



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EDGAR BARBOSA FERREIRA BOSAK MENDES DE OLIVEIRA**

**USO E ANÁLISE DE FERRAMENTA BIM PARA APRIMORAMENTO DO  
PROJETO DE CONTENÇÃO DE ENCOSTAS EM AMBIENTE URBANO COM  
ALTA DENSIDADE POPULACIONAL**

Recife

2024

EDGAR BARBOSA FERREIRA BOSAK MENDES DE OLIVEIRA

**USO E ANÁLISE DE FERRAMENTA BIM PARA APRIMORAMENTO DO  
PROJETO DE CONTENÇÃO DE ENCOSTAS EM AMBIENTE URBANO COM  
ALTA DENSIDADE POPULACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal de  
Pernambuco, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia  
Civil.

Orientador(a): Profa. Dra. Leila Brunet de Sá Beserra

Recife  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Oliveira, Edgar Barbosa Ferreira Bosak Mendes de .

Uso e análise de ferramenta BIM para aprimoramento do projeto de  
contenção de encostas em ambiente urbano com alta densidade populacional /  
Edgar Barbosa Ferreira Bosak Mendes de Oliveira. - Recife, 2024.

97 p. : il., tab.

Orientador(a): Leila Brunet de Sá Beserra

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil -  
Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Contenção de encostas. 2. Building Information Modeling. 3. AutoCAD  
Civil 3D. 4. Modelagem geométrica. 5. Modelagem parametrizada. I. Beserra,  
Leila Brunet de Sá . (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

EDGAR BARBOSA FERREIRA BOSAK MENDES DE OLIVEIRA

**USO E ANÁLISE DE FERRAMENTA BIM PARA APRIMORAMENTO DO  
PROJETO DE CONTENÇÃO DE ENCOSTAS EM AMBIENTE URBANO COM  
ALTA DENSIDADE POPULACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal de  
Pernambuco, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia  
Civil.

Aprovado em: 17/04/2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profª. Dra. Leila Brunet de Sá Beserra (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profª. Dra. Rachel Perez Palha (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Eng. Marília Gabriela Alves de Arruda (Examinadora Externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha gratidão à Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de apresentar este trabalho. Chegar à etapa final da graduação em Engenharia Civil é motivo de grande orgulho, e sou profundamente grato por ter vivenciado essa formação tão nobre.

Em seguida, gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Leila, pelo apoio acadêmico, disponibilidade para esclarecer dúvidas e suporte ao meu tema de trabalho de conclusão. Sua simpatia e dedicação foram fundamentais em minha jornada.

Aos meus pais, Gustavo e Janailza, dedico minha eterna gratidão pela vida que me deram, pelo incentivo constante e pelo apoio incondicional ao meu crescimento. Sem o seu amor e orientação, não teria alcançado este momento.

Agradeço também à minha parceira e companheira de curso, Maria Beatriz, por seu apoio emocional, pela resistência compartilhada nos momentos difíceis e pelo suporte ao desenvolvimento deste trabalho. Sua inteligência, perseverança e organização são fontes constantes de inspiração.

Não poderia deixar de mencionar minha amiga e companheira de disciplinas, Gabriele Ferreira, cuja presença e apoio foram essenciais, especialmente durante os desafios impostos pela pandemia. Seu incentivo foi crucial para que eu continuasse avançando.

Agradeço também a todos os meus amigos, próximos ou distantes, no Brasil, Alemanha ou Argentina, cujo carinho e lembrança acompanham-me sempre.

À empresa e colaboradores da Engeconsult, expresso minha gratidão, em especial ao Diretor Anderson Farias, pela generosidade em compartilhar informações de projeto e aos colaboradores Wallaces Paulo e Ricardo Reis, pelo apoio constante ao longo deste trabalho.

Por fim, minha profunda gratidão ao meu mentor, Rafael Santiago, cuja sabedoria em projetos com o Civil 3D e geometria foi fundamental para meu crescimento profissional. Levarei comigo os valiosos ensinamentos recebidos em minha jornada futura.

## RESUMO

A crescente preocupação com a segurança e estabilidade das encostas tem impulsionado a implementação de projetos de contenção, que frequentemente envolvem estruturas geotécnicas complexas. Este estudo explora o uso do Building Information Modeling (BIM), especificamente o software Civil 3D da Autodesk, como uma ferramenta inovadora para esse fim. O objetivo é aplicar o Civil 3D na modelagem de uma solução de contenção em uma área urbana densamente povoada, caracterizada por topografia irregular.

Utilizando dados planialtimétricos fornecidos pela empresa Engeconsult Consultores Técnicos, foi desenvolvido um modelo parametrizado de contenção, explorando funcionalidades do Civil 3D para modelagem geométrica, representação tridimensional e agregação de dados. A metodologia abrangeu a integração de dados topográficos, características geotécnicas, parâmetros de projeto e análise de desempenho do modelo.

Os resultados demonstraram a possibilidade de eficiência do Civil 3D na interação entre dimensionamento e desenho, proporcionando economia de tempo e simplificando verificações adicionais. Testes de processamento indicaram maior precisão na modelagem quando comparados os quantitativos de movimentação de terra, especialmente em relação ao uso com a superfície TIN (*Triangulated Irregular Network*) do terreno natural.

Por fim, a validação do modelo BIM foi realizada com sucesso, transferindo dados entre o Civil 3D e o Navisworks sem perda de informações ou deformações na geometria do modelo. Esse processo incluiu dados georreferenciados, quantitativos de volumes, dimensões da contenção e a superfície do terreno natural.

**Palavras-Chave:** Contenção de encostas, Building Information Modeling (BIM), AutoCAD Civil 3D, modelagem geométrica, modelagem parametrizada.

## ABSTRACT

The growing concern for the safety and stability of slopes has driven the implementation of containment projects, often involving complex geotechnical structures. This study explores the use of Building Information Modeling (BIM), specifically Autodesk's Civil 3D software, as an innovative tool for this purpose. The objective is to apply Civil 3D in modeling a containment solution in a densely populated urban area characterized by irregular topography.

Using planimetric data provided by Engeconsult Consultores Técnicos, a parameterized containment model was developed, leveraging Civil 3D functionalities for geometric modeling, three-dimensional representation, and data aggregation. The methodology encompassed the integration of topographic data, geotechnical characteristics, design parameters, and model performance analysis.

The results demonstrated the efficiency of Civil 3D in bridging the gap between design and drawing, leading to time savings and streamlining additional checks. Processing tests indicated greater accuracy in modeling, particularly concerning earth movement quantities, when compared to using the natural terrain's Triangulated Irregular Network (TIN) surface.

Finally, successful validation of the BIM model was achieved by seamlessly transferring data between Civil 3D and Navisworks, without loss of information or geometry deformations. This process included georeferenced data, volume quantification, containment dimensions, and the natural terrain surface.

**Keywords:** Slope containment, Building Information Modeling (BIM), AutoCAD Civil 3D, geometric modeling, parametric modeling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Nível de esforço e uso de recursos versus tempo da obra.....	19
Figura 2: Vista plana de uma superfície obtida pela otimização de interpolação TIN .....	22
Figura 3: Representação visual da seção média (Sm) .....	25
Figura 4: Ortofotomosaico do local de estudo e modelagem da solução de contenção .....	28
Figura 5: Planta planialtimétrica e cadastro da região de estudo .....	29
Figura 6: Elementos da seção tipo da contenção a ser modelada.....	31
Figura 7: Fluxograma de desenvolvimento do trabalho (Parte 1).....	33
Figura 8: Fluxograma de desenvolvimento do trabalho (Parte 2).....	34
Figura 9: Visualização em tabela dos pontos de amostra que compõem a superfície do terreno .....	35
Figura 10: Representação em planta baixa do local de estudo e elementos geométricos de análise .....	37
Figura 11: Vista em perfil do Eixo-Perfil apresentado na Figura 10.....	38
Figura 12: Vista da seção no estaqueamento 0+16,18 do Eixo-Perfil apresentado na Figura 10 .....	39
Figura 13: Observação de pontos e triangulações falsas através do modo de visualização em perspectiva wireframe.....	41
Figura 14: Superfície de estudo após correção de observações indicadas na Figura 13 .....	42
Figura 15: Modo de perspectiva com renderização simples do local de estudo.....	43
Figura 16: Alinhamento horizontal para eixo da contenção .....	45
Figura 17: Perfil longitudinal simplificado do eixo da contenção.....	47
Figura 18: Criação do <i>subassembly</i> da modelagem no <i>subassembly composer</i> do Civil 3D...	49
Figura 19: Menu de edição das propriedades do subassembly no ambiente de projeto .....	49
Figura 20: Ambiente de programação visual do <i>subassembly composer</i> do AutoCAD Civil 3D .....	50
Figura 21: Expressão em VB que verifica a relação de distância vertical entre ponto e superfície .....	50
Figura 22: Sequência de criação dos elementos do <i>subassembly</i> da contenção.....	51
Figura 23: Assembly criado para a modelagem da contenção.....	52
Figura 24: Interface de criação do corredor e parâmetros de entrada .....	53
Figura 25: Espaço de alterações das propriedades do corredor após criação .....	53

Figura 26: Menu de ajuste da frequência de repetição do <i>assembly</i> com entrada de parâmetros utilizados na modelagem inicial .....	54
Figura 27: Seleção de parâmetros dos targets de elevação do corredor modelado .....	56
Figura 28: Seleção de parâmetros dos targets de offset do corredor modelado .....	57
Figura 29: Seleção de parâmetros dos targets de superfície do corredor modelado.....	58
Figura 30: Corredor da modelagem inicial (perspectiva da região inferior do corredor).....	59
Figura 31: Interface de criação das <i>sample lines</i> no alinhamento horizontal da contenção e parâmetros utilizados.....	60
Figura 32: Grupo de seções transversais vinculadas com as <i>sample lines</i> da modelagem de estudo.....	61
Figura 33: Menu de seleção de parâmetros para cálculo dos volumes de materiais .....	62
Figura 34: Reports manager do AutoCAD Civil 3D da Autodesk .....	63
Figura 35: Configuração de frequência aplicada aos Assemblies da modelagem final.....	64
Figura 36: Corredor da modelagem final (perspectiva da região inferior do corredor) .....	65
Figura 37: Planta baixa com implantação da modelagem da contenção na região da encosta.	69
Figura 38: Perfil longitudinal completo do eixo da contenção.....	71
Figura 39: Seção transversal de terraplenagem da estaca 0+5m do eixo da contenção .....	72
Figura 40: Seção transversal da estaca 0+5m com elementos da contenção.....	73
Figura 41: Modelo 3D da contenção com superfície de corte para execução da obra .....	74
Figura 42: Terreno natural do local de estudo escalonado pela terraplenagem.....	75
Figura 43: Modelo BIM no ambiente do software Navisworks da Autodesk .....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados processados do levantamento planialtimétrico .....	30
Tabela 2: Resultados obtidos por fase do trabalho .....	66
Tabela 3: Volumes de movimentação de terra da terraplenagem da etapa 1 por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem inicial.....	76
Tabela 4: Volumes de movimentação de terra da terraplenagem da etapa 2 por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem inicial.....	77
Tabela 5: Volumes de materiais de construção por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem inicial.....	77
Tabela 6: Relatório de alinhamento horizontal do eixo da contenção.....	82
Tabela 7: Dados geométricos do perfil do terreno natural.....	83
Tabela 8: Dados geométricos do greide da crista do reaterro para retaludamento .....	83
Tabela 9: Dados geométricos do greide da fundação do muro de pedra argamassada.....	84
Tabela 10: Dados geométricos do greide do pé do muro de pedra argamassada .....	84
Tabela 11: Dados dos pontos da seção do terreno natural (Estaca 0+0,233m).....	86
Tabela 12: Dados dos pontos da seção escalonada na vista transversal (Estaca 0+0,233m)....	86
Tabela 13: Dados dos pontos da seção de reaterro (Estaca 0+0,233m).....	86
Tabela 14: Volumes de movimentação de terra da terraplenagem da etapa 1 por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem final.....	88
Tabela 15: Volumes de movimentação de terra da terraplenagem da etapa 2 por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem final.....	89
Tabela 16: Volumes de materiais de construção por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem final .....	89
Tabela 17: Variação do volume de movimentação de terra da Etapa 1 do Modelo Final relativo à Modelagem Inicial por estaca .....	92

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perfis longitudinais gerados a partir de dados extraídos do Civil 3D .....	85
Gráfico 2: Seção transversal de terraplenagem para implantação da contenção na Estaca 0+0,233m.....	87

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEF - Análise de Elementos Finitos

BIM - *Building Information Modeling*

IFC - *Industry Foundation Classes*

HTML - *HyperText Markup Language*

MEF – Método dos Elementos Finitos

NIBS - *National Institute of Building Sciences*

PVI - *Point of vertical intersection*

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

TIN - *Triangulated Irregular Network*

VB - *Visual Basic*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. Justificativa e motivação .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. Objetivo geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3. Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Building Information Modeling (BIM).....</b>	<b>18</b>
2.1.1. <i>Modelo de projeto parametrizado .....</i>	<i>19</i>
2.1.2. <i>Ferramentas BIM e a disciplina de Geotecnia.....</i>	<i>20</i>
2.1.3. <i>BIM no contexto da Análise de Elementos Finitos (AEF).....</i>	<i>20</i>
<b>2.2. Interpolação TIN (Triangular Irregular Network) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. Conceitos gerais de terraplenagem .....</b>	<b>22</b>
2.3.1. <i>Projeto de Terraplenagem .....</i>	<i>22</i>
2.3.2. <i>Cálculo de Volumes .....</i>	<i>23</i>
2.3.2.1. <i>Seção média.....</i>	<i>23</i>
2.3.2.2. <i>Método da semi distância ou método da área média .....</i>	<i>25</i>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Materiais.....</b>	<b>26</b>
3.1.1. <i>Software AutoCAD Civil 3D.....</i>	<i>26</i>
3.1.2. <i>Área de implantação da contenção .....</i>	<i>27</i>
3.1.3. <i>Levantamento topográfico cadastral.....</i>	<i>28</i>
3.1.4. <i>Modelo de Contenção.....</i>	<i>30</i>
<b>3.2. Metodologia.....</b>	<b>31</b>
3.2.1. <i>Fluxo metodológico .....</i>	<i>32</i>
3.2.2. <i>Criação e uso de surfaces.....</i>	<i>35</i>
3.2.3. <i>Modos de visualização .....</i>	<i>36</i>
3.2.3.1. <i>Vista plana .....</i>	<i>36</i>

3.2.3.1.1.	Vista em Planta.....	36
3.2.3.1.2.	Vista em perfil.....	38
3.2.3.1.3.	Vista em seção.....	38
3.2.3.2.	<i>Vista tridimensional</i> .....	39
3.2.3.2.1.	Modo de visualização wireframe .....	40
3.2.3.2.2.	Modo de visualização conceitual .....	42
3.2.4.	<i>Ferramentas e método de modelagem da contenção</i> .....	43
3.2.4.1.	<i>Alinhamentos</i> .....	44
3.2.4.1.1.	Alinhamentos horizontais .....	44
3.2.4.1.2.	Alinhamentos verticais.....	45
3.2.4.2.	<i>Criação e definição das propriedades do assembly da contenção</i> .....	48
3.2.4.3.	<i>Criação do Corredor</i> .....	52
3.2.4.4.	<i>Sample lines</i> .....	59
3.2.4.4.1.	Seções Transversais .....	60
3.2.4.4.2.	Cálculo do volume de materiais para execução da contenção .....	61
3.2.4.5.	<i>Extração de relatórios e dados do modelo</i> .....	62
3.2.5.	<i>Edição e avaliação do desempenho dinâmico da modelagem</i> .....	63
3.2.5.1.	<i>Método de avaliação da variação da frequência de repetição do Assembly</i> 64	
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>66</b>
<b>4.1.</b>	<b>Modelagem da contenção de encosta</b> .....	<b>67</b>
4.1.1.	<i>Representações visuais do modelo projetado</i> .....	67
4.1.1.1.	<i>Vista em planta baixa</i> .....	67
4.1.1.2.	<i>Vistas em perfil ao longo do eixo da contenção</i> .....	70
4.1.1.3.	<i>Vistas em seção da implantação da contenção</i> .....	72
4.1.1.4.	<i>Vista em perspectiva do modelo 3D</i> .....	73
4.1.2.	<i>Quantitativos do modelo inicial</i> .....	75

4.1.2.1.	<i>Etapa 1: Terraplenagem para implantação da contenção na modelagem inicial</i>	76
4.1.2.2.	<i>Etapa 2: Quantidades de materiais de construção e terraplenagem para retaludamento na modelagem final</i>	76
4.1.3.	<i>Relatórios de geometria da modelagem</i>	80
4.1.3.1.	<i>Dados geométricos do alinhamento horizontal da contenção</i>	80
4.1.3.2.	<i>Dados geométricos dos alinhamentos verticais da contenção</i>	83
4.1.3.3.	<i>Dados geométricos das seções transversais</i>	85
<b>4.2.</b>	<b>Análise do desempenho de cálculo da modelagem</b>	<b>88</b>
4.2.1.	<i>Quantitativos do modelo final</i>	88
4.2.1.1.	<i>Etapa 1: Terraplenagem para implantação da contenção na modelagem final</i>	88
4.2.1.2.	<i>Etapa 2: Quantidades de materiais de construção e terraplenagem para retaludamento na modelagem final</i>	89
4.2.2.	<i>Comparativo de resultados entre o modelo inicial e final</i>	92
<b>4.3.</b>	<b>Compatibilização com Software BIM de gerenciamento e simulação</b>	<b>93</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>96</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional nas grandes metrópoles brasileiras, torna-se evidente que uma parcela da população de baixa renda busca assentamento em regiões de morros. Esse tipo de ocupação geralmente se dá de forma irregular, envolvendo a realização de cortes em barreiras e construções informais (Alheiros *et al.*, 2004). Os autores destacam que a susceptibilidade a acidentes em encostas não apenas está intrinsecamente associada a diversos fatores naturais, mas também sofre significativo impacto das ações antrópicas. Isso se manifesta através da construção de fossas em encostas, do lançamento irregular de água, da influência na taxa de exposição do solo e da realização de cortes ou aterros de forma inadequada.

Dada a complexidade e vulnerabilidade das áreas de encostas, a necessidade de implementação de projetos de contenção torna-se cada vez mais premente. Nesse cenário, o uso de ferramentas BIM (Building Information Modeling), como o software Civil 3D da Autodesk, surge como uma estratégia transformadora. A aplicação do BIM facilita a integração eficaz de dados relevantes do projeto por meio de um modelo virtual 3D que consegue retratar um cenário próximo ao real (Da Costa; Pimentel, 2022). Essa integração tem o potencial de simplificar a análise e a compatibilização entre as disciplinas de geotecnia, terraplenagem, drenagem e urbanismo, que são frequentemente envolvidas na elaboração dos projetos de estrutura de contenção de encostas.

O software Civil 3D da Autodesk é extensivamente empregado em projetos de infraestrutura, destacando-se especialmente no desenvolvimento de projetos de estradas, redes de esgoto, redes de abastecimento de água, drenagem, terraplenagem e contenções. Sua capacidade de modelagem 3D permite a manipulação dinâmica e precisa de alinhamentos horizontais, verticais e seções transversais, onde qualquer alteração nesses parâmetros é capaz de atualizar instantaneamente todo o projeto (Raji *et al.*, 2017). Com essa funcionalidade, torna-se viável representar as complexas geometrias de projeto com os dados de campo ao longo de um eixo no projeto de contenções.

Além disso, a integração do Civil 3D com outros softwares e ferramentas de análise oferece uma abordagem abrangente para o planejamento e execução de projetos de contenção. Essa interoperabilidade facilita a importação e exportação de dados entre diferentes plataformas, permitindo uma colaboração eficiente entre os diversos profissionais envolvidos

no processo de projeto e construção. Dessa forma, o uso do Civil 3D não apenas agiliza o desenvolvimento das soluções de contenção, mas também contribui para uma comunicação mais eficaz e uma tomada de decisão embasada em informações precisas e atualizadas.

### **1.1. Justificativa e motivação**

Este trabalho encontra seu embasamento no desafiador cenário da engenharia civil, especialmente quando se trata de projetos que envolvem áreas com relevo notoriamente irregular, abundância de interferências físicas e a complexidade de representar de forma clara, tanto em informações quantitativas quanto em expressão visual, uma solução de contenção de encostas. A motivação central reside na crescente necessidade de aprimorar as abordagens para lidar com os riscos geotécnicos inerentes a essas áreas, onde a integridade tanto das vidas humanas quanto das estruturas urbanas é constantemente ameaçada.

A proposta de adotar uma ferramenta BIM como uma solução integral, que unifique dados planialtimétricos, características de projeto geotécnico e modelagem geométrica, surge da necessidade de enfrentar os desafios complexos e diversos no contexto da engenharia civil contemporânea. Esta abordagem visa fornecer resultados detalhados e dinâmicos que transcendem as limitações das práticas tradicionais de projeto e modelagem. Ao integrar diversas informações em um único ambiente digital, o BIM proporciona uma visão ampla e integrada do projeto, permitindo uma análise abrangente e precisa de um grande volume de dados envolvidos no projeto (Strieder; Schreinert, 2022).

Nesse sentido, a utilização do BIM desempenhará um papel fundamental na detecção de conflitos físicos entre a contenção projetada e as informações dos limites físicos cadastrados em campo. A capacidade de visualizar e analisar essas discrepâncias de forma rápida e precisa possibilitará ajustes imediatos no projeto, evitando atrasos e retrabalhos que poderiam comprometer o cronograma e os riscos envolvidos no empreendimento (Strieder; Schreinert, 2022).

Outro aspecto crucial dessa abordagem é a geração de informações precisas para a estimativa de materiais de construção. Ao fornecer dados detalhados e atualizados sobre as quantidades e características dos materiais necessários, o uso de uma ferramenta BIM contribui para uma gestão eficiente dos recursos e uma melhor previsão de custos.

Por fim, essa metodologia prevê a capacidade de otimização da extração de relatórios do projeto, o que oferece uma vantagem significativa em termos de produtividade e eficiência. Ao automatizar a geração de documentos e relatórios, essa tecnologia permite que os profissionais dediquem mais tempo à análise e tomada de decisões estratégicas, em vez de se envolverem em tarefas repetitivas e burocráticas. Em um cenário onde o tempo e a precisão são fatores críticos para o custo e o sucesso dos projetos, a adoção dessa ferramenta representa uma mudança de paradigma essencial para a evolução da engenharia civil no século XXI.

## **1.2. Objetivo geral**

A proposta deste trabalho visa aprofundar o estudo na aplicação prática do Civil 3D para criar uma representação virtual da solução de contenção para encostas em uma localidade real e urbana, caracterizada por um relevo irregular com presença de taludes.

## **1.3. Objetivos específicos**

- Realizar o processamento e tratamento dos dados provenientes da topografia cadastral, visando obter informações precisas e atualizadas do local de implantação da contenção;
- Implementar uma modelagem que integre os elementos fundamentais de um projeto geotécnico e que resulte num modelo virtual 3D dinâmico e representativo da contenção;
- Obter da modelagem os relatórios de quantitativos de materiais de construção e movimentação de terra, a representação em desenho técnico do modelo e os relatórios das geometrias dessa representação;
- Avaliar o desempenho da modelagem com a variação do modo de processamento do software do Civil 3D para a criação do modelo em corredor;
- Compatibilização dos dados do modelo BIM em software de gerenciamento e simulação.

## 2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

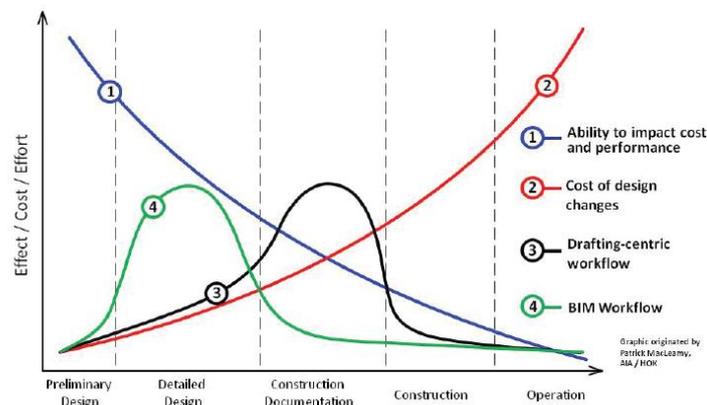
### 2.1. Building Information Modeling (BIM)

O *Building Information Modeling* (BIM) é uma metodologia que não significa apenas um software ou uma representação visual em 3D, mas que funciona como fluxo de operações que visam projetar todas as fases da vida de uma obra ou projeto (Eastman *et al.*, 2018). Segundo a definição de BIM pela *National Institute of Building Sciences* dos Estados Unidos (2018) isso pode ser colocado como:

O BIM é uma representação digital que espelha as propriedades físicas e funcionais de uma estrutura. Ele funciona como um repositório de conhecimento compartilhado, fornecendo informações confiáveis sobre a estrutura que auxiliam na tomada de decisões ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a concepção até a conclusão.

Portanto, a implementação do BIM transcende a mera modelagem de informações; ela engloba processos colaborativos que otimizam a eficiência e a comunicação entre as partes interessadas. A tendência é que, durante a fase de projeto, haja a possibilidade da antecipação da tomada de decisões que impactam na segurança, custo e retrabalho durante a construção (Figura 1).

Figura 1: Nível de esforço e uso de recursos versus tempo da obra



Fonte:

Um grande exemplo da operabilidade de softwares que usam a abordagem BIM é a interatividade entre todos os elementos de projeto, uma vez que há a existência de dependência entre as ferramentas de modelagem e de geometria. Esse exemplo pode ser facilmente visualizado em projetos geométricos de estradas em BIM, onde há uma dependência de geometria entre o modelo inteligente 3D e os alinhamentos horizontais e verticais definidos para o projeto (Strafaci, 2008). Essa relação pode se aprofundar ao ponto de permitir um modelo geométrico integrado com a análise e dimensionamento. Por exemplo, podemos combinar algoritmos em Python com a linguagem de programação visual do Civil 3D da Autodesk, o Dynamo, para realizar a análise estrutural de um pavimento e o dimensionamento de sua geometria (Tang *et al.*, 2020).

### 2.1.1. Modelo de projeto parametrizado

O software BIM possibilitou a adoção do projeto paramétrico, que substitui os vetores usados no software CAD para representar elementos de construção por objetos paramétricos (Beirnaert; Lippens, 2018). Esses objetos parametrizados seguem uma série de regras e que quando bem estruturadas deixam o modelo de projeto mais inteligente. Esse exemplo pode ser visualizado na automação de taludes de estabilização em cortes ou aterros na criação de uma rodovia, nos quais o modelo estabelece uma correlação entre a elevação do projeto e a elevação do terreno natural para determinar o perfil e a inclinação do talude a ser construído.

Acerca do design paramétrico, segundo Beirnaert e Lippens (2018):

No design paramétrico, alterações nas propriedades do modelo não são viáveis quando há regras em conflito. Em contrapartida, desenhos vetoriais permitem tais mudanças, o que pode levar a problemas pela ausência de um protocolo de controle. Embora a criação de famílias de modelos no design paramétrico seja demorada, é possível realizar alterações de forma rápida em etapas posteriores do processo de design.

A partir disso, a construção de um modelo parametrizado, embora demande um investimento significativo de tempo na criação de famílias ou *assemblies*, é um processo que se justifica pelo valor agregado. Esse tempo dedicado inicialmente se reflete em uma maior agilidade para realizar ajustes ou futuras revisões necessárias, otimizando o fluxo de trabalho e a documentação do projeto, a partir dos *links* dinâmicos do modelo (Strafaci, 2008).

### 2.1.2. Ferramentas BIM e a disciplina de Geotecnia

As estruturas de geotecnia apresentam geometrias, por muitas vezes, complexas e que dependem das condições do terreno, tecnologia disponível e mão de obra qualificada (Shenkman; Ponomaryov, 2021). Nesse contexto, o uso de uma ferramenta BIM torna-se quase que essencial nos dias atuais, visto que o modelo de estrutura nessas ferramentas tende a ser parametrizado por meio de família ou montagens.

Essa situação é bem demonstrada no trabalho de Shenkman e Ponomaryov (2021), onde foi parametrizada uma parede de contenção em concreto armado com a base unida com estacas prancha. Segundo os autores, essa situação permitiu que a documentação e vistas em seção do projeto fossem alteradas dinamicamente com as alterações das informações no modelo paramétrico. Essa flexibilidade introduzida por esse modelo representa uma mudança na maneira como os engenheiros e projetistas abordam a modificação de estruturas complexas. A capacidade de ajustar dinamicamente a documentação e as vistas em seção, conforme ilustrado por Shenkman e Ponomaryov (2021), significa que as respostas a desafios geotécnicos e alterações no design podem ser implementadas com rapidez e precisão. Isso não apenas economiza tempo valioso durante o ciclo de vida do projeto, mas também aumenta a segurança, garantindo que as mudanças sejam baseadas nas mais recentes informações disponíveis, resultando em soluções de engenharia mais robustas e confiáveis.

### 2.1.3. BIM no contexto da Análise de Elementos Finitos (AEF)

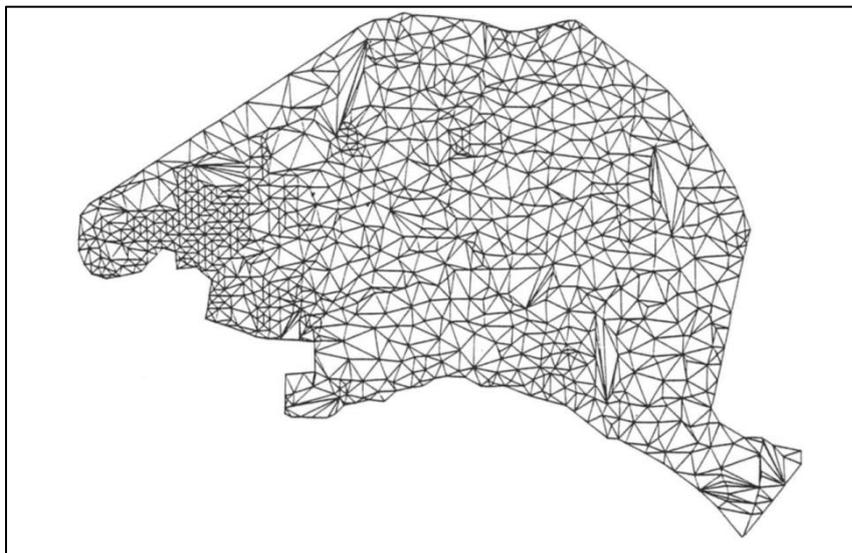
O modelo BIM no cenário da engenharia, até certo ponto, vem se apresentado como uma boa ferramenta de apoio para softwares que operam com o Método dos Elementos Finitos (MEF) (Klinc *et al.*, 2021). Nos programas comerciais da atualidade é possível observar a interoperabilidade entre essas ferramentas pela possibilidade da exportação e importação de arquivos em variados formatos, como o *Drawing Exchange Format* (DXF) ou o *Industry Foundation Classes* (IFC). No entanto, é importante ressaltar que a transferência de informações do modelo em BIM para os softwares de AEF pode ocasionar numa distorção dos dados ou na perda de informações (Klinc *et al.*, 2021).

A principal vantagem de se usar uma ferramenta BIM nesse cenário é a possibilidade de criar com maior facilidade as geometrias de projeto, o que seria um trabalho maior com as ferramentas de modelagem geométrica nativas dos softwares de AEF (Klinc *et al.*, 2021).

## **2.2. Interpolação TIN (Triangular Irregular Network)**

A interpolação TIN (Triangular Irregular Network) fundamenta-se na conexão de nós, que são pontos de amostragem, através de linhas para formar uma rede de triângulos não sobrepostos (Huang, 1989). Este método, conforme descrito por Huang (1989), permite a formação de uma malha de triângulos que, baseando-se em pontos coordenados selecionados, é capaz de representar de maneira precisa as variações e características irregulares de uma superfície (Figura 2). Essa representação detalhada é essencial para análises topográficas e modelagem de terrenos em diversas aplicações geoespaciais.

Figura 2: Vista plana de uma superfície obtida pela otimização de interpolação TIN



Fonte: Huang, 1989.

Além disso, a eficácia da interpolação TIN reside na sua capacidade de adaptar-se às complexidades geométricas variadas, permitindo uma representação mais fiel do relevo natural sem a necessidade de uma grande quantidade de pontos (Huang, 1989). A flexibilidade do modelo TIN facilita a integração com outras técnicas de modelagem e análises geoespaciais, ampliando assim seu escopo de aplicação para além da simples representação de terrenos, englobando também estudos ambientais e planejamento urbano.

### **2.3. Conceitos gerais de terraplenagem**

#### *2.3.1. Projeto de Terraplenagem*

A terraplenagem abarca um conjunto de procedimentos destinados ao planejamento e execução de intervenções no solo, visando a criação de uma superfície terrestre com geometrias especificadas conforme o projeto estabelecido. No processo de elaboração de um projeto de terraplenagem, é crucial contemplar uma gama diversificada de serviços, levando em conta variáveis como prazo de execução e a seleção do equipamento mais apropriado para a tarefa em questão (Antas *et al.*, 2010).

Segundo Antas *et al.* (2010), as atividades inerentes à terraplenagem compreendem a escavação do solo, o desmonte de rochas, o transporte dos materiais escavados ou desmontados e sua deposição em locais designados para a construção de aterros compactados. Essencialmente, essas operações visam à remoção de materiais excedentes situados acima do nível de projeto, resultando em cortes, e ao preenchimento de depressões, formando aterros.

Conseqüentemente, a terraplenagem assume um papel central na execução de obras de engenharia civil relacionadas à movimentação de terra.

O projeto de terraplenagem desempenha um papel fundamental ao determinar as quantidades de materiais a serem escavados ou desmontados, definindo os métodos de escavação, carregamento e transporte, especificando os locais apropriados para a disposição dos materiais e estabelecendo os procedimentos de tratamento a serem aplicados a esses materiais (Antas *et al.*, 2010).

### 2.3.2. *Cálculo de Volumes*

No contexto da terraplenagem, a determinação precisa dos volumes constitui um ponto de interesse central, impulsionando a busca por uma metodologia de cálculo que garanta resultados confiáveis e consistentes. Uma das principais dificuldades enfrentadas reside na complexidade das formas geométricas das superfícies de solo envolvidas, as quais apresentam variações significativas ao longo de um determinado terreno (Antas *et al.*, 2010). No entanto, essa complexidade pode ser mitigada com a utilização de softwares especializados em cálculo de volumes, os quais oferecem ferramentas e algoritmos capazes de lidar eficientemente com essa diversidade geométrica.

Este estudo visa estabelecer as bases teóricas dos métodos clássicos empregados na disciplina de terraplenagem para o cálculo de volumes em diferentes geometrias. Dentre os principais métodos abordados, destacam-se o método da área média e o método do prismoide. Para tal, será introduzida a definição de seção média para a aplicação do método da área média. Essa abordagem clássica representa uma estratégia consolidada na prática da engenharia civil para a determinação volumétrica, fornecendo uma estrutura conceitual sólida para análise e interpretação dos resultados em contextos diversos de projetos de terraplenagem.

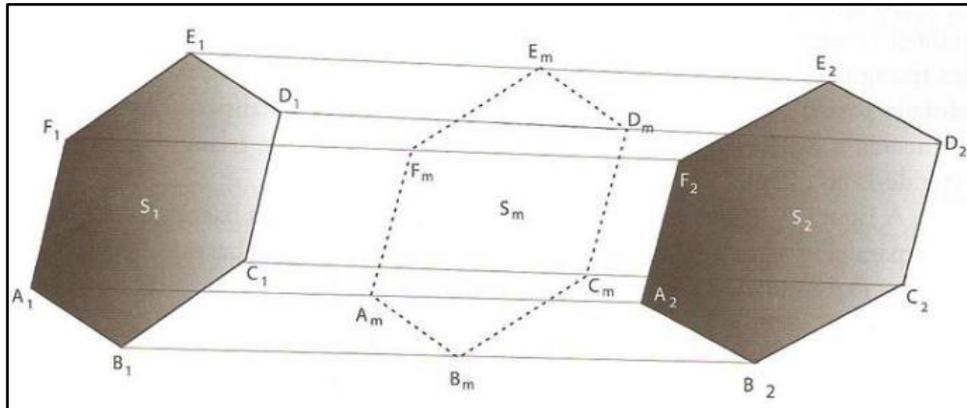
#### 2.3.2.1. *Seção média*

Um dos métodos propostos para o auxílio no cálculo dos volumes é a definição de seções médias, que partem de uma premissa fundamental: a variação da geometria nas seções extremas do interperfil - região compreendida entre duas seções transversais consecutivas - segue um padrão linear, com a seção média representando um valor intermediário nessa variação.

Essencialmente, essa abordagem se baseia na ideia de que a forma da seção transversal evolui de maneira uniforme ao longo do interperfil, o que implica que a seção média possa ser definida como uma média ponderada das seções extremas. Contudo, é importante ressaltar que essa filosofia pode se tornar complexa em situações em que as variações na superfície do interperfil são acentuadas, tornando desafiadora a determinação das características precisas da seção média (Antas *et al.*, 2010)

Em termos práticos, o método busca estabelecer uma correlação entre os segmentos da seção transversal anterior e os segmentos correspondentes da seção posterior. Nessa relação linear entre as seções adjacentes, é possível identificar a seção média como um ponto intermediário. No entanto, é crucial ressaltar que a área da seção média ( $S_m$ ) não é simplesmente a média aritmética das áreas da seção anterior ( $S_1$ ) e posterior ( $S_2$ ) (Antas *et al.*, 2010). A compreensão desse ponto é fundamental para a precisão do cálculo volumétrico, uma vez que a abordagem adotada reconhece a influência da forma específica das seções transversais adjacentes na determinação do volume com a seção média. Assim, o método proposto permite o cálculo de volumes não usando apenas mera média linear das seções extremas, mas sim busca capturar as nuances da variação geométrica ao longo do interperfil para uma estimativa mais precisa do volume da seção média. A representação visual dessa seção média pode ser observada na Figura 3.

Figura 3: Representação visual da seção média ( $S_m$ )



Fonte: Estradas: Projeto Geométrico e de Terraplenagem (Antas *et al.*, 2010)

### 2.3.2.2. Método da semi distância ou método da área média

O método descrito é uma abordagem de cálculo aproximada, fundamentando-se no uso da seção média. Sua principal característica reside na simplificação do processo de obtenção da seção média, considerando-a diretamente como a média das seções extremas do interperfil (Antas *et al.*, 2010). Em termos práticos, isso implica que, ao invés de realizar uma análise detalhada das características de cada seção transversal ao longo do interperfil, o método proposto adota uma abordagem mais simplificada, onde a seção média é determinada como uma média direta das seções extremas. Essa simplificação tem o potencial de agilizar o processo de cálculo, embora possa resultar em uma precisão ligeiramente reduzida em comparação com métodos mais detalhados e complexos de análise volumétrica.

Essa simplificação resulta na aplicação da equação (1) para cálculo da área da seção média e a equação (2) para cálculo do volume pelo método da semi distância (Antas *et al.*, 2010).

$$S_m = \frac{S_1 + S_2}{2} \quad (1)$$

$$Vol = dS_m \quad (2)$$

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os dados para a modelagem da contenção, assim como o local de estudo e considerações de projeto. Também terão destaque os procedimentos detalhados para a concepção de um modelo de contenção no software da Autodesk, o AutoCAD Civil 3D e, além disso, propor uma forma de avaliar o desempenho desse modelo através da variação de parâmetros essenciais da modelagem.

#### 3.1. Materiais

Este tópico apresentará o local de implantação da contenção, com foco nas geometrias e elementos existentes. Ademais, serão apresentadas as ferramentas de trabalho, software e modelo de contenção.

Vale ressaltar que alguns dados apresentados neste capítulo foram extraídos de um projeto executivo fornecido pela Engeconsult Consultores Técnicos Ltda., uma empresa especializada em consultoria de projetos de engenharia. O levantamento topográfico cadastral e imagens aéreas foram realizados por empresas terceirizadas contratadas pela Engeconsult Consultores Técnicos Ltda., para prestação desses serviços específicos.

##### 3.1.1. *Software AutoCAD Civil 3D*

O AutoCAD Civil 3D é um software que permite a modelagem tridimensional de projetos de infraestrutura, como rodovias, ferrovias, saneamento, abastecimento de água, drenagem e contenção de encostas (Cardoso; Frazillio, 2016). O software oferece diversas ferramentas que facilitam o desenho e a análise dos elementos do projeto, como superfícies, alinhamentos, perfis, seções transversais, redes de tubulação, estruturas de drenagem e contenção. Além disso, o Civil 3D permite a integração com outras ferramentas BIM, como o Revit e o Navisworks, para a coordenação e a compatibilização dos projetos.

A aplicação do software Civil 3D em projetos para contenção de encostas representa uma evolução significativa na prática da engenharia geotécnica, oferecendo uma série de

vantagens técnicas e operacionais. Em primeiro lugar, destaca-se a capacidade do Civil 3D em proporcionar uma modelagem precisa e detalhada dos elementos geométricos envolvidos na contenção, tais como taludes, cortes e aterros. Através do uso de *assemblies*, é possível criar estruturas complexas de forma eficiente, incorporando elementos como muros de arrimo, sistemas de drenagem e dispositivos de proteção.

No que diz respeito às análises geotécnicas, o Civil 3D permite a criação de superfícies topográficas e geotécnicas a partir de dados de levantamento e sondagem, fornecendo uma representação tridimensional do terreno e das camadas de solo. Além disso, o software permite a geração de alinhamentos que se adaptam às irregularidades do terreno, facilitando a concepção de soluções que atendam aos requisitos de estabilidade e segurança. A utilização de seções transversais ao longo do alinhamento proporciona uma visão detalhada da geometria do terreno, permitindo uma análise abrangente das condições geotécnicas e a identificação de potenciais pontos críticos que demandam intervenção (Cardoso; Frazillio, 2016).

Outro aspecto relevante é a criação de perfis longitudinais que fornecem informações essenciais sobre a variação do terreno ao longo do eixo do projeto, auxiliando na definição de cotas e inclinações adequadas para os elementos estruturais (Cardoso; Frazillio, 2016). A partir desses perfis, é possível determinar a altura e extensão das estruturas de contenção, bem como avaliar sua integração com o ambiente circundante.

Em termos operacionais, a automatização de processos de desenho e cálculo proporcionada pelo Civil 3D contribui para a otimização do tempo e dos recursos do projeto. Tarefas que seriam trabalhosas e passíveis de erros quando realizadas manualmente, como a geração de cortes e aterros, a verificação de interferências e mapas de cubação, são executadas de forma rápida pelo software.

Este trabalho se utilizará dos benefícios das diversas ferramentas propostas pelo ambiente desse software e modelará a contenção com critérios pré-estabelecidos nas seções a seguir. O processo de modelagem nesse ambiente será detalhadamente explicado, assim como as ferramentas utilizadas, ao longo dos subtópicos de metodologia.

### 3.1.2. *Área de implantação da contenção*

O presente estudo é conduzido em um ambiente geográfico cuja topografia se destaca pela sua irregularidade, caracterizada por taludes suscetíveis a riscos geológicos, com suas

imediações ocupadas por habitações e infraestrutura com sistemas de drenagem, escadarias, muros de arrimo, muros de alvenaria e uma variedade de vegetação. Em virtude da sensibilidade e do caráter confidencial de certos dados pertinentes a esta pesquisa, a divulgação do local específico é restrita, sendo, no entanto, assegurada a autenticidade e a integridade das dimensões e escalas de visualização da área em questão.

Na Figura 4 é possível observar em alta resolução uma imagem aérea, obtida através de drones, da área de interesse deste trabalho.

Figura 4: Ortofotomosaico do local de estudo e modelagem da solução de contenção



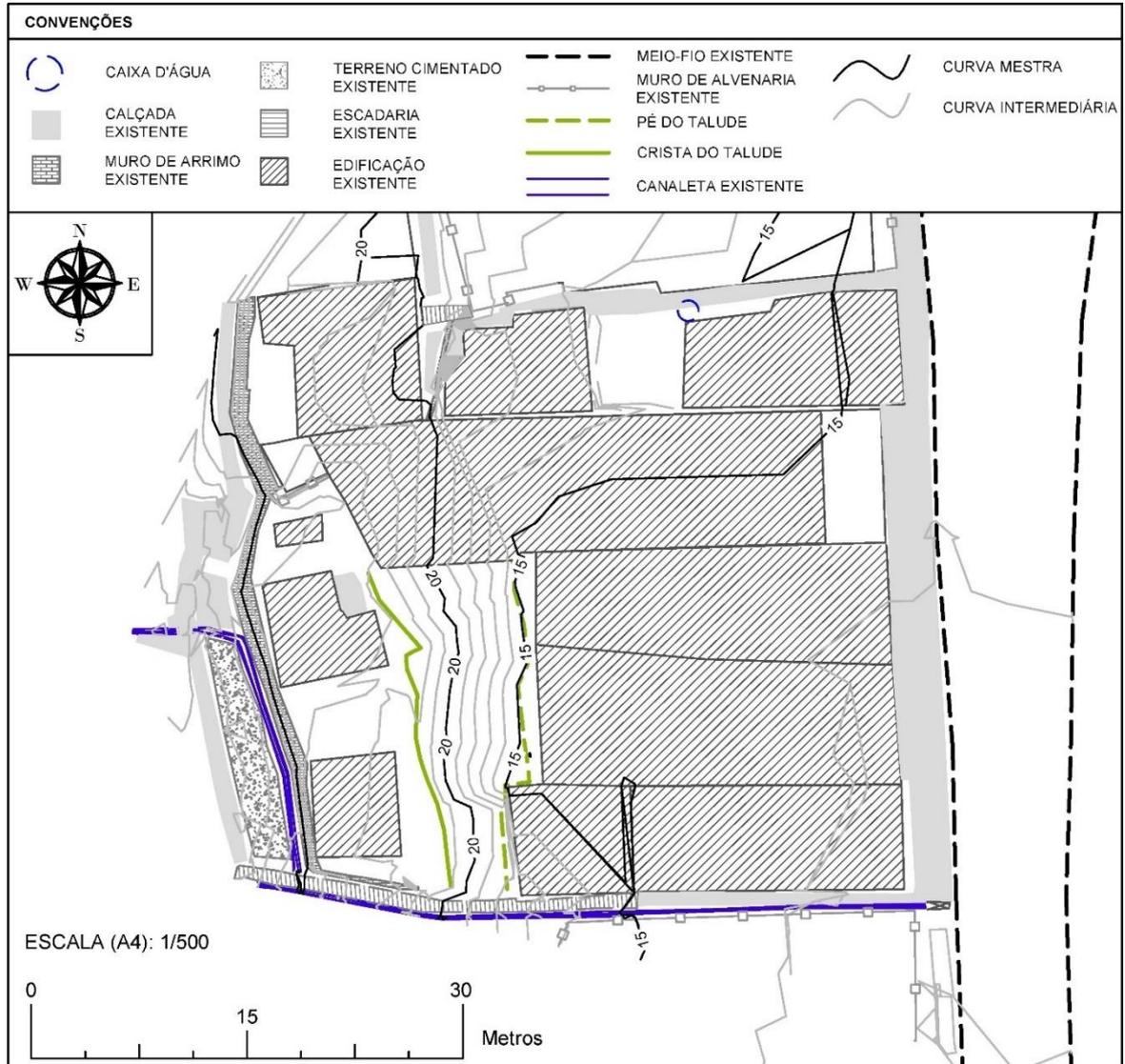
Fonte: Engeconsult Consultores Técnicos Ltda. (2024)

### 3.1.3. Levantamento topográfico cadastral

Com base nos dados da empresa Engeconsult e serviços terceirizados pela empresa, o levantamento planialtimétrico pôde fornecer dados de elevações do terreno a partir da coleta de 709 pontos com elevação e coordenadas no sistema de projeção universal de Mercator no fuso 25 sul, sistema de referência SIRGAS 2000. Além disso, a topografia cadastral apresentou

delimitações de propriedades, rua, localização elementos existentes, como: muros, contenção de encosta, escadarias, canaletas, entre outros elementos que podem ser observados na Figura 5.

Figura 5: Planta planialtimétrica e cadastro da região de estudo



Fonte: Engeconsult Consultores Técnicos Ltda. (2024).

Na tabela abaixo é possível observar dados compilados acerca do levantamento planialtimétrico.

Tabela 1: Dados processados do levantamento planialtimétrico

Descrição	Tipo	Quantidades
Pontos levantados pela topografia fornecendo coordenadas geográficas e altitude	Pontos de amostragem	709 un.
Locais com definição dos limites físicos de construções dentro de uma determinada área através de vetorização de ortofotomosaico ou informações de campo	Canaletas	70.78 m
	Calçada	241.95 m <sup>2</sup>
	Caixa d'água	1 un.
	Edificações	10 un.
Áreas de superfície obtidas através de resultados de interpolação TIN ou delimitação manual de levantamento de campo	Área 2D total levantada	4780.50 m <sup>2</sup>
	Área 3D total levantada	5373.02 m <sup>2</sup>
	Área 2D de talude p/ implantação de contenção	172.02 m <sup>2</sup>
	Área 3D de talude p/ implantação de contenção	236.90 m <sup>2</sup>

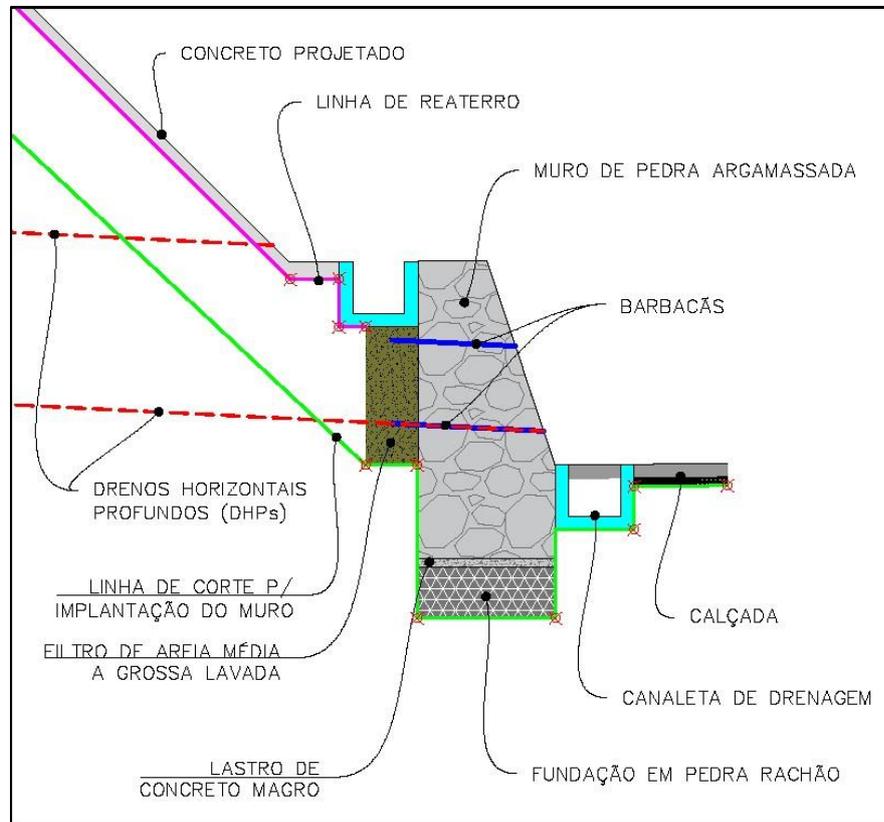
Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 3.1.4. Modelo de Contenção

O modelo de contenção que este trabalho tem como intuito de desenvolver e posteriormente analisar, consiste em um muro de gravidade de pedra argamassada com revestimento dos taludes em estrutura de concreto projetado. Neste trabalho, não se pretende realizar o dimensionamento detalhado dessa contenção, uma vez que não há intenção de aprofundar-se na análise e dimensionamento geotécnico. No entanto, busca-se trabalhar com

elementos essenciais desse tipo de estrutura, visando compreender e simular aspectos fundamentais para sua execução (Figura 6).

Figura 6: Elementos da seção tipo da contenção a ser modelada



Fonte: Elaboração própria (2024).

### 3.2. Metodologia

A metodologia adotada abrange uma explicação e aplicação detalhada das funcionalidades do software Civil 3D, explorando suas capacidades para modelagem geométrica, representação tridimensional e agregação de dados no modelo de contenção a ser desenvolvido. A ênfase está na integração de dados topográficos, características geotécnicas, parâmetros de projeto e análise de desempenho do modelo.

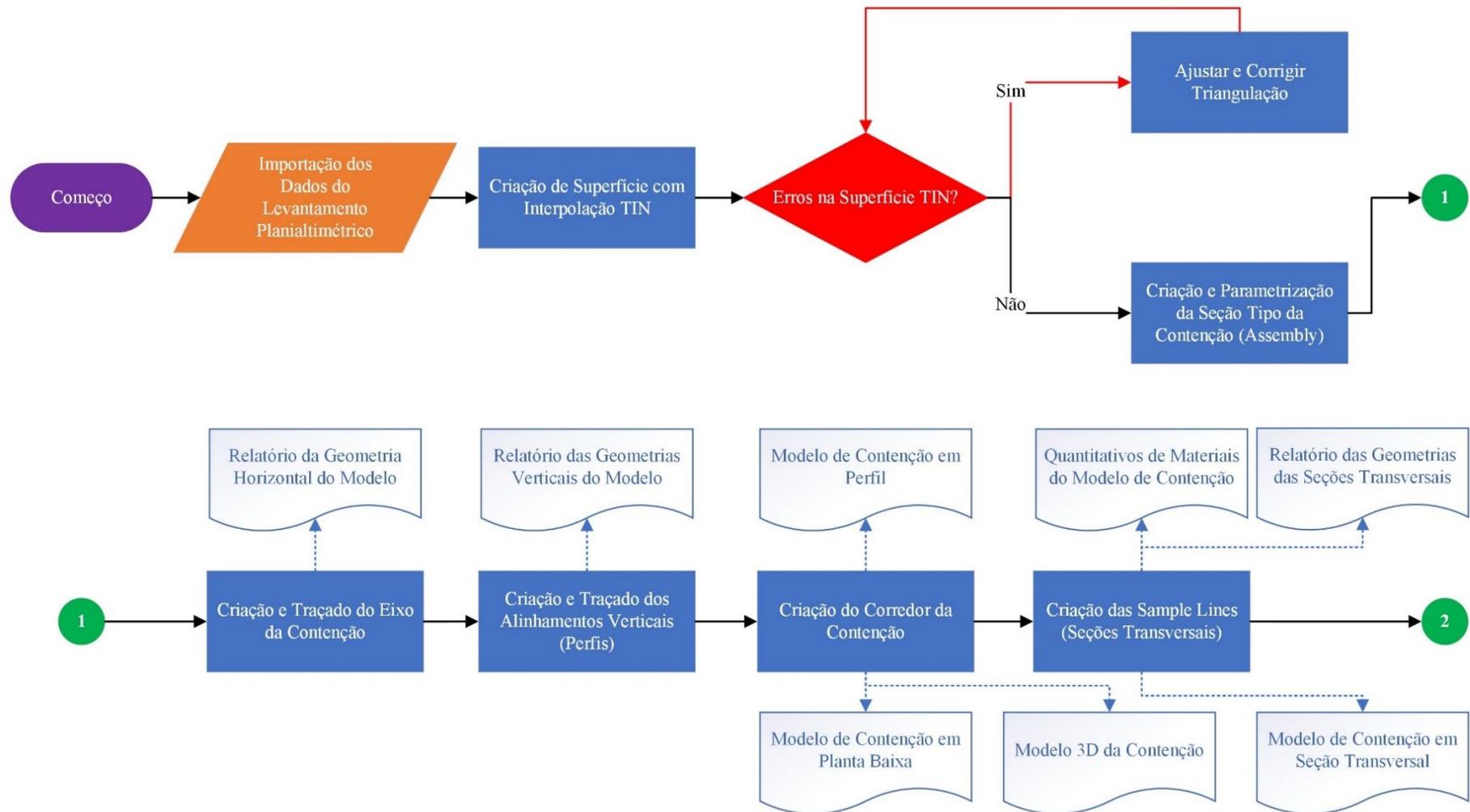
A metodologia proposta neste estudo aborda não apenas a criação do modelo BIM da estrutura de contenção, mas também apresenta estratégias para avaliar o resultado dessa modelagem. Esta avaliação será conduzida por meio do aumento da frequência de repetição do *assembly* e, a partir disso, a análise da variação dos resultados de cálculo dos quantitativos de

materiais, utilizando o método de cálculo de volumes da área média. Por fim, será feita a validação do modelo BIM via transferência em IFC para o software *Navisworks* e verificação superficial na existência de erros dessa transferência do modelo.

### 3.2.1. *Fluxo metodológico*

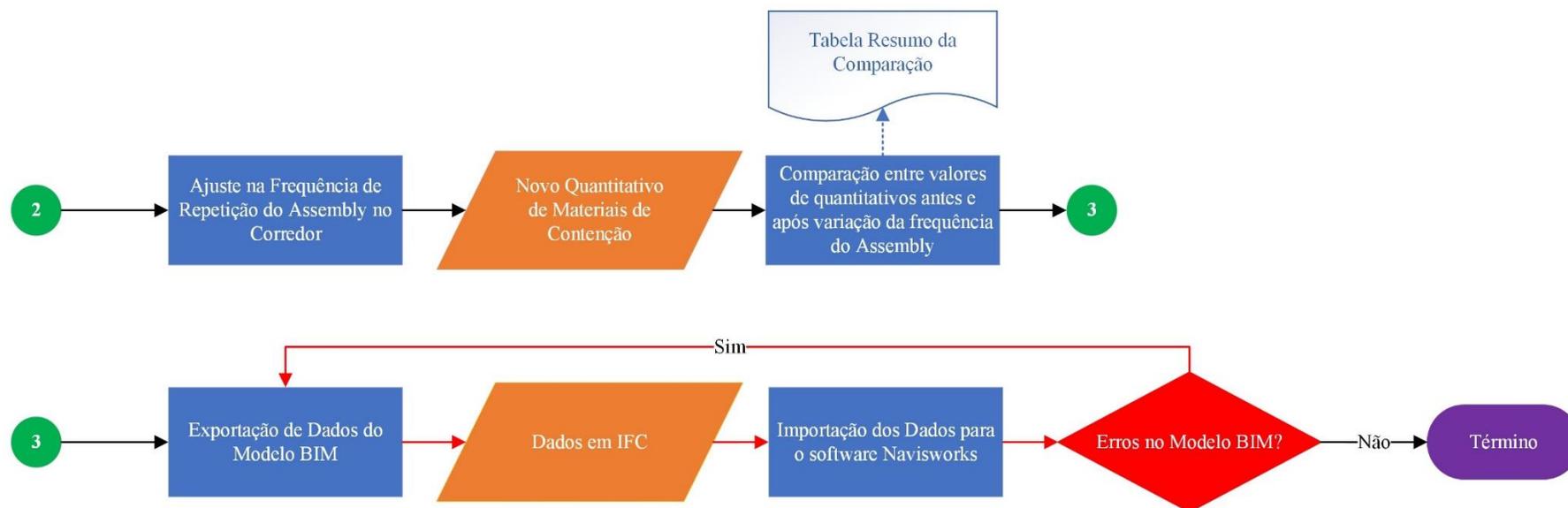
A metodologia deste estudo apresenta um fluxograma que representa as etapas essenciais na concepção da modelagem de estrutura de contenção usando o software AutoCAD Civil 3D. Este fluxograma integra diferentes fases do trabalho, desde a importação inicial dos dados planialtimétricos até a avaliação dos resultados. A disposição das etapas segue uma sequência lógica, fornecendo uma visão clara e objetiva do processo. A Figura 7 e Figura 8 complementam esta introdução ao processo metodológico, facilitando a compreensão do leitor sobre o procedimento adotado no estudo.

Figura 7: Fluxograma de desenvolvimento do trabalho (Parte 1)



Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 8: Fluxograma de desenvolvimento do trabalho (Parte 2)

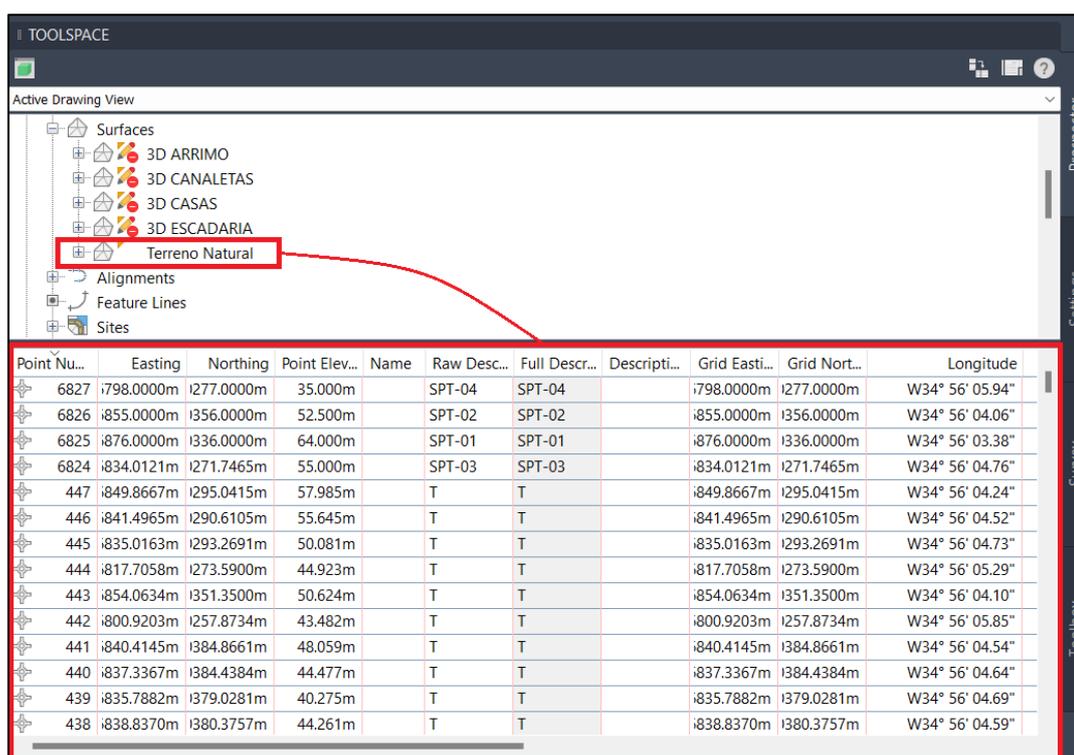


Fonte: Elaboração própria (2024)

### 3.2.2. Criação e uso de surfaces

No software de modelagem utilizado, uma superfície é uma representação tridimensional de uma área de terreno ou de uma superfície projetada (Cardoso; Frazillio, 2016). A superfície do terreno natural deste estudo será composta por uma série de pontos de obtidos no levantamento planialtimétrico realizado em campo. Os dados referentes a esses pontos foram obtidos por uma empresa contratada pela Engeconsult e disponibilizados com a devida permissão para serem utilizados neste estudo.

Figura 9: Visualização em tabela dos pontos de amostra que compõem a superfície do terreno



Point Nu...	Easting	Northing	Point Elev...	Name	Raw Descr...	Full Descr...	Descripti...	Grid Easti...	Grid Nort...	Longitude
6827	798.0000m	1277.0000m	35.000m	SPT-04	SPT-04			798.0000m	1277.0000m	W34° 56' 05.94"
6826	855.0000m	1356.0000m	52.500m	SPT-02	SPT-02			855.0000m	1356.0000m	W34° 56' 04.06"
6825	876.0000m	1336.0000m	64.000m	SPT-01	SPT-01			876.0000m	1336.0000m	W34° 56' 03.38"
6824	834.0121m	1271.7465m	55.000m	SPT-03	SPT-03			834.0121m	1271.7465m	W34° 56' 04.76"
447	849.8667m	1295.0415m	57.985m	T	T			849.8667m	1295.0415m	W34° 56' 04.24"
446	841.4965m	1290.6105m	55.645m	T	T			841.4965m	1290.6105m	W34° 56' 04.52"
445	835.0163m	1293.2691m	50.081m	T	T			835.0163m	1293.2691m	W34° 56' 04.73"
444	817.7058m	1273.5900m	44.923m	T	T			817.7058m	1273.5900m	W34° 56' 05.29"
443	854.0634m	1351.3500m	50.624m	T	T			854.0634m	1351.3500m	W34° 56' 04.10"
442	800.9203m	1257.8734m	43.482m	T	T			800.9203m	1257.8734m	W34° 56' 05.85"
441	840.4145m	1384.8661m	48.059m	T	T			840.4145m	1384.8661m	W34° 56' 04.54"
440	837.3367m	1384.4384m	44.477m	T	T			837.3367m	1384.4384m	W34° 56' 04.64"
439	835.7882m	1379.0281m	40.275m	T	T			835.7882m	1379.0281m	W34° 56' 04.69"
438	838.8370m	1380.3757m	44.261m	T	T			838.8370m	1380.3757m	W34° 56' 04.59"

Fonte: Elaboração própria (2024).

Com a base de dados desses pontos obtidos pelo levantamento planialtimétrico convencional e a ferramenta de criação de superfícies do software AutoCAD Civil 3D, é feita a criação da superfície do terreno natural através da interpolação de TIN. Na Figura 13 é possível observar a disposição dos pontos de amostra, presentes nos vértices dos triângulos, que formam a superfície a as suas respectivas interligações pós-processamento da interpolação da ferramenta de criação de superfície.

A partir da malha obtida pela interpolação TIN, o software pode gerar curvas de nível, mapas de elevações, mapas de declividades e outras informações relevantes para o projeto de infraestrutura (Cardoso; Frazillio, 2016). Essas superfícies no AutoCAD Civil 3D terão utilidade para uma variedade de fins, incluindo cálculo de volumes de terra, criação de cortes e aterros, e visualização do terreno em diferentes perspectivas. Elas são uma parte fundamental do processo de projeto e serão frequentemente utilizadas em conjunto com outras ferramentas e funcionalidades do software para criar modelos e detalhes do ambiente natural.

Além das opções mencionadas anteriormente, o Civil 3D oferece uma variedade de ferramentas específicas de edição que permitem aos usuários criar e manipular superfícies de forma precisa. Através dessas ferramentas, foram feitos ajustes finos na geometria do terreno natural, como alterar a elevação dos pontos de amostragem, realizar ajustes automáticos ou manuais na interpolação de TIN (Triangular Irregular Network), eliminar pontos não representativos e adicionar ou remover novas linhas à malha triangular da superfície. O resultado dessas interações pode ser observado na Figura 14.

### 3.2.3. *Modos de visualização*

Do estudo da área de interesse à implementação da solução de contenção, os variados modos de visualização dos dados gráficos servirão como ferramentas facilitadoras na observação e ajustes relevantes à modelagem geotécnica. No ambiente do software utilizado, encontramos uma variedade de visualizações das geometrias envolvidas, classificadas em vista plana e tridimensional. Os subtópicos a seguir apresentam as características e funções principais dos modos de visualização mais relevantes.

#### 3.2.3.1. *Vista plana*

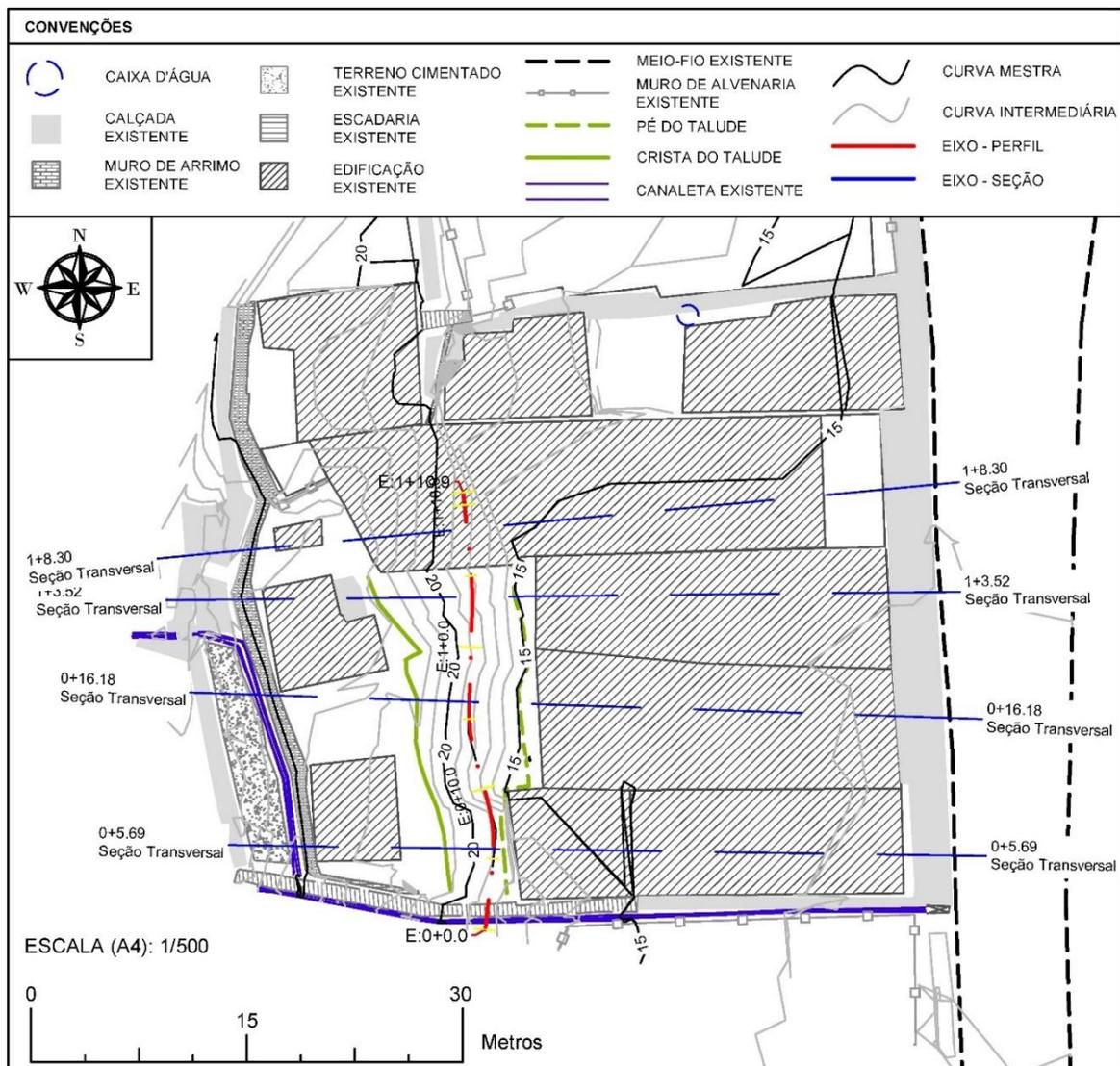
Oferece uma visualização bidimensional dos elementos de projeto, sem profundidade. É útil para a análise de detalhes específicos do desenho, como curvas de nível ou seções transversais. Entre os principais modos desse tipo de visualização estão a vista em planta, vista em perfil e vista em seção.

##### 3.2.3.1.1. *Vista em Planta*

Proporciona uma visão aérea do projeto, mostrando a disposição dos elementos no plano horizontal. É útil para avaliar a distribuição e o layout geral do projeto.

Todos os elementos que representam os limites cadastrados foram elaborados em conformidade com algumas diretrizes da NBR 6492:2021, norma que orienta a documentação técnica para projetos de arquitetura e urbanismo. O objetivo é proporcionar uma representação visual clara e distinta dos diversos tipos de limites cadastrados, seguindo uma lógica coerente de cores, espessuras e estilos de linha. Seguindo essa premissa, a Figura 10 ilustra a vista em planta da área de estudo abordada neste trabalho.

Figura 10: Representação em planta baixa do local de estudo e elementos geométricos de análise



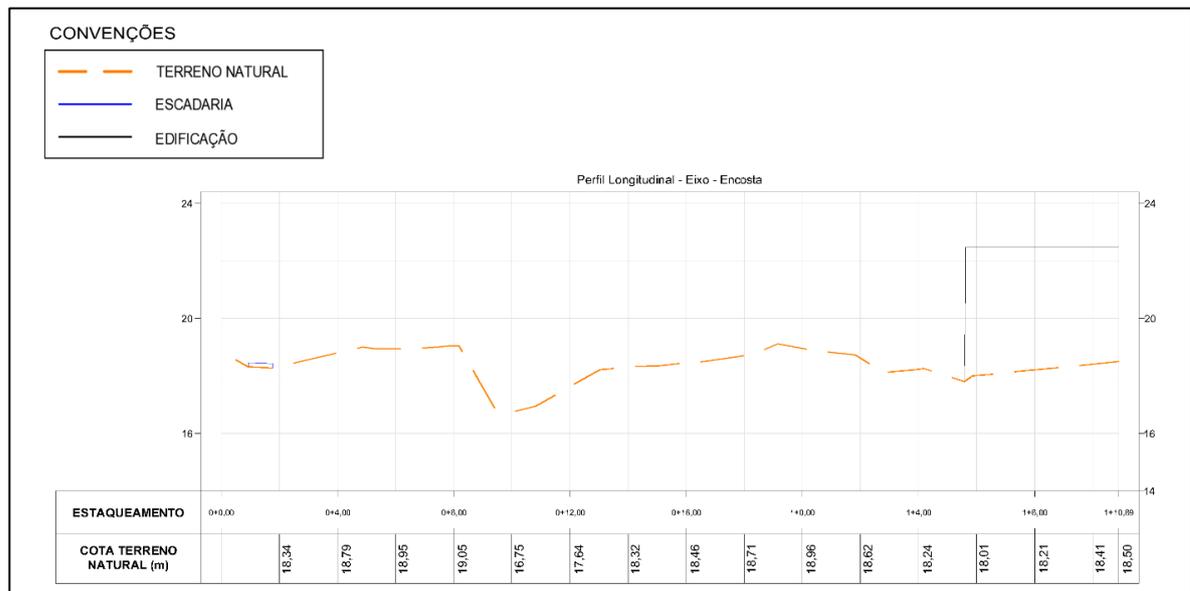
Fonte: Elaboração própria (2024).

### 3.2.3.1.2. Vista em perfil

Mostra uma seção transversal vertical do terreno e das estruturas ao longo de um alinhamento específico. É útil para avaliar as variações de elevação ao longo de uma determinada linha e criação dos greides de interesse à modelagem.

Na Figura 11 está representado um modelo de apresentação de perfil que será utilizado no desenvolvimento deste trabalho. O *template* do perfil longitudinal foi criado com base no modelo da empresa Engeconsult e será ajustado conforme a necessidade de apresentação dos resultados deste estudo. As escalas e régua estarão indicadas quando essas vistas forem apresentadas no tópico “Resultados”.

Figura 11: Vista em perfil do Eixo-Perfil apresentado na Figura 10



Fonte: Elaboração própria (2024).

### 3.2.3.1.3. Vista em seção

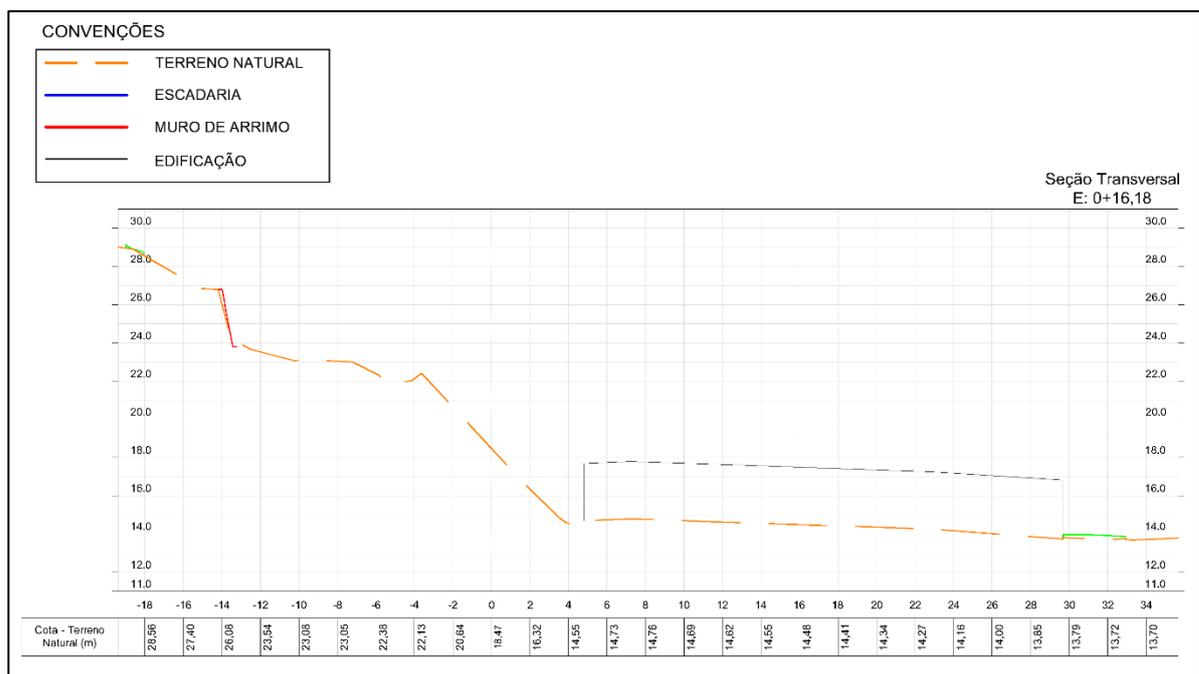
Similar à vista em perfil, mas exibe uma seção transversal em um determinado ponto do alinhamento. É uma ferramenta útil para examinar a geometria e as características do terreno em locais específicos. Além disso, no software Civil 3D, as seções transversais serão ferramentas fundamentais para cálculo dos volumes de materiais envolvidos da execução da contenção.

O uso desse modo de visualização será amplamente utilizado para representar as seções de terraplenagem e de locação da contenção. No tópico “Sample lines” será discutido

em detalhes a forma de criação dessas seções, assim como seu uso no cálculo do volume de materiais.

Na Figura 12 está representado um modelo de seção que será utilizado no desenvolvimento deste trabalho. O *template* de seção foi criado com base no modelo de seção transversal da Engeconsult e será ajustado conforme a necessidade de apresentação dos resultados deste estudo. As escalas e réguas estarão indicadas nessas vistas quando forem apresentadas no tópico “Resultados”.

Figura 12: Vista da seção no estaqueamento 0+16,18 do Eixo-Perfil apresentado na Figura 10



Fonte: Elaboração própria (2024).

### 3.2.3.2. Vista tridimensional

O modelo 3D demonstra os elementos existentes e projeto de infraestrutura em três dimensões, permitindo que seja feita uma visualização das superfícies, alinhamentos, corredores, redes de tubulação, entre outros elementos, de forma mais realista (Cardoso; Frazillio, 2016). Diferentemente das visualizações bidimensionais, o modelo 3D oferece profundidade e perspectiva, o que proporciona uma compreensão mais intuitiva da geometria e do layout do projeto.

No ambiente do Civil 3D é possível manipular e interagir com o modelo 3D, girando, ampliando e movendo a visualização para obter diferentes ângulos e perspectivas. Isso permite uma análise mais detalhada e uma melhor compreensão do projeto. Além disso, o modelo 3D

permite a edição geométrica dos elementos apresentados e adicionar detalhes visuais realistas, como texturas, cores e sombras, proporcionando uma representação mais fiel e atraente do projeto.

Dentre os modos de visualização tridimensional no software utilizado, para este estudo, a ênfase estará no uso dos modos *wireframe* e a renderização simplificada conceitual.

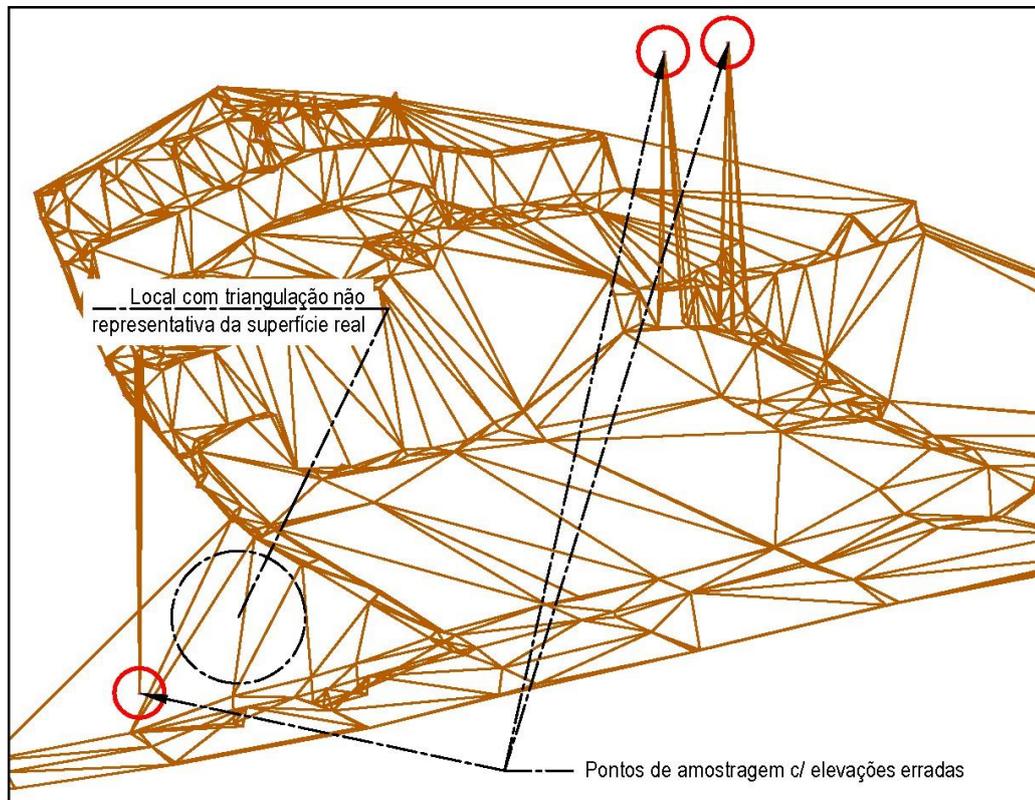
#### 3.2.3.2.1. *Modo de visualização wireframe*

O modo *wireframe* no Civil 3D desempenha um papel significativo ao fornecer uma representação simplificada do modelo tridimensional, mostrando apenas os contornos e linhas de contorno dos objetos, sem texturas ou detalhes visuais adicionais. Ao eliminar elementos visuais extras, como texturas e cores, o modo *wireframe* direciona a atenção para a geometria do modelo, permitindo uma análise mais clara dos aspectos estruturais e de layout do projeto. Isso é especialmente útil durante a fase de design, onde a compreensão precisa da geometria é essencial para tomar decisões informadas.

Além disso, o modo *wireframe* consome menos recursos de processamento gráfico do computador em comparação com modos de visualização mais detalhados. Isso resulta em um desempenho mais eficiente, especialmente ao lidar com modelos complexos ou ao trabalhar em computadores menos potentes. A simplicidade do modo *wireframe* também facilita a edição e agilidade na manipulação de objetos no modelo.

Embora seja menos detalhado em comparação com outros modos de visualização, esse modo de perspectiva ainda é valioso para certas análises e avaliações. Por exemplo, na análise da superfície interpolada pelo software Civil 3D, observou-se facilmente a presença de erros na interpolação devido a presença de pontos com elevações falsas fornecida pelos dados de levantamento planialtimétrico de campo. Na Figura 13 está exemplificada essa situação.

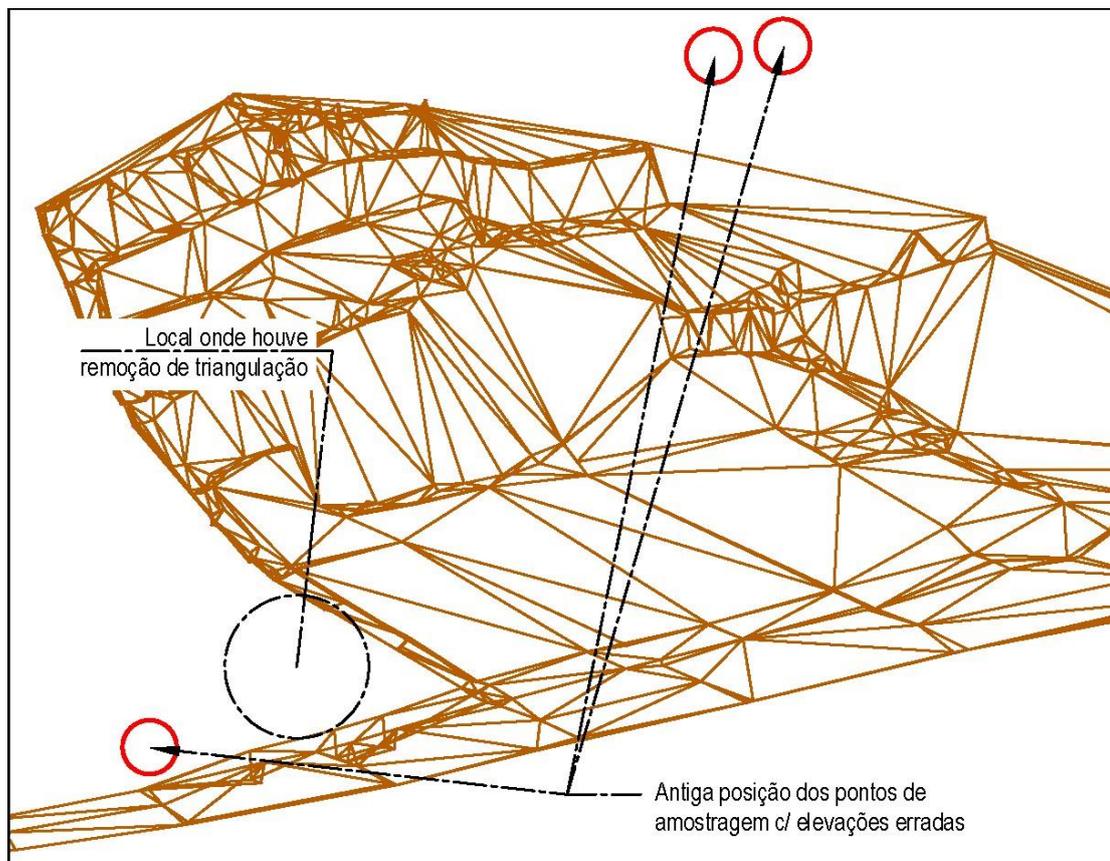
Figura 13: Observação de pontos e triangulações falsas através do modo de visualização em perspectiva wireframe



Fonte: Elaboração própria (2024)

A partir dessa observação, pontos com informações inconsistentes foram então removidos da base de dados da superfície interpolada. Além disso, identificou-se condições não existentes que foram erroneamente indicadas no resultado da interpolação TIN, resultantes da falta de pontos intermediários. Isso levou à interpolação entre pontos distantes, resultando na triangulação de uma superfície inclinada em um local que deveria ser plano, conforme apontamento de informações de campo. Os resultados desses ajustes podem ser observados na perspectiva da Figura 14.

Figura 14: Superfície de estudo após correção de observações indicadas na Figura 13



Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 3.2.3.2.2. *Modo de visualização conceitual*

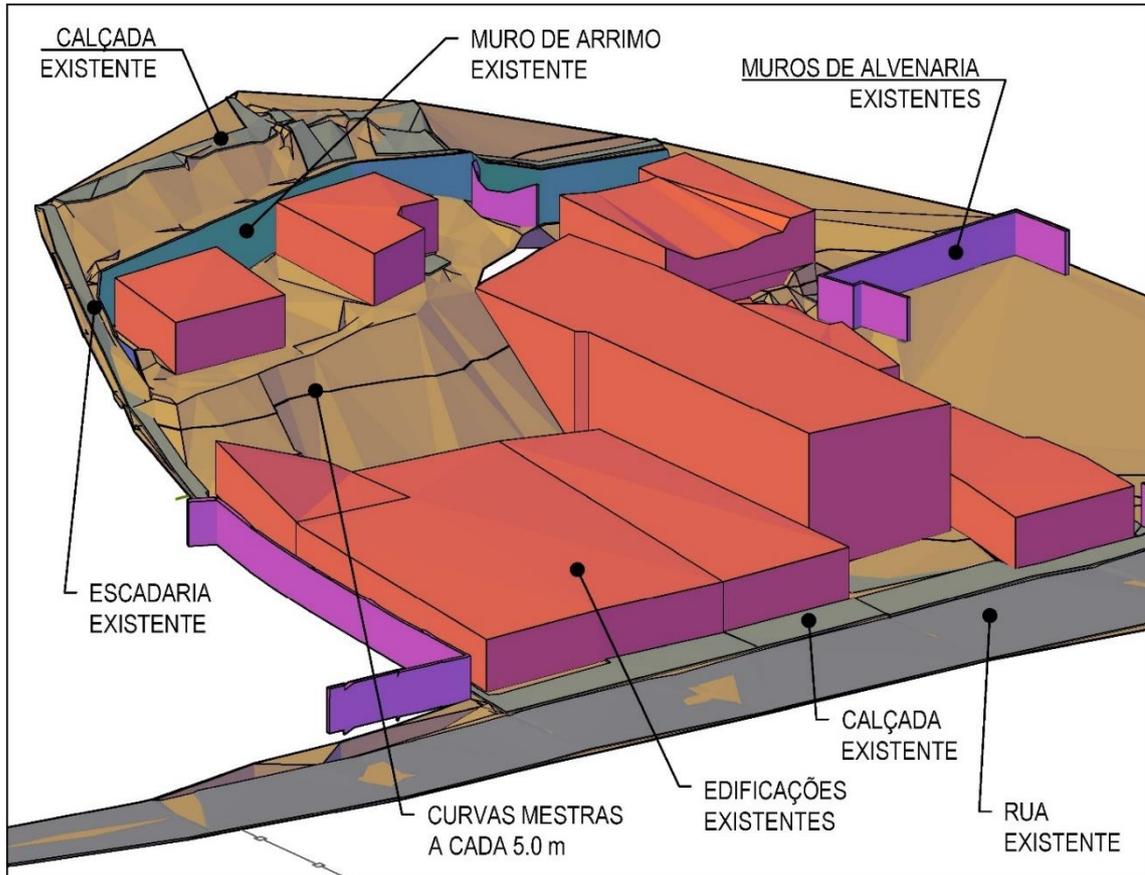
No Civil 3D, existem várias opções de modo de visualização que utilizam técnicas de renderização simplificada para representar o modelo de forma mais detalhada do que o modo *wireframe*, mas sem exigir os recursos intensivos de processamento de um renderizador completo. As principais opções disponíveis são: conceitual, sombreado e realista.

Neste trabalho, optou-se pelo uso do estilo conceitual, que se caracteriza por ser um modo de visualização que aplica uma representação estilizada ao modelo, destacando formas e contornos de uma maneira simplificada. É útil para visualizar o projeto de forma geral e para explorar ideias de design de uma forma mais expressiva, sem se preocupar com detalhes técnicos.

A Figura 15 exibe uma representação tridimensional conceitual da área mapeada pela topografia. Esta imagem inclui a superfície do terreno natural, interpolada através da técnica TIN (*Triangulated Irregular Network*), além de edificações existentes, muros e outras

infraestruturas locais. As estruturas foram representadas utilizando ferramentas de criação de superfície. Posteriormente, foi realizada a extrusão dessas superfícies, empregando elevações padrão correspondentes às características de cada estrutura.

Figura 15: Modo de perspectiva com renderização simples do local de estudo



Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 3.2.4. Ferramentas e método de modelagem da contenção

Nesta seção serão apresentadas as principais ferramentas de manipulação para o processo de desenvolvimento da modelagem da contenção proposta na seção “Materiais” deste trabalho. O objetivo é exemplificar as funcionalidades de cada ferramenta através de descrição e exemplificações em imagem, e sumarizar os seus procedimentos de aplicação.

### 3.2.4.1. Alinhamentos

No ambiente do Civil 3D, o alinhamento é um componente fundamental na modelagem de projetos de infraestrutura. Ele serve como guia para muitos elementos lineares do projeto (Cardoso; Frazillio, 2016).

Neste trabalho o uso de alinhamentos servirá como parâmetro de controle das elevações e eixo longitudinal da contenção. Para isto, serão trabalhados os alinhamentos horizontais e verticais.

#### 3.2.4.1.1. Alinhamentos horizontais

O alinhamento horizontal é uma representação gráfica de uma rota a partir de uma vista superior. Ele é composto por uma série de segmentos de linha reta, arcos e espirais, que são unidos para formar uma única entidade (Cardoso; Frazillio, 2016). O processo de desenho de um alinhamento horizontal começa com a definição de um ponto inicial e um ponto final. Em seguida, os segmentos de linha reta, arcos e espirais são adicionados sequencialmente para formar o caminho desejado.

As curvas tem a função de suavizar a transição entre segmentos de linha reta. No Civil 3D, as curvas podem ser criadas automaticamente durante o processo de desenho do alinhamento ou podem ser adicionadas manualmente após o desenho do alinhamento, seja horizontal ou vertical.

Como referência para a criação desse eixo, serão utilizadas as curvas de nível do terreno natural, as possíveis interferências no local de implantação da contenção (casas, canaletas, escadaria, etc) e a consideração do ponto de origem do *assembly* da contenção, que no caso é o pé do muro de gravidade. A Figura 16 demonstra o alinhamento que servirá de eixo da contenção traçado com linha espaçada e em vermelho. Os rótulos vinculados a esse alinhamento, apresentados na figura abaixo, representam pontos de início do eixo, início de curva, fim de curva e fim do eixo.

Figura 16: Alinhamento horizontal para eixo da contenção



Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 3.2.4.1.2. Alinhamentos verticais

O alinhamento vertical, também conhecido como perfil, é uma representação gráfica da elevação ao longo do alinhamento horizontal (Cardoso; Frazillio, 2016). Ele é geralmente exibido como uma linha contínua que mostra as mudanças de elevação ao longo do caminho. O perfil é criado a partir de um alinhamento horizontal existente e um conjunto de dados de superfície.

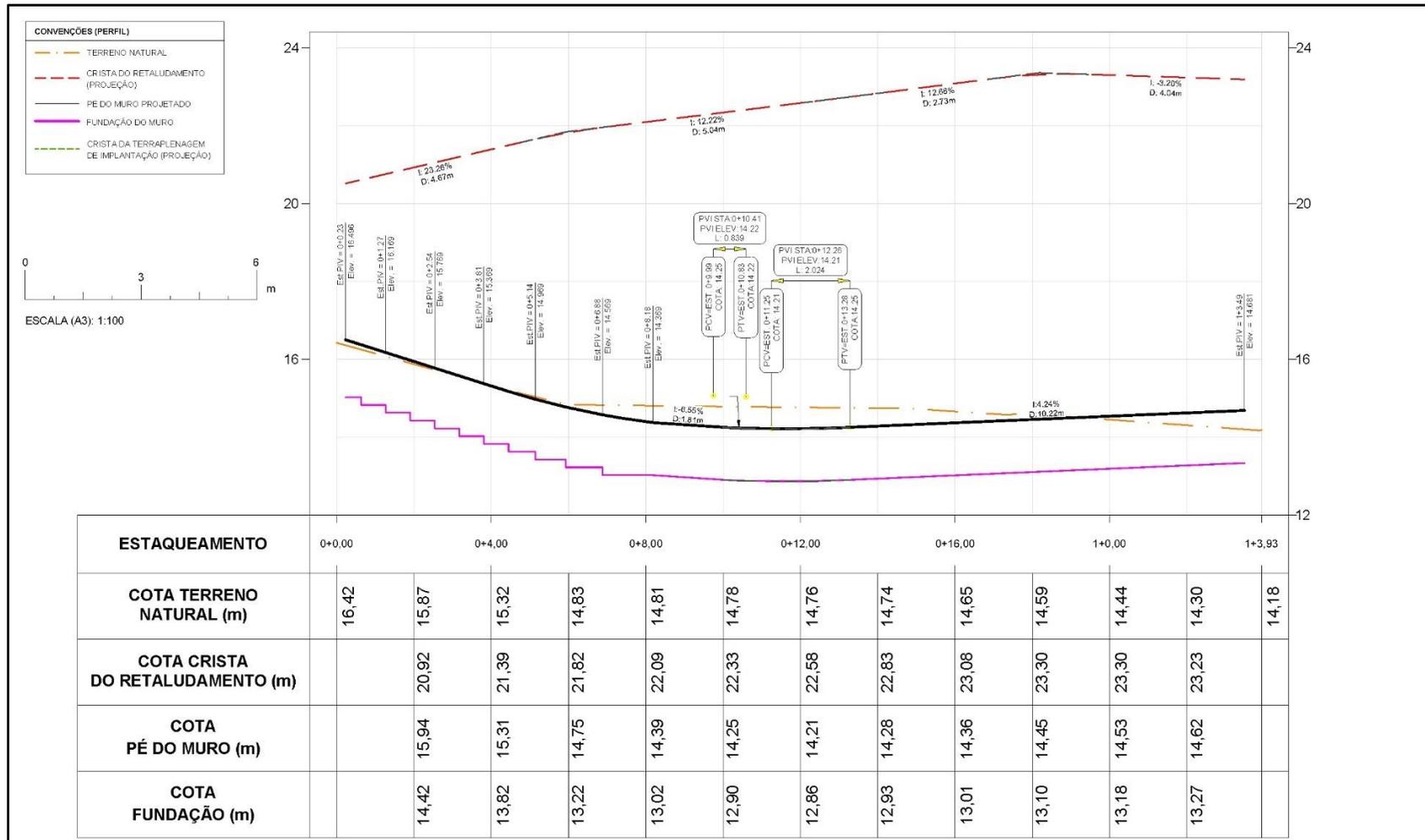
Da mesma forma que o alinhamento horizontal, os perfis que foram utilizados no *assembly* da contenção também tiveram seus parâmetros de geometria controlados. Os critérios adotados incluíram um traçado com uma variação de elevação minimizada, declividades pouco acentuadas e curvas suaves. Isso resultou na redução da necessidade de realizar cortes e aterros extensos, o que não apenas diminuiu a interferência na estabilidade do terreno, mas também pode contribuir para a redução significativa dos custos associados à obra.

O controle das elevações e geometria do perfil é definido através de PVIs (Pontos de Interseção Vertical), que são pontos ao longo do perfil onde a inclinação muda (Cardoso; Frazillio, 2016). Eles são usados para definir a forma do perfil. A criação de PVIs é um processo iterativo que envolve a adição, remoção ou ajuste de PVIs para obter o perfil desejado. A partir

da locação desses PVIs, foram feitas suavizações no greide com a criação de curvas nesses pontos.

Na Figura 17 está demonstrado numa vista em perfil os greides que definirão as elevações de determinados componentes da solução de contenção. No tópico da criação do corredor, será detalhado o procedimento de utilização desses perfis para controle da geometria da solução de contenção.

Figura 17: Perfil longitudinal simplificado do eixo da contenção



Fonte: Elaboração própria (2024)

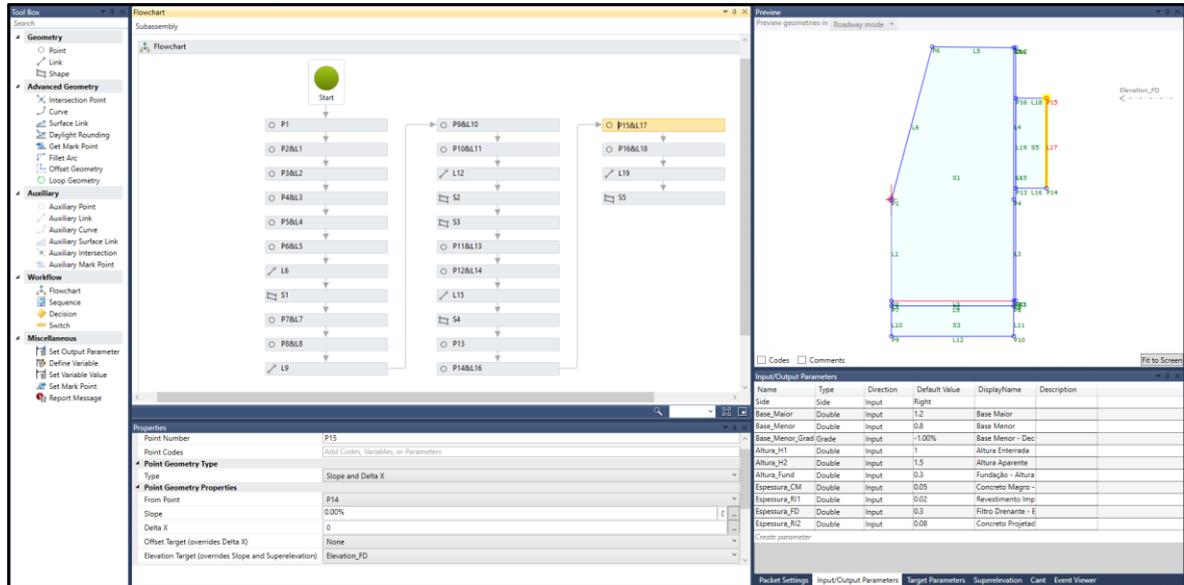
### 3.2.4.2. Criação e definição das propriedades do *assembly* da contenção

O *assembly*, no contexto software Civil 3D, é uma peça que descreve a geometria e as características de uma determinada infraestrutura ou elemento de projeto, como estradas, taludes, canais de drenagem, entre outros (Cardoso; Frazillio, 2016). Em resumo, trata-se de uma representação parametrizada e altamente flexível, que permite a criação e modificação de elementos modelados de forma dinâmica.

A funcionalidade do *Assembly* reside na sua capacidade de reunir uma série de subcomponentes em uma única entidade, facilitando a modelagem e a edição de infraestruturas complexas. Cada subcomponente do *assembly* — *subassemblies* — pode ser configurado com base em parâmetros específicos, como largura, altura, inclinação, entre outros, o que proporciona muita personalização e adaptabilidade às necessidades do modelo da estrutura proposta. Essa representação, que pode ser dita como seção tipo, e será empregada com as características da contenção já apresentada no tópico “Modelo de Contenção”.

O menu ilustrado na Figura 18, situada logo abaixo, representa a interface de criação das regras das propriedades geométricas do *subassembly* no Civil 3D, o *subassembly composer*. Esta interface permite um controle abrangente sobre a geometria da seção em questão, incluindo a criação de pontos, *links*, *targets* e *shapes*. Além disso, essas propriedades não são estáticas, elas podem ser automatizadas e adaptadas com base em critérios de decisão específicos, dependências de posição entre pontos, uso de *targets*, incorporação de outros elementos geométricos auxiliares e o uso de expressões em VB (*Visual Basics*). Isso proporciona uma flexibilidade significativa no design do *subassembly*.

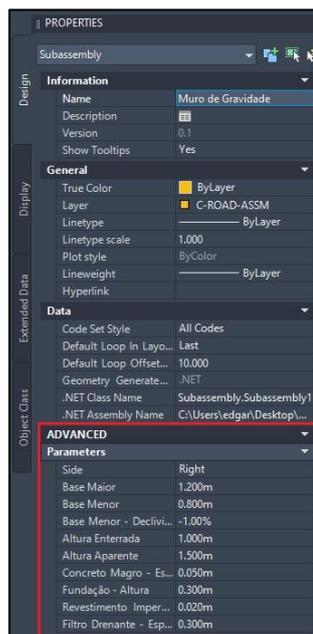
Figura 18: Criação do *subassembly* da modelagem no *subassembly composer* do Civil 3D



Fonte: Elaboração própria (2024)

Dentro da caixa indicada em vermelho no menu da Figura 19 é possível alterar, dentro do projeto, as inclinações, dimensões do *subassembly*, lado de inserção em relação à vertical, e o nome dos materiais de maneira que atualize dinamicamente os elementos da seção tipo. Esses campos de edição são criados dentro do ambiente do *subassembly composer* do AutoCAD Civil 3D.

Figura 19: Menu de edição das propriedades do *subassembly* no ambiente de projeto

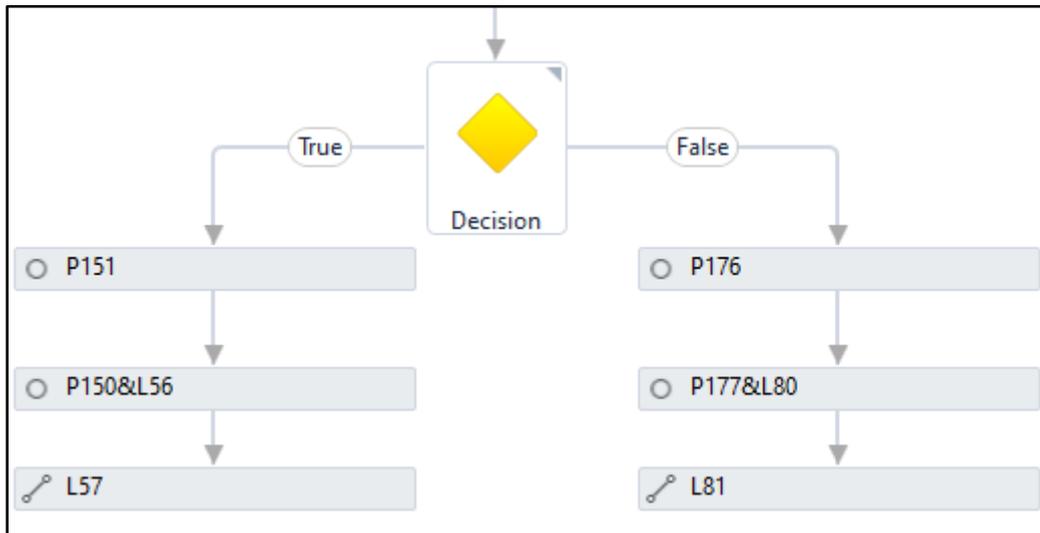


Fonte: Elaboração própria (2024)

O *assembly* utilizado na modelagem deste estudo, por ser um modelo parametrizado, apresentou uma grande quantidade de regras entre pontos e links, se utilizando de relações como: distância entre esses pontos, declividades, pontos de interseção, pontos auxiliares, *targets*, shapes e critérios de decisão para criação de pontos e *links*. Como ilustração de uma dessas regras de decisão, considere o seguinte: o modelo de seção determinará a criação de taludes de estabilização, seja de corte ou aterro, baseando-se na distância medida entre um ponto específico do modelo e a superfície do terreno natural (Figura 20).

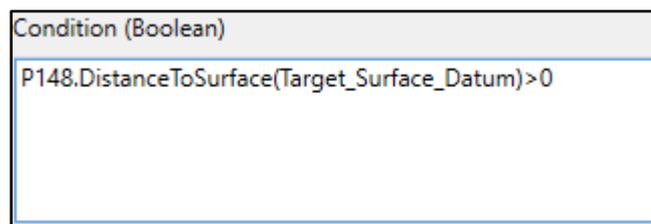
Esse critério foi possível com o uso da programação visual do *subassembly composer* e uma expressão simples em *Visual Basics* (Figura 21). A expressão em VB verifica se entre um determinado ponto do *subassembly* com relação a uma superfície definida no ambiente do projeto tem uma elevação relativa positiva ou negativa. A depender se a sentença é verdadeira ou falsa, a criação da geometria do talude em questão variará entre talude de corte ou talude de aterro.

Figura 20: Ambiente de programação visual do *subassembly composer* do AutoCAD Civil 3D



Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 21: Expressão em VB que verifica a relação de distância vertical entre ponto e superfície



Fonte: Elaboração própria (2024)

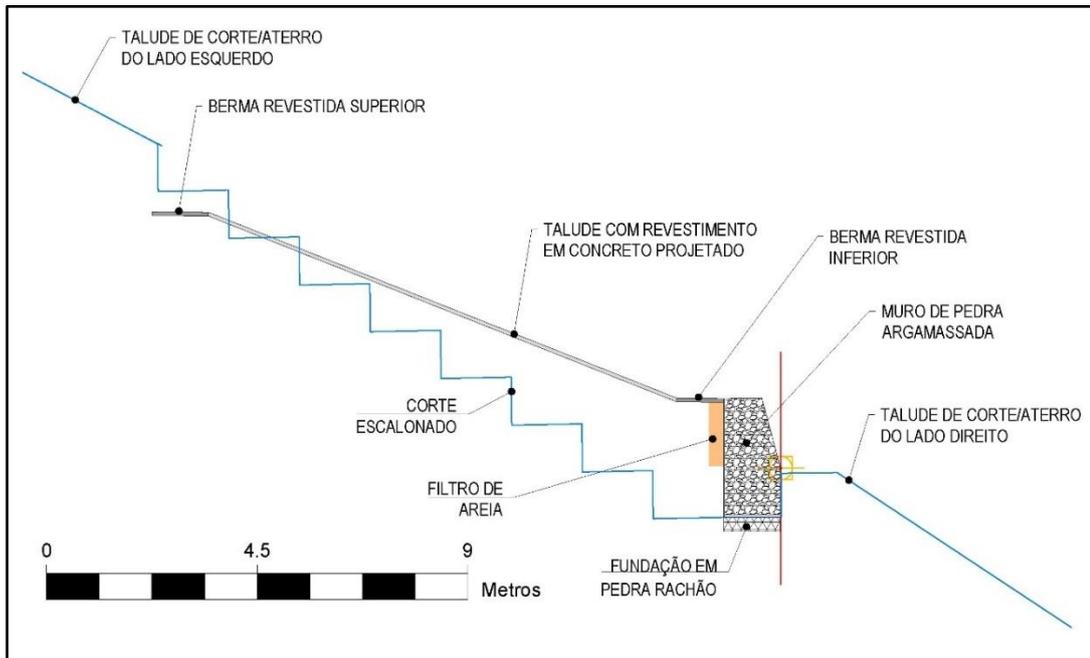
Após uma série de definição dos elementos de *subassembly* e imposição de regras nesse modelo de contenção (Figura 22), foi possível criar uma representação parametrizada da seção tipo a ser aplicada na modelagem deste trabalho (Figura 23). A qualidade do *Assembly* é fundamental para a precisão dos resultados da modelagem. Na prática, durante a execução de um projeto real, o assembly pode ser submetido a revisões conforme as necessidades específicas do projeto geotécnico.

Figura 22: Sequência de criação dos elementos do *subassembly* da contenção



Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 23: Assembly criado para a modelagem da contenção



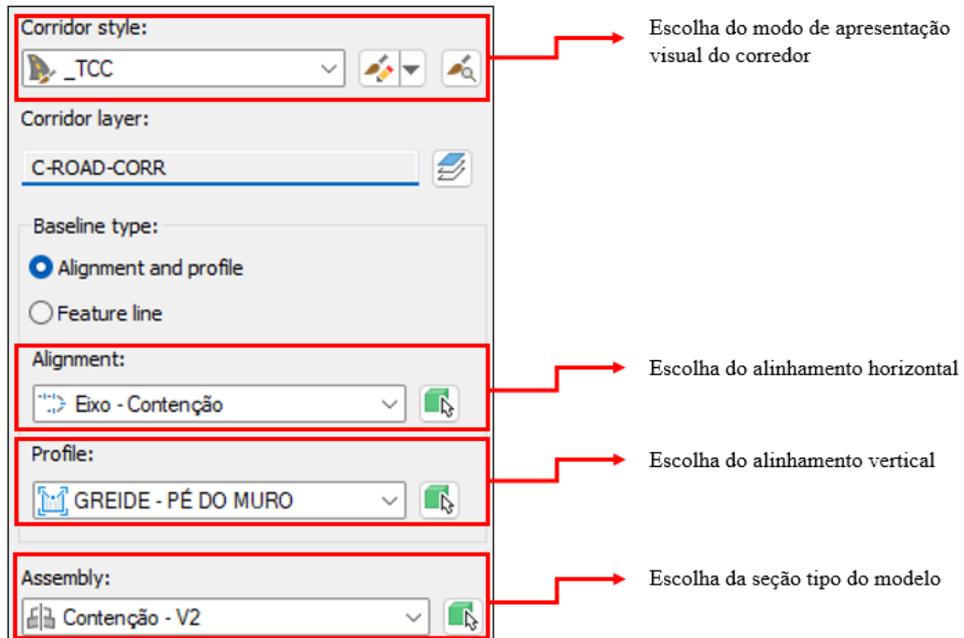
Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 3.2.4.3. Criação do Corredor

Corredores no Civil 3D representam uma metodologia avançada para a modelagem tridimensional de infraestruturas lineares (Cardoso; Frazillio, 2016). Neste trabalho, a criação de um corredor no Civil 3D envolveu a definição de um alinhamento horizontal e vertical, já visto em tópicos anteriores (Figura 16 e Figura 17), que representaram o trajeto da infraestrutura. Esse alinhamento é então associado ao *assembly* do projeto de contenção (Figura 23) que descreve a geometria da infraestrutura adotada em diferentes seções transversais.

O processo de criação do corredor envolve a repetição desses *assemblies* transversalmente ao longo do alinhamento e perfil, e são definidos conforme a Figura 24. Após a criação do corredor, é possível observar sua geometria ao longo do alinhamento horizontal dentro do espaço de modelagem e pode-se acessar e editar as configurações de suas propriedades (Figura 25), como por exemplo a frequência de repetição do *assembly* (Figura 26). O resultado do corredor é uma representação tridimensional da infraestrutura. Isso significa que o Civil 3D calcula e modela a geometria da infraestrutura em cada seção transversal ao longo do trajeto, levando em consideração as variações de terreno e os ajustes necessários para atender aos padrões de projeto.

Figura 24: Interface de criação do corredor e parâmetros de entrada



Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 25: Espaço de alterações das propriedades do corredor após criação

Name	Horizon...	Vertical ...	Assembly	Start Sta...	End Stat...	Frequen...	Target	Overrides
BL - Eixo - Contença...	Eixo - Co...	GREIDE - ...		0.00m	23.93m	...	...	...
RG - Contenção - ...			Contenç...	0.23m	13.50m	**Vari...	...	...
RG - Contenção - ...			Contenç...	13.50m	23.49m	**Vari...	...	...

Information Parameters Codes Feature Lines Surfaces Boundaries Slope Patterns

Add Baseline Set all Frequencies Set all Targets

Select region from drawing Lock Regions To: Geometry Locking

Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 26: Menu de ajuste da frequência de repetição do *assembly* com entrada de parâmetros utilizados na modelagem inicial

Property	Value
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Horizontal Baseline</b>	
Along tangents	5.000m
Along curves	At an increment
Curve increment	1.000m
Mid-ordinate distance to define curvature	0.100m
Along spirals	2.000m
At horizontal geometry points	Yes
At superelevation critical points	Yes
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Vertical Baseline</b>	
Along vertical curves	2.000m
At vertical geometry points	Yes
At high/low points	Yes
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Offset Target</b>	
At offset target geometry points	Yes
Adjacent to offset target start/end	Yes
Along offset target curves	At an increment
Curve increment	25.000m

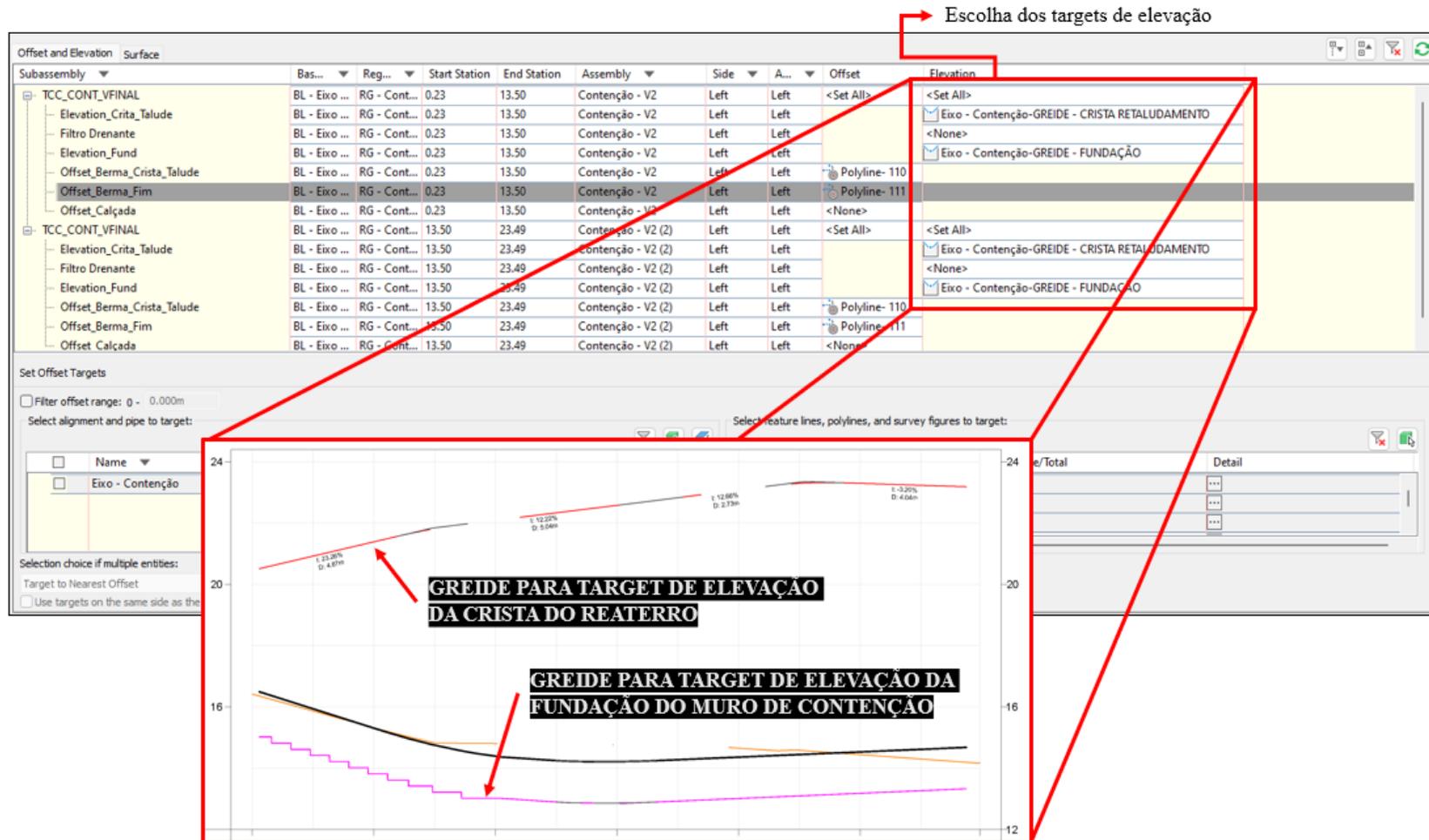
Fonte: Elaboração própria (2024)

Além disso, o corredor no Civil 3D oferece recursos avançados de controle de alinhamento e perfil, permitindo o ajuste da geometria do modelo em offsets e elevações através de *targets*; elementos geométricos com capacidade de alterar a forma de interação entre as seções tipo ao longo do alinhamento e, conseqüentemente, a forma do modelo 3D e suas informações (Cardoso; Frazillio, 2016). Isso será especialmente útil no projeto de contenção, onde é essencial garantir a conformidade com os padrões de projeto e desenvolver elementos estruturais com muitas variações nas seções transversais.

Os *targets* envolvidos na modelagem dessa contenção envolveram a criação de alinhamentos verticais, horizontais e o uso de superfícies. Logo abaixo, é demonstrado o uso dos alinhamentos verticais como *targets* de elevação para a crista do talude de reaterro e fundação do muro de contenção (Figura 27). Na Figura 28 é apresentada a implantação dos *targets* de *offset* na berma projetada situada no local mais elevado da contenção. Já na Figura 29 é utilizado em alguns pontos do *subassembly* de corte executivo de implantação da contenção – apelidado de “DATUM” – o *target* na superfície do terreno natural, no qual definirá a elevação dos taludes automáticos de corte ou de aterro (Figura 20) com base na declividade inserida nas propriedades do *subassembly* (Figura 19). Esse *target* de superfície eleva o talude de corte ou aterro até a intersecção da linha inclinada do *subassembly* com a superfície do terreno natural. O mesmo procedimento será adotado, após o reaterro, para os taludes de regularização do terreno na região de calçada, porém com *target* na superfície do terreno natural após a primeira

terraplenagem para implantação da contenção. A representação 3D da modelagem inicial do corredor pode observada na Figura 30.

Figura 27: Seleção de parâmetros dos targets de elevação do corredor modelado



Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 28: Seleção de parâmetros dos targets de offset do corredor modelado

Escolha de targets de offset

Subassembly	Bas...	Reg...	Start Station	End Station	Assembly	Side	A...	Offset	Elevation
TCC_CONT_VFINAL	BL - Eixo ...	RG - Cont...	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	<Set All>	<Set All>
Elevation_Crita_Talude	BL - Eixo ...	RG - Cont...	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	<None>	Eixo - Contenção-GREIDE - CRISTA RETALUDAMENTO
Filtro Drenante	BL - Eixo ...	RG - Cont...	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	<None>	<None>
Elevation_Fund	BL - Eixo ...	RG - Cont...	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	<None>	Eixo - Contenção-GREIDE - FUNDAÇÃO
Offset_Berma_Crista_Talude	BL - Eixo ...	RG - Cont...	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	Polyline-110	<None>
Offset_Berma_Fim	BL - Eixo ...	RG - Cont...	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	Polyline-111	<None>
Offset_Calçada	BL - Eixo ...	RG - Cont...	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	<None>	<None>
TCC_CONT_VFINAL	BL - Eixo ...	RG - Cont...	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	<Set All>	<Set All>
Elevation_Crita_Talude	BL - Eixo ...	RG - Cont...	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	<None>	Eixo - Contenção-GREIDE - CRISTA RETALUDAMENTO
Filtro Drenante	BL - Eixo ...	RG - Cont...	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	<None>	<None>
Elevation_Fund	BL - Eixo ...	RG - Cont...	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	<None>	Eixo - Contenção-GREIDE - FUNDAÇÃO
Offset_Berma_Crista_Talude	BL - Eixo ...	RG - Cont...	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	Polyline-110	<None>
Offset_Berma_Fim	BL - Eixo ...	RG - Cont...	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	Polyline-111	<None>
Offset_Calçada	BL - Eixo ...	RG - Cont...	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	<None>	<None>

Set Offset Targets

Filter offset range: 0 - 0.000m

Select alignment and pipe to target:

Name	Side
<input type="checkbox"/> Eixo - Contenção	No Side

Select feature lines, polylines, and survey:

Name
<input checked="" type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> 0 Apoio-TI
<input type="checkbox"/> 0 Cadastro Boca de Lobo

Selection choice if multiple entities:

Target to Nearest Offset

Use targets on the same side as the subassembly

Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 29: Seleção de parâmetros dos targets de superfície do corredor modelado

Offset and Elevation Surface

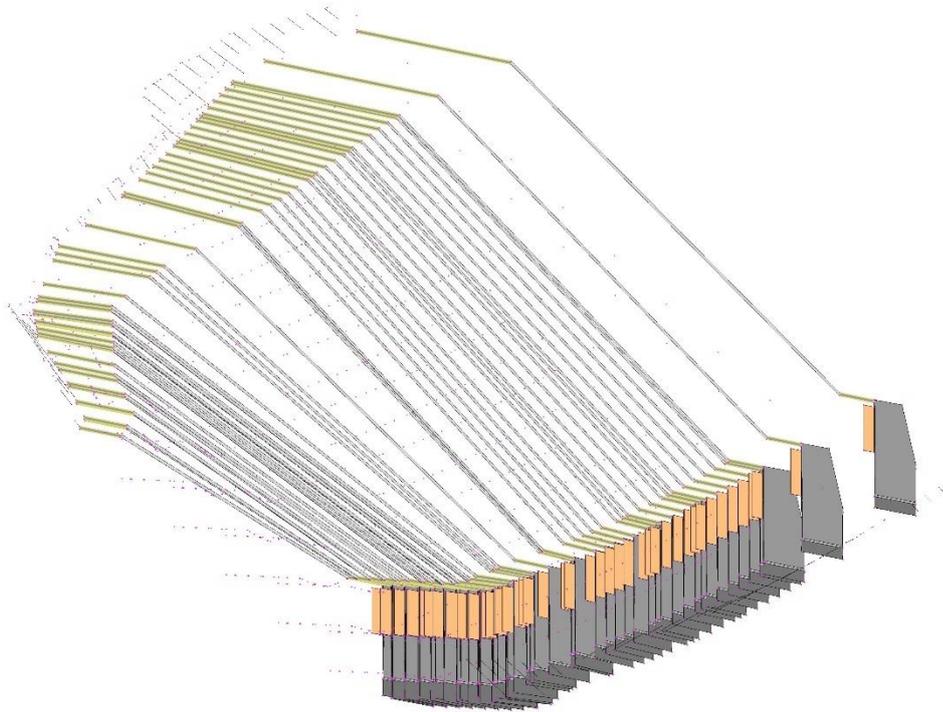
Select a surface for all surface targets: <Set All>

Escolha dos targets de superfície

Subassembly	Baseline	Region	Start Station	End Station	Assembly	Side	Assembly ...	Target
TCC_CONT_VFINAL	BL - Eixo - Contenção - (1)	RG - Contenção - V2 - (1)	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	<Set All>
Target_Surface_Calçada	BL - Eixo - Contenção - (1)	RG - Contenção - V2 - (1)	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	TN E DATUM 1
Target_Surface_Corte_Executivo	BL - Eixo - Contenção - (1)	RG - Contenção - V2 - (1)	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	TN
Target_Surface_Datum	BL - Eixo - Contenção - (1)	RG - Contenção - V2 - (1)	0.23	13.50	Contenção - V2	Left	Left	TN
TCC_CONT_VFINAL	BL - Eixo - Contenção - (1)	RG - Contenção - V2 (2) - (2)	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	<Set All>
Target_Surface_Calçada	BL - Eixo - Contenção - (1)	RG - Contenção - V2 (2) - (2)	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	TN E DATUM 1
Target_Surface_Corte_Executivo	BL - Eixo - Contenção - (1)	RG - Contenção - V2 (2) - (2)	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	TN
Target_Surface_Datum	BL - Eixo - Contenção - (1)	RG - Contenção - V2 (2) - (2)	13.50	23.49	Contenção - V2 (2)	Left	Left	TN

Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 30: Corredor da modelagem inicial (perspectiva da região inferior do corredor)



Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 3.2.4.4. *Sample lines*

As sample lines são utilizadas para indicar a posição das seções na vista em planta, as quais serão posteriormente representadas nos gráficos das seções transversais (Cardoso; Frazillio, 2016). A criação dessas linhas foi feita com base no alinhamento horizontal do eixo da contenção (Figura 16), a partir disso foram locadas utilizando interface de criação automática de sample lines (Figura 31) e, quando necessário, criadas manualmente selecionando o ponto de inserção no alinhamento horizontal.

Figura 31: Interface de criação das sample lines no alinhamento horizontal da contenção e parâmetros utilizados

Property	Value
<b>General</b>	
Alignment	Eixo - Contenção
<b>Station Range</b>	
From alignment start	True
Start Station	0.00m
To alignment end	True
End Station	23.93m
<b>Left Swath Width</b>	
Snap to an alignment	False
Alignment	Eixo - Contenção
Width	17.000m
<b>Right Swath Width</b>	
Snap to an alignment	False
Alignment	Eixo - Contenção
Width	5.000m
<b>Sampling Increments</b>	
Use Sampling Increments	True
Increment Relative To	Absolute Station
Increment Along Tangents	2.000m
Increment Along Curves	5.000m
Increment Along Spirals	10.000m
<b>Additional Sample Controls</b>	
At Range Start	True
At Range End	True
At Horizontal Geometry Points	False
At Superelevation Critical Stations	False

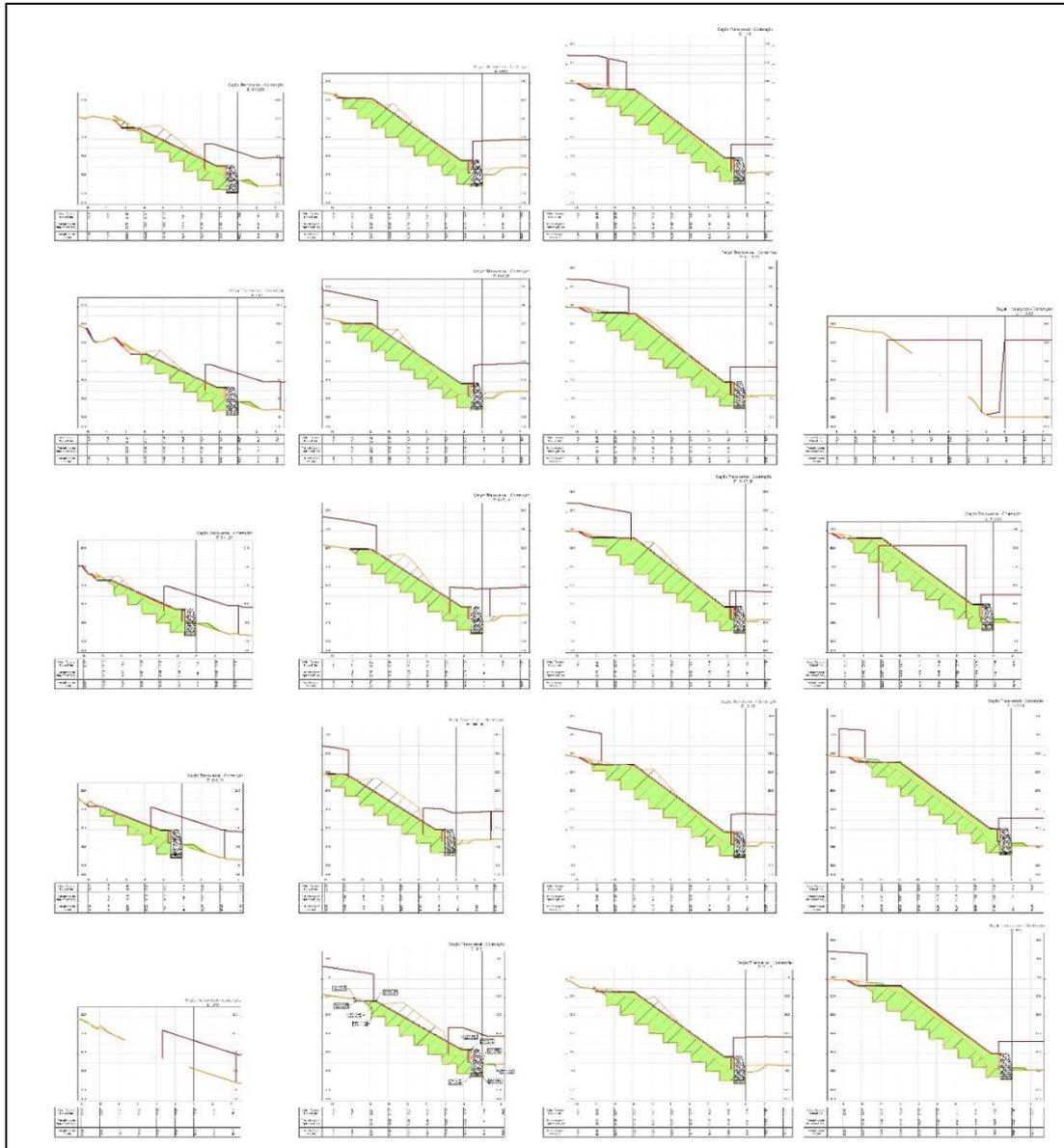
Fonte: Elaboração própria (2024)

Nos resultados desse trabalho serão apresentadas, em planta, a situação final da disposição dessas *sample lines*. A sua locação será realizada com base no estaqueamento do eixo da contenção (Figura 16).

#### 3.2.4.4.1. Seções Transversais

Com a criação das *sample lines*, é criado um grupo de seções transversais, com cada seção representando a vista em corte. Essas seções são dinâmicas e variam conforme alterações na posição das *sample lines* ou modificações nos elementos presentes na vista, como: terreno natural, corredores e elementos cadastrados pela planialtimetria cadastral.

Figura 32: Grupo de seções transversais vinculadas com as *sample lines* da modelagem de estudo



Fonte: Elaboração própria (2024)

Com base na criação dessas seções transversais, o programa pode calcular as áreas de interesse para aplicação do método de cálculo dos volumes. Além disso, ele é capaz de extrair relatórios das geometrias das seções em cada vista.

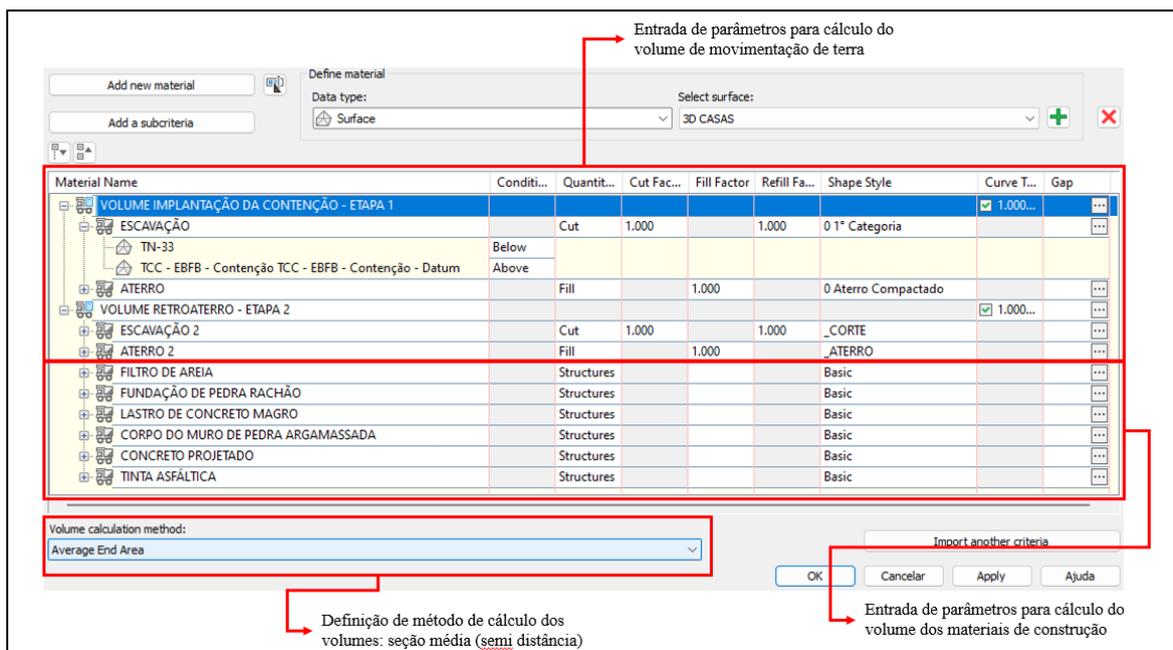
#### 3.2.4.4.2. Cálculo do volume de materiais para execução da contenção

Uma vez definidas as seções transversais, o software permite o processamento das áreas entre todas as superfícies inseridas na seção e as áreas delimitadas de cada segmento do

corredor (Cardoso; Frazillio, 2016). No que diz respeito ao cálculo dos volumes de terraplenagem, as áreas de interesse são as de corte e aterro, que representam a diferença entre o greide do terreno natural e o de terraplenagem. Para o cálculo dos volumes dos materiais utilizados na contenção, as áreas são delimitadas pelos formatos definidos durante a criação do *subassembly*, onde cada formato representa um tipo distinto de material empregado na modelagem.

Na interface de critérios para este cálculo, conforme ilustrado na Figura 33, é possível adicionar os materiais que serão computados, seja de movimentação de terra ou de estrutura modelada no programa. Além disso, é possível especificar o tipo de dado a ser inserido, o tipo de quantidade a ser calculada, o fator de empolamento e contração do solo, bem como os estilos de apresentação da área resultante.

Figura 33: Menu de seleção de parâmetros para cálculo dos volumes de materiais



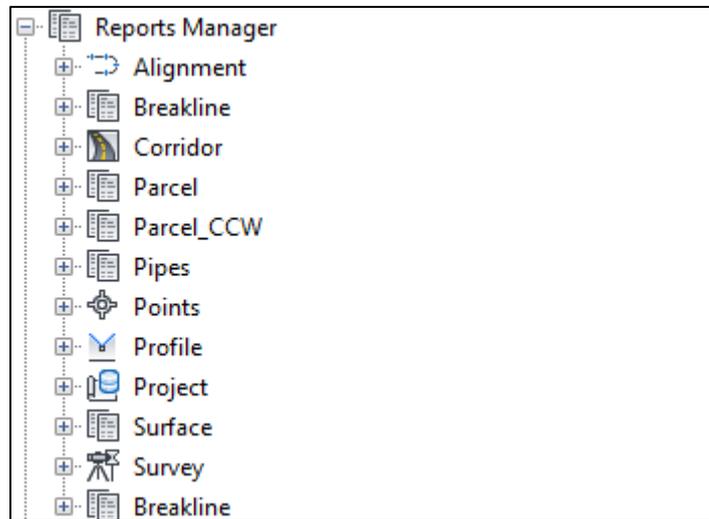
Fonte: Elaboração própria (2024)

### 3.2.4.5. Extração de relatórios e dados do modelo

A interface de relatórios do Civil 3D para modelos BIM é uma ferramenta robusta que facilita a coleta e análise de dados, tanto de elementos projetados quanto de componentes já existentes, como a topografia do terreno natural (Cardoso; Frazillio, 2016). Essa funcionalidade permite aos usuários extrair informações detalhadas e precisas, essenciais para a avaliação de

desempenho e a tomada de decisões informadas durante todas as fases do projeto de engenharia civil.

Figura 34: Reports manager do AutoCAD Civil 3D da Autodesk



Fonte: Elaboração própria (2024)

Neste trabalho foram utilizadas as opções de extração de dados para alinhamento, corredor e perfil. Através da interface é possível extrair esses dados nas extensões *HyperText Markup Language* (HTML) ou XLS do Excel.

### 3.2.5. Edição e avaliação do desempenho dinâmico da modelagem

Uma das principais vantagens dos corredores no Civil 3D é sua capacidade de automatizar e acelerar o processo de projeto. Ao eliminar a necessidade de modelagem manual em cada seção transversal, o software permite a criação de representações detalhadas da infraestrutura de forma rápida (Cardoso; Frazillio, 2016). Porém, é inevitável que surja a necessidade de alterações no projeto, seja por ajustes no dimensionamento, solicitações de outras disciplinas envolvidas no projeto de contenção ou pela melhoria no cálculo de materiais.

Essas modificações podem ser realizadas através de ajustes em geometrias de *subassemblies*, *targets*, eixo do corredor, parâmetros de cálculo do modelo dinâmico, entre várias outras variáveis do modelo. Por isso, este tópico irá propor uma forma de avaliação do desempenho do resultado da modelagem da contenção perante a mudança na frequência de repetição desse *assembly* ao longo do eixo longitudinal de modelagem.

### 3.2.5.1. Método de avaliação da variação da frequência de repetição do Assembly

A metodologia adotada neste tópico se concentra em uma abordagem baseada na observação e comparação dos dados quantitativos relacionados aos materiais de construção e movimentação de terra necessários para a implantação da contenção. O processo de avaliação inclui um aumento na frequência de repetição do *assembly* ao longo de seu eixo longitudinal (Figura 35), visando investigar se tal modificação resulta em uma diferença significativa no volume de material calculado. A escolha de aumentar a frequência de repetição do *Assembly* é fundamentada na necessidade de abordar possíveis lacunas na precisão dos cálculos e do modelo, buscando refinamentos que possam aprimorar a acurácia das estimativas de volume.

A utilização dessa abordagem permite uma comparação direta entre os resultados obtidos na modelagem inicial e final. Essa observação ocorrerá com o uso das mesmas seções transversais definidas pelas *sample lines* no modelo de estudo, porém, com maior refinamento do modelo na situação final (Figura 36).

Para a realização dos cálculos de volume, em ambos os cenários, será adotado o método das áreas média. Além disso, a escolha desse método se justifica pela sua aplicabilidade em ambientes de engenharia civil e pela sua capacidade de lidar suficientemente com geometrias complexas, a depender da quantidade de seções criadas (Antas *et al.*, 2010).

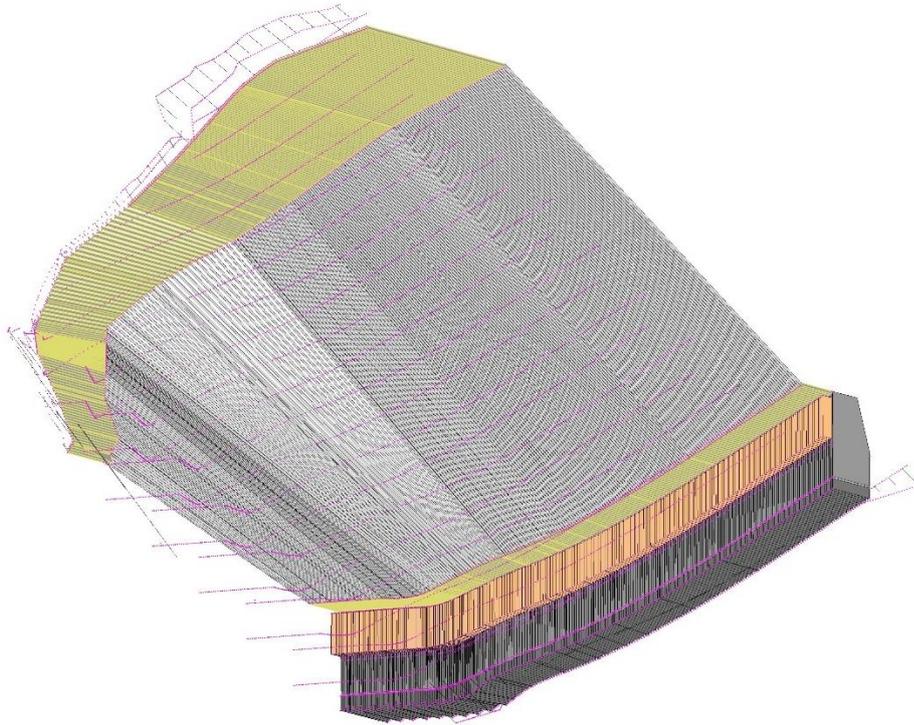
Por fim, a partir do processamento desses volumes, serão extraídos relatórios com informações por estaqueamento. Posteriormente esses dados serão apresentados através de uma tabela resumo.

Figura 35: Configuração de frequência aplicada aos Assemblies da modelagem final

Property	Value
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Horizontal Baseline</b>	
Along tangents	0.100m
Along curves	At an increment
Curve increment	0.100m
Mid-ordinate distance to define curvature	0.100m
Along spirals	0.100m
At horizontal geometry points	Yes
At superelevation critical points	Yes
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Vertical Baseline</b>	
Along vertical curves	0.100m
At vertical geometry points	Yes
At high/low points	Yes
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Offset Target</b>	
At offset target geometry points	Yes
Adjacent to offset target start/end	Yes
Along offset target curves	At an increment
Curve increment	0.100m

Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 36: Corredor da modelagem final (perspectiva da região inferior do corredor)



Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a metodologia proposta neste estudo, a Tabela 2 representa os resultados obtidos conforme a fase de desenvolvimento do trabalho.

Tabela 2: Resultados obtidos por fase do trabalho

Fase do Trabalho	Resultado
Criação do Alinhamento Horizontal	Relatório da Geometria do Eixo da Contenção
Criação dos Alinhamentos Verticais	Perfil Longitudinal Simplificado da Contenção
	Relatório da Geometria dos Perfis
Criação do Corredor	Planta Baixa do Modelo Implantado na Região de Estudo
	Perfil Longitudinal Completo da Contenção
	Seções Transversais de Terraplenagem e de Elementos da Contenção
	Modelo 3D
Criação das Sample Lines	Seções Transversais
	Relatório da Geometria das Seções Transversais
	Quantitativo de Materiais da Modelagem Inicial
Avaliação de Desempenho do Cálculo de Quantitativo de Materiais	Quantitativo de Materiais da Modelagem Final
	Tabela Resumo da Comparação dos Materiais da Modelagem Inicial e Final
Importação da modelagem BIM no Navisworks	Modelo Compatibilizado em Software de Revisão de Projetos

Fonte: Elaboração própria (2024)

## 4.1. Modelagem da contenção de encosta

### 4.1.1. Representações visuais do modelo projetado

As representações visuais - incluindo planta, perfil e seção - são componentes essenciais dos resultados derivados da modelagem, obtidos através da implementação de várias técnicas de manipulação do software, conforme ilustrado na seção “Metodologia”. Essas representações não apenas oferecem uma visão de como o modelo parametrizado se manifesta visualmente, mas também permitem a identificação prévia de possíveis interferências com as condições preexistentes do local em estudo.

Considerando a perspectiva de um projeto de contenção, essas representações desempenham um papel crucial na execução de uma obra, constituindo um dos principais entregáveis para esse tipo de projeto. Embora o modelo apresentado neste trabalho tenha proporcionado tais visões, é importante salientar que este não representa o projeto geométrico final de uma contenção. Isso se deve ao fato de que o modelo não foi totalmente dimensionado e parte de sua implementação foi baseada em critérios arbitrários. No entanto, esses aspectos podem ser rapidamente modificados, graças à flexibilidade proporcionada pelo fato de o modelo ser parametrizado.

Portanto, tendo destacado essas questões significativas na avaliação desses resultados, os tópicos subsequentes apresentarão detalhes visuais e considerações concisas sobre cada resultado obtido.

#### 4.1.1.1. Vista em planta baixa

A visualização em planta baixa do modelo de contenção implantado permitiu a observação das interferências da contenção nas áreas de elementos já existentes no local de estudo. Essas interferências foram particularmente notáveis em áreas com edificações, sugerindo que a implantação da contenção, seguindo os parâmetros de controle implementados (alinhamentos horizontais, verticais e *assembly*), implicaria na necessidade de desapropriação de algumas residências. Embora este cenário seja ilustrado na Figura 37, é importante ressaltar que ele não necessariamente representa o cenário final do projeto para essa área. Trata-se apenas de um resultado derivado da inserção de alguns parâmetros de controle de forma arbitrária.

Com base em uma observação pessoal do fluxo de projetos de contenção de encostas com uso do Civil 3D na empresa Engeconsult, a representação em planta baixa permite que outras disciplinas envolvidas no projeto, como Drenagem e Urbanismo, obtenham uma compreensão espacial parcial da área do projeto para a implementação de suas respectivas soluções.

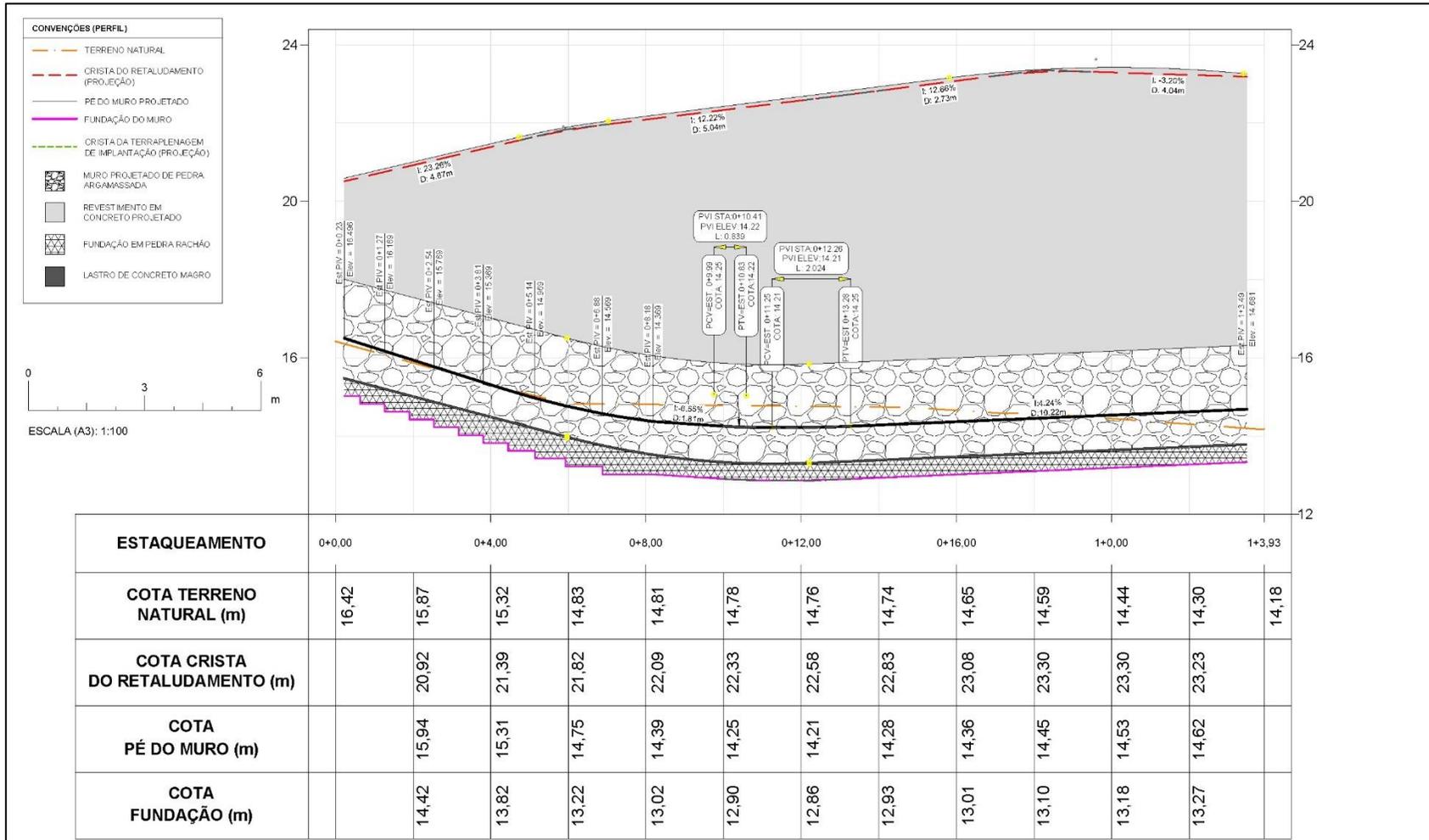


#### *4.1.1.2. Vistas em perfil ao longo do eixo da contenção*

Os perfis delineados para esta modelagem não apenas ilustram a disposição vertical de certos elementos da contenção, mas também funcionam como ferramentas para ajustes dinâmicos nas altitudes dos elementos projetados. As modificações em cada greide resultam em alterações dinâmicas nas elevações de seus respectivos elementos no corredor, que são definidos por meio de alvos de elevação e linha de base do conjunto.

Esta perspectiva em perfil (Figura 38) é extremamente valiosa quando aplicada a outras disciplinas envolvidas no projeto, como o projeto de drenagem da contenção. Por meio dela, essas disciplinas podem ajustar os greides dos elementos de drenagem, como canaletas, ou posicionar os barbacãs no corpo do muro de pedra argamassada e do talude revestido com concreto projetado. Além disso, essa abordagem proporciona uma flexibilidade valiosa no caso de mudanças imprevistas no terreno ou em requisitos de projeto, possibilitando ajustes rápidos e eficientes sem comprometer a qualidade ou segurança da estrutura final.

Figura 38: Perfil longitudinal completo do eixo da contenção

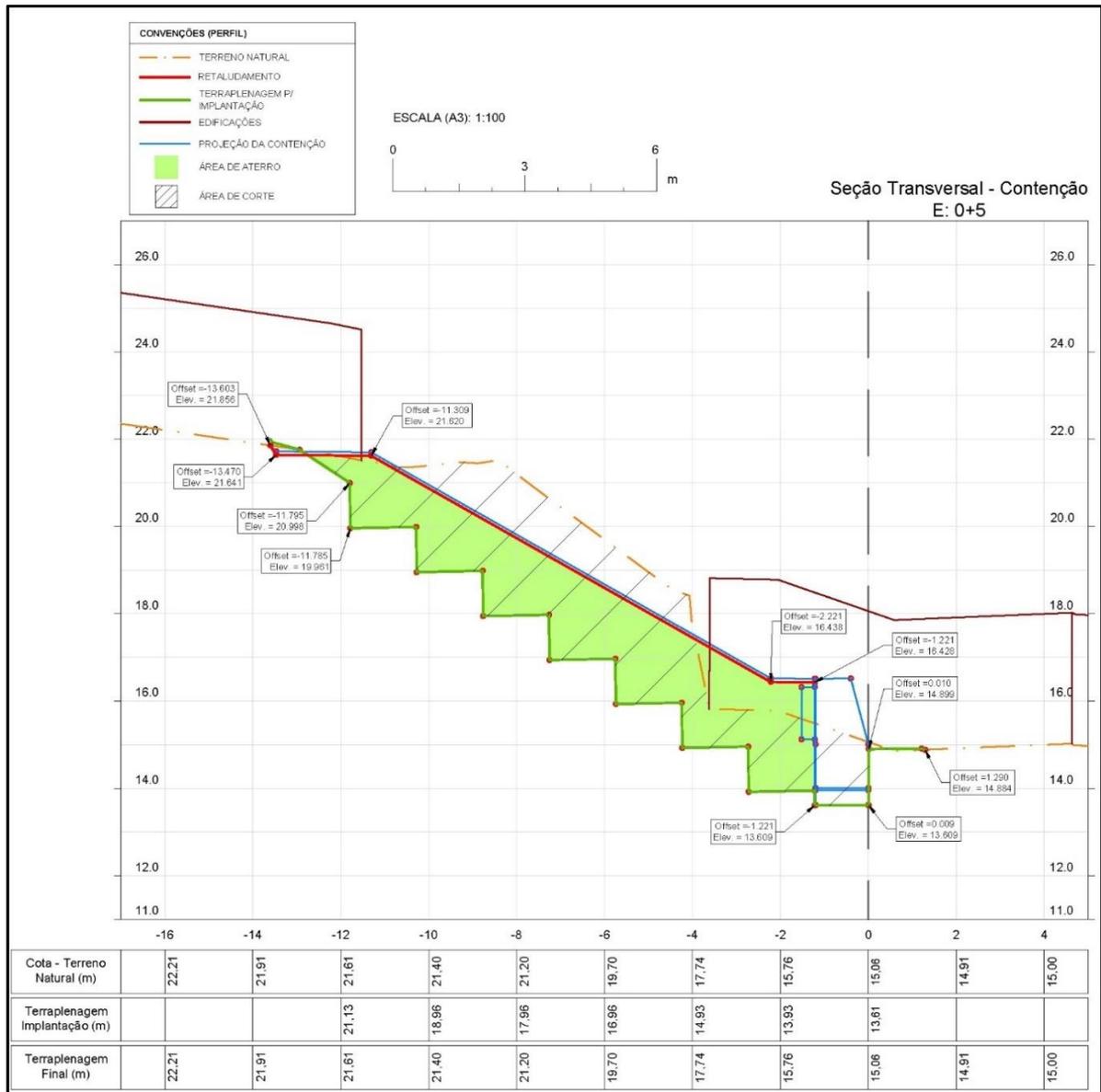


Fonte: Elaboração própria (2024)

4.1.1.3. Vistas em seção da implantação da contenção

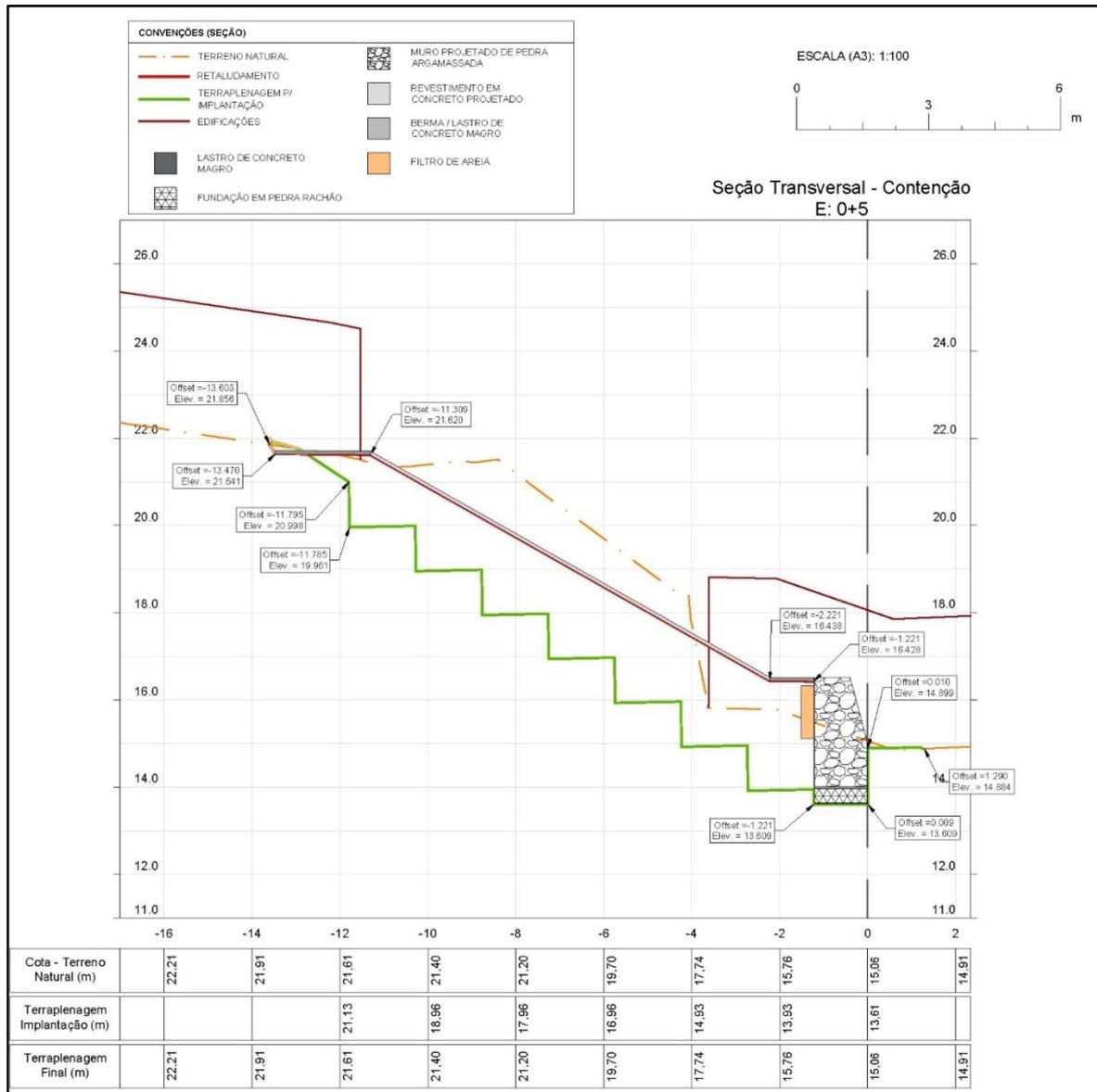
A seção da terraplenagem (Figura 39) servirá como base de representação visual das condições inicial e final do terreno. Além disso, a Figura 40 apresenta com maior detalhe visual a contenção e seus respectivos materiais de construção.

Figura 39: Seção transversal de terraplenagem da estaca 0+5m do eixo da contenção



Fonte: Elaboração própria (2024)

Figura 40: Seção transversal da estaca 0+5m com elementos da contenção

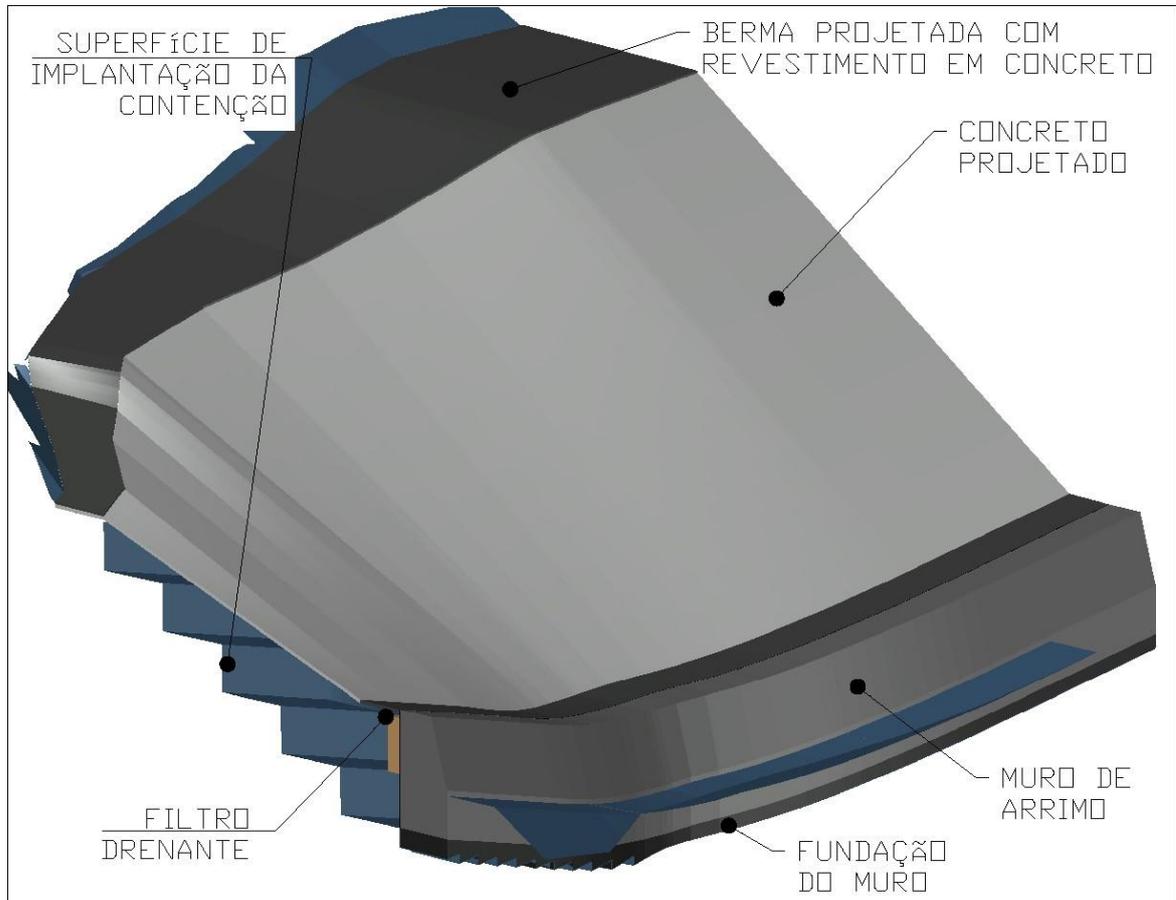


Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 4.1.1.4. Vista em perspectiva do modelo 3D

O modelo 3D representa um aspecto essencial da modelagem, já que ele consegue transmitir com facilidade uma geometria prévia do modelo. Além da Figura 41 conseguir demonstrar isso, fica também mais fácil identificar a disposição dos elementos da contenção. Neste trabalho não há exemplo acerca disso, mas em um projeto real de contenção, com base em experiência pessoal, esse modelo é constantemente consultado quando modelado em conjunto com outras disciplinas.

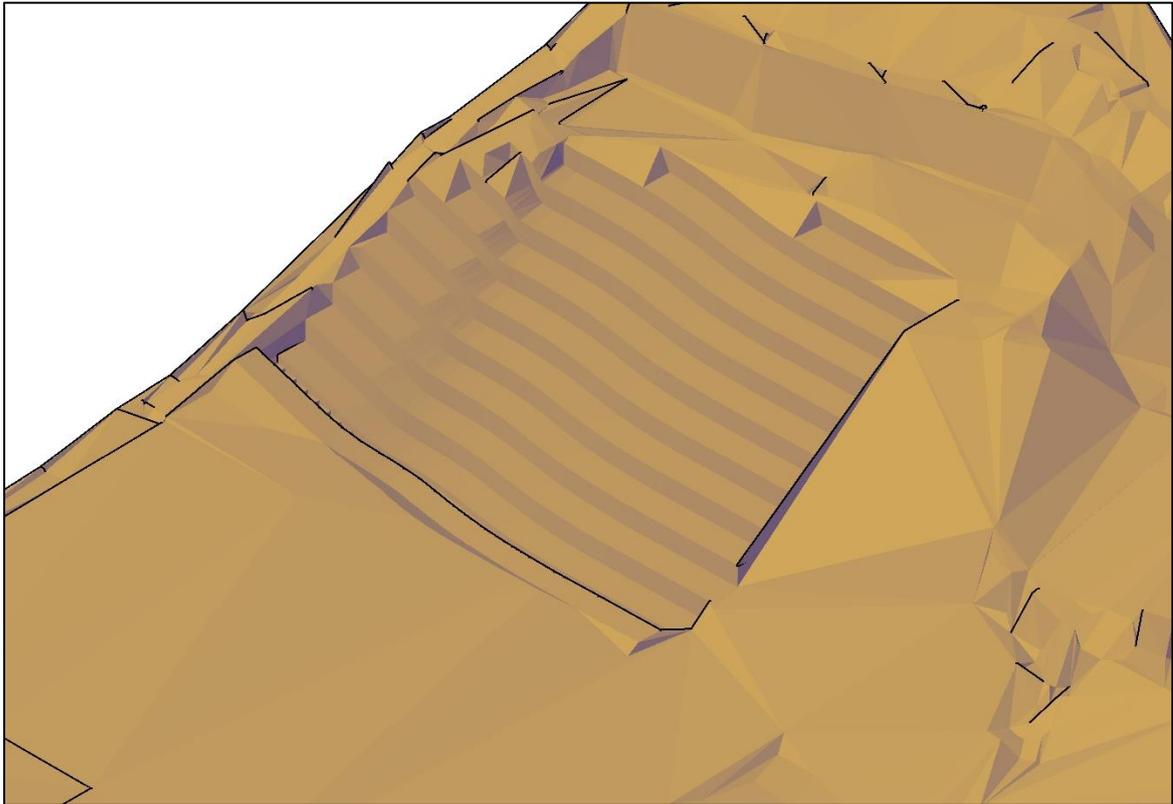
Figura 41: Modelo 3D da contenção com superfície de corte para execução da obra



Fonte: Elaboração própria (2024)

Além do modelo da contenção, a partir de manipulação de superfícies no software é possível também representar o terreno com a terraplenagem da etapa inicial para implantação do modelo. Essa representação pode ser observada na Figura 42.

Figura 42: Terreno natural do local de estudo escalonado pela terraplenagem



Fonte: Elaboração própria (2024)

A desvantagem da interação entre superfícies do corredor com superfícies do terreno natural é a possibilidade de falhas na triangulação. Nesse modelo não houveram tantas preocupações nos ajustes dessas operações devido à pequena quantidade de erros.

#### 4.1.2. *Quantitativos do modelo inicial*

A modelagem inicial possibilitou a extração precisa dos quantitativos de movimentação de terra do modelo, embora não tenha levado em conta as variações volumétricas dos materiais escavados e de aterro. A customização avançada do *assembly* permitiu, adicionalmente, a extração detalhada dos materiais de construção necessários, incluindo a fundação do muro em pedra rachão, o lastro de concreto magro, o corpo do muro de gravidade em pedra argamassada, os volumes de concreto para o revestimento dos taludes, a tinta impermeabilizante e o filtro de areia, garantindo uma estimativa abrangente e confiável para o projeto.

É válido citar que a eficiência no uso dos recursos é um reflexo direto da qualidade de um projeto. Uma ferramenta que oferece cálculos dinâmicos e precisos dos materiais necessários, baseando-se diretamente no modelo do projeto, não apenas otimiza o consumo de recursos, mas também realça a precisão e a excelência do planejamento. Isso não só contribui para a sustentabilidade econômica, mas também assegura que o projeto atenda aos mais altos padrões de qualidade e desempenho.

#### 4.1.2.1. Etapa 1: Terraplenagem para implantação da contenção na modelagem inicial

Os dados apresentados neste tópico pela Tabela 3 refletem o volume significativo associado à movimentação de terra, essencial para a escavação na etapa inicial da fase de implantação da contenção. Esta fase crucial visa estabelecer as condições necessárias para a instalação segura da contenção na área de encosta, além de preparar adequadamente o terreno para as subseqüentes operações de retaludamento, garantindo assim a estabilidade e a integridade do projeto.

Tabela 3: Volumes de movimentação de terra da terraplenagem da etapa 1 por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem inicial

Estaca (m)	Área de corte (m <sup>2</sup> )	Volume de Corte (m <sup>3</sup> )	Área de Aterro (m <sup>2</sup> )	Volume de Aterro (m <sup>3</sup> )	Volume de Corte Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volume de Aterro Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado Total (m <sup>3</sup> )
0+000.000	0	0	0	0	0	0	0
0+000.238	9.27	1.1	0.57	0.07	1.1	0.07	1.04
0+001.117	13.34	9.93	0.57	0.5	11.04	0.57	10.47
0+002.000	17.56	13.65	0.55	0.5	24.68	1.07	23.62
0+002.894	21.08	17.27	0.55	0.49	41.95	1.56	40.39
0+005.000	27.39	39.19	0.06	0.53	81.13	2.09	79.05
0+006.677	33.19	33.53	0	0.03	114.66	2.12	112.55
0+007.444	31.42	36.68	0	0	151.34	2.12	149.22
0+008.803	29.66	71.04	0	0	222.38	2.12	220.26
0+010.000	33.66	62.01	0.02	0.03	284.4	2.15	282.24
0+012.000	34.71	68.37	0.02	0.04	352.76	2.19	350.57
0+015.000	37.73	93.55	0	0.02	446.32	2.21	444.11
0+017.394	40.39	77.91	0	0	524.22	2.21	522.01
0+018.683	38.45	50.84	0	0	575.07	2.21	572.86
0+020.000	34.75	48.19	0	0	623.25	2.21	621.04
0+022.000	28.09	62.84	0.29	0.29	686.09	2.5	683.59
0+022.875	25.08	23.27	0.45	0.33	709.36	2.83	706.53
0+023.483	24.28	14.98	0.57	0.31	724.35	3.14	721.2
0+023.934	0	5.48	0	0.13	729.83	3.27	726.56

Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 4.1.2.2. Etapa 2: Quantidades de materiais de construção e terraplenagem para retaludamento na modelagem final

Os dados quantitativos da etapa 2, demonstrados na Tabela 4, detalham as operações de reaterro e a subsequente consolidação do talude conforme o projeto. Além disso, na e Tabela 5, são especificados os materiais de construção necessários para o modelo de contenção de encosta, enfatizando a importância de uma execução precisa para assegurar a estabilidade e a durabilidade da estrutura. Esta etapa é fundamental para a integridade do projeto, pois prepara o terreno para suportar as cargas e as condições ambientais previstas.

Tabela 4: Volumes de movimentação de terra da terraplenagem da etapa 2 por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem inicial

Estaca (m)	Área de corte (m <sup>2</sup> )	Volume de Corte (m <sup>3</sup> )	Área de Aterro (m <sup>2</sup> )	Volume de Aterro (m <sup>3</sup> )	Volume de Corte Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volume de Aterro Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado Total (m <sup>3</sup> )
0+000.000	0	0	0	0	0	0	0
0+000.238	0	0	12.17	1.45	0	1.45	-1.45
0+001.117	0.38	0.17	13.45	11.25	0.17	12.7	-12.53
0+002.000	0.85	0.54	15.15	12.63	0.71	25.33	-24.62
0+002.894	0.89	0.78	15.88	13.87	1.49	39.2	-37.71
0+005.000	0.14	0.56	20.87	30.18	2.05	69.38	-67.33
0+006.677	0	0.04	25.31	25.4	2.08	94.78	-92.69
0+007.444	0	0	26.75	29.86	2.08	124.63	-122.55
0+008.803	0.03	0.05	29.9	66.38	2.14	191.02	-188.88
0+010.000	0.12	0.21	31.54	60.89	2.34	251.9	-249.56
0+012.000	0.1	0.22	33.63	65.17	2.56	317.07	-314.51
0+015.000	0.12	0.24	36.27	90.15	2.8	407.22	-404.42
0+017.394	0.15	0.22	38.28	74.53	3.02	481.75	-478.72
0+018.683	0.13	0.18	38.43	49.47	3.21	531.22	-528.01
0+020.000	0.16	0.2	37.94	50.27	3.4	581.49	-578.09
0+022.000	0.09	0.25	35.48	73.42	3.65	654.91	-651.26
0+022.875	0.13	0.1	34.95	30.83	3.75	685.74	-681.99
0+023.483	0.15	0.09	34.74	21.16	3.84	706.9	-703.06
0+023.934	0	0.03	0	7.84	3.87	714.74	-710.87

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela 5: Volumes de materiais de construção por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem inicial

Estaca (m)	Tipo de material	Área de material (m <sup>2</sup> )	Volume no trecho (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (m <sup>3</sup> )
0+000.000	Filtro de Areia	0	0	0
	Fundação de Pedra Rachão	0	0	0
	Lastro de Concreto Magro	0	0	0
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	0	0	0
	Concreto Projetado	0	0	0
	Tinta impermeabilizante	0	0	0
	0+000.238	Filtro de Areia	0.36	0.04
Fundação de Pedra Rachão		0.51	0.06	0.06
Lastro de Concreto Magro		0.06	0.01	0.01
Corpo do Muro de Pedra Argamassada		2.7	0.32	0.32
Concreto Projetado		0.7	0.08	0.08
Tinta impermeabilizante		0.05	0.01	0.01

Estaca (m)	Tipo de material	Área de material (m <sup>2</sup> )	Volume no trecho (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (m <sup>3</sup> )
0+001.117	Filtro de Areia	0.36	0.32	0.36
	Fundação de Pedra Rachão	0.42	0.41	0.47
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.05	0.06
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	2.38	2.7
	Concreto Projetado	0.75	0.64	0.72
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.04	0.05
	0+002.000	Filtro de Areia	0.36	0.32
Fundação de Pedra Rachão		0.56	0.43	0.9
Lastro de Concreto Magro		0.06	0.05	0.11
Corpo do Muro de Pedra Argamassada		2.7	2.39	5.09
Concreto Projetado		0.82	0.69	1.41
Tinta impermeabilizante		0.05	0.05	0.1
0+002.894		Filtro de Areia	0.36	0.32
	Fundação de Pedra Rachão	0.47	0.46	1.36
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.05	0.17
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	2.42	7.51
	Concreto Projetado	0.89	0.76	2.17
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.05	0.14
	0+005.000	Filtro de Areia	0.36	0.72
Fundação de Pedra Rachão		0.41	0.9	2.26
Lastro de Concreto Magro		0.06	0.12	0.29
Corpo do Muro de Pedra Argamassada		2.7	5.55	13.06
Concreto Projetado		0.98	1.43	3.61
Tinta impermeabilizante		0.05	0.1	0.24
0+006.677		Filtro de Areia	0.36	0.56
	Fundação de Pedra Rachão	0.41	0.66	2.93
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.1	0.39
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	4.38	17.44
	Concreto Projetado	0.99	1.01	4.62
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.08	0.32
	0+007.444	Filtro de Areia	0.36	0.3
Fundação de Pedra Rachão		0.48	0.36	3.28
Lastro de Concreto Magro		0.06	0.05	0.44
Corpo do Muro de Pedra Argamassada		2.7	2.17	19.61
Concreto Projetado		1.03	1.19	5.81
Tinta impermeabilizante		0.05	0.04	0.37
0+008.803		Filtro de Areia	0.36	0.56
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.61	3.89
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.09	0.52
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	3.91	23.52
	Concreto Projetado	1.1	2.57	8.38
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.08	0.44
	0+010.000	Filtro de Areia	0.36	0.48

Estaca (m)	Tipo de material	Área de material (m <sup>2</sup> )	Volume no trecho (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (m <sup>3</sup> )
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.45	4.35
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.08	0.6
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	3.42	26.95
	Concreto Projetado	1.14	2.29	10.67
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.07	0.51
0+012.000	Filtro de Areia	0.36	0.72	4.34
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.72	5.07
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.12	0.72
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	5.41	32.36
	Concreto Projetado	1.17	2.31	12.98
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.1	0.61
0+015.000	Filtro de Areia	0.36	1.05	5.39
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	1.07	6.14
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.18	0.9
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	8.02	40.38
	Concreto Projetado	1.21	3.03	16.01
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.15	0.76
0+017.394	Filtro de Areia	0.36	0.84	6.23
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.85	6.99
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.14	1.04
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	6.39	46.77
	Concreto Projetado	1.23	2.4	18.42
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.12	0.88
0+018.683	Filtro de Areia	0.36	0.46	6.7
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.46	7.45
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.08	1.11
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	3.49	50.26
	Concreto Projetado	1.24	1.59	20.01
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.07	0.95
0+020.000	Filtro de Areia	0.36	0.47	7.17
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.47	7.92
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.08	1.19
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	3.56	53.82
	Concreto Projetado	1.25	1.64	21.65
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.07	1.02
0+022.000	Filtro de Areia	0.36	0.72	7.89
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.72	8.64
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.12	1.31
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	5.41	59.23
	Concreto Projetado	1.23	2.48	24.13
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.1	1.12
0+022.875	Filtro de Areia	0.36	0.32	8.2
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.32	8.96

Estaca (m)	Tipo de material	Área de material (m <sup>2</sup> )	Volume no trecho (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (m <sup>3</sup> )
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.05	1.37
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	2.37	61.59
	Concreto Projetado	1.21	1.07	25.19
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.04	1.16
0+023.483	Filtro de Areia	0.36	0.22	8.42
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.22	9.18
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.04	1.4
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	1.64	63.24
	Concreto Projetado	1.21	0.73	25.93
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.03	1.19
0+023.934	Filtro de Areia	0	0.08	8.5
	Fundação de Pedra Rachão	0	0.08	9.26
	Lastro de Concreto Magro	0	0.01	1.42
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	0	0.61	63.85
	Concreto Projetado	0	0.27	26.2
	Tinta impermeabilizante	0	0.01	1.2

Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 4.1.3. Relatórios de geometria da modelagem

Os relatórios da geometria da modelagem foram obtidos através de ferramentas de extração de dados dentro do próprio ambiente do AutoCAD Civil 3D. A partir disso, foram coletados dados do modelo da contenção em formato de pasta de trabalho de Excel (XLS). Nos tópicos a seguir serão apresentados os dados coletados dos alinhamentos e de uma seção transversal do modelo.

##### 4.1.3.1. Dados geométricos do alinhamento horizontal da contenção

Ao finalizar o traçado do eixo da contenção, foi possível obter o relatório dos dados para locação desse alinhamento a partir de ferramenta de extração de dados do Civil 3D. Esse tipo de informação apresenta ser muito útil quando usado para locação da obra e referenciamento de todos os outros dados fornecidos em projeto, como as notas de serviço, as seções transversais de terraplenagem e elementos de projeto de outras disciplinas envolvidas.

Com o intuito de preservar a confidencialidade dos dados da região de estudo, optou-se por deslocar este eixo para uma nova localização, mantendo, contudo, sua geometria original.

Os principais dados, como coordenadas, azimute, pontos de interesse como tangente e curvas e estaca podem ser encontrados na Tabela 6.

Tabela 6: Relatório de alinhamento horizontal do eixo da contenção

CURVA Nº	COORDENADAS PI	AZIMUTE	COORDENADAS					ESTACA			
			CC	TE ou PC	EC	CE	ET ou PT	INICIAL/TE/PC	EC	CE	ET/PT/FIM
INÍCIO	Y	9114886.834						0+0.000			
	X	291615.584									
1	Y	9114891.882	356°33'06.61"	9114889.706	9114890.609			0+3.781			0+6.326
	X	291615.280	346°49'51.88"	291600.384	291615.357				291614.990		
2	Y	9114895.125	3°42'31.60"	9114895.959	9114893.681			0+6.898			0+9.844
	X	291614.521	3°42'31.60"	291624.596	291614.859				291614.617		
3	Y	9114902.027	357°03'57.60"	9114902.366	9114899.132			0+12.375			0+18.172
	X	291614.969	357°03'57.60"	291564.886	291614.781				291614.820		
FIM	Y	9114910.680									1+3.934
	X	291614.525									

Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 4.1.3.2. Dados geométricos dos alinhamentos verticais da contenção

Os principais alinhamentos verticais (perfis) apresentados nessa seção em formato de tabela e gráfico serão os que já foram mencionados na Figura 17, os greides de fundação, pé do muro de arrimo, crista do talude de reaterro e o terreno natural. A Tabela 7 representa em números os elementos visuais anteriormente descritos.

Tabela 7: Dados geométricos do perfil do terreno natural

PIV	Estaca (m)	Cota (m)
0	0.23	16.355
1	2	15.869
2	3.78	15.38
3	4	15.321
4	4.78	15.118
5	5.05	15.05
6	5.93	14.844
7	6	14.828
8	6.33	14.822
9	6.9	14.818
10	7.07	14.817
11	8	14.807
12	8.37	14.8
13	9.84	14.781
14	10	14.78
15	12	14.76
16	12.08	14.759
17	12.38	14.757
18	13.13	14.749
19	14	14.739
20	14.18	14.738
21	15.27	14.702
22	16	14.655
23	16.89	14.598
24	18	14.587
25	18.17	14.574
26	18.17	14.574
27	18.94	14.52
28	19.45	14.483
29	20	14.444
30	22	14.302
31	23.934	14.179

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela 8: Dados geométricos do greide da crista do reaterro para retaludamento

PIV	Estaca (m)	Cota (m)	Inclinação (%)
1	0.233	20.512	23.26%
2	5.927	21.836	12.22%
3	13.13	22.717	12.66%
4	18.172	23.355	-3.20%
5	23.487	23.185	

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela 9: Dados geométricos do greide da fundação do muro de pedra argamassada

PIV	Estaca (m)	Cota (m)	Inclinação (%)
1	0.233	15.019	0.00%
2	0.635	15.019	-
3	0.636	14.819	0.00%
4	1.27	14.819	-
5	1.271	14.619	0.00%
6	1.905	14.619	-
7	1.906	14.419	0.00%
8	2.54	14.419	-
9	2.541	14.219	0.00%
10	3.175	14.219	-
11	3.176	14.019	0.00%
12	3.81	14.019	-
13	3.811	13.819	0.00%
14	4.449	13.819	-
15	4.45	13.619	0.00%
16	5.137	13.619	-
17	5.138	13.419	0.00%
18	5.927	13.419	-
19	5.928	13.219	0.00%
20	6.879	13.219	-
21	6.88	13.019	0.00%
22	8.181	13.019	-6.55%
23	10.408	12.873	-0.96%
24	12.263	12.855	4.24%
25	23.487	13.331	

Fonte: Elaboração própria (2024)

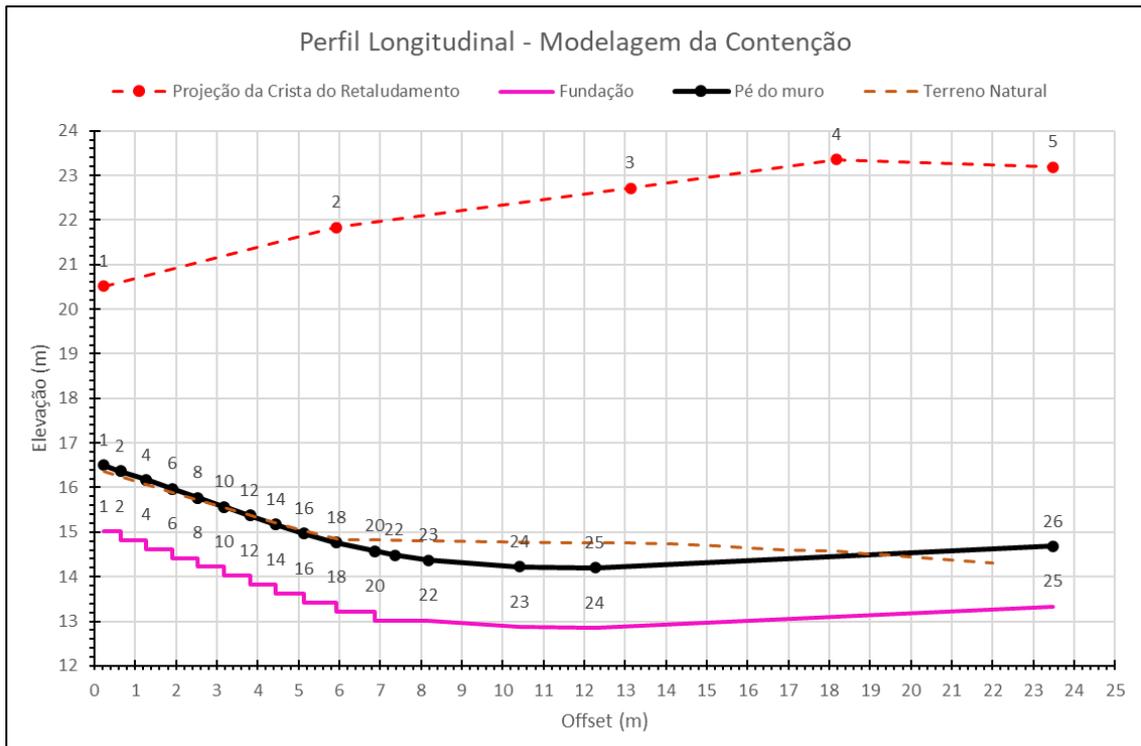
Tabela 10: Dados geométricos do greide do pé do muro de pedra argamassada

PIV	Estaca (m)	Cota (m)	Inclinação (%)
1	0.233	16.496	-31.50%
2	0.635	16.369	-31.50%
3	0.636	16.369	-31.50%
4	1.27	16.169	-31.50%
5	1.271	16.169	-31.50%
6	1.905	15.969	-31.50%
7	1.906	15.969	-31.50%
8	2.54	15.769	-31.50%
9	2.541	15.769	-31.50%
10	3.175	15.569	-31.50%
11	3.176	15.569	-31.50%
12	3.81	15.369	-31.50%
13	3.811	15.369	-31.28%
14	4.449	15.169	-29.08%
15	4.45	15.169	-29.08%
16	5.137	14.969	-25.33%
17	5.138	14.969	-25.33%
18	5.927	14.769	-20.99%
19	5.928	14.769	-20.99%
20	6.879	14.569	-17.56%
21	6.88	14.569	-17.56%
22	7.355	14.485	-14.10%
23	8.181	14.369	-6.55%
24	10.408	14.223	-0.96%
25	12.263	14.205	4.24%
26	23.487	14.681	

Fonte: Elaboração própria (2024)

Ao formatar esses dados em gráficos, conseguimos obter representações precisas das geometrias projetadas. Além disso, mesmo com a simplificação e redução do número de pontos do greide do terreno natural, esses dados, visualmente, apresentaram um comportamento que se aproximou do perfil gerado no Civil 3D (Figura 17). Logo no perfil abaixo (Gráfico 1) é possível observar o resultado visual desses dados.

Gráfico 1: Perfis longitudinais gerados a partir de dados extraídos do Civil 3D



Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 4.1.3.3. Dados geométricos das seções transversais

Para resumir os resultados deste relatório, será apresentada apenas um estaqueamento de seção transversal do modelo, seguindo como base o alinhamento horizontal demonstrado na Figura 37 e na Tabela 6. As seções selecionadas compreendem o corte para implantação, o reaterro e o perfil do terreno natural. Esta simplificação na apresentação dos resultados foi realizada devido ao grande número de seções necessárias para representar o modelo não-linear completo.

Logo abaixo, é apresentado na Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13 os relatórios de pontos da seção transversal referentes à estaca 0+0,233m. As tabelas apresentam dados de offset dos pontos com relação ao eixo longitudinal da contenção (Figura 37 e Tabela 6) e elevações do

terreno natural embasadas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Tabela 11: Dados dos pontos da seção do terreno natural (Estaca 0+0,233m)

Estaca da Seção Transversal (m)	Offset dos pontos com relação ao eixo da contenção (m)	Elevação dos Pontos na Seção Transversal (m)
0.233	-11.086	21.407
0.233	-11.064	21.397
0.233	-10.266	20.689
0.233	-10.214	20.666
0.233	-9.776	21.078
0.233	-9.360	20.733
0.233	-8.571	20.411
0.233	-6.790	19.567
0.233	-6.150	18.880
0.233	-5.423	18.282
0.233	-4.725	18.003
0.233	-4.116	17.714
0.233	-3.731	17.719
0.233	-3.577	17.714
0.233	-3.425	17.611
0.233	-3.382	17.574
0.233	-3.352	17.424
0.233	-3.269	17.425
0.233	4.107	15.008
0.233	4.486	15.024
0.233	4.607	14.879
0.233	4.777	14.878
0.233	6.093	14.792
0.233	6.468	14.765

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela 12: Dados dos pontos da seção escalonada na vista transversal (Estaca 0+0,233m)

Estaca da Seção Transversal (m)	Offset dos pontos com relação ao eixo da contenção (m)	Elevação dos Pontos na Seção Transversal (m)
0.233	-8.774	20.470
0.233	-8.774	20.470
0.233	-8.764	19.434
0.233	-7.264	19.464
0.233	-7.253	18.427
0.233	-5.753	18.457
0.233	-5.743	17.420
0.233	-4.243	17.450
0.233	-4.232	16.413
0.233	-2.732	16.443
0.233	-2.722	15.406
0.233	-1.222	15.436
0.233	-1.221	15.009
0.233	0.009	15.009
0.233	0.010	16.386
0.233	1.210	16.398
0.233	2.505	15.534

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela 13: Dados dos pontos da seção de reaterro (Estaca 0+0,233m)

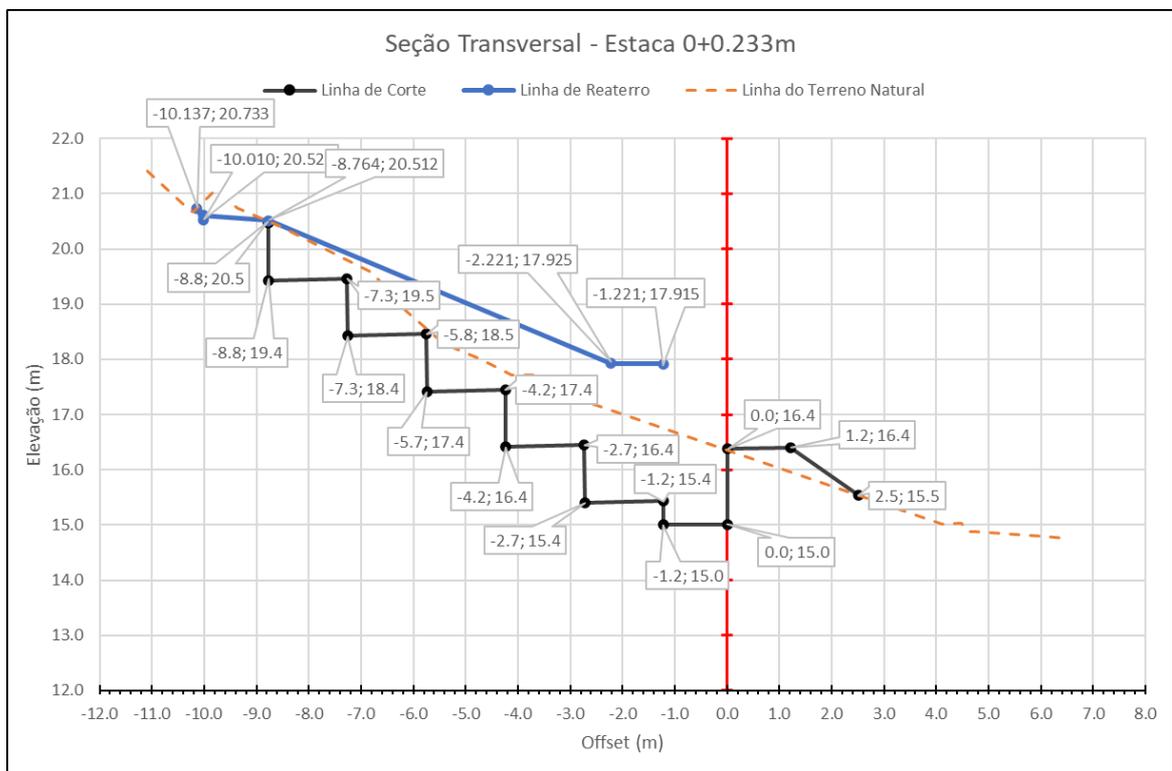
Estaca da Seção Transversal (m)	Offset dos pontos com relação ao eixo da contenção (m)	Elevação dos Pontos na Seção Transversal (m)
0.233	-10.137	20.733

Estaca da Seção Transversal (m)	Offset dos pontos com relação ao eixo da contenção (m)	Elevação dos Pontos na Seção Transversal (m)
0.233	-10.010	20.525
0.233	-10.010	20.606
0.233	-8.764	20.512
0.233	-2.221	17.925
0.233	-1.221	17.915

Fonte: Elaboração própria (2024)

Com base nesses dados extraídos é possível representar em gráfico a seção transversal da estaca em questão, conforme ilustra o Gráfico 2.

Gráfico 2: Seção transversal de terraplenagem para implantação da contenção na Estaca 0+0,233m



Fonte: Elaboração própria (2024)

A partir das coordenadas desses dados, em offsets e elevações, torna-se viável a importação dos mesmos em softwares especializados em análise geotécnica, como o GeoSlope da GeoStudio ou o Slide da Rocscience. Tal procedimento facilita o uso de uma grande quantidade de pontos para representação da seção, o que agiliza significativamente o processo de análise e dimensionamento.

## 4.2. Análise do desempenho de cálculo da modelagem

### 4.2.1. Quantitativos do modelo final

Os quantitativos deste modelo final também foram calculados com base nas seções transversais da modelagem inicial. No entanto, o corredor está ajustado com maior precisão devido ao grande número de seções do *assembly* compondo o corredor. Esses resultados podem ser observados pela Tabela 14, Tabela 15 e a Tabela 16.

#### 4.2.1.1. Etapa 1: Terraplenagem para implantação da contenção na modelagem final

Tabela 14: Volumes de movimentação de terra da terraplenagem da etapa 1 por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem final

Estaca (m)	Área de corte (m <sup>2</sup> )	Volume de Corte (m <sup>3</sup> )	Área de Aterro (m <sup>2</sup> )	Volume de Aterro (m <sup>3</sup> )	Volume de Corte Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volume de Aterro Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado Total (m <sup>3</sup> )
0+000.000	0	0	0	0	0	0	0
0+000.238	9.27	1.1	0.57	0.07	1.1	0.07	1.04
0+001.117	13.34	9.93	0.69	0.55	11.04	0.62	10.42
0+002.000	17.74	13.72	0.6	0.57	24.76	1.19	23.57
0+002.894	21.5	17.53	0.55	0.52	42.29	1.7	40.59
0+005.000	27.39	39.44	0.06	0.53	81.73	2.23	79.5
0+006.677	33.19	33.53	0	0.03	115.26	2.26	113
0+007.444	31.45	36.7	0	0	151.96	2.26	149.7
0+008.803	29.73	71.18	0	0	223.14	2.26	220.88
0+010.000	33.66	62.09	0.02	0.02	285.24	2.29	282.95
0+012.000	34.71	68.37	0.02	0.04	353.6	2.32	351.28
0+015.000	37.73	93.55	0	0.02	447.16	2.34	444.81
0+017.394	40.39	77.9	0	0	525.06	2.34	522.72
0+018.683	38.45	50.84	0	0	575.9	2.35	573.56
0+020.000	34.75	48.19	0	0	624.09	2.35	621.74
0+022.000	28.72	63.47	0.29	0.29	687.56	2.64	684.93
0+022.875	25.84	23.88	0.45	0.33	711.44	2.96	708.48
0+023.483	24.28	15.21	0.57	0.31	726.66	3.28	723.38
0+023.934	0	5.48	0	0.13	732.14	3.4	728.74

Fonte: Elaboração própria (2024)

4.2.1.2. Etapa 2: Quantidades de materiais de construção e terraplenagem para retaludamento na modelagem final

Tabela 15: Volumes de movimentação de terra da terraplenagem da etapa 2 por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem final

Estaca (m)	Área de corte (m <sup>2</sup> )	Volume de Corte (m <sup>3</sup> )	Área de Aterro (m <sup>2</sup> )	Volume de Aterro (m <sup>3</sup> )	Volume de Corte Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volume de Aterro Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado Total (m <sup>3</sup> )
0+000.000	0	0	0	0	0	0	0
0+000.238	0	0	12.17	1.45	0	1.45	-1.45
0+001.117	0.53	0.23	13.56	11.31	0.23	12.75	-12.52
0+002.000	0.81	0.59	15.16	12.68	0.83	25.43	-24.61
0+002.894	0.93	0.78	16.35	14.08	1.6	39.51	-37.91
0+005.000	0.14	0.58	20.87	30.48	2.19	69.99	-67.81
0+006.677	0	0.04	25.36	25.42	2.22	95.41	-93.19
0+007.444	0	0	26.69	29.85	2.22	125.26	-123.04
0+008.803	0.01	0.02	29.89	66.38	2.24	191.64	-189.4
0+010.000	0.12	0.18	31.54	60.93	2.42	252.58	-250.15
0+012.000	0.1	0.22	33.63	65.17	2.64	317.74	-315.1
0+015.000	0.13	0.25	36.27	90.15	2.9	407.89	-405
0+017.394	0.12	0.2	38.43	74.64	3.1	482.54	-479.44
0+018.683	0.15	0.17	38.63	49.69	3.27	532.23	-528.96
0+020.000	0.16	0.2	37.94	50.4	3.47	582.63	-579.16
0+022.000	0.1	0.27	36.56	74.5	3.74	657.13	-653.39
0+022.875	0.04	0.06	35.94	31.74	3.8	688.87	-685.07
0+023.483	0.15	0.06	34.74	21.46	3.86	710.32	-706.46
0+023.934	0	0.03	0	7.84	3.89	718.17	-714.28

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela 16: Volumes de materiais de construção por estaca ao longo do eixo da contenção da modelagem final

Estaca (m)	Tipo de Material	Área De Material (m <sup>2</sup> )	Volume No Trecho (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (m <sup>3</sup> )
0+000.000	Filtro de Areia	0	0	0
	Fundação de Pedra Rachão	0	0	0
	Lastro de Concreto Magro	0	0	0
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	0	0	0
	Concreto Projetado	0	0	0
	Tinta impermeabilizante	0	0	0
0+000.238	Filtro de Areia	0.36	0.04	0.04
	Fundação de Pedra Rachão	0.51	0.06	0.06
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.01	0.01
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	0.32	0.32
	Concreto Projetado	0.7	0.08	0.08
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.01	0.01
0+001.117	Filtro de Areia	0.36	0.32	0.36
	Fundação de Pedra Rachão	0.42	0.41	0.47
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.05	0.06

Estaca (m)	Tipo de Material	Área De Material (m <sup>2</sup> )	Volume No Trecho (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (m <sup>3</sup> )
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	2.38	2.7
	Concreto Projetado	0.75	0.64	0.72
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.04	0.05
0+002.000	Filtro de Areia	0.36	0.32	0.68
	Fundação de Pedra Rachão	0.56	0.43	0.9
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.05	0.11
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	2.39	5.09
	Concreto Projetado	0.82	0.69	1.41
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.05	0.1
0+002.894	Filtro de Areia	0.36	0.32	1
	Fundação de Pedra Rachão	0.47	0.46	1.36
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.05	0.17
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	2.42	7.51
	Concreto Projetado	0.89	0.76	2.17
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.05	0.14
0+005.000	Filtro de Areia	0.36	0.72	1.72
	Fundação de Pedra Rachão	0.41	0.9	2.26
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.12	0.29
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	5.55	13.06
	Concreto Projetado	0.98	1.43	3.61
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.1	0.24
0+006.677	Filtro de Areia	0.36	0.56	2.28
	Fundação de Pedra Rachão	0.41	0.66	2.93
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.1	0.39
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	4.38	17.44
	Concreto Projetado	0.99	1.01	4.62
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.08	0.32
0+007.444	Filtro de Areia	0.36	0.3	2.58
	Fundação de Pedra Rachão	0.48	0.36	3.28
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.05	0.44
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	2.17	19.61
	Concreto Projetado	1.03	1.19	5.81
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.04	0.37
0+008.803	Filtro de Areia	0.36	0.56	3.14
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.61	3.89
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.09	0.52
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	3.91	23.52
	Concreto Projetado	1.1	2.57	8.38
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.08	0.44
0+010.000	Filtro de Areia	0.36	0.48	3.62
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.45	4.35
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.08	0.6
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	3.42	26.95
	Concreto Projetado	1.14	2.29	10.67
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.07	0.51
0+012.000	Filtro de Areia	0.36	0.72	4.34
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.72	5.07
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.12	0.72
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	5.41	32.36

Estaca (m)	Tipo de Material	Área De Material (m <sup>2</sup> )	Volume No Trecho (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (m <sup>3</sup> )
	Concreto Projetado	1.17	2.31	12.98
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.1	0.61
0+015.000	Filtro de Areia	0.36	1.05	5.39
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	1.07	6.14
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.18	0.9
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	8.02	40.38
	Concreto Projetado	1.21	3.03	16.01
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.15	0.76
0+017.394	Filtro de Areia	0.36	0.84	6.23
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.85	6.99
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.14	1.04
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	6.39	46.77
	Concreto Projetado	1.23	2.4	18.42
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.12	0.88
0+018.683	Filtro de Areia	0.36	0.46	6.7
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.46	7.45
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.08	1.11
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	3.49	50.26
	Concreto Projetado	1.24	1.59	20.01
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.07	0.95
0+020.000	Filtro de Areia	0.36	0.47	7.17
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.47	7.92
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.08	1.19
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	3.56	53.82
	Concreto Projetado	1.25	1.64	21.65
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.07	1.02
0+022.000	Filtro de Areia	0.36	0.72	7.89
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.72	8.64
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.12	1.31
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	5.41	59.23
	Concreto Projetado	1.23	2.48	24.13
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.1	1.12
0+022.875	Filtro de Areia	0.36	0.32	8.2
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.32	8.96
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.05	1.37
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	2.37	61.59
	Concreto Projetado	1.21	1.07	25.19
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.04	1.16
0+023.483	Filtro de Areia	0.36	0.22	8.42
	Fundação de Pedra Rachão	0.36	0.22	9.18
	Lastro de Concreto Magro	0.06	0.04	1.4
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	2.7	1.64	63.24
	Concreto Projetado	1.21	0.73	25.93
	Tinta impermeabilizante	0.05	0.03	1.19
0+023.934	Filtro de Areia	0	0.08	8.5
	Fundação de Pedra Rachão	0	0.08	9.26
	Lastro de Concreto Magro	0	0.01	1.42
	Corpo do Muro de Pedra Argamassada	0	0.61	63.85
	Concreto Projetado	0	0.27	26.2

Estaca (m)	Tipo de Material	Área De Material (m <sup>2</sup> )	Volume No Trecho (m <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (m <sup>3</sup> )
	Tinta impermeabilizante	0	0.01	1.2

Fonte: Elaboração própria (2024)

#### 4.2.2. Comparativo de resultados entre o modelo inicial e final

Com base nos dados obtidos do modelo inicial e do modelo final, observou-se que houve apenas variação no quantitativo da etapa 1, que envolvia apenas a terraplenagem inicial para execução da contenção. As variações de volumes de movimentação de terra dessa etapa entre o modelo inicial e o final é demonstrada pela Tabela 17.

Tabela 17: Variação do volume de movimentação de terra da Etapa 1 do Modelo Final relativo à Modelagem Inicial por estaca

Estaca (m)	Variação no Vol. de Corte	Variação no Vol. de Aterro
0+000.000	Sem Variação	Sem Variação
0+000.238	Sem Variação	Sem Variação
0+001.117	Sem Variação	Variou em "-10%"
0+002.000	Variou em "-0.51%"	Variou em "-14%"
0+002.894	Variou em "-1.51%"	Variou em "-6.12%"
0+005.000	Variou em "-0.64%"	Sem Variação
0+006.677	Sem Variação	Sem Variação
0+007.444	Variou em "-0.05%"	Sem Variação
0+008.803	Variou em "-0.2%"	Sem Variação
0+010.000	Variou em "-0.13%"	Variou em "33.33%"
0+012.000	Sem Variação	Sem Variação
0+015.000	Sem Variação	Sem Variação
0+017.394	Variou em "0.01%"	Sem Variação
0+018.683	Sem Variação	Sem Variação
0+020.000	Sem Variação	Sem Variação
0+022.000	Variou em "-1%"	Sem Variação
0+022.875	Variou em "-2.62%"	Sem Variação
0+023.483	Variou em "-1.54%"	Sem Variação
0+023.934	Sem Variação	Sem Variação

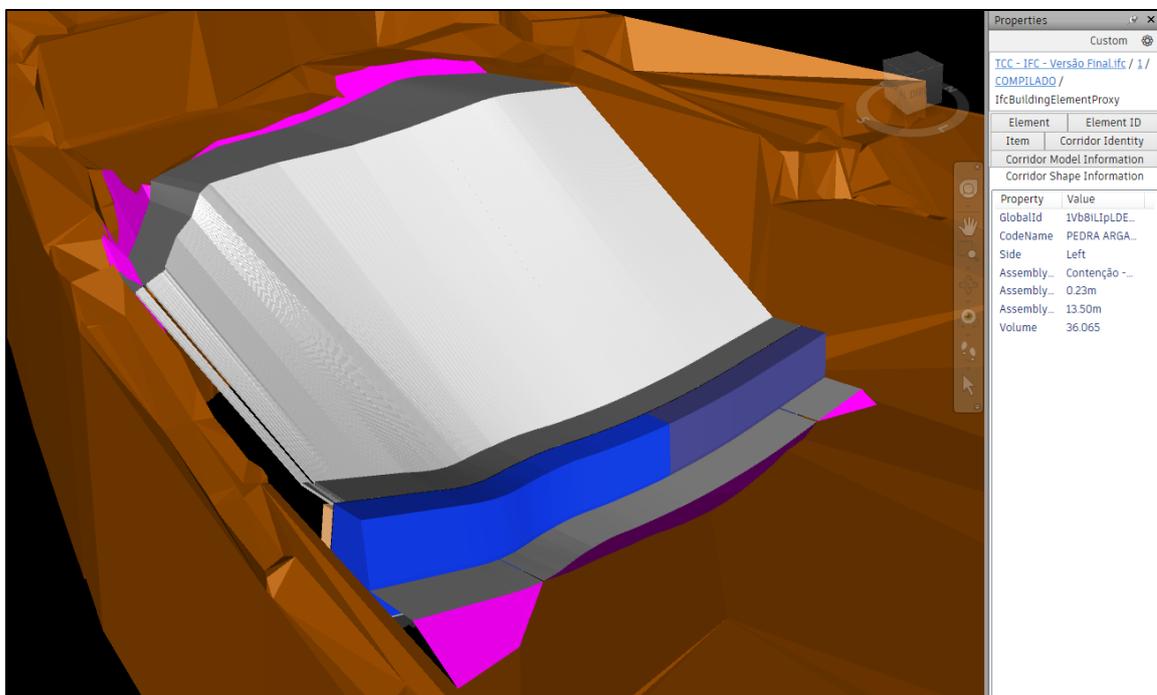
Fonte: Elaboração própria (2024)

Esse fenômeno pode ter acontecido em decorrência da melhor conformação do modelo final com o terreno natural durante sua fase de implantação (Etapa 1). Essa explicação se baseia no fato do corredor, na modelagem final, ter gerado mais seções de *assembly* ao longo de seu eixo longitudinal. Assim, os taludes automáticos e escalonamentos de corte fizeram *targets* mais precisos com a superfície do terreno natural, melhorando os resultados da terraplenagem no segundo cenário de modelagem.

### 4.3. Compatibilização com Software BIM de gerenciamento e simulação

Após exportação dos sólidos do modelo da contenção em formato de arquivo IFC, foi possível introduzir o modelo de contenção e o terreno natural dentro do ambiente do software *Navisworks* da Autodesk (Figura 43). Ademais, também é possível fazer futuras atualizações nesse arquivo, incluindo os modelos de outras disciplinas, como drenagem ou urbanismo, e mais detalhes do levantamento de campo.

Figura 43: Modelo BIM no ambiente do software Navisworks da Autodesk



Fonte: Elaboração própria (2024)

Além das representações visuais, também foi possível importar diversos dados das propriedades do corredor modelado. Esses dados incluem informações sobre o tipo de material, extensão de cada elemento envolvido, volumes por material e identificadores do modelo. Com todas essas informações, várias disciplinas envolvidas podem ter uma visão geral do modelo e realizar testes de compatibilidade ao incluir seus respectivos projetos no Navisworks. Isso possibilita uma gestão eficiente do projeto de contenção como um todo.

## 5. CONCLUSÕES

Com base no que foi observado neste trabalho, a modelagem paramétrica da estrutura de contenção de encosta revelou-se complexa em termos de preparação do modelo de *assembly*. A geometria do terreno e da contenção pode variar significativamente, tornando essencial antecipar os possíveis cenários de implementação do modelo. Dessa forma, é possível criar um modelo paramétrico com menos necessidade de ajustes.

Apesar do grande investimento de tempo na automatização da seção da contenção, ao longo do trabalho, foi possível realizar ajustes rápidos no corredor para desenvolver a geometria desejada.

Em um cenário real, é essencial considerar diversos parâmetros, especialmente o dimensionamento da estrutura e sua forma de implantação. Embora o *assembly* deste trabalho tenha ajustado o modelo ao terreno natural por meio de terraplenagem escalonada, a seção parametrizada deve estar preparada para cenários em que essa adaptação não seja necessária. Além disso, a variação parametrizada desse método, com base em elevações definidas pelo projetista geotécnico, também deve ser considerada.

Mesmo com o modelo não representando o produto final de um projeto de contenção, a dinâmica dos elementos envolvidos na modelagem permite uma interatividade ágil entre dimensionamento e desenho. A capacidade de obter dados precisos do modelo relacionados ao pré-dimensionamento da geometria do projeto é de grande valor ao projetista geotécnico, poupando tempo e evitando verificações trabalhosas adicionais.

Outro aspecto importante da modelagem do corredor é que apesar do modelo final ter um grande número de seções de *assembly* ao longo de sua estrutura, a variação total de volume foi pequena quando comparada com modelo inicial. Essa variação ocorreu principalmente nos volumes de movimentação de terra. É importante destacar que essa conclusão se baseia no uso do método das áreas médias com as *sample lines* (seções transversais) de estudo (Figura 37). O indicativo de que o quantitativo de volume afetado seja apenas o de movimentação de terra e não os de materiais de construção da contenção, seria interação mais precisa do corredor com o terreno natural. Como visto na própria criação desse modelo parametrizado, algumas partes da seção transversal da contenção têm parâmetros geométricos dependentes da interação com a superfície de *target*, que em alguns casos é o próprio terreno natural. Dito isso, as possíveis lacunas de variações abruptas na geometria do terreno durante a modelagem inicial foram resolvidas pelo aumento da frequência de repetição do *assembly*.

Por fim, como forma de validar o modelo BIM e sua interoperabilidade, foi possível a importação dos dados do modelo entre o software de modelagem, o AutoCAD Civil 3D da Autodesk, para o software *Navisworks*, também da mesma empresa. Essa transferência de dados foi bem-sucedida, sem deformações ou alterações na geometria do modelo e sem perda de informações agregadas. Durante esse processo, foram incorporados dados georreferenciados, quantitativos de volumes, dimensões da contenção e a superfície do terreno natural.

## REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M. M. *et al.* **Manual de ocupação de morros na Região Metropolitana de Recife**. Recife: Ensol, 2004.

ANTAS, P. M. *et al.* **Estradas: projeto geométrico e de terraplenagem**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

BEIRNAERT, F.; LIPPENS, A. Analysis of the interoperability from BIM to FEM. [*s. l.*], 2018.

CARDOSO, M. C.; FRAZILLIO, E. **Autodesk ® AutoCAD Civil 3D 2016 Recursos e Aplicações para Projetos de Infraestrutura 1 a Edição**. 1ª Ediçãoed. [*S. l.*]: Editora Érica Ltda., 2016. Disponível em: [www.editoraerica.com.br](http://www.editoraerica.com.br).

DA COSTA, A. U. L.; PIMENTEL, F. C. Modelagem BIM aplicada a projeto de rodovia rural pavimentada de pista simples. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, [*s. l.*], v. 5, n. 1, p. 67–88, 2022.

EASTMAN, C. M. *et al.* **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. [*S. l.*]: John Wiley & Sons, 2018.

HUANG, Y. Triangular irregular network generation and topographical modeling. **Computers in Industry**, [*s. l.*], v. 12, n. 3, p. 203–213, 1989. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166361589900675>.

KLINC, R. *et al.* Development of a Semiautomatic Parametric Method for Creation of an I-BIM Model of a Tunnel for Use in FEM Software. **Journal of Advanced Transportation**, [*s. l.*], v. 2021, p. 8843277, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2021/8843277>.

RAJI, S. A. *et al.* Geometric design of a highway using autocad civil 3d. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)**, [*s. l.*], v. 4, n. 6, p. 7415, 2017.

SHENKMAN, R.; PONOMARYOV, A. Advantages of using BIM (BIM-technology) for the design and construction of subsoil use industry buildings and structures. **Journal of Physics: Conference Series**, [*s. l.*], v. 1928, n. 1, p. 012052, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1928/1/012052>.

STRAFACI, A. What does BIM mean for civil engineers? Road and highway projects can benefit from design using building information modeling. **CE NEWS**, [s. l.], p. 62–65, 2008. Disponível em: [www.cenews.com](http://www.cenews.com).

STRIEDER, H. L.; SCHREINERT, G. G. Metodologia BIM em obras de infraestrutura: uma revisão sistemática. **Anais do 24º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), 47ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)**, [s. l.], 2022.

TANG, F. *et al.* Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 113, 2020.