2015. Disponível em:

<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 24 jun. 2025.

PUPPI, I. C. **Estruturação Sanitária das Cidades**. Curitiba: UFPR; São Paulo: CETESB, 1981.

SACKS, Rafael; EASTMAN, Charles; TEICHOLZ, Paul *et al.* **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2021. Ebook. ISBN 9788582605523.

SAMPAIO, Alcínia Zita. **Maturidade da Implementação do BIM na Indústria da Construção: Políticas Governamentais**. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), v. 69, n. 7, p. 92–100, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I7P214>. Acesso em: 4 jul. 2025.

SOUZA, Maria Cecília de. **Aplicação do BIM no setor de infraestrutura**: estudo em uma companhia de água e esgoto do RN. 2020. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.

SUCCAR, Bilal; KASSEM, Mohamad. **Adoção de Macro-BIM: Estruturas conceituais**. Automation in Construction, v. 57, p. 64–79, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.018>. Acesso em: 4 jul. 2025.

THE DYNAMO PRIMER. **The Dynamo Primer: a comprehensive guide to visual programming in Autodesk Dynamo**. 2025. Disponível em: <https://primer.dynamobim.org/>. Acesso em: 28 jun. 2025.

TSUTIYI, Milton Tomoyuki; ALEM SOBRINHO, Pedro. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo - Biblioteca, 2000.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Laboratório de Hidráulica Computacional. **Sistema UFC**. 2025. Disponível em: <http://www.lahc.ufc.br/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Safer water, better health: 2019 update**. Geneva: World Health Organization, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Sanitation**. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>. Acesso em: 4 jul. 2025.

YANG, Bin; FANG, Tengwei; LUO, Xiaoqun *et al.* **A BIM-based approach to automated prefabricated building construction site layout planning**. KSCE Journal of Civil Engineering, v. 26, n. 4, p. 1535-1552, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12205-021-0746-x>. Acesso em: 15 jun. 2025.

APÊNDICE A - Rotinas Dynamo

Figura A1 - Rotina de geração dos reservatórios

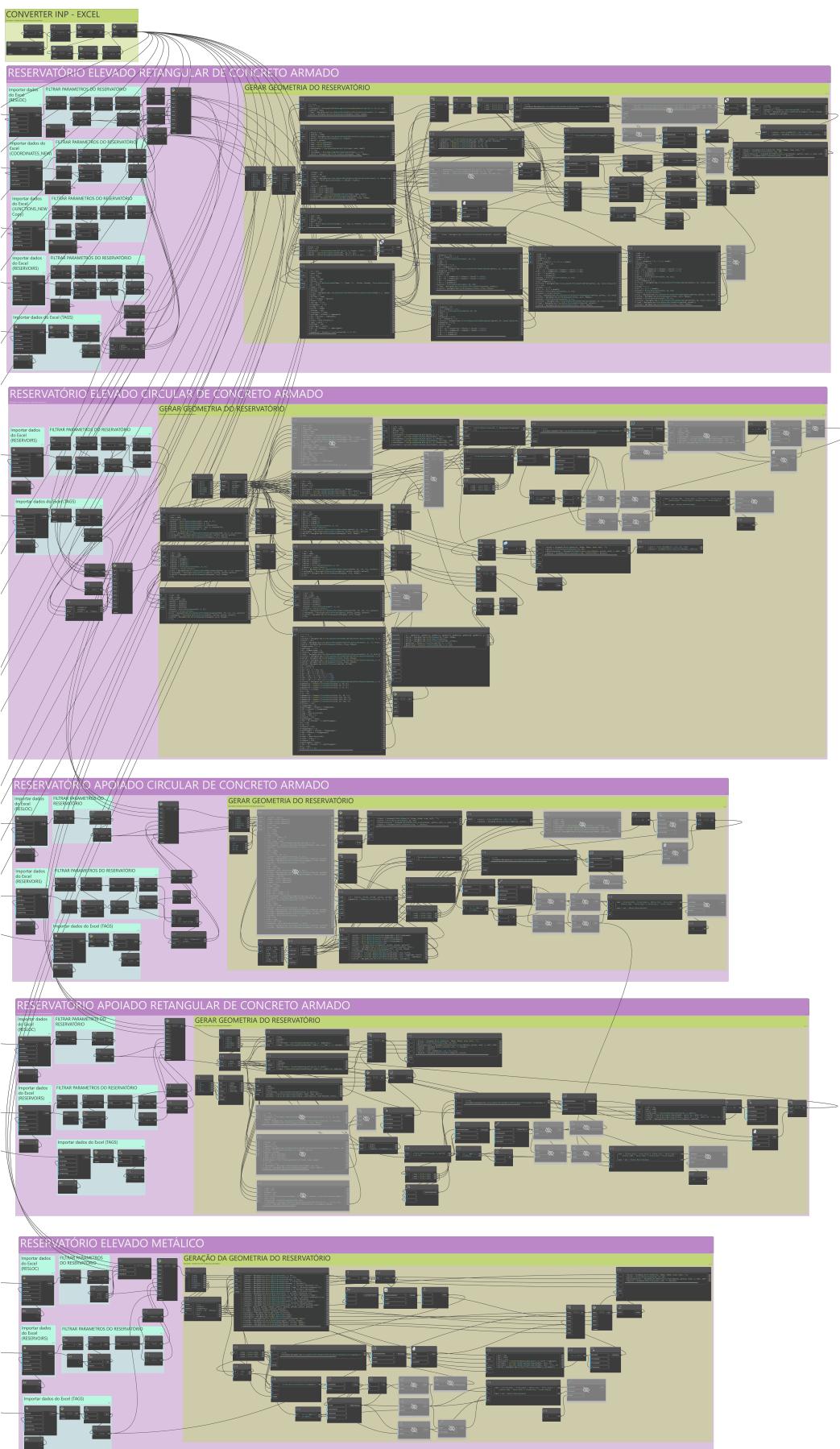


Figura A2 - Rotina para gerar rede e conexões

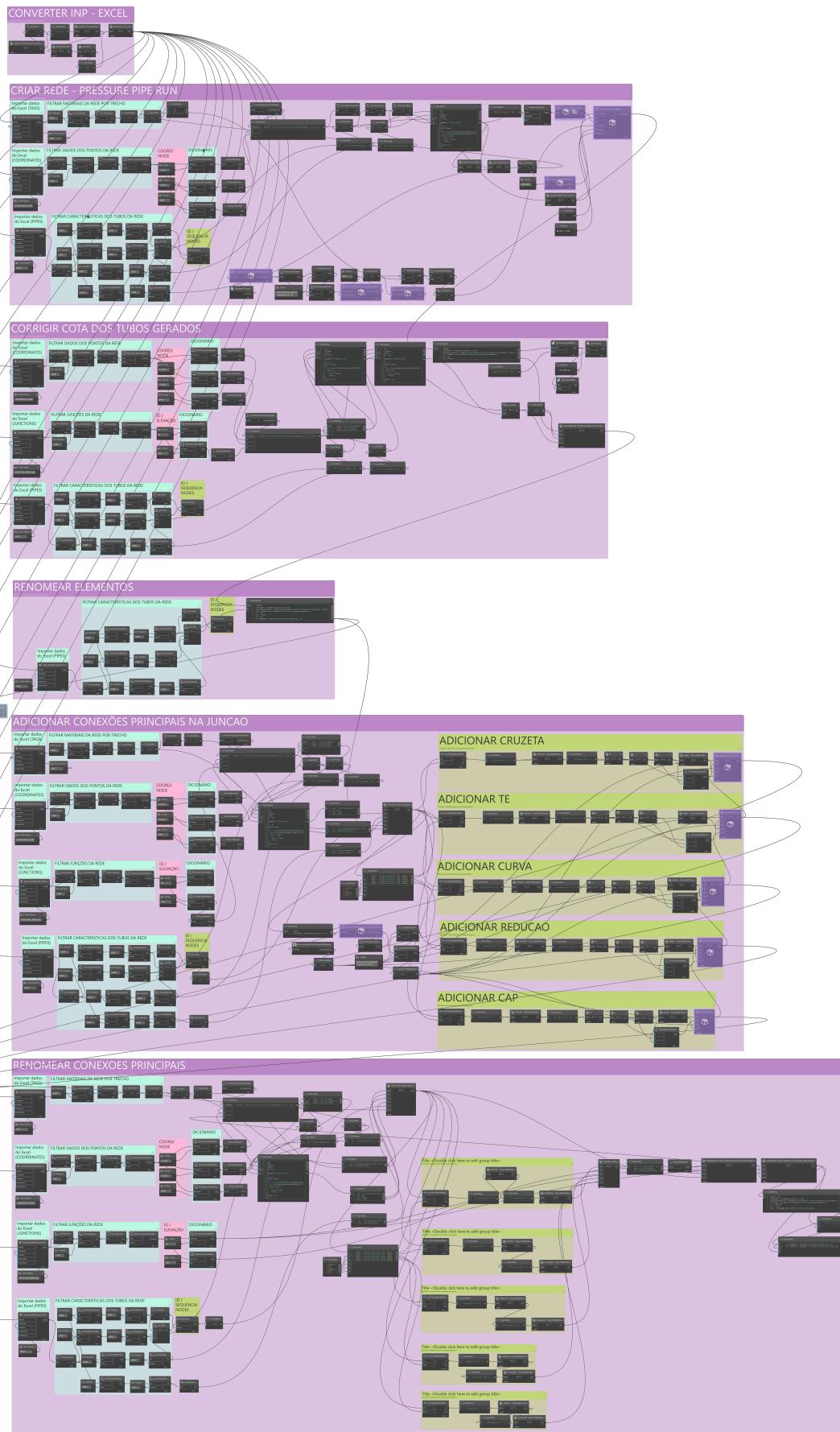


Figura A3 - Conectar peças aos tubos



Figura A4 - Desconectar peças

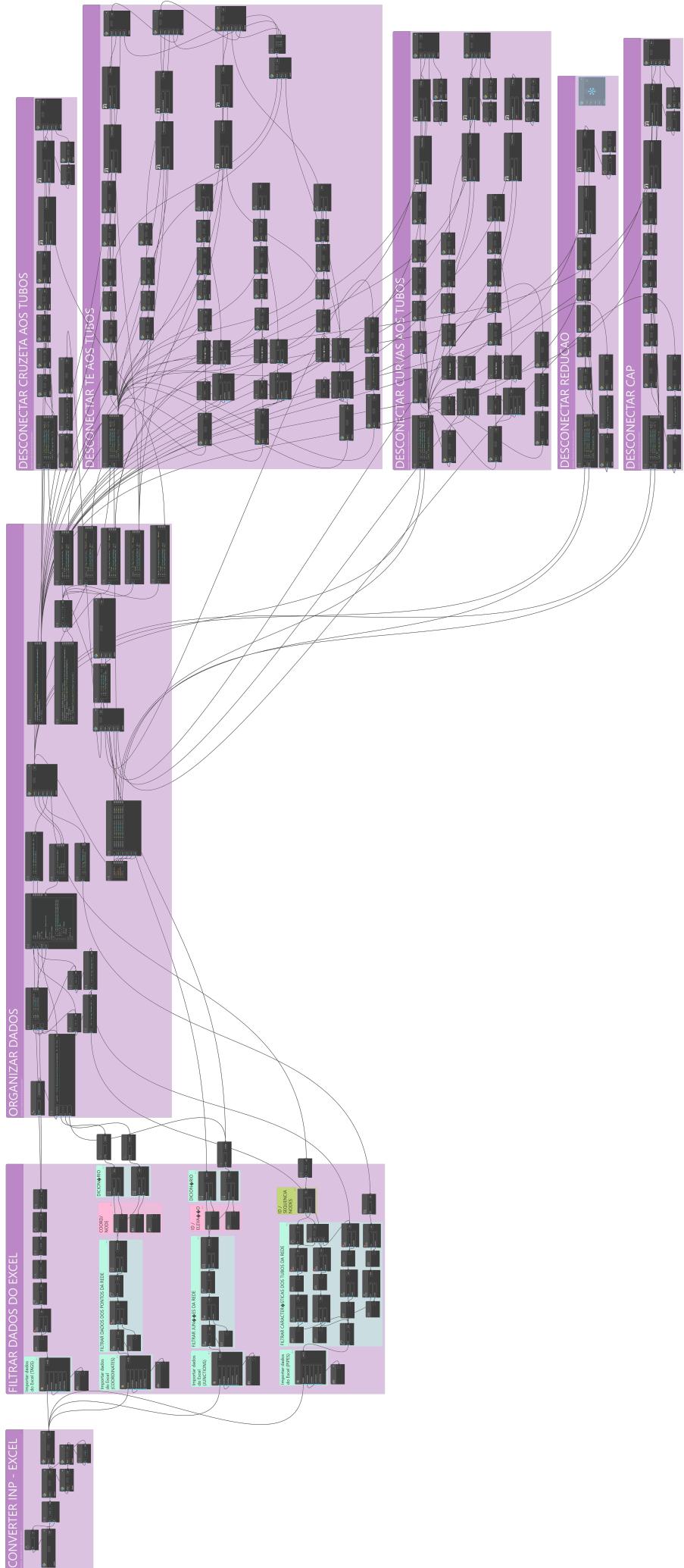
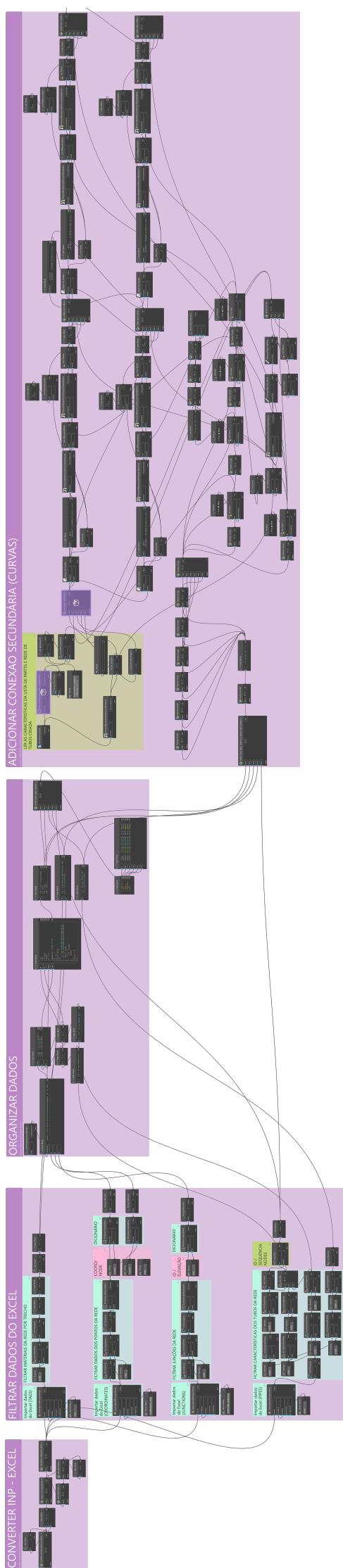


Figura A5 - Adicionar peça secundária na junção



APÊNDICE B - Exemplos no Sistema UFC

Figura B1 - Exemplo Juazeiro do Norte - CE

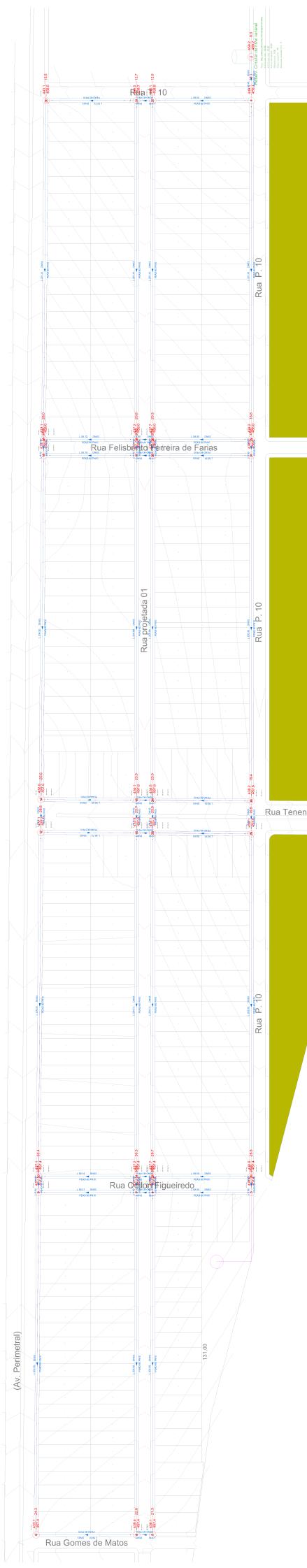


Figura B2 - Exemplo Sobral - CE

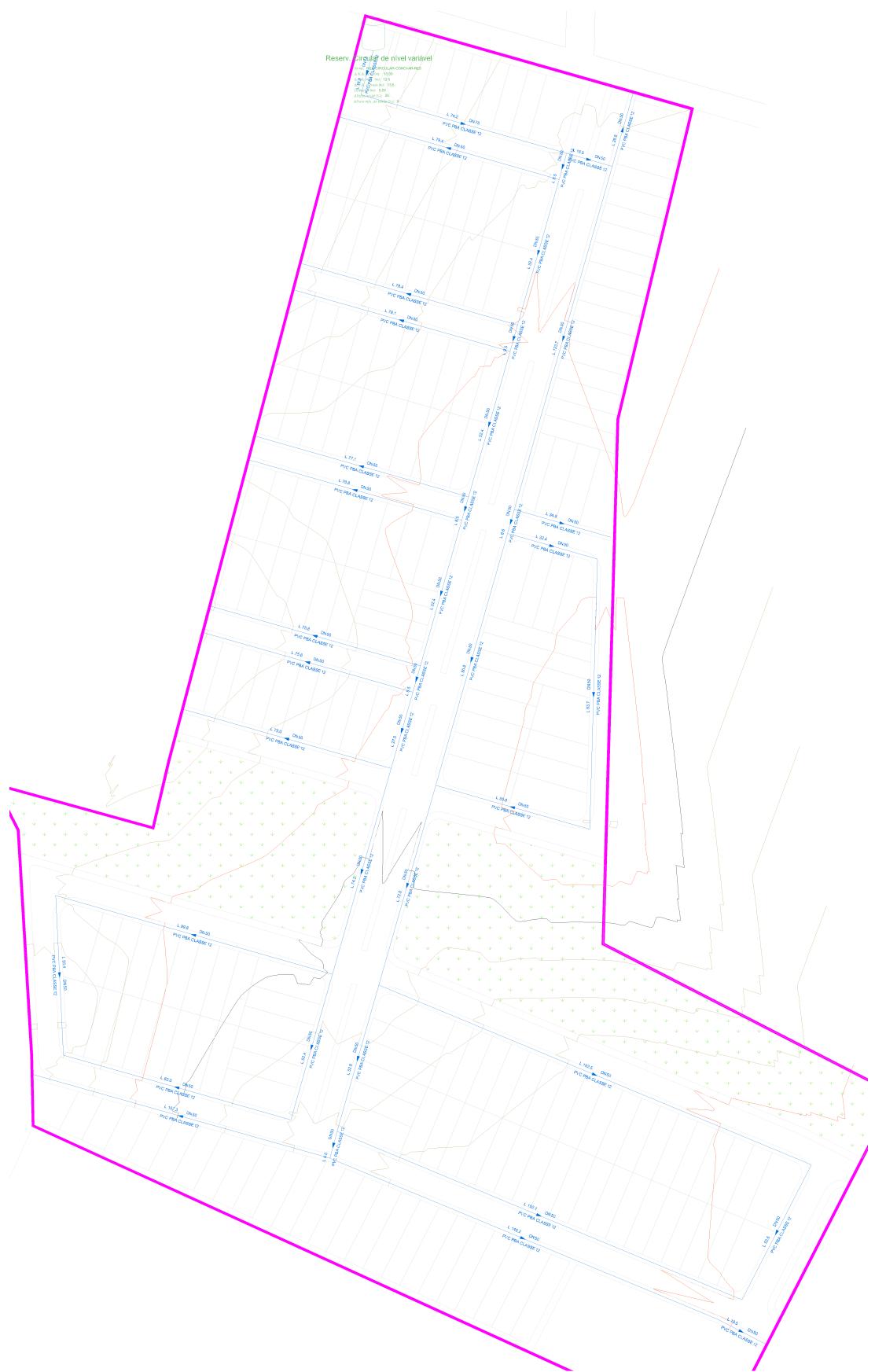


Figura B3 - Exemplo Acaraú - CE

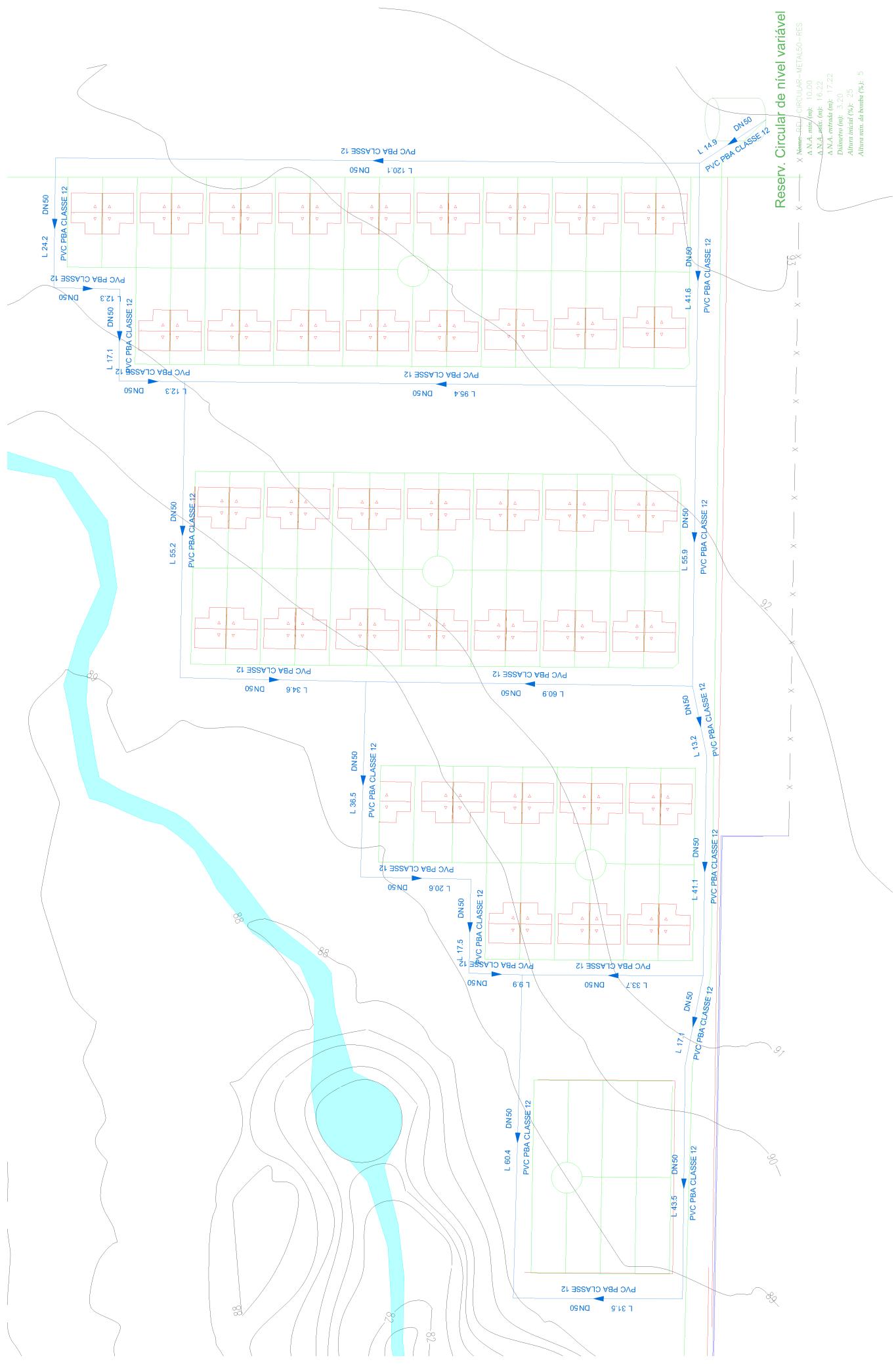
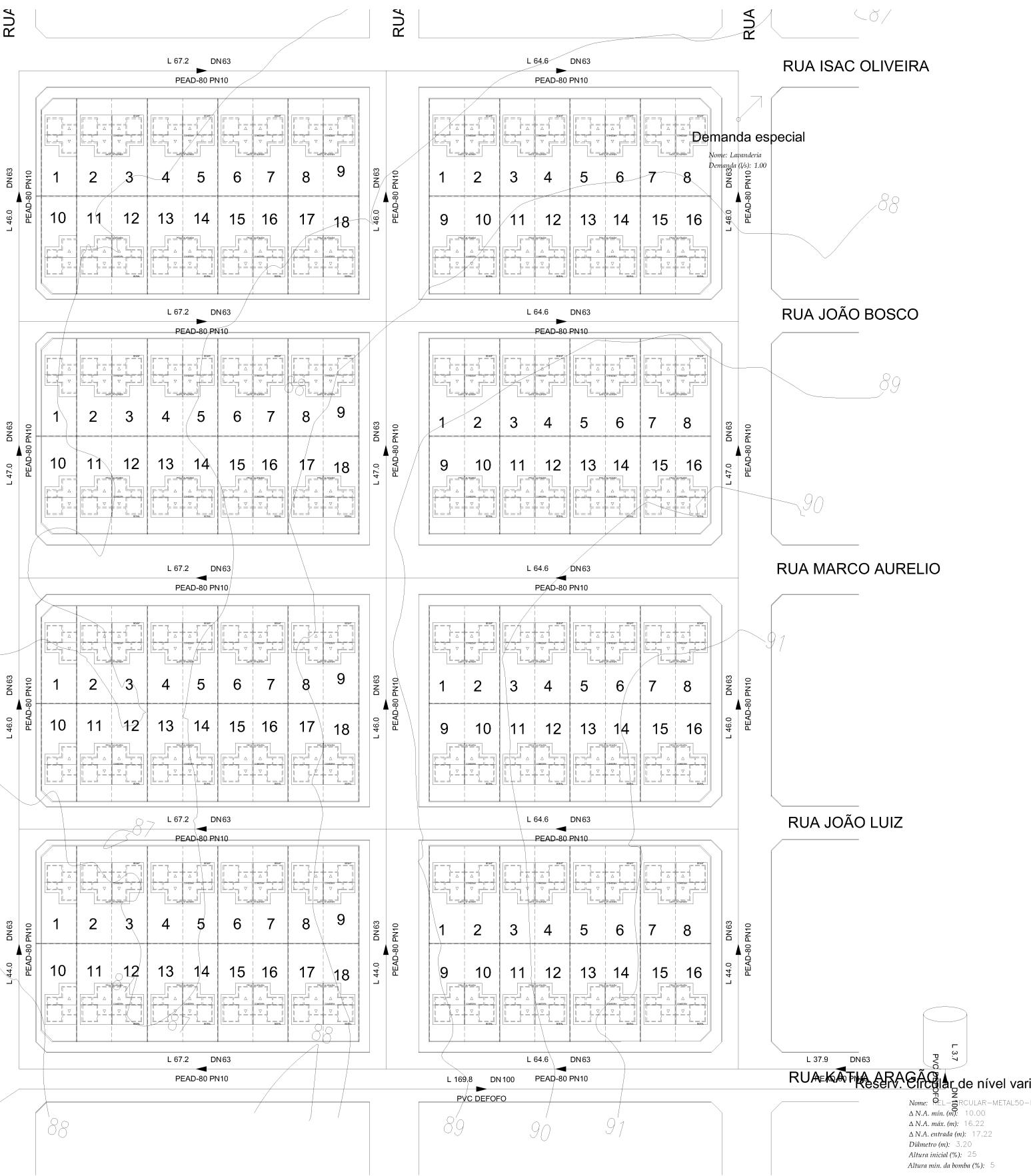
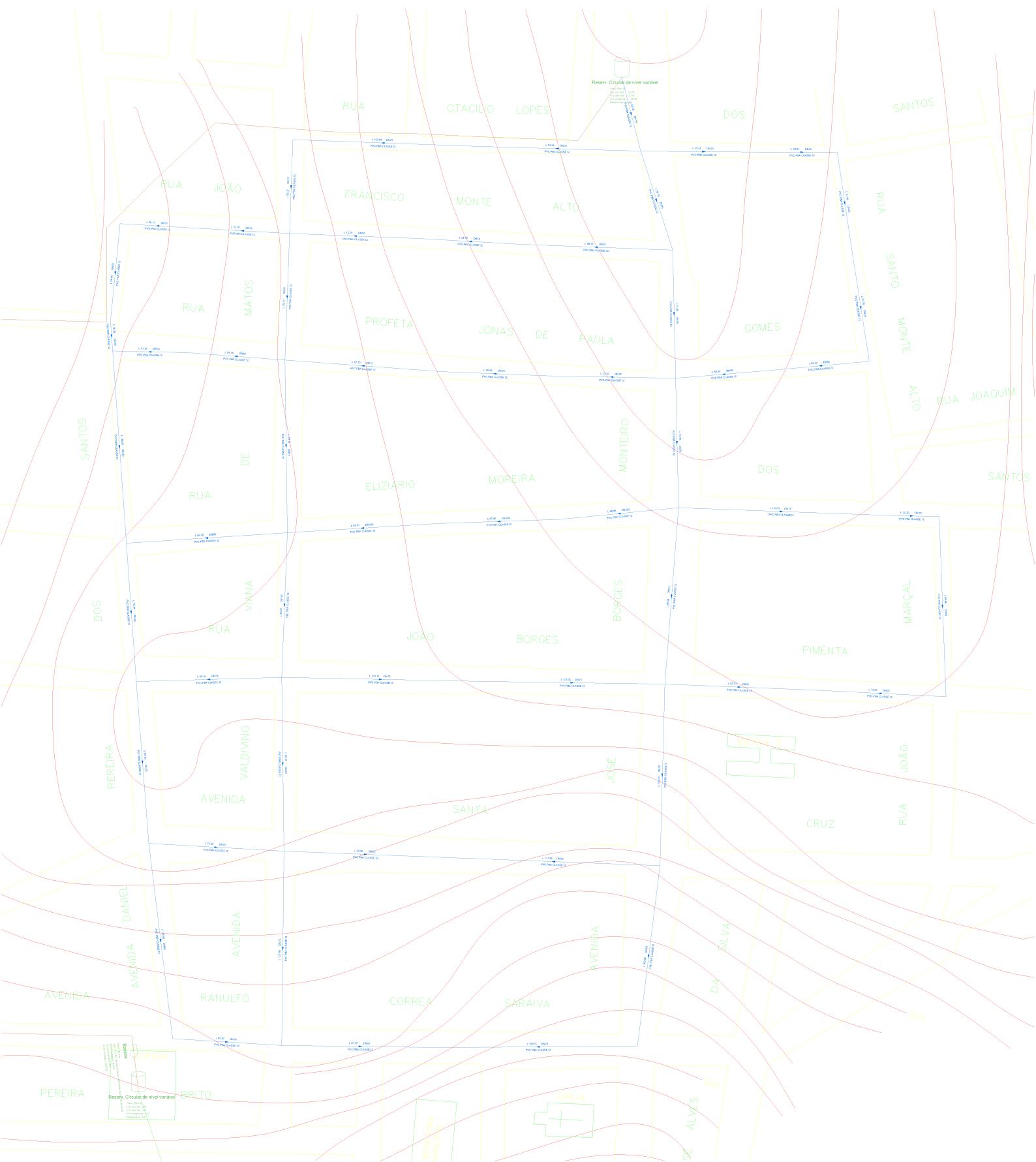


Figura B4 - Exemplo Conjunto Habitacional



Nome: CIRCULAR-METAL50-1000
 Δ N.A. min. (m): 10.00
 Δ N.A. max. (m): 16.22
 Δ N.A. entrada (m): 17.22
 Diâmetro (m): 3.20
 Altura inicial (%): 25
 Altura min. da bomba (%): 5

Figura B5 - Exemplo Bonito - MG



APÊNDICE C - Modelos BIM gerados

Figura C1 - Juazeiro do Norte - CE BIM

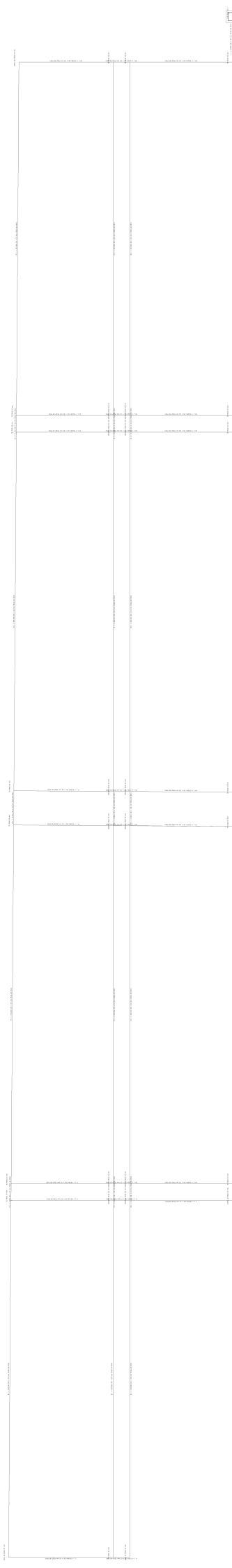


Figura C2 - Sobral - CE BIM

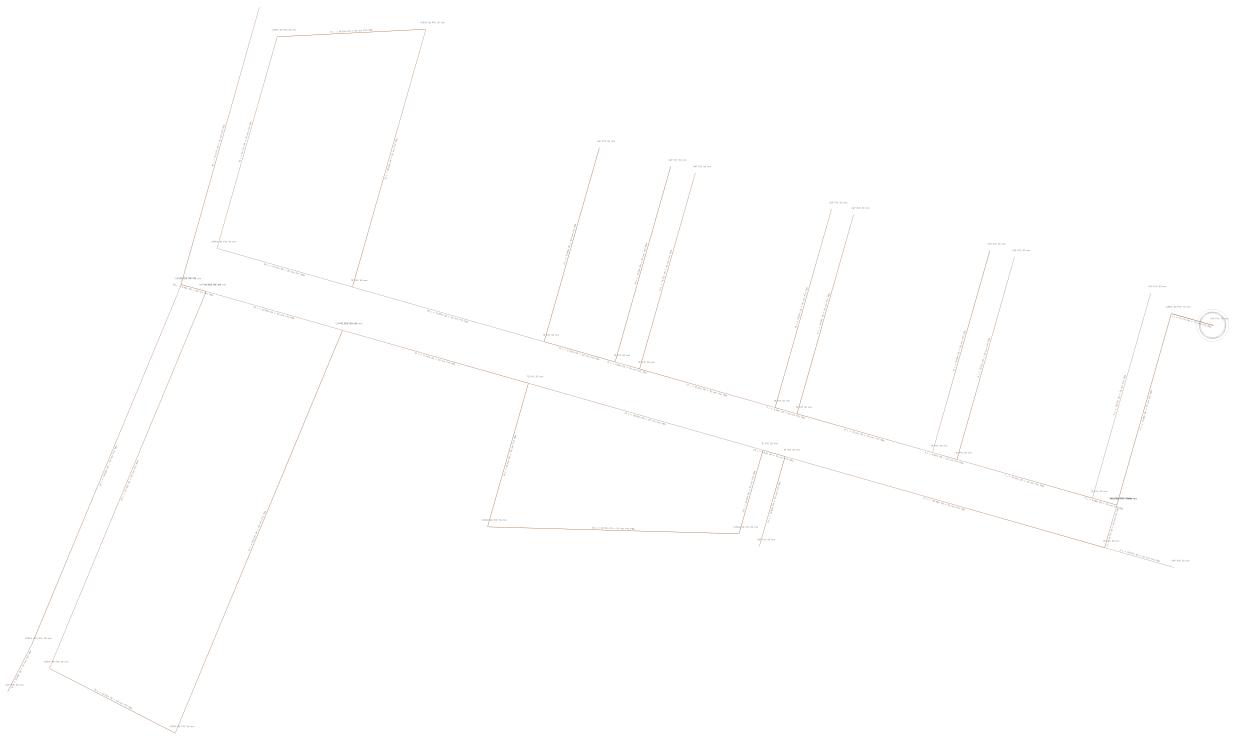
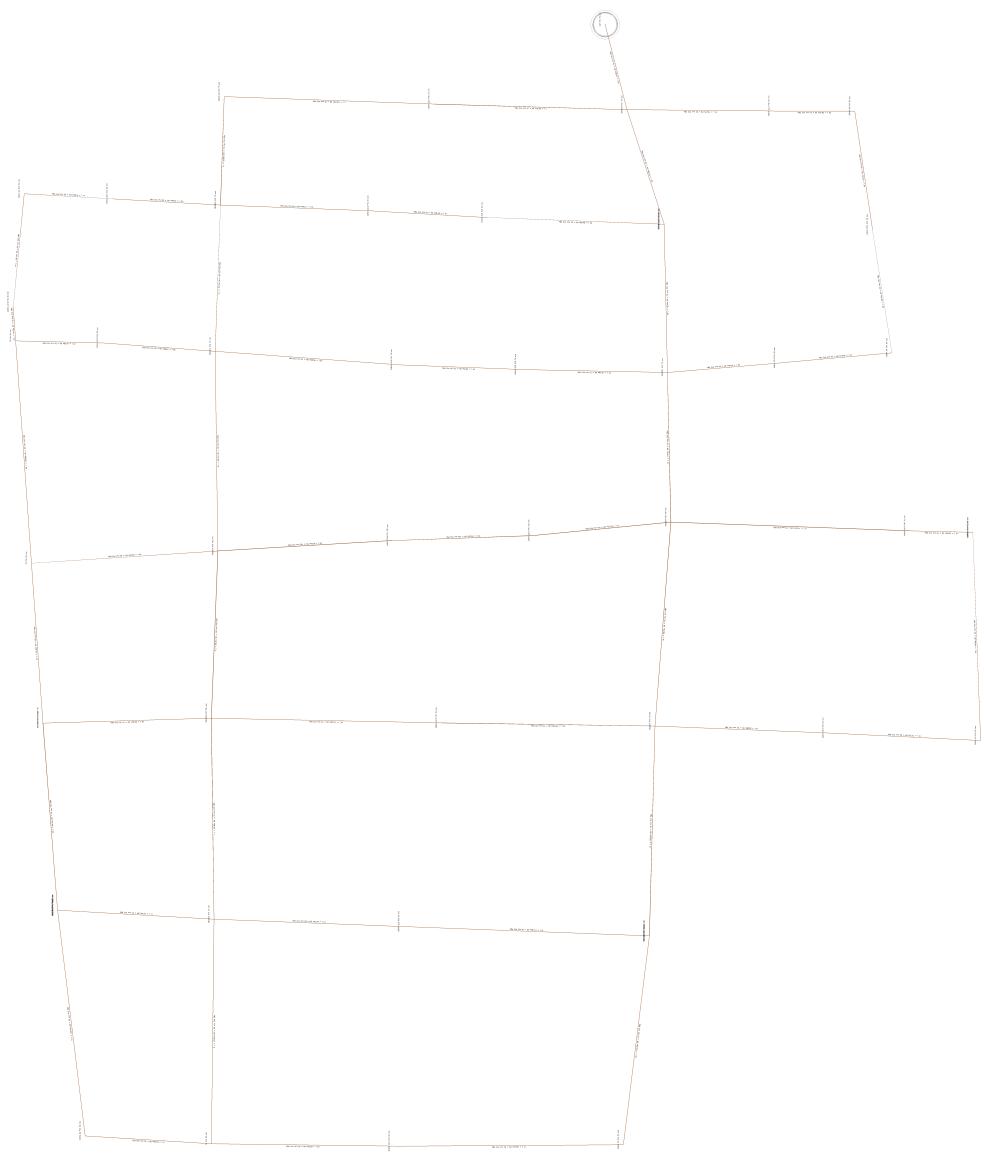


Figura C3 - Acaraú - CE BIM

Figura C4 - Conjunto Habitacional BIM

Figura C5 - Bonito - MG BIM



APÊNDICE D – MANUAL DO USUÁRIO

1. Localize o ícone "C" na interface principal do sistema UFC. Este ícone representa o módulo que você deseja iniciar.
2. Clique no ícone "C" para iniciar o processo. Verifique se o exemplo dimensionado está ativo. Antes de prosseguir, confirme que o exemplo dimensionado está ativo na tela. Clique em "OK"
3. Após clicar em "OK", o sistema irá gerar automaticamente o exemplo no ambiente BIM. Aguarde até que o modelo seja totalmente carregado e exibido na tela.

Figura D1 - Iniciar C3D

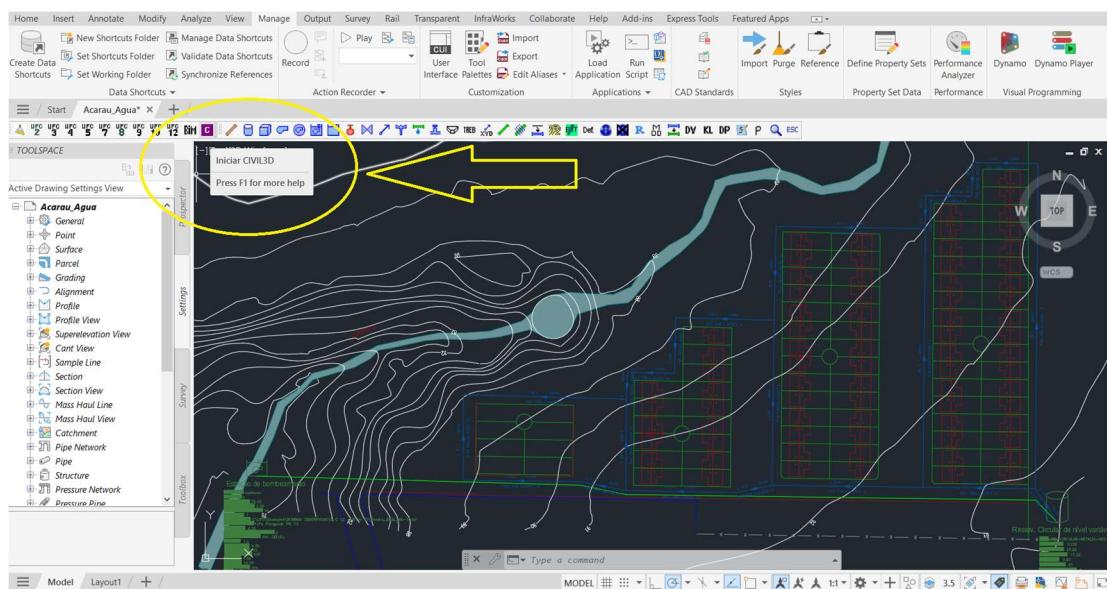


Figura D2 - Gerar BIM no C3D

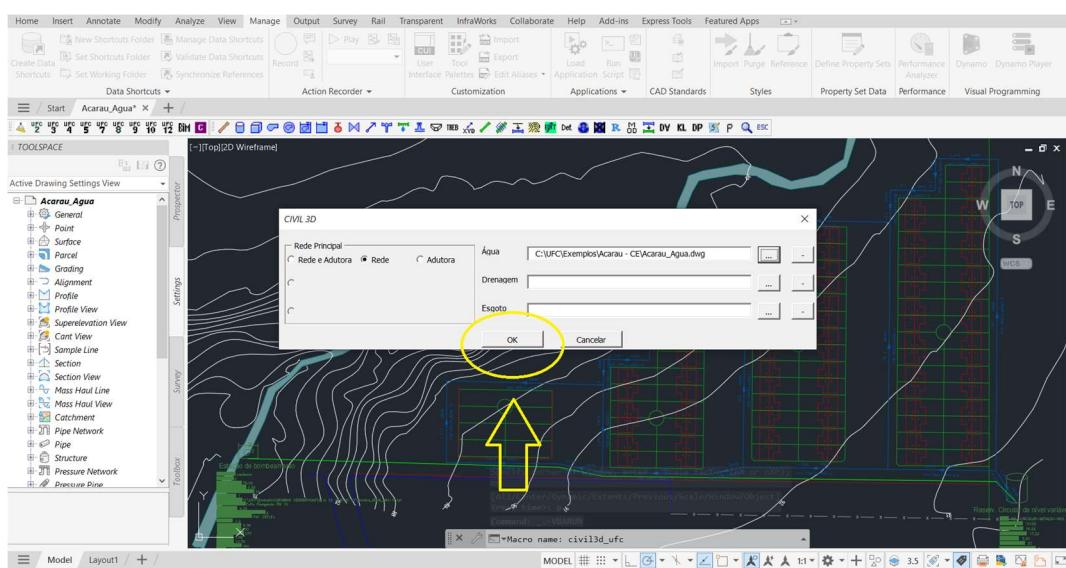
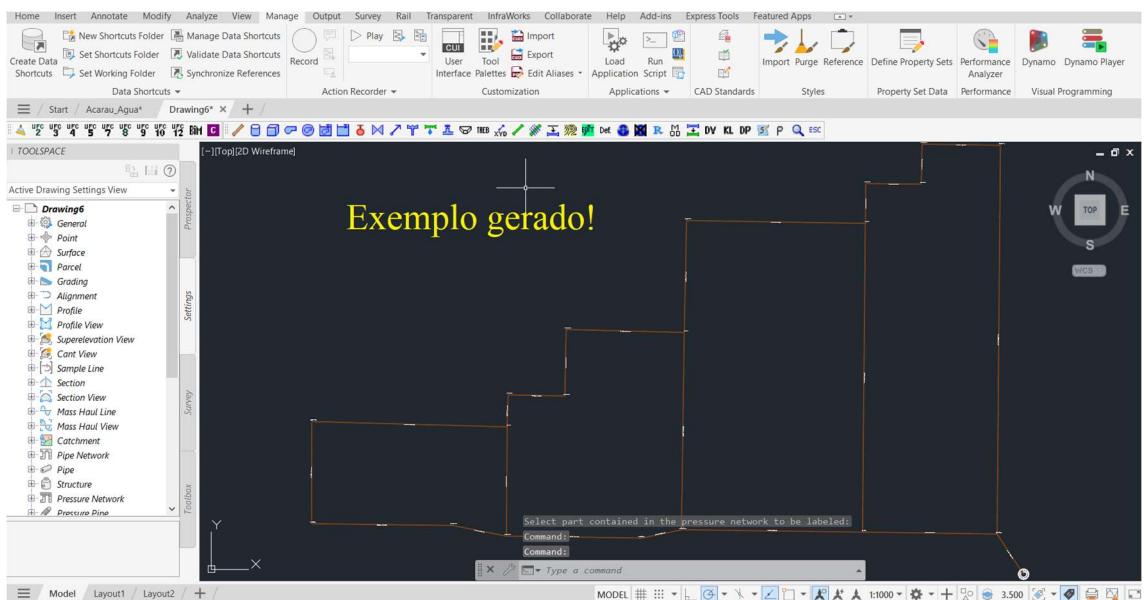


Figura D3 - Exemplo Gerado



APÊNDICE E - Nô python no Dynamo 1

```
#Corrigir elevação de Pressure Pipes gerados.

import sys
import clr

# Importando referências AutoCAD e Civil 3D
clr.AddReference('AcMgd')
clr.AddReference('AcCoreMgd')
clr.AddReference('AcDbMgd')
clr.AddReference('AecBaseMgd')
clr.AddReference('AecPropDataMgd')
clr.AddReference('AeccDbMgd')
clr.AddReference('AeccPressurePipesMgd')

from Autodesk.AutoCAD.Runtime import *
from Autodesk.AutoCAD.ApplicationServices import *
from Autodesk.AutoCAD.EditorInput import *
from Autodesk.AutoCAD.DatabaseServices import *
from Autodesk.AutoCAD.Geometry import *

from Autodesk.Civil.ApplicationServices import *
from Autodesk.Civil.DatabaseServices import *

# Entradas do Dynamo
pressurePipesDynamo = IN[0] # Lista de Pressure Pipes
newStartPointsDynamo = IN[1] # Lista de novos pontos iniciais (Point3d)
newEndPointsDynamo = IN[2] # Lista de novos pontos finais (Point3d)
INPUT = IN[3]

# Convertendo os pontos de entrada do Dynamo para objetos Point3d
newStartPoints = [Point3d(pt.X, pt.Y, pt.Z) for pt in newStartPointsDynamo]
newEndPoints = [Point3d(pt.X, pt.Y, pt.Z) for pt in newEndPointsDynamo]

# Verificando se o número de Pressure Pipes, pontos iniciais e finais coincidem
if len(pressurePipesDynamo) != len(newStartPoints) or len(pressurePipesDynamo) != len(newEndPoints):
    raise Exception("O número de Pressure Pipes, pontos iniciais e pontos finais não correspondem.")

# Obtendo o documento ativo do AutoCAD
adoc = Application.DocumentManager.MdiActiveDocument
editor = adoc.Editor

# Bloqueando o documento para edição
with adoc.LockDocument():
    with adoc.Database as db:
        # Iniciando a transação
        with db.TransactionManager.StartTransaction() as t:
            try:
                # Iterando sobre a lista de Pressure Pipes e alterando os pontos
                for i in range(len(pressurePipesDynamo)):
                    # Obtendo a entidade Pressure Pipe
                    pressurePipe = pressurePipesDynamo[i].InternalDBObject
                    pressurePipe.UpgradeOpen()

                    # Alterando o ponto inicial e final do Pressure Pipe
                    pressurePipe.StartPoint = newStartPoints[i]
                    pressurePipe.EndPoint = newEndPoints[i]

            # Commit da transação
            t.Commit()

    except Exception as e:
        # Tratamento de erro e abortando a transação
        editor.WriteMessage("\nError: {0}".format(e))
        t.Abort()

# Saída para o Dynamo
OUT = "Pontos iniciais e finais dos tubos alterados com sucesso"
```

APÊNDICE F - Nô python no Dynamo 2

```
#Adicionar conexão "tê".  
import sys  
import clr  
  
# Importando referências necessárias do AutoCAD e Civil 3D  
clr.AddReference('AcMgd')  
clr.AddReference('AcCoreMgd')  
clr.AddReference('AcDbMgd')  
clr.AddReference('AecBaseMgd')  
clr.AddReference('AecPropDataMgd')  
clr.AddReference('AeccDbMgd')  
clr.AddReference('AeccPressurePipesMgd')  
from Autodesk.AutoCAD.Runtime import *  
from Autodesk.AutoCAD.ApplicationServices import *  
from Autodesk.AutoCAD.EditorInput import *  
from Autodesk.AutoCAD.DatabaseServices import *  
from Autodesk.AutoCAD.Geometry import *  
from Autodesk.Civil.ApplicationServices import *  
from Autodesk.Civil.DatabaseServices import *  
  
# Entradas do Dynamo  
pressurePipeNetworkDynamo = IN[0]  
inputPoints = IN[1]  
pressurePartsListDynamo = IN[2]  
partDescriptions = IN[3]  
Pass = IN[4]  
  
# Convertendo pontos de entrada do Dynamo para objetos Point3d  
points = [Point3d(inputPoint.X, inputPoint.Y, inputPoint.Z) for inputPoint in inputPoints]  
# Obtendo o documento ativo do AutoCAD  
adoc = Application.DocumentManager.MdiActiveDocument  
editor = adoc.Editor  
# Bloqueando o documento para edição  
with adoc.LockDocument():  
    with adoc.Database as db:  
        # Iniciando a transação  
        with db.TransactionManager.StartTransaction() as t:  
            try:  
                # Obtendo o documento Civil 3D e a rede de tubos de pressão  
                cdoc = CivilDocument.GetCivilDocument(db)  
                ppn = pressurePipeNetworkDynamo.InternalDBObject  
                ppn.UpgradeOpen()  
  
                # Obtendo a lista de peças de pressão e atualizando-a  
                ppl = pressurePartsListDynamo.InternalDBObject  
                ppl.UpgradeOpen()  
  
                # Obtendo as partes (fittings) da lista de peças  
                parts = ppl.GetParts(PressurePartDomainType.Fitting)  
  
                # Filtrando as partes com base nas descrições fornecidas  
                matchingParts = []  
                for description in partDescriptions:  
                    # Adiciona todas as partes que correspondem à descrição, permitindo duplicatas  
                    matchingParts.extend([part for part in parts if description in part.Description])  
  
                # Verificação para garantir que as listas de pontos e peças correspondam em tamanho  
                if len(points) != len(matchingParts):  
                    raise Exception("O número de pontos não corresponde ao número de partes correspondentes.")  
  
                # Adicionando fittings para cada ponto com a parte correspondente  
                for i in range(len(points)):  
                    fitting = ppn.AddFitting(points[i], matchingParts[i])  
  
                # Commit da transação  
                t.Commit()  
            except Exception as e:  
                # Tratamento de erro e abortando a transação  
                editor.WriteMessage("\nError: {0}\n".format(e))  
                t.Abort()  
  
# Saída para o Dynamo  
OUT = "Completo"
```

APÊNDICE G - Nô python no Dynamo 3

```
#Conectar "tê" aos tubos da junção.
import clr

# Adicionar as referencias necessarias para o AutoCAD e Civil 3D
clr.AddReference('AcMgd')
clr.AddReference('AcCoreMgd')
clr.AddReference('AcDbMgd')
clr.AddReference('AecBaseMgd')
clr.AddReference('AeccDbMgd')
clr.AddReference('AeccPressurePipesMgd')

from Autodesk.AutoCAD.ApplicationServices import Application
from Autodesk.Civil.ApplicationServices import CivilDocument
from Autodesk.AutoCAD.DatabaseServices import OpenMode

# Inputs (listas de pipes, fittings e IDs de verificação)
pipes1 = IN[0] # Lista de pipe 1
fittings = IN[1] # Lista de fittings
VerificarPorta_ID_1 = IN[2]
PecaPorta_ID_1 = IN[3] # Lista de IDs específicos para cada conexão do pipe 1

# Obter o documento ativo e o editor
adoc = Application.DocumentManager.MdiActiveDocument
editor = adoc.Editor

# Bloquear o documento e iniciar a transação
with adoc.LockDocument():
    with adoc.Database as db:
        with db.TransactionManager.StartTransaction() as t:
            # Obter o documento Civil 3D
            cdoc = CivilDocument.GetCivilDocument(db)

            try:
                # Verificar se as listas tem o mesmo tamanho
                list_size = len(pipes1)
                if not all(len(lst) == list_size for lst in [fittings, VerificarPorta_ID_1, PecaPorta_ID_1]):
                    editor.WriteMessage("\nAs listas de TUBOS, TE e IDs devem ter o mesmo tamanho")
                else:
                    # Iterar sobre as listas usando zip
                    for i, (pipe1, fitting, verificar_p1, porta_id_1) in enumerate(zip(pipes1, fittings, VerificarPorta_ID_1, PecaPorta_ID_1)):

                        # Validar objetos
                        if not (pipe1 and fitting):
                            editor.WriteMessage("TUBO ou TE invalido posicao {i}")
                            continue

                        # Definir IDs de porta com base em VerificarPorta_ID
                        PipePorta_ID_1 = 1 if verificar_p1 == "INI" else 0

                        # Pegar o fitting e os pipes
                        fitting_obj = t.GetObject(fitting.InternalDBObject.ObjectId, OpenMode.ForWrite)
                        pipe1_obj = t.GetObject(pipe1.InternalDBObject.ObjectId, OpenMode.ForWrite)

                        # Conectar o fitting aos pipes com base nos IDs de porta específicos
                        fitting_obj.ConnectToPipe(porta_id_1, pipe1_obj.ObjectId, PipePorta_ID_1)

                        editor.WriteMessage(f"\nTE {i} na porta {porta_id_1} conectado com sucesso")

                        # Commit da transação
                        t.Commit()

            except Exception as e:
                editor.WriteMessage("\nErro ao conectar TES e TUBOS: " + str(e))
                t.Abort()

OUT = "TES conectados com sucesso"
```