

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LUANA DA SILVA RAMOS**

**ESTUDO DA EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA**

**São Leopoldo**

**2019**

LUANA DA SILVA RAMOS

**ESTUDO DA EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Graduado em engenharia civil, pelo Curso de engenharia civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mirtes Caron Peres Ramires

São Leopoldo

2019

Dedico este trabalho à minha mãe Neusa e ao meu esposo, Alex.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelas oportunidades que colocou em minha vida e por ter me fortalecido para concretizá-las.

Ao meu esposo pelo suporte nos momentos mais difíceis, motivando e aconselhando a prosseguir, à minha mãe por estar sempre ao meu lado, aos meus irmãos (as) e cunhados (as), por torcerem pela minha conquista.

Agradeço à família do meu esposo em especial sua irmã, Cereni, seu cunhado Telmo (em memória), e seu filho Paulo pelo apoio, aconselhamento e confiança.

Sem essas pessoas não teria chegado até aqui.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mirtes Caron Peres Ramires pelo apoio, confiança e atenção demonstrada neste trabalho.

Às empresas GEOMAX e ESTAQ, pela atenção demonstrada neste trabalho.

## RESUMO

A demanda crescente por empreendimentos com mais de uma vaga de estacionamento torna necessária à execução de subsolos mais profundos em áreas com condições geológicas e geotécnicas desfavoráveis. Dessa forma, a técnica de parede diafragma para contenções em subsolos vem sendo utilizada de maneira relevante na construção civil, especialmente em obras executadas em perímetro urbano. O presente trabalho visa caracterizar as etapas de implantação de parede diafragma atirantada em duas obras localizadas no município Porto Alegre – RS. O estudo descreve os processos de execução, os materiais utilizados, além de fazer uma revisão teórica sobre os tipos de contenções empregadas em subsolos. Ainda apresenta as aplicações, restrições, facilidades, dificuldades executivas da técnica e uma estimativa de custos através do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao ano de 2019. As conclusões obtidas para o presente estudo demonstram que, conhecimento técnico, planejamento, acompanhamento, sincronização de etapas e estudos do solo são decisivos para a execução de obras com parede diafragma sem a incidência de maiores riscos. Do mesmo modo, a estimativa de custos demonstra que o gasto ao executar uma contenção em parede diafragma atirantada pode ser elevado e que os materiais e equipamentos utilizados representam aproximadamente 60% do custo total da contenção. Assim como o método de execução e os diferentes tipos de solo podem acarretar variações significativas no valor final da obra.

**Palavras-chave:** Subsolos. Parede diafragma. Estimativa de custos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de contenções verticais contínuos .....	19
Figura 2 - Condição escoramento em balanço.....	20
Figura 3 - Condição de escoramento com uma linha de travamento .....	20
Figura 4 - Condição de escoramento com duas ou mais linhas de travamento .....	20
Figura 5 - Cortina de estacas secantes.....	21
Figura 6 - Cortina de estacas secantes macho e fêmea .....	21
Figura 7 - Gabarito para perfuração de estacas secantes .....	23
Figura 8 - Fases de execução de armadura.....	24
Figura 9 - Estaca prancha metálica .....	25
Figura 10 - Tipos de perfis.....	25
Figura 11 - Martelo vibratório .....	26
Figura 12 - Esquema geral de uma parede diafragma .....	27
Figura 13 - Parede diafragma.....	28
Figura 14 - Mureta guia .....	30
Figura 15 - Escavação com <i>clamshell</i> .....	31
Figura 16 - Escavação com lama bentonítica.....	31
Figura 17 - Escavação com polímero.....	32
Figura 18 - Central da lama.....	33
Figura 19 - Painéis em planta.....	34
Figura 20 - Concretagem da parede diafragma moldada in loco.....	35
Figura 21 - Método de execução de parede diafragma pré-moldada.....	36
Figura 22 - Parede diafragma pré-moldada em concreto.....	37
Figura 23 - Hidrofresa .....	38
Figura 24 - Processo de execução com hidrofresa .....	38
Figura 25 - Processo de execução com hidrofresa .....	39
Figura 26 - Elementos do tirante .....	41
Figura 27 - Detalhe da cabeça do tirante .....	41
Figura 28 - Fases de injeção.....	46
Figura 29 - Equipamentos para protensão dos tirantes.....	47
Figura 30 - Metodologia e desenvolvimento do trabalho.....	50
Figura 31 - Relatório de acompanhamento .....	52
Figura 32 - Localização das obras .....	54

Figura 33 - Planta baixa da contenção na obra A .....	56
Figura 34 - Planta baixa da contenção na obra B .....	56
Figura 35 - Mureta guia .....	58
Figura 36 - Detalhe das lamelas.....	61
Figura 37 - Esquema de injeção.....	83
Figura 38 - Gráficos de carga x deslocamento, ensaio recebimento.....	88
Figura 39 - Gráfico obtido ensaio de recebimento obra B .....	88

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Etapas de preparo e bombeamento estabilizante da obra A .....	60
Fotografia 2 - Etapas preparo e bombeamento estabilizante da obra B .....	60
Fotografia 3 - Escavação das lamelas com guindaste e <i>clamshell</i> da obra A .....	62
Fotografia 4 - Escavação das lamelas com guindaste e <i>clamshell</i> da obra A .....	62
Fotografia 5 - Escavação das lamelas com guindaste e <i>clamshell</i> , da obra B .....	63
Fotografia 6 - Materiais utilizados para medir as dimensões das lamelas .....	64
Fotografia 7 - Preparo da armadura na obra A .....	65
Fotografia 8 - Armadura e espaçadores da obra A .....	65
Fotografia 9 - Colocação dos equipamentos da obra A .....	66
Fotografia 10 - Materiais utilizados na execução das lamelas da obra B .....	67
Fotografia 11 - Etapas do <i>slump test</i> .....	68
Fotografia 12 - Etapas de concretagem da obra A no trecho D .....	69
Fotografia 13 - Etapas de concretagem da obra A no trecho A .....	69
Fotografia 14 - Escavação e remoção do solo na obra A .....	70
Fotografia 15 - Escavação e remoção do solo na obra B .....	70
Fotografia 16 - Abertura dos furos nas lamelas na obra A .....	71
Fotografia 17 - Abertura dos furos nas lamelas na obra B .....	72
Fotografia 18 - Perfuratrizes utilizadas na obra A .....	75
Fotografia 19 - Perfuratriz utilizada na obra B .....	75
Fotografia 20 - Perfuração com uso de estabilizante na obra A .....	76
Fotografia 21 - Perfuração a ar comprimido na obra A .....	76
Fotografia 22 - Perfuração com ar comprimido na obra B .....	77
Fotografia 23 - Preparação dos tirantes obra A .....	78
Fotografia 24 - Preparação dos tirantes obra B .....	79
Fotografia 25 - Instalação do tirante trecho B da obra A .....	79
Fotografia 26 - Instalação do tirante trecho C da obra A .....	80
Fotografia 27 - Instalação do tirante trecho D da obra B .....	80
Fotografia 28 - Instalação do tirante trecho C da obra B .....	80
Fotografia 29 - Misturadores de calda da obra A .....	81
Fotografia 30 - Misturadores de calda obra B .....	82
Fotografia 31 - Injeção da bainha na obra A .....	82
Fotografia 32 - Bomba e válvulas manchete utilizadas na injeção da obra A .....	83



Fotografia 33 - Injeção da calda de cimento obra B .....	84
Fotografia 34 - Cimento utilizado nas injeções das obras A e B, respectivamente ...	85
Fotografia 35 - Ensaio de recebimento trecho A .....	86
Fotografia 36 - Ensaio de recebimento trecho D .....	87
Fotografia 37 - Ensaio de recebimento obra B .....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da lama.....	32
Tabela 2 - Características da lama após repouso .....	33
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens de cada técnica .....	39
Tabela 4 - Estimativa de custos para execução de parede diafragma atirantada .....	53
Tabela 5 - Descrição dos tirantes.....	73
Tabela 6 - Trechos de lamela, linha de tirantes e sequência de execução .....	74
Tabela 7 - Estágio de cargas do ensaio de recebimento .....	86
Tabela 8 - Estimativa de custo execução de mureta guia, base SINAPI 2019.....	90
Tabela 9 - Estimativa de custo para execução das lamelas, base SINAPI 2019 .....	91
Tabela 10 - Estimativa de custos para execução de tirantes, base SINAPI 2019.....	91
Tabela 11 - Custos inexistentes na base SINAPI 2019.....	91
Tabela 12 - Estimativa de custos dos subcontratados .....	92
Tabela 13 - Estimativa de custo execução de mureta guia, base SINAPI 2019.....	95
Tabela 14 - Estimativa de custo execução das lamelas, base SINAPI 2019 .....	96
Tabela 15 - Estimativa de custos para execução de tirantes, base SINAPI 2019.....	96
Tabela 16 - Custos inexistentes na base SINAPI 2019.....	96
Tabela 17 - Estimativa de custos dos subcontratados .....	96

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Custos de execução por etapa da obra A.....	93
Gráfico 2 - Percentual de custos por etapas da obra A.....	93
Gráfico 3 - Custo para execução dos tirantes da obra A.....	94
Gráfico 4 - Percentual de custos para execução dos tirantes na obra A.....	94
Gráfico 5 - Custo para execução das lamelas da obra A.....	94
Gráfico 6 - Percentual de custos para execução das lamelas na obra A.....	95
Gráfico 7 - Custos de execução por etapa da obra B.....	97
Gráfico 8 - Percentual de custo por etapa da obra B.....	97
Gráfico 9 - Custo para execução dos tirantes da obra B.....	98
Gráfico 10 - Percentual de custos para execução dos tirantes na obra B.....	98
Gráfico 11 - Custo para execução das lamelas da obra B.....	98
Gráfico 12 - Percentual de custos para execução das lamelas na obra B.....	99
Gráfico 13 - Custo de material e mão de obra na obra A.....	99
Gráfico 14 - Percentual de custo com materiais e mão de obra da obra A.....	99
Gráfico 15 - Custo de material e mão de obra na obra B.....	100
Gráfico 16 - Percentual de custo com materiais e mão de obra da obra B.....	100
Gráfico 17 - Custo total para execução em cada obra.....	101

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ARI	Alta Resistencia Inicial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	16
1.2 OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	17
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
2.1 CONTENÇÕES .....	18
2.2 CORTINAS DE ESTACAS SECANTES.....	21
<b>2.2.1 Processo de Execução</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.2 Execução dos Gabaritos</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.3 Perfuração</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.4 Concretagem</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.5 Armação</b> .....	<b>24</b>
2.3 ESTACA PRANCHA METÁLICA.....	24
2.4 PAREDE DIAFRAGMA .....	26
<b>2.4.1 Tipos de Paredes Diafragmas</b> .....	<b>28</b>
<b>2.4.2 Parede Diafragma Moldada <i>in loco</i></b> .....	<b>28</b>
2.4.2.1 Processo de Execução .....	29
2.4.2.2 Materiais.....	29
2.4.2.3 Equipamentos .....	29
2.4.2.4 Mureta Guia.....	30
2.4.2.5 Escavação .....	30
2.4.2.6 Características do Estabilizante .....	31
2.4.2.6.1 Lama Bentonítica.....	32
2.4.2.6.2 Polímero Biodegradável .....	33
2.4.2.7 Divisão de Painéis .....	34
2.4.2.8 Concretagem.....	35
<b>2.4.3 Parede Diafragma Pré-moldada</b> .....	<b>36</b>
<b>2.4.4 Hidrofresa</b> .....	<b>37</b>
2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	39
2.6 TIRANTES.....	40

<b>2.5.1 Classificação .....</b>	<b>42</b>
2.5.1.1 Vida útil.....	42
2.5.1.2 Constituição.....	42
2.5.1.3 Injeção.....	43
<b>2.5.2 Processo de execução.....</b>	<b>44</b>
2.5.2.1 Preparo e montagem.....	44
2.5.2.2 Perfuração.....	45
2.5.2.3 Instalação e preenchimento .....	45
2.5.2.4 Injeção.....	45
2.5.2.5 Protensão.....	47
2.5.2.6 Incorporação .....	49
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....</b>	<b>50</b>
3.1 DEFINIÇÃO DAS OBRAS.....	54
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS .....	55
<b>4 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>57</b>
4.1 ETAPAS DE EXECUÇÃO .....	57
<b>4.1.1 Mureta guia .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.2 Estabilizante .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.3 Execução das lamelas .....</b>	<b>61</b>
4.1.3.1 Escavação.....	62
4.1.3.2 Materiais necessários para execução das lamelas .....	63
4.1.3.2.1 Armadura.....	64
4.1.3.2.2 Chapa junta, chapa espelho e tubo tremonha.....	66
4.1.3.3 Concretagem.....	67
<b>4.1.4 Remoção do solo .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1.5 Tirantes .....</b>	<b>72</b>
4.1.5.1 Perfuração.....	74
4.1.5.2 Montagem e instalação .....	77
4.1.5.3 Injeção.....	81
4.1.5.4 Protensão .....	84
4.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS .....	89
<b>4.2.1 Estimativa de custos obra A .....</b>	<b>90</b>
<b>4.2.2 Estimativa de custos obra B .....</b>	<b>95</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>102</b>

5.1 CONCLUSÕES .....	102
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	104
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO A – RELATÓRIOS DE SONDAgens.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO B – LOCALIZAÇÃO DOS FUROS.....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>119</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de contenções em subsolos cresce devido ao aumento do número de construções que necessitam de um máximo aproveitamento do terreno. Essas obras recebem atenção especial, pois, em sua maioria, possuem limites próximos da divisa. Nesse caso, sendo necessária a busca por técnicas construtivas e também tecnologias que proporcionem maior segurança e qualidade na execução. Atualmente, existem muitos tipos de contenções de solos, cada uma com suas particularidades.

A escolha do elemento estrutural depende do tipo de solo, da necessidade e das condições locais (como, por exemplo, disponibilidade de recursos técnicos e econômicos da região, o tipo de obra e as características do entorno de cada projeto).

Dentre os diversos tipos de contenções conhecidas, a parede diafragma - tema desta pesquisa - é utilizada em muitas obras, viabilizando escavações de subsolos de maneira segura e eficaz.

A técnica se destaca por ser uma estrutura vertical que pode atingir vários níveis de subsolos de forma relativamente rápida, sem gerar grandes vibrações, atravessando diversos tipos de solos e moldando-se à geometria do terreno. Além disso, pode ser empregada em construções de garagens subterrâneas, cortinas impermeáveis, estações de metrô, subsolos, e também obras de canalizações, execução de túneis, dentre outras aplicações.

Geralmente são selecionadas para obras em perímetros urbanos, com necessidade de subsolos em grandes profundidades. Justamente pela sua capacidade de absorver esforços significativos de empuxos e a qualidade do acabamento.

Embora tenha disponível muitas bibliografias a respeito de contenções de solos, a técnica de execução de parede diafragma possui carência de estudos. Tanto que apresentem as principais características técnicas, mas também suas aplicações, restrições, facilidades e dificuldades executivas e estimativas de custos. O que torna difícil o processo para embasar um prévio planejamento de implantação.

Portanto, este estudo disserta sobre acompanhamentos realizados em duas obras de contenções executadas com a técnica de parede diafragma atirantada, ambas localizadas no município de Porto Alegre – RS. Importa-se em caracterizar as



etapas de execução, as diferentes maneiras de implantar (devido às diferentes características do entorno e do nível do lençol freático) e uma estimativa de custos de cada obra acompanhada.

## 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Caracterização técnica de parede diafragma atirantada utilizada em subsolos, através de acompanhamentos realizados em duas obras localizadas no município de Porto Alegre – RS, no período de julho a setembro de 2019, descrevendo a metodologia utilizada para execução da contenção e estimativa de custos para implementação. As obras foram realizadas para empreendimentos multifamiliares localizados em perímetro urbano, com edificações no entorno. Não foram abordados neste trabalho os métodos de cálculo das contenções e dimensionamento dos tirantes.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo geral estudar a execução de parede diafragma atirantada em duas obras localizadas no município de Porto Alegre – RS.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

O trabalho contém os seguintes objetivos específicos:

- a) caracterizar as etapas, os cuidados e as implicações na execução de parede diafragma atirantada;
- b) estimar custos de implementação através do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao ano 2019.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O crescente número de empreendimentos multifamiliares em áreas com espaço físico reduzido aumenta a necessidade de implantação de vários níveis de subsolos. Para a execução de obras com escavações desse porte é necessário conhecimento prévio dos tipos de técnicas mais utilizadas e suas características, tais como as seguintes: metodologia de execução; limitações; materiais disponíveis e custos de implementação.

Ocorre que, as possibilidades de surgirem imprevistos durante a obra são elevadas, devido à instabilidade dos solos. As bibliografias disponíveis sobre execução de subsolos em parede diafragma atirantada abordam o procedimento correto e os passos que devem ser seguidos. Mesmo assim, é importante ressaltar que, no momento de execução das especificações do projeto, ainda podem surgir limitações e dúvidas nas tomadas de decisões para que sejam executadas de forma correta sem causarem danos à obra e edificações vizinhas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta os dados obtidos através da pesquisa bibliográfica realizada.

### 2.1 CONTENÇÕES

Ao projetar obras em perímetros urbanos que possuem solos há necessidade de estabilizar o terreno que será alterado. Segundo Ranzini e Negro Junior, (1998), contenção é a introdução de uma estrutura ou de elementos estruturais que possuem rigidez diferente do solo onde está inserido. Além disso, que se opõem a empuxos ou tensões causadas pelo maciço com condições de equilíbrio alterado.

Ainda de acordo com Ranzini e Negro Junior (1998), o grupo de contenções pode ser dividido da seguinte maneira:

- a) escoramentos;
- b) cortinas;
- c) muros;
- d) reforços de terreno.

A escolha do tipo de contenção deve ser adotada a partir de vários fatores, um deles é a cultura regional, a experiência dos profissionais envolvidos, assim como técnicas e equipamentos disponíveis. (MILITITSKY, 2016)

Conforme Milititsky (2016), as considerações intervenientes no processo de escolha de contenções aplicadas são:

- a) custo;
- b) geometria e profundidade da escavação;
- c) condições de solo;
- d) presença de água;
- e) construções no entorno;
- f) dimensões disponíveis no canteiro;
- g) contenções de caráter permanente ou provisório;
- h) prazos de execução.

Conforme Joppert (2007), em construções com necessidades de subsolos as contenções devem ser projetadas não somente para contrapor empuxos horizontais no solo, mas também absorver cargas verticais resultantes das lajes que nelas se apoiam.

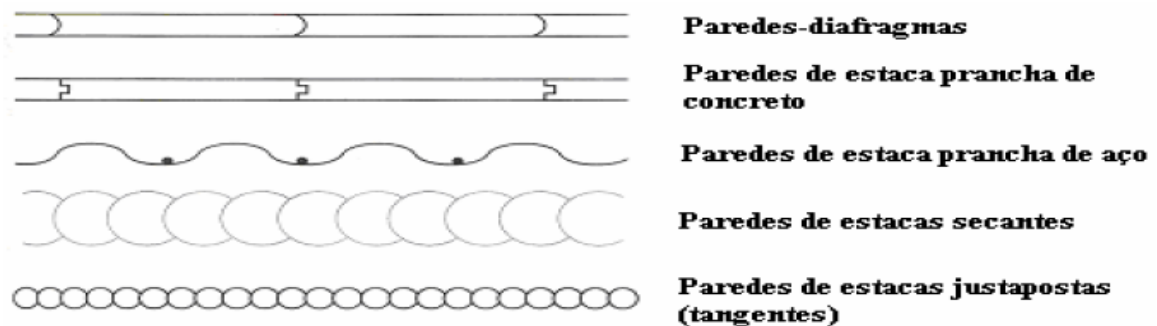
O tipo de contenção é definido a partir de parâmetros que atendam às necessidades de projeto e execução. De acordo com Mendes (2010), os fatores mais importantes são: solo de fundação; solo que está contido; restrições de espaço e acesso; sobrecarga; altura da estrutura; tecnologia disponível; qualificação de materiais; mão de obra disponível e investimento dos responsáveis pela obra.

Os carregamentos atuantes de uma estrutura de contenção podem ser determinados por três parcelas básicas como: empuxo de terra; empuxo de sobrecargas externas e o empuxo causado pela água. (MARZIONNA *et al.*,1998).

Para a escavação de subsolos podem ser utilizados vários tipos de sistemas de contenções como: paredes diafragmas, paredes de estaca prancha de concreto, paredes de estacas justapostas e paredes de estacas secantes. (VELLOSO *et al.*,1998).

A Figura 1 mostra os tipos de contenções verticais contínuas.

Figura 1 - Sistemas de contenções verticais contínuas



Fonte: Hachich (1998).

As contenções geralmente necessitam de apoios horizontais, que servem de reforço na estabilização do maciço a ser contido, os sistemas de escoramentos mais usuais, segundo Velloso e Lopes (1998), são basicamente:

- a) tirantes ou ancoragens;
- b) estroncas em aço ou madeira;
- c) lajes da estrutura.

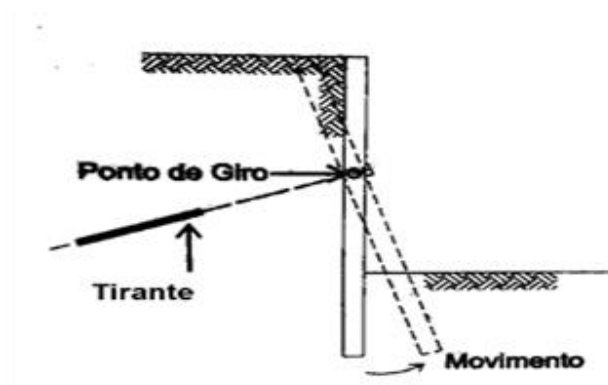
Conforme Joppert (2007), ao executar contenções em solos de áreas urbanas, esses elementos estruturais introduzidos no solo geralmente reagem em três tipos de condições de carregamento. As Figuras 2, 3 e 4 descrevem estas condições.

Figura 2 - Condição escoramento em balanço



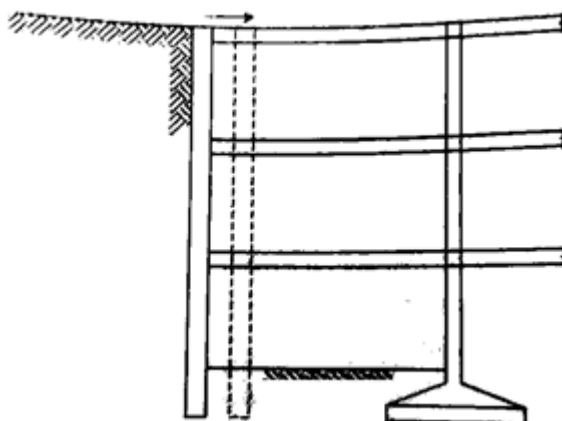
Fonte: Joppert (2007).

Figura 3 - Condição de escoramento com uma linha de travamento



Fonte: Joppert (2007).

Figura 4 - Condição de escoramento com duas ou mais linhas de travamento



Fonte: Joppert (2007).

## 2.2 CORTINAS DE ESTACAS SECANTES

Cortinas de estacas secantes são estacas escavadas moldadas no solo, por meio de um processo rotativo. A técnica permite a construção da contenção em solos de alta resistência e variabilidade entre as camadas. (ZUCCHI, 2018).

A Figura 5 apresenta uma cortina executada com estacas secantes.

Figura 5 - Cortina de estacas secantes

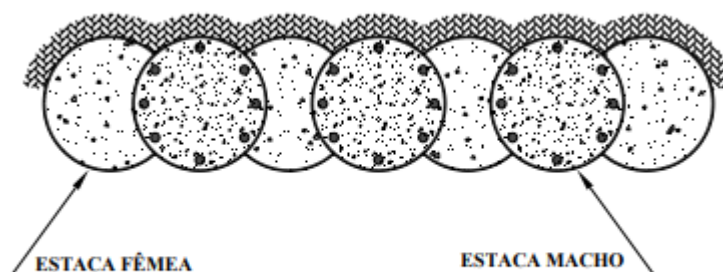


Fonte: Scipião (2003).

As cortinas de estacas secantes são executadas de modo que se interceptam umas nas outras, a intercepção é feita por estacas descritas como macho e fêmea. A estaca denominada macho possui armadura tradicional ou perfil metálico, a estaca fêmea segue o alinhamento e não recebe armadura. (MEIRELES; MARTINS, 2006).

A Figura 6 mostra a planta baixa das estacas secantes.

Figura 6 - Cortina de estacas secantes macho e fêmea



Fonte: Meireles e Martins (2006).

Segundo Souza e Naresi Junior (2018), o processo de execução de estacas secantes tem origem na adaptação do equipamento de estacas hélice contínua, acrescido de cabeçote duplo. Essas estacas podem ser utilizadas na contenção de subsolos, substituindo a técnica de paredes diafragma.

As estacas secantes são versáteis quando comparadas as paredes diafragmas. Inclusive porque não necessitam de estabilizantes como lama bentonítica quando encamisadas, seus equipamentos são de menor porte e podem penetrar solos de grande resistência. (ZUCCHI, 2007).

### **2.2.1 Processo de Execução**

As cortinas de estacas secantes podem ser executadas em vários tipos de solos, sendo mais aplicadas em solos arenosos e com presença de água. De acordo com Corsini (2013), devido a sua estrutura rígida é praticamente impermeável, podem ser construídas em canteiros com dimensões reduzidas, e junto a edificações já existentes.

Portanto, podem ser uma alternativa na substituição de paredes diafragmas, diminuindo escavações com uso de estabilizantes. Possuem restrições na altura de escavação que atinge no máximo 19m. O que as torna, uma solução mais econômica no caso de contenções para empreendimentos com até dois subsolos. (ZUCCHI, 2007).

### **2.2.2 Execução dos Gabaritos**

A execução de gabaritos serve de guia para a escavação. Nesse caso, são executados com elementos circulares de isopor, com diâmetro superior ao da estaca. Após, estes elementos são unidos por concreto, que auxiliam no posicionamento do equipamento de escavação, garantindo a verticalidade do trado e ancoragem do equipamento. (PACIFIC, 2018).

A Figura 7 apresenta o gabarito.

Figura 7 - Gabarito para perfuração de estacas secantes



Fonte: Meireles e Martins (2006).

### 2.2.3 Perfuração

No entanto, para a perfuração do solo é utilizado uma perfuratriz de hélice contínua com torque mínimo de 14 kgf.m. Essa que possui um acessório chamado cabeça dupla, responsável pelo recorte das peças de concreto e execução próximo à divisa. (JOPPERT, 2007).

De acordo com Joppert (2007), a cabeça dupla é composta por um tubo que gira no sentido anti-horário e um trado helicoidal que gira no sentido horário, de modo que o tubo perfura o trado e limpa a parte interna da perfuração. O conjunto tubo e trado possuem comprimento máximo de perfuração de 17,5 m.

### 2.2.4 Concretagem

A perfuração é feita de maneira contínua ao atingir a cota de ponta de projeto e a concretagem é executada seguindo as especificações de fck e *slump*.

Conforme Joppert (2007), as estacas devem ser preenchidas com argamassa fluida, feita de cimento e areia fornecida por silos ou argamassa proveniente de usina transportada por caminhão betoneira. A argamassa deve obter *slump test* mínimo de  $28 \pm 1$  cm, *slump flow* de  $32 \pm 2$  cm e o fck entre 18 e 25 MPa.



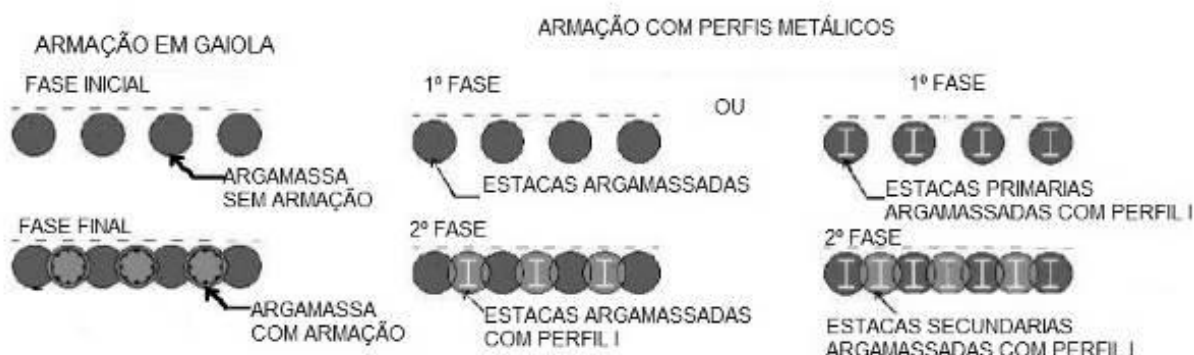
### 2.2.5 Armação

Após a concretagem das primeiras estacas, que não devem receber armadura, inicia-se a execução da segunda fase de estacas, ou seja, as estacas machos que recebem armadura. Essa armação pode ser composta por gaiolas de aço CA-50 ou perfis metálicos.

As estacas da segunda etapa recortam as que já foram executadas, promovendo a interação da cortina. Após concretadas, as estacas machos recebem a armadura necessária dimensionada para suportar os esforços em que estarão expostas. A utilização de perfis I de aço possibilita maior estruturação para a cortina, podendo ser submetida a grande esforço de flexão e cortante. (JOPPERT, 2007).

A Figura 8 descreve as fases de execução de armadura.

Figura 8 - Fases de execução de armadura



Fonte: Meireles e Martins (2006).

### 2.3 ESTACA PRANCHA METÁLICA

Estacas pranchas metálicas são perfis de aço com diferentes seções justapostos e cravados no solo. Elas podem ser utilizadas para construção de cais e portos, proteção de escavações em túneis, quebra mares e como contenções de subsolos de edifícios residenciais. (BASILE, 2014).

A Figura 9 mostra uma contenção de estaca prancha metálica.

Figura 9 - Estaca prancha metálica



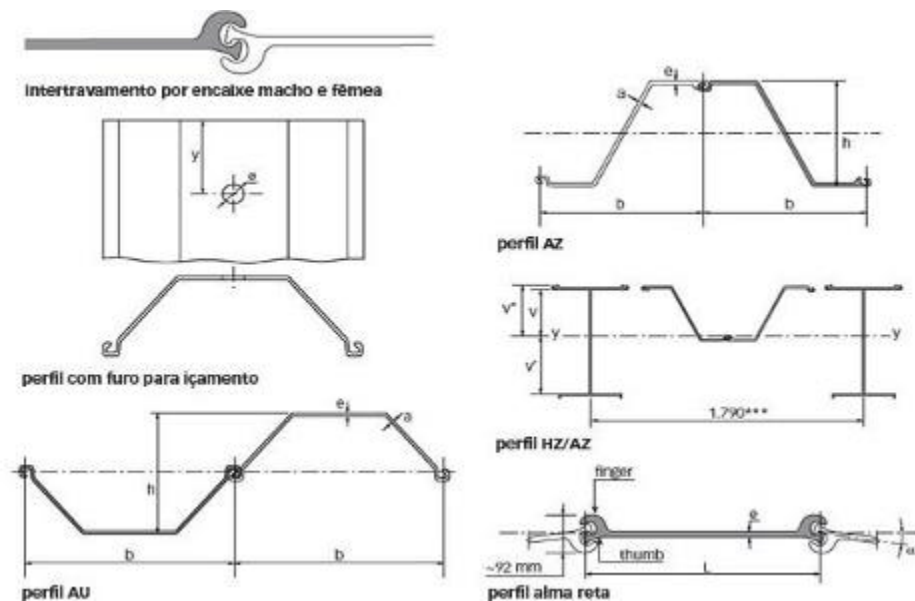
Fonte: ArcelorMittal (2010).

As estacas pranchas metálicas aplicam-se em obras provisórias ou permanentes, não sendo aplicáveis em solos que possuem matacões ou dureza elevada. Ainda assim, com o uso do martelo vibratório podem ser realizadas em obras executadas em perímetro urbano. (NARESI JÚNIOR, 2019).

As estacas pranchas em aço são as mais utilizadas, possuem perfis variados e podem ser reutilizadas, no caso de obras temporárias, sua implantação ocorre através de cravações por precursão ou por vibração no terreno. (SAES *et al.*, 1998).

Segundo Naresi Júnior (2019), as estacas pranchas metálicas possuem diferentes tipos de perfis, os mais comuns são os perfis em AU, AZ, HZ/AZ e perfis de alma reta. A Figura 10 apresenta os tipos de perfis.

Figura 10 - Tipos de perfis



Fonte: Naresi Júnior (2019).

O processo de execução das estacas pranchas metálicas é rápido em comparação a execução de parede diafragma. Os perfis metálicos são cravados no solo através de um martelo vibratório, que é estipulado de acordo com o tipo de solo e o peso da estaca a ser vibrada, o perfil é encaixado no martelo através de um grampo, para evitar deformações, necessitando de uma amplitude e frequência adequada. (VPAEQUIPAMENTOS, 2018).

A Figura 11 mostra a cravação com martelo vibratório.

Figura 11 - Martelo vibratório



Fonte: VPAEQUIPAMENTOS (2018).

## 2.4 PAREDE DIAFRAGMA

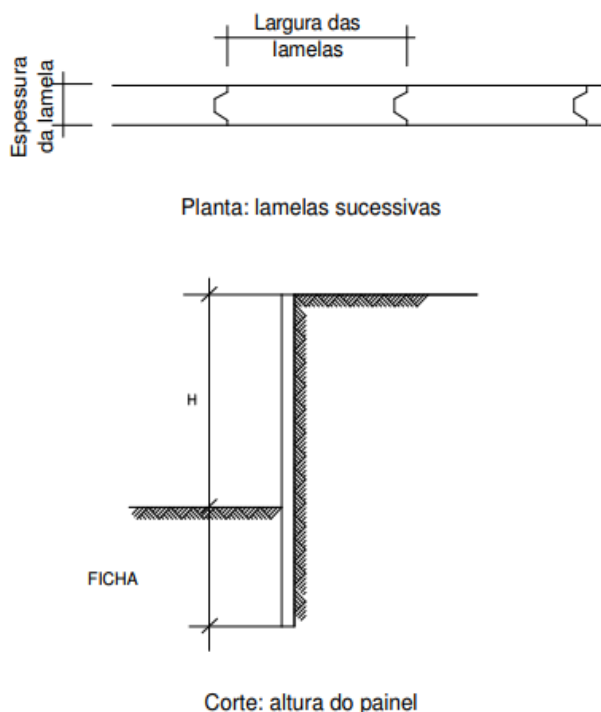
Parede diafragma é uma tecnologia de contenção de solos muito utilizada principalmente em subsolos e obras de fundações. Segundo Marzionna *et al.* (1998), as paredes diafragmas são painéis ou lamelas, executadas em concreto armado que podem atingir diferentes profundidades e espessuras formando uma cortina de contenção no solo escavado.

No ano de 1969 foi realizada no Brasil a primeira parede diafragma atirantada para a execução de subsolo da Universidade de São Paulo, (USP). Causando então, aumento do uso desta técnica para contenções, principalmente em obras com lençol freático elevado. (MONTEIRO, 2009).

Descrevendo de forma sucinta, a parede diafragma pode ser denominada como um muro vertical enterrado, com profundidades e espessuras variadas, constituídas de painéis ou lamelas. Executadas de forma sucessiva ou alternada, que suportam cargas axiais, empuxos horizontais e momentos fletores. (HASHIZUME, 2006).

A Figura 12 ilustra o esquema geral de uma parede diafragma.

Figura 12 - Esquema geral de uma parede diafragma



Fonte: Hashizume (2006).

O uso de paredes diafragmas em contenção de solos é uma solução para obras que possuem construções no entorno do terreno, pois não gera vibrações além de poder ser executada de maneira relativamente rápida e eficiente.

As paredes diafragmas podem alcançar melhor desempenho em relação a outros tipos de contenções. De acordo com Caputo (2015, v. 2), as paredes diafragmas são mais rígidas em comparação com as cortinas de estacas pranchas, elas reduzem as perturbações no terreno, recalques nos prédios vizinhos, possuem rápida execução e são muito mais vantajosas em grandes escavações.

Conforme Rattichieri (2015), as paredes diafragmas se adaptam a variados tipos de solos. Dessa forma, podem ser implementadas em areias finas submersas sem rebaixamento do lençol freático, são executadas sem provocar vibrações mesmo em camada de areia muito compacta e argila muito dura.

Segundo Ortiz (2011), as paredes diafragma revolucionaram a engenharia de fundações, justamente por permitir realizar escavações profundas com segurança junto a edificações já existentes. Além disso, podem ser implantadas em diferentes tipos de terrenos, sem necessidade de rebaixamento do lençol freático.

### 2.4.1 Tipos de Paredes Diafragmas

As paredes diafragmas possuem vários tipos e as mais utilizadas são:

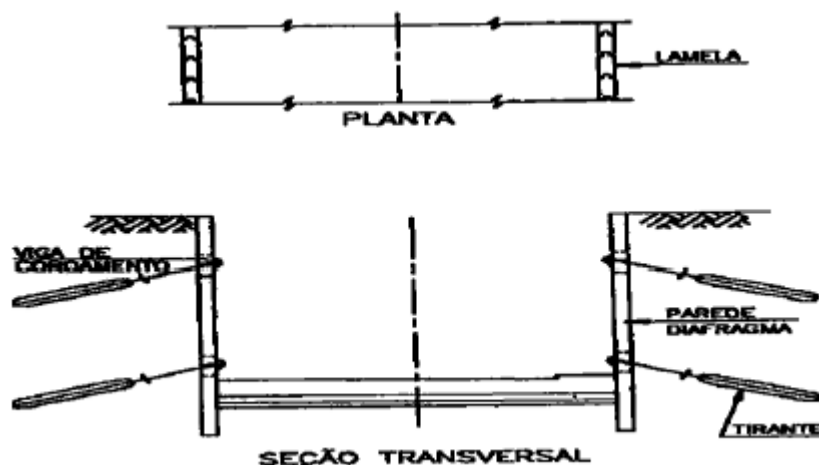
- moldadas *in loco* de concreto armado;
- pré-moldada em concreto armado;
- mista.

### 2.4.2 Parede Diafragma Moldada *in loco*

Paredes diafragmas moldadas *in loco*, são construídas em trechos contínuos com larguras que variam de 2 m a 3 m. Podem ser escavadas de maneira sucessivas ou alternadas, dependendo do que o projeto especifica. Ademais, podem atingir grandes profundidades, são descritas por possuir concretagem submersa cuja sua estabilidade é obtida pela introdução da lama bentonítica ou polimérica, que contém o solo possibilitando a introdução dos elementos estruturais. (RANZINI; NEGRO JÚNIOR,1998).

A Figura 13 mostra a parede diafragma em planta.

Figura 13 - Parede diafragma



Fonte: Hachich (1998).

A parede diafragma possui característica estanque, o que impede que ocorra fluxo de água para o interior da escavação. Ela também pode ser utilizada em contenções de pequena ou grande altura, se conforma melhor ao perímetro da contenção e aceita vários tipos de escoramentos.

As paredes diafragma estão geralmente associadas aos sistemas de escoramentos horizontais chamados tirantes. Entretanto, nem sempre é possível executá-los, depende das condições de resistência do solo e das construções no entorno. (GEROLLA, 2013).

#### 2.4.2.1 Processo de Execução

As atividades do projeto de execução de parede diafragma devem ser cuidadosamente planejadas de maneira a inibir imprevistos. Conforme Joppert (2007), o processo de execução das paredes diafragmas moldados *in loco* garante estanqueidade ao atingir o nível do lençol freático, melhor estabilidade do solo contido, acabamento próximo do ideal, e ainda sem gerar danos e vibrações nas construções do entorno.

O processo executivo exige espaço, para que os equipamentos utilizados, por serem de grande porte, possam se deslocar. Portanto, só é possível a implementação em locais onde estes equipamentos conseguem acessar. (SAES *et al.*, 1998).

#### 2.4.2.2 Materiais

Os materiais utilizados na execução de uma parede diafragma são:

- a) concreto com resistência aos 28 dias  $\geq 20$  MPa, fator a/c  $\leq 0,6$  e *slump test* de  $20 \pm 2$  cm, conforme determinado pela NBR 12655 (ABNT, 2015);
- b) lama bentonita ou polímero;
- c) aço estrutural, CA-25 ou CA-50, produzidos de acordo com NBR 7480 (ABNT, 1996).

#### 2.4.2.3 Equipamentos

Os equipamentos utilizados têm evoluído, aumentando a capacidade de escavação, alcançando maiores profundidades e espessuras, garantindo segurança, velocidade e redução de ruídos.

Os seguintes equipamentos são necessários para execução:

- a) hidrofresa;

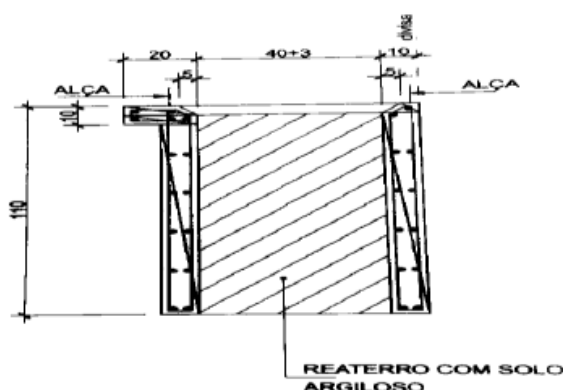
- b) *clamshell*;
- c) guindaste auxiliar e principal;
- d) central de lama;
- e) bombas;
- f) desarenadores;
- g) tubos ou chapas;
- h) limpador de juntas;
- i) funil de concretagem;
- j) caminhão betoneira;
- k) caminhão basculante.

#### 2.4.2.4 Mureta Guia

Para início de execução da parede diafragma moldada *in loco* é feita uma mureta em torno de todo o terreno onde o solo deve ser contido, que serve de guia para a escavação. Esse muro consiste em duas paredes paralelas de concreto feitas junto a divisa com distância entre elas igual à largura do *clamshell* acrescido de 3 cm com espessura de 10 cm e altura de 110 cm. (JOPPERT, 2007).

A Figura 14 ilustra a mureta guia.

Figura 14 - Mureta guia



Fonte: Joppert (2007).

#### 2.4.2.5 Escavação

Na escavação a *clamshell* é responsável por fazer a abertura das cavas retangulares da parede, que podem obter espessura variável entre 30 cm e 120 cm

com larguras entre 2,50 m ou 3,20 m. O estabilizante (lama bentonítica ou polímero) tem a função de conter o solo da parte interna escavada. A Figura 15 mostra a escavação feita pela *clamshell*.

Figura 15 - Escavação com *clamshell*



Fonte: Hashizume (2006).

#### 2.4.2.6 Características do Estabilizante

Com o objetivo de garantir a estabilização do solo no momento da escavação das lamelas, faz-se necessário o uso de um fluido aquoso. Há dois tipos mais utilizados que podem ser descritos como lama bentonítica e polímero biodegradável. (TRINDADE, 2010).

As Figuras 16 e 17 mostram a execução de estacas com lama bentonítica e polímero biodegradável.

Figura 16 - Escavação com lama bentonítica



Fonte: Trindade (2010).



Figura 17 - Escavação com polímero



Fonte: Trindade (2010).

#### 2.4.2.6.1 Lama Bentonítica

A lama bentonítica é uma argila com capacidade elevada de absorver água, comporta-se como um fluido ao ser agitada e em repouso transforma-se em gel. Para estabilização de escavações em subsolos este tipo de mineral forma junto as paredes escavadas uma película que possui a finalidade de conter o solo e impedir a passagem de água proveniente do lençol freático. (MOTA, 2010).

A lama é preparada em uma instalação denominada central de lama, composta por um misturador e tanques de armazenagem e reciclagem. Segundo Joppert (2007), para que a utilização destes estabilizantes de solo exerçam suas funções, a lama deve possuir as características descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características da lama

Características	Valores
Resíduo na peneira n° 200	≤ 1%
Teor de umidade	≤ 15%
Limite de liquidez	≥ 400%
Viscosidade para 1 litro de lama com 6% de concentração	≥ 40 s
pH da água filtrada	7 a 9%
Espessura do cake no filtro-prensa	≤ 2 mm
Decantação da suspensão a 6% em 24h	≤ 2%
Água separada por pressofiltração de 450 cm <sup>3</sup> da suspensão a 6% nos primeiros 30 min à pressão de 0,7 MPa	≤ 18 cm <sup>3</sup>

Fonte: Joppert (2007).

Em solos com granulometria mais fina que as areias médias, a concentração de lama fica entre 4%. Após ser misturada e passar por um repouso de 24 horas, o estabilizante possui as características descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características da lama após repouso

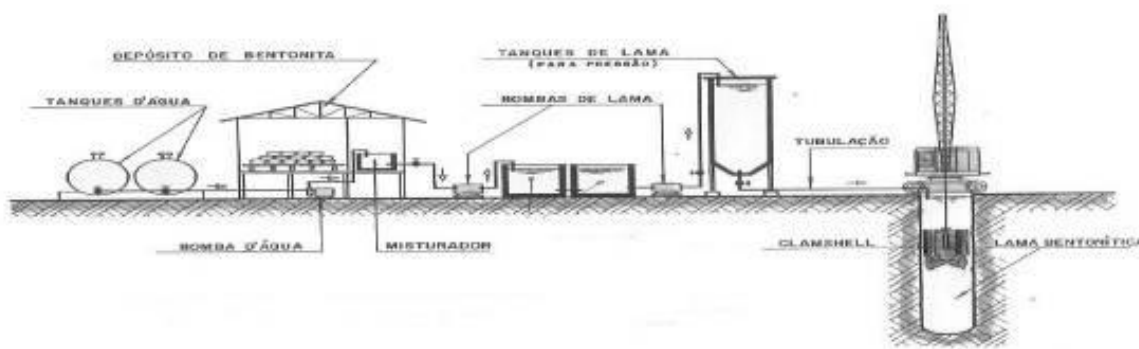
Antes da escavação	Depois da escavação
Densidade $\geq 1,03 \text{ g/cm}^3$	Densidade $\leq 1,1 \text{ g/cm}^3$
Viscosidade $\geq 30 \text{ s}$	Viscosidade $\leq 90 \text{ s}$
pH entre 7 e 11	pH entre 7 e 11
Cake 1,0 a 2,0 mm	Cake 1,0 a 2,0 mm
Teor de areia $\leq 3\%$	Teor de areia $\leq 3\%$

Fonte: Joppert (2007).

O estabilizante pode ser reciclado ao misturar a lama já utilizada com uma recém preparada, para que atinja os parâmetros necessários. Deve ser verificada a estabilidade de tempos em tempos e efetuar a troca da lama por uma nova. (JOPPERT, 2007).

A Figura 18 apresenta a central da lama.

Figura 18 - Central da lama



Fonte: Naresi Júnior (2019).

#### 2.4.2.6.2 Polímero Biodegradável

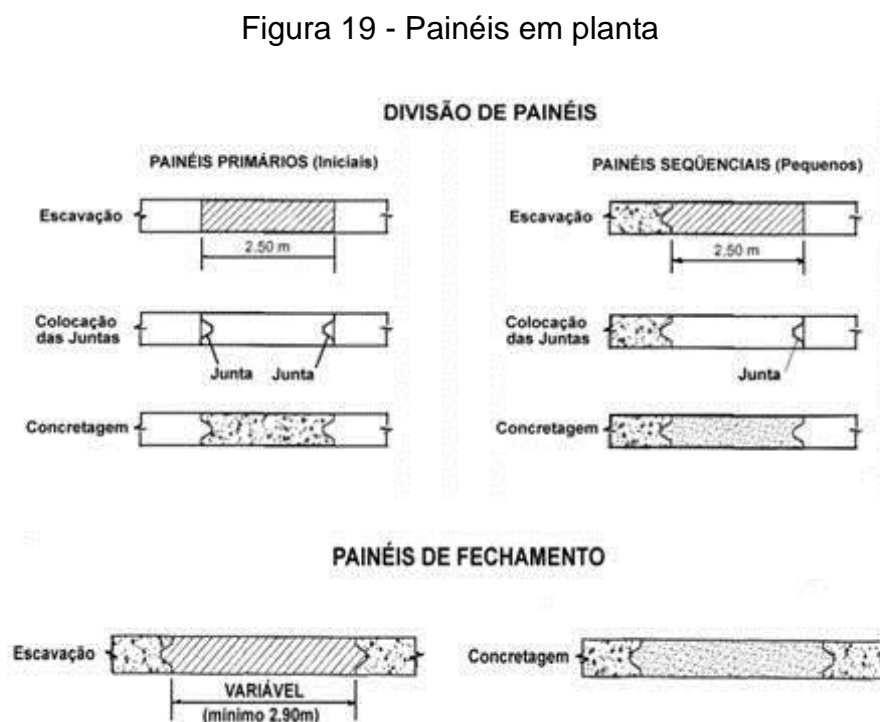
O uso de polímeros na estabilização de escavações iniciou como alternativa para substituição da lama bentonítica. Com a finalidade de reduzir a suspensão de materiais sólidos devido a capacidade do polímero de decantar naturalmente suas moléculas.

Outra característica da escolha pelo polímero é a redução quanto ao impacto ambiental no descarte do material escavado. Sendo assim, a grande questão está no comparativo de custo entre os estabilizantes. A bentonita tem custo inicial mais atrativo, porém o descarte do material possui restrições ambientais onerando esta parte do processo. A obra executada com fluido polimérico se torna mais limpa e com menos barro. (TRINDADE, 2010).

#### 2.4.2.7 Divisão de Painéis

Os painéis mais encontrados no mercado brasileiro dispõem de equipamentos com largura de 2,50 a 3,20 m. Ou seja, a largura de escavação da *clamshell*, a divisão pode ser feita como primários, secundários e de fechamento. (HASHIZUME, 2006).

As juntas entre os painéis são formadas a partir de chapas juntas do tipo macho e fêmea, elas são colocadas nas extremidades dos painéis antes da concretagem e retiradas no início da pega do concreto. A Figura 19 mostra a divisão de painéis.



Fonte: Hashizume (2006).

Os painéis primários são executados utilizando-se duas juntas colocadas uma em cada extremidade. Por sua vez, os sequenciais são executados ao lado de um

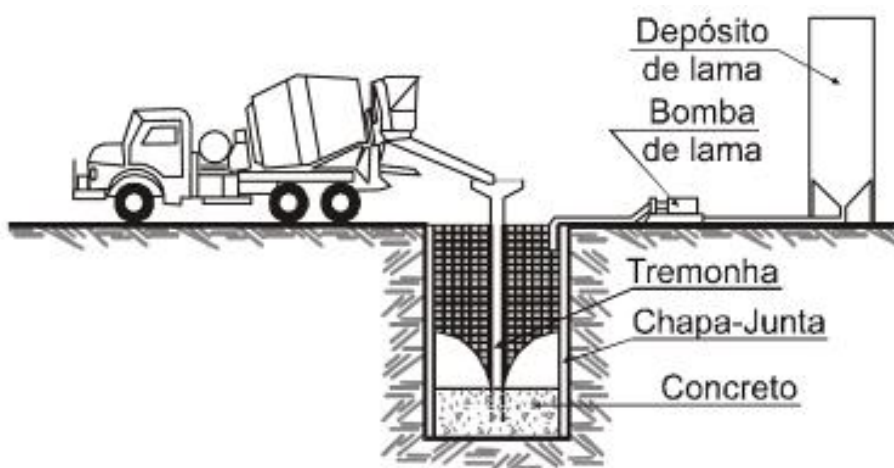
painel já existente, sendo utilizada somente uma junta na extremidade oposta. Já os painéis de fechamento são executados entre outros dois painéis existentes, não necessitando de juntas nas extremidades. (MOTA, 2010).

#### 2.4.2.8 Concretagem

Após a escavação e estabilização do solo com a bentonita ou polímero, implantam-se os complementos tais como: tubo junta, chapa espelho, gaiola de armação e tubo tremonha. O tubo junta e a chapa espelho são retirados assim que inicia a pega do concreto. (JOPPERT, 2007).

A Figura 20 mostra a execução da concretagem.

Figura 20 - Concretagem da parede diafragma moldada in loco



Fonte: Naresi Júnior (2019).

O concreto utilizado para execução das lamelas deve obter consumo de 400 kg/m<sup>3</sup> de cimento, pedra nº 1, *slump test* entre 18 e 22 cm, os cimentos não devem ser de alto forno, ARI ou retardadores de pega. (JOPPERT, 2007).

Após a construção de todo o perímetro da parede diafragma, inicia-se a escavação de terra da área útil da obra, descobrindo a parede. Dependendo da altura e dos dados de projeto, a estabilidade da parede deve ser garantida pelo uso de tirantes. (HASHIZUME, 2006).

Depois de executar todos os painéis é necessário fazer uma viga de coroamento, a qual possui a função de unificar todas as lamelas para que não trabalhem isoladamente e não tenham reações diferenciadas.

### 2.4.3 Parede Diafragma Pré-moldada

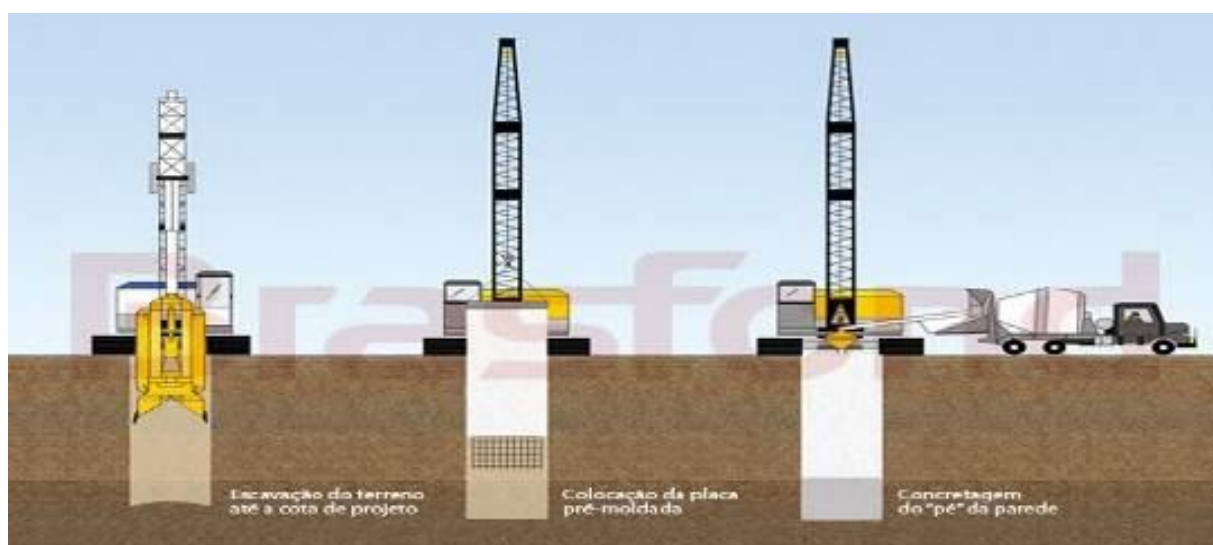
Os painéis pré-moldados de concreto armado ou protendido, utilizados no preenchimento das lamelas, surgiram das constantes inovações nas técnicas de paredes diafragmas. Segundo Souza e Naresi Júnior (2018), as paredes pré-moldadas possuem maior controle de qualidade, que garantem resistência superior a parede moldada *in loco*. A parede pré-moldada também reduz perdas de concreto devido as placas já estarem prontas, mas seu custo pode ser mais elevado.

Para preenchimento das lamelas com paredes pré-moldadas ao término da escavação, a lama é trocada por *coulis* que segundo Joppert (2007) é uma mistura de cimento com a bentonita e água, a qual possui um traço diferenciado entre 100 e 200 kg de cimento por m<sup>3</sup> de lama.

O *coulis* obtém resistência com tempo, se torna um elemento elástico com permeabilidade e suporte mais elevado do que o solo. Esse que o circunda e garante a estanqueidade das juntas, outra forma de evitar a passagem de água e utilizar juntas tipo *fungenband*.

Com ajuda do tubo tremonha, o fundo da escavação deve ser preenchido com concreto para que a placa pré-moldada se fixe. A Figura 21 apresenta a execução de parede diafragma pré-moldada.

Figura 21 - Método de execução de parede diafragma pré-moldada

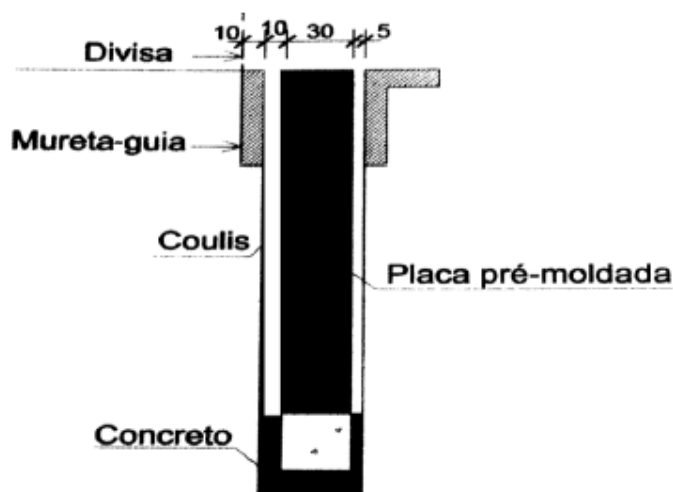


Fonte: Brasfond (2018).

As placas utilizadas possuem variadas formas podendo ser encontradas em concreto armado, protendido, maciça ou vazada e com encaixes que garantem o alinhamento na execução. JOPPERT (2007).

A Figura 22 ilustra partes da lamela preenchida com placa pré-moldada.

Figura 22 - Parede diafragma pré-moldada em concreto



Fonte: Joppert (2007).

#### 2.4.4 Hidrofresa

A hidrofresa é um equipamento de grandes dimensões pesa cerca de 140 toneladas. Essa possui uma lança de guindaste com mais de 30 m de altura, discos de corte com até 1,40 m de diâmetro. O corte pode variar de 0,64 m e 1,2 m de espessura, largura de 2,5 m a 3,2 m e chega a alcançar até 100 m de profundidade. (CURCIO, 2017).

Segundo Brasfond (2018), é um sistema de escavação composto por uma estrutura metálica pesada, que possui dois discos de corte na parte inferior, esses discos são responsáveis por rotacionar em sentidos opostos. Desse modo, fazendo cortes no solo, acima dos discos possuem sensores de verticalidade e a bomba de sucção que viabiliza o sistema de circulação reversa.

Devido a limitação de execução de paredes diafragmas em rochas pelo método convencional, a primeira hidrofresa chegou ao Brasil em 2009, garantindo a execução de paredes diafragmas em qualquer tipo de solo. Ela executa painéis com verticalidade, estanqueidade nas juntas, confiabilidade do processo e capacidade de produção em situações desfavoráveis. (ROMAN, 2013).

A Figura 23 ilustra a hidrofresa.

Figura 23 - Hidrofresa

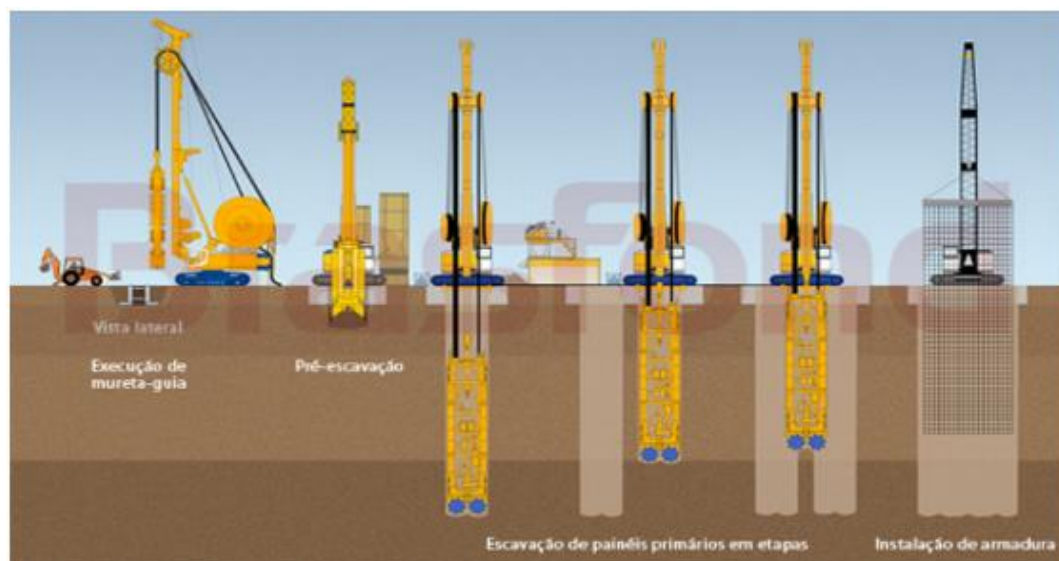


Fonte: Brasfond (2018).

No processo de execução a *clamshell* faz a pré-escavação devido ao seu melhor desempenho em solos moles. Logo após, a hidrofresa continua a escavação até profundidade especificada em projeto. (CORSINI, 2013).

Ainda de acordo com Corsini (2013), o processo de concretagem dos painéis executados com hidrofresa é similar ao realizado pela *clamshell*. Entretanto, para a execução das lamelas secundárias é recomendado a espera de no mínimo 48 horas de cura do painel adjacente para fazer o corte, evitando danos a estrutura na execução das juntas. As Figuras 24 e 25 demonstram o processo executivo.

Figura 24 - Processo de execução com hidrofresa



Fonte: Brasfond (2018).

Figura 25 - Processo de execução com hidrofresa



Fonte: Brasfond (2018).

## 2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A Tabela 3 descreve as vantagens e desvantagens de cada tipo de contenção citadas no trabalho.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens de cada técnica

(Continua)

Contenção	Vantagens	Desvantagens
Parede diafragma moldada <i>in loco</i>	Adaptar-se à geometria do terreno, podendo ser moldada em diferentes formatos;	Inviável na presença de matacões;
	processo executivo sem ruídos e vibrações;	dificuldades no descarte do estabilizante utilizado não reaproveitado, (lama bentonítica);
	ausência de sensíveis desconpressões ou modificações no terreno, minimizando danos nas estruturas já existentes;	necessidade de execução de revestimento para acabamento das paredes, onerando o custo de implantação;
	alcançar diferentes profundidades; não necessita de rebaixamento no nível do lençol freático.	custo elevado.
Parede diafragma escavada com hidrofresa	Podem atingir níveis de escavações até 120 m de profundidade;	Custo muito elevado;
	qualidade das juntas elevada, devido a superposição da escavação do painel secundário; permite escavar rochas com resistência acima de 100 MPa.	dificuldades no descarte do estabilizante utilizado não reaproveitado, (lama bentonítica);
Parede diafragma pré-moldada	Utilização de painéis com espessuras reduzidas, devido a maior resistência do concreto e melhor precisão na colocação das armaduras;	Inviabilidade de transporte e montagem de painéis muito longos;
	acabamento de ótima qualidade, reduzindo custos adicionais de correção;	podem apresentar infiltrações, pelas juntas das lamelas ou furos de tirantes;
	redução de concretagem em obra.	custo elevado.

Fonte: Adaptado de Joppert (2007).



(Conclusão)

Contenção	Vantagens	Desvantagens
Estacas secantes	permite escavações em rochas e solos resistentes e moles;	limite de profundidade, máximo 19 m;
	possibilidade de troca de armadura por perfis estruturais;	inviável para valores elevados de esforços, por falta de espaço para armadura;
	escavação e concretagem a seco em caso de escavação encamisada, dispensa o uso da lama;	possibilidade de falhas e desaprumos, conforme aumento de profundidade;
	pode ser executada em canteiros com dimensões reduzidas;	baixa procura devido a cultura regional;
	adaptação a geometria do terreno.	necessidade de viga para execução dos tirantes.
Estaca prancha metálica	não necessita concretagem;	Inviável na presença de rochas ou matacões;
	execução rápida e limpa, sem uso de estabilizante;	restrição de disponibilidade de perfis;
	estanqueidade elevada devido aos intertravamentos.	custo elevado.

Fonte: Adaptado de Joppert (2007).

## 2.6 TIRANTES

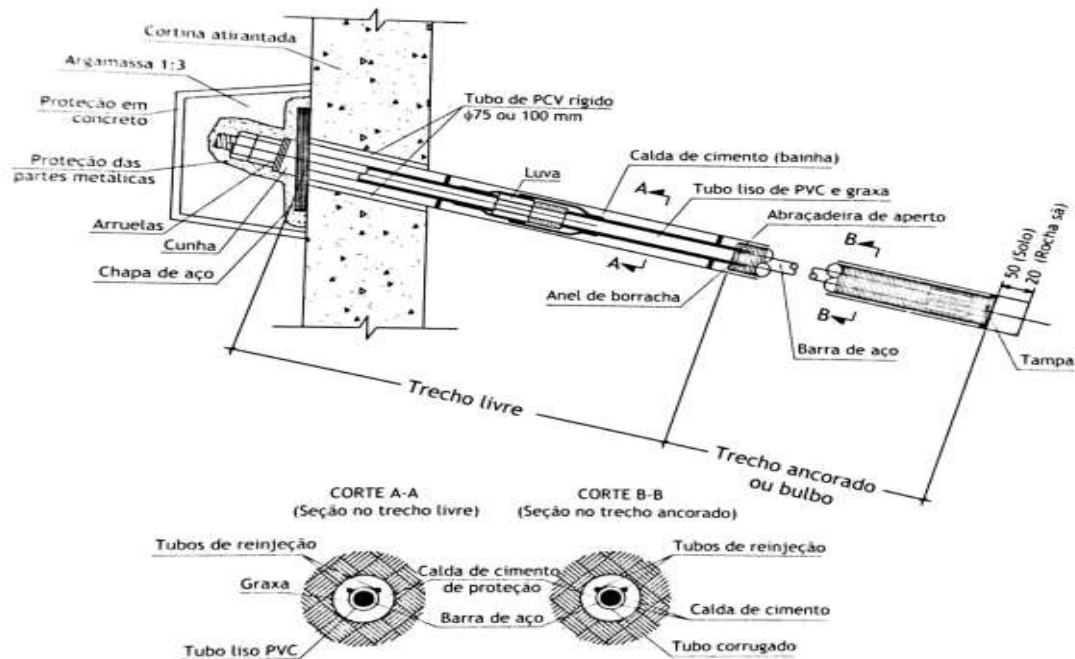
O tirante é um elemento linear com capacidade de transmitir esforços de tração entre suas extremidades. A extremidade que fica para fora do terreno é a cabeça, e a extremidade que fica enterrada é conhecida como trecho ancorado, designada por bulbo de ancoragem. (YASSUDA; DIAS, 1998).

Ainda de acordo com Yassuda e Dias (1998), um tirante é composto por várias peças e elementos, mas somente três partes são as principais para o seu dimensionamento e classificação: a cabeça, o comprimento livre e o bulbo. Conforme a norma NBR 5629 (ABNT, 2006), os elementos possuem as seguintes características:

- a) cabeça: é a parte que suporta a estrutura, responsável por transferir as cargas do tirante para a estrutura que será ancorada, fica para fora do terreno, é constituída por placas de apoio, cunhas, cones e porcas;
- b) trecho livre (LL): trecho entre a cabeça do tirante e o ponto inicial de aderência do bulbo de ancoragem, o aço deve estar isolado da calda de injeção;
- c) trecho ancorado (Lb): extremidade da ancoragem encarregada de transmitir os esforços de tração do tirante para o terreno. É constituída pela barra metálica envolvida por uma calda de cimento injetada.

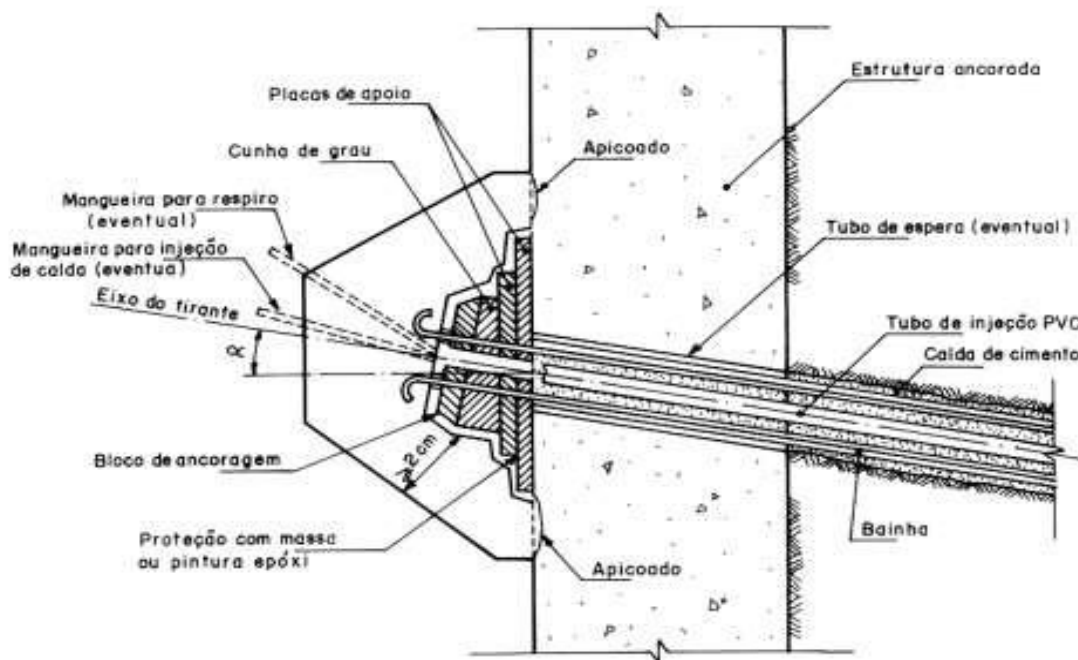
As Figuras 26 e 27 apresentam os detalhes das partes constituintes dos tirantes.

Figura 26 - Elementos do tirante



Fonte: Silva (2015).

Figura 27 - Detalhe da cabeça do tirante



Fonte: NBR 5629 (ABNT, 2006).

### 2.5.1 Classificação

Conforme Yassuda e Dias (1998), os principais tipos de tirantes podem ser classificados em função da sua vida útil, sua constituição e quanto ao sistema de injeção.

#### 2.5.1.1 Vida útil

A classificação de vida útil é de extrema importância para a definição dos coeficientes de segurança, proteção anticorrosiva e precauções construtivas, que são distintas para cada classe. Nesta etapa os tirantes podem ser classificados como:

- a) permanentes: são aqueles que se destinam à obras com duração superior a dois anos. Assim como é o caso das cortinas atirantadas, lajes de subpressão e fundação de torres. Essas, portanto, deverão ter vida útil compatível com o fim a que se destinam; (TECHNE, 2007).
- b) provisórios: são aqueles de utilização temporária, como é o caso das paredes de contenção das obras de infraestrutura de edifícios residenciais, comerciais e estações enterradas de metrô. Essas que, após a construção das lajes da estrutura do edifício, os tirantes são desativados e os esforços transferidos para a estrutura. (TECHNE, 2007).

De acordo com Milititsky (2016), para tirantes provisórios deve se atentar para a desativação planejada e acompanhada, prevendo o fechamento das aberturas feitas nas lamelas após a desativação dos tirantes.

#### 2.5.1.2 Constituição

De acordo com Yassuda e Dias (1998), em obras de contenção os tirantes trabalham de forma tracionada, são constituídos por uma ou mais barras de aço e conjunto de fios ou cordoalhas. A seguir são descritas as composições de cada tipo de tirante:

- a) monobarra: uma única barra como elemento principal de aço, eram os mais utilizados nas décadas de 1960 e 1970. Os diâmetros usuais eram entre 3/4" e 1/4". (YASSUDA e DIAS, 1998).

Atualmente, o mercado já possui barras com tensão de escoamento de 850 MPa e diâmetro de 75 mm; (ZIRLIS *et al.*, 2015).

- b) múltiplas barras: para Yassuda e Dias (1998), os tirantes de múltiplas barras são semelhantes aos tirantes de múltiplos fios ou cordoalhas. A diferença destes modelos se encontra em seu bloco de ancoragem. Justamente porque o tirante de múltiplas barras necessita de um bloco auxiliar, que permite a utilização de um sistema de roscas e porcas, utilizados no momento da protensão e posterior incorporação do tirante;
- c) cordoalhas: constituído por cordoalhas de aço usualmente utilizadas em estruturas de concreto protendido, resistentes à tração. Sua execução normalmente é feita juntamente com uma pintura de duas demãos de tinta epóxi em todo o comprimento do tirante. (YASSUDA; DIAS, 1998).

### 2.5.1.3 Injeção

As possibilidades de injeção dos tirantes estão divididas em duas: estágio único ou estágio múltiplo. A mais utilizada é a de estágio único, executada quando o material em que a ancoragem feita é de boa capacidade, como rochas, por exemplo, em que não há o alargamento do bulbo de ancoragem, nem o aumento da adesão/fricção devido a aplicação da pressão no momento da injeção. (YASSUDA; DIAS, 1998).

A injeção de múltiplos estágios é executada no mínimo duas vezes. Ela dispõe de um sistema auxiliar de injeção, com válvulas manchete que permitem um fluxo da calda em sentido único, assim, mantendo a pressão constante. O processo pode ser refeito até a obtenção da pressão desejada. (YASSUDA; DIAS, 1998).

De acordo com Lyomasa (2000), a válvula manchete pode ser descrita como um dispositivo de borracha instalada no tubo de PVC, que possui a função de evitar que a calda de cimento injetada retorne para o interior da tubulação. Essa permite ainda novas fases de injeções, no mesmo ponto do maciço.

Segundo a NBR 5629 (ABNT, 2006), as fases posteriores de injeção devem ser realizadas somente após a fase de pega do cimento da fase anterior.

## 2.5.2 Processo de execução

Conforme Yassuda e Dias (1998), a execução dos tirantes possui etapas necessárias que não devem ser negligenciadas, caso contrário, podem comprometer a segurança da contenção. Todas as fases devem ser executadas com os devidos cuidados e recomendações. A seguir são descritas as etapas de execução e as respectivas recomendações.

### 2.5.2.1 Preparo e montagem

O processo se inicia com cortes e emendas no aço (que é executado de acordo com as especificações do projeto), no que se refere a estrutura (quantidade de barras, fios ou cordoalhas), comprimento livre, ancorado e proteção contra corrosão. (JOPPERT, 2007).

Conforme Vidal (2018), a preparação das barras ou cordoalhas são distintas. Em barras de aço, o corte é executado de forma a posicionar as emendas no trecho livre do tirante, o mais próximo possível do bulbo de ancoragem. Já nas cordoalhas o corte é executado prevendo um comprimento adicional, maior que 1 m, para a instalação do equipamento na etapa de protensão.

Nesta fase deve ser realizado o correto acompanhamento referente às dimensões das placas que são descritas no projeto, evitando recebimento de placas com dimensões inferiores que podem ocasionar um rompimento no concreto. As cunhas de grau devem ser executadas considerando a ortogonalidade da cabeça junto ao eixo do tirante. A fim de evitar efeitos de flexão e reduzindo as chances de rompimento do tirante. (YASSUDA; DIAS, 1998).

A proteção anticorrosiva especificada em projeto também é realizada nesta etapa. Essa proteção é descrita de acordo com as características de cada obra, agressividade do solo e caráter do paramento, se temporário ou permanente. (VIDAL, 2018).

Conforme Silva (2015), a montagem deve ser realizada sobre uma bancada que comporte o comprimento de todo o tirante e deve garantir a resistência durante o transporte e a instalação.

### 2.5.2.2 Perfuração

De acordo com Xanthakos (1991), nesta etapa deve ser escolhido o método de perfuração, que altera de acordo com o tipo de solo encontrado. Geralmente são utilizados equipamentos rotativos ou percussivos. A perfuração deve atender os requisitos de projeto como dimensões, inclinação e não deixar obstruções ao longo do furo.

Segundo Silva (2015), em rocha sã, rocha alterada ou solo seco, a limpeza do furo ocorre através de ar comprimido, podendo-se utilizar fluidos estabilizantes para facilitar a perfuração quando necessário.

### 2.5.2.3 Instalação e preenchimento

A fase de instalação consiste na colocação do tirante após a perfuração do terreno. Conforme Xanthakos (1991), a instalação deve ser realizada o mais breve possível após a perfuração, a fim de evitar possíveis riscos de deterioração causados pelo retardo do preenchimento do furo. A instalação deve ser feita de maneira que não danifique a proteção anticorrosiva e os demais componentes do tirante. (SILVA, 2015).

O preenchimento é executado com uma nata feita de cimento e água, com fator água/cimento de 0,50. Dependendo das condições locais, por vezes torna-se necessário o preenchimento da perfuração antes da introdução dos tirantes. (JOPPERT, 2007).

### 2.5.2.4 Injeção

Conforme NBR 5629 (ABNT, 2006), o processo de injeção caracteriza o preenchimento do furo no maciço com o uso de material aglutinante, usualmente calda de cimento. Pode ser feito também em estágio único ou múltiplos estágios.

Segundo Yassuda e Dias (1998), a injeção em estágio único é utilizada geralmente em tirantes de barra única. A perfuração é executada com revestimento em todo furo, logo após é feita a limpeza com água ou ar comprimido. Na sequência, é realizado o preenchimento com a calda de cimento até extravasar, para então ser introduzido o tirante. Após a instalação é aplicada a injeção da calda sob pressão

que deve ser realizada do fundo para boca do furo e não necessita de válvulas manchetes.

Nas injeções de múltiplos estágios é necessário o uso de válvulas manchete, que são instaladas em um tubo de PVC, com diâmetros 32 a 40 mm, posicionados de forma paralela ao tirante, no caso de tirantes com barra, e no eixo em caso de cordoalhas. (SILVA, 2015).

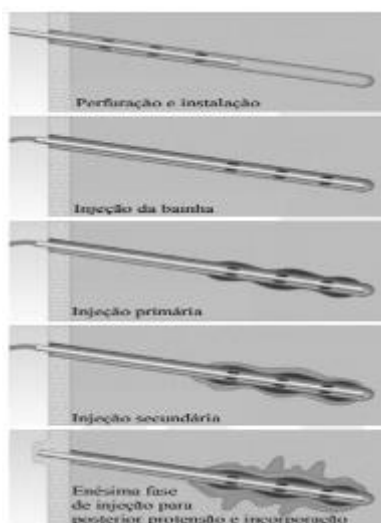
A sequência executiva se inicia após a instalação do tirante no furo, através da válvula mais profunda. A calda é injetada até que transborde através da boca do furo, este processo é chamado de injeção de bainha. A limpeza do tubo é feita, assim, após a pega do cimento executa-se a primeira reinjeção. Através da abertura das válvulas ocorre um rompimento da área entre a borracha da válvula e a parede do furo, proporcionando o preenchimento desta zona.

Posteriormente a calda é injetada, percorrendo através das fissuras da bainha até atingir o terreno. Após a ocorrência do preenchimento dos vazios no terreno, este começará a se comprimir, aumentando a pressão no sistema de injeção. Em seguida provoca uma ruptura hidráulica no terreno e assim a calda preencherá as fissuras próximas da zona de injeção, provocando o fenômeno chamado de “clacagem” do terreno. Lava-se o tubo.

Analisando o processo e constatando que a pressão de injeção não foi adequada, repete-se o processo quantas vezes forem necessárias, sempre após a pega do cimento da etapa anterior. (YASSUDA; DIAS, 1998).

A Figura 28 ilustra as fases de injeção de um tirante com múltiplos estágios.

Figura 28 - Fases de injeção



Fonte: Silva (2015).

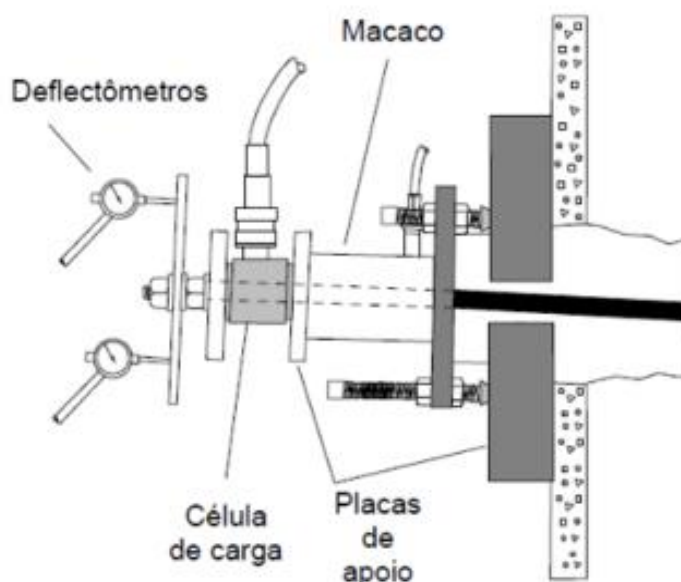
### 2.5.2.5 Protensão

A NBR 5629 (ABNT, 2006) especifica que todos os tirantes devem ser submetidos ao ensaio de protensão. A norma também indica que se deve aguardar sete dias após a fase de injeção caso for utilizado cimento comum, ou três dias, caso de cimento ARI (alta resistência inicial).

Estes ensaios podem comprovar a eficiência durante a execução dos tirantes, testando a sua capacidade perante as cargas de trabalho previstas em projeto que será submetido. (XANTHAKOS, 1991)

Nesta etapa são necessários equipamentos como macaco hidráulico, bomba e manômetro. De acordo com Yassuda e Dias (1998), o manômetro deve estar devidamente aferido e o controle das cargas aplicadas no ensaio deve ser monitorado. Justamente para que nunca ultrapasse de 90% da carga teórica de escoamento do material. A Figura 29 ilustra o conjunto de equipamentos de protensão.

Figura 29 - Equipamentos para protensão dos tirantes



Fonte: Vidal (2018).



Conforme a NBR 5629 (ABNT, 2006), a etapa de protensão deve seguir rotinas de execução para ideal processo de instalação dos tirantes. Estas rotinas estão divididas em quatro tipos de ensaio: de recebimento; qualificação; ensaio básico e de fluência.

Suas características e funções destacam se da seguinte forma:

- a) ensaio de recebimento - controla a capacidade de carga em todos os tirantes de uma obra, avaliando o seu comportamento ao longo do trecho ancorado. Este ensaio tem que ser realizado em todos os tirantes da obra, sendo que 10% devem ser ensaiados até a carga máxima estipulada pela norma. Sua execução se inicia com a aplicação de um ciclo de cargas pré-definidas, seguidas da leitura dos deslocamentos na cabeça dos tirantes durante os processos de carregamento e descarregamento. A análise é feita a partir da impressão de dois gráficos, o de deslocamentos totais e o de deslocamentos elásticos e permanentes. A aceitação do tirante se dá após a verificação dos resultados referentes à carga máxima estabilizada, juntamente ao atrito mobilizado no trecho livre; (YASSUDA; DIAS, 1998).
- b) ensaio de qualificação - exerce a verificação dos componentes enterrados do tirante, permitindo especificar a capacidade de carga e comprimentos livre e ancorado reais. É executado através da leitura dos deslocamentos ao final de cada estágio de carga e descarga. O sistema de avaliação também é realizado através da leitura de gráficos das cargas com os deslocamentos, proporcionando o cálculo do trecho livre efetivo. Assim como no ensaio de recebimento, a aceitação é feita através da análise da carga máxima e do atrito no trecho livre; (YASSUDA; DIAS, 1998).
- c) ensaio básico - é um complemento ao ensaio de qualificação, com a execução de uma análise geotécnica do solo na região da ancoragem e do bulbo resultante da fase de injeções. A execução é feita através de tirantes subdimensionados, visando o seu rompimento. Os autores indicam que na prática nem sempre este ensaio é exigido; (YASSUDA; DIAS, 1998).

- d) ensaio de fluência - executado somente em tirantes permanentes, já que tem a função de avaliar o desempenho do tirante sob cargas de longa duração. Após a aplicação dos ciclos de cargas, os mesmos do ensaio de qualificação, faz-se a leitura dos deslocamentos e carregamentos em função do tempo da aplicação de cada carga, visando estabelecer um coeficiente de fluência. Em casos em que o coeficiente não seja aceitável, utiliza-se um fator de segurança para a redução da carga máxima. (YASSUDA; DIAS, 1998).

#### 2.5.2.6 Incorporação

O estágio final de incorporação do tirante à estrutura definitiva deve ser executado apenas após ser atestada sua qualidade nos ensaios realizados. Com a estrutura pronta para receber a incorporação do tirante, deve-se tomar cuidado para que o processo não introduza esforços que esta estrutura não foi dimensionada para suportar. (SILVA, 2015).

Por outro lado, podem ocorrer deslocamentos e deslizamentos no maciço de solo caso não seja feita a protensão do tirante. Quando o tirante é executado antes da estrutura definitiva estar pronta, pode ser feita incorporação provisória. Na maioria das situações é recomendado que este procedimento seja feito assim que possível. (JOPPERT JÚNIOR, 2007; YASSUDA; DIAS, 1998).

Segundo a GEORIO (2000), é indicado que no caso de tirantes permanentes a protensão seja verificada a cada cinco anos.

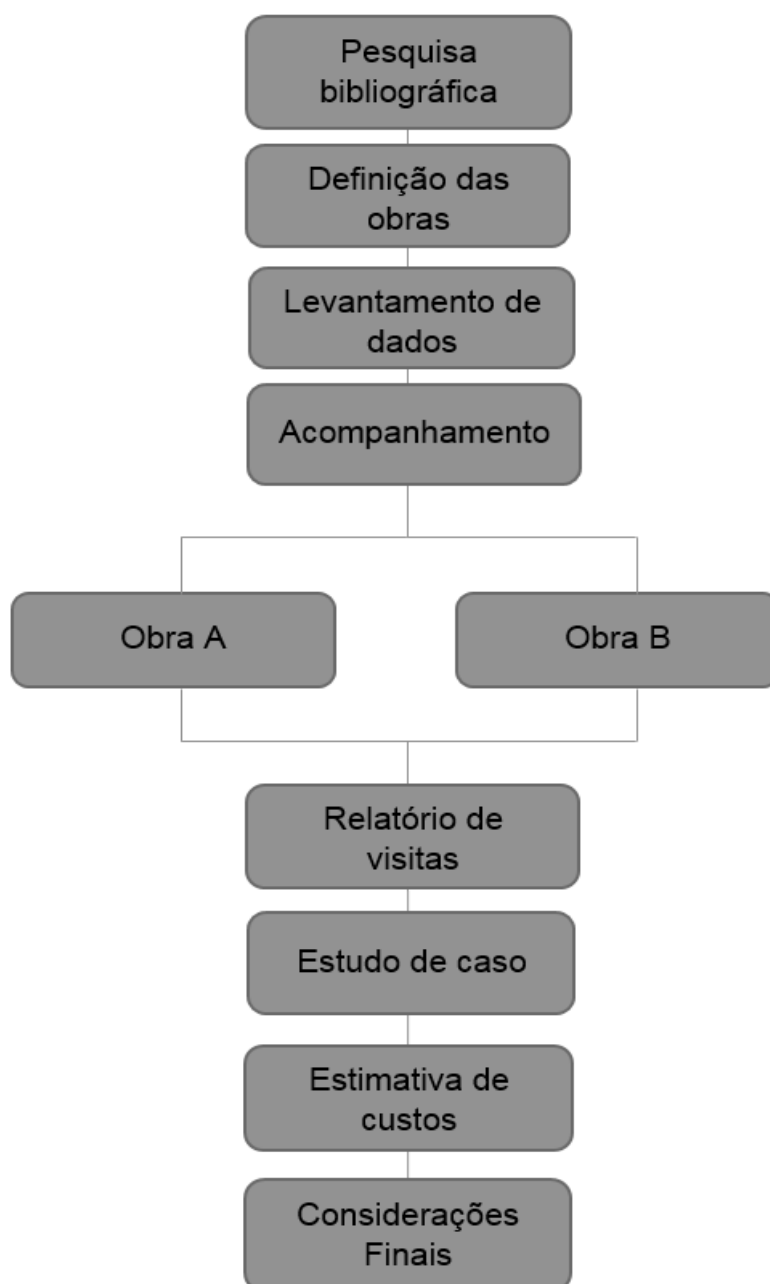
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Este capítulo descreve as etapas para elaboração do presente trabalho.

A seguir são apresentadas a descrição dos materiais e métodos utilizados, o local de estudo e o levantamento de dados.

Este trabalho foi realizado conforme o fluxograma apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Metodologia e desenvolvimento do trabalho



Fonte: Elaborado pela autora.

A metodologia do trabalho foi elaborada em duas etapas, inicialmente foram feitos acompanhamentos nas obras descrevendo a metodologia de execução e em seguida, foi elaborada uma estimativa de custos através da tabela SINAPI referente ao ano de 2019.

Como materiais de estudo foram utilizados dados de pesquisa bibliográfica sobre execução de contenções em perímetro urbano e, especificamente, a técnica de parede diafragma atirantada. A estimativa de custos e os relatórios de acompanhamentos foram elaborados através das ferramentas Excel, Word e o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao ano 2019.

Como método de estudo foram feitos acompanhamentos diretos na obra durante a execução da parede diafragma, através de 8 visitas semanais no período de julho a setembro, com a finalidade de realizar relatórios de acompanhamento e levantamento de custos. As obras foram nomeadas como A e B, a fim de preservar o nome do empreendimento e da construtora responsável.

A obra A realizada pela empresa ESTAQ sondagens e fundações, que iniciou a execução da parede diafragma atirantada em maio de 2019 e finalizou em outubro de 2019. A obra B, pela empresa GEOMAX, por sua vez, iniciou a execução das lamelas em março de 2019 e encerrou em agosto de 2019.

Os relatórios de acompanhamento foram elaborados de acordo com as informações necessárias para melhor entendimento do método de execução da parede diafragma, divididos da seguinte maneira: etapas de execução, materiais e equipamentos utilizados. A fim de manter o maior aproveitamento e compreensão, as visitas foram supervisionadas pelo engenheiro Fernando Batistello e pela engenheira Helena Corrêa, que auxiliaram descrevendo a metodologia utilizada. A Figura 31 ilustra o modelo de relatório utilizado para coleta de dados, os demais relatórios estão no apêndice deste trabalho.

Figura 31 - Relatório de acompanhamento

Relatório de acompanhamento de obra						
<u>Luana da Silva Ramos</u> Acadêmica Eng. Civil	<u>GEOMAX</u> Empresa	Condições meteorológicas	SOL CHUVA	X	DATA: Nº	31/07 /19 1
EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – SOLEDADE, 257 – PORTO ALEGRE - RS						
DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS						
Nº de funcionários: 8						
Equipamentos em uso: 1 escavadeira, 1 caminhão basculante, 1 guindaste, 1 <i>clamshell</i> .						
Materiais em uso: polímero, aço, água, trena, tubo tremonha, chapa espelho, mangueiras.						
Serviços em andamento: escavação e concretagem da lamela trecho A, preparo do polímero, montagem da armadura.						
Implicações na execução: foi necessário comprar água para dar continuidade a execução pois a distribuição foi interrompida no momento da escavação.						
						
<p>Guindaste para içamento do <i>clamshell</i> e tubo tremonha, na execução da lamela do trecho A.</p>			<p>Preparo da armadura em formato gaiola para uso na lamela trecho A.</p>			
						
<p>Tanques de armazenamento e preparo do polímero, estabilizante utilizado para conter o solo na escavação com o <i>clamshell</i>.</p>		<p>Escavadeira utilizada para remoção do solo.</p>				

Fonte: Elaborado pela autora.

A estimativa de custos foi elaborada através de uma tabela no Excel. A tabela descreve a quantidade, custo dos materiais e mão de obra de cada etapa. Os custos foram extraídos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao ano 2019. O quantitativo de materiais foi estimado através das dimensões encontradas nos projetos de cada obra, multiplicado pelo coeficiente estabelecido pela tabela SINAPI e com as informações disponibilizadas pelas empresas ESTAQ e GEOMAX. A Tabela 4 apresenta a estimativa de custo elaborada para obra A as demais tabelas estão no capítulo 4.2 deste trabalho.

Tabela 4 - Estimativa de custos para execução de parede diafragma atirantada

OBRA A						
EXECUÇÃO DE MURETA GUIA (188 m)						
Materiais e Equipamentos						
Código Sinapi	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
1358	Chapa de madeira compensada resinada para forma de concreto, (2,2 x 1,1) m, e = 17 mm	m²	0,96	181	R\$ 27,65	R\$ 5.003,27
4491	Pontaletes de madeira (7,5 x 7,5)* cm (3 x 3 *) pinus, mista ou equivalente da região	m	2,02	379	R\$ 3,21	R\$ 1.217,04
4509	Tabua de madeira 2,5 x 10 cm (1 x 4 *) pinus, mista ou equivalente da região- 3 m	m	1,74	327	R\$ 1,76	R\$ 576,29
5068	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	kg	0,30	56	R\$ 10,45	R\$ 580,34
91692	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHP	0,12	23	R\$ 23,30	R\$ 526,09
91693	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHI	0,52	99	R\$ 20,70	R\$ 2.041,53
96525	Escavação mecanizada para viga baldrame, com previsão de fôrma, com mini escavadeira.	m³	0,80	151	R\$ 30,08	R\$ 4.544,39
96544	Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. -12 m	kg	13,33	2505	R\$ 9,95	R\$ 24.929,49
92726	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C20	m³	0,25	47	R\$ 329,18	R\$ 15.471,46
						<b>R\$ 54.889,90</b>
Mão de obra						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	1,33	250	R\$ 18,65	R\$ 4.666,40
88316	Servente com encargos complementares	h	0,80	150	R\$ 15,66	R\$ 2.350,85
						<b>R\$ 7.017,25</b>
TOTAL						
						<b>R\$ 61.907,15</b>
EXECUÇÃO DAS LAMELAS (1026 m³)						
Materiais e Equipamentos						
Código Sinapi	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
90650	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHP	0,06	62,9	R\$ 9,00	R\$ 566,04
90651	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHI	0,30	308,2	R\$ 0,58	R\$ 178,76
38464	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c20, com brita 0, slump = 220 +/- 20 mm,	m³	1,12	1150,146	R\$ 419,70	R\$ 482.716,28
74010/1	Carga e descarga mecânica de solo utilizando caminhão basculante 6,0m³/16t	m³	1,25	1282,5	R\$ 1,67	R\$ 2.141,78
97913	Transporte com caminhão basculante de 6 m³, em via urbana em revestimento primário	m³XKm	0,38	384,75	R\$ 1,71	R\$ 657,92
34	Aço ca-50, 10,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	35434,53	R\$ 4,64	R\$ 164.416,22
27	Aço ca-50, 16,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	34860,66	R\$ 4,41	R\$ 153.735,51
29	Aço ca-50, 20,0 mm, vergalhão	Kg	1,14	56829	R\$ 4,12	R\$ 234.135,48
						<b>R\$ 1.038.547,99</b>
Mão de obra						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,7234	742,2084	R\$ 18,65	R\$ 13.842,19
88316	Servente com encargos complementares	h	1,085	1113,21	R\$ 15,66	R\$ 17.432,87
88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0012	1,2312	R\$ 14,54	R\$ 17,90
88245	Armador com encargos complementares	h	0,0088	9,0288	R\$ 18,55	R\$ 167,48
						<b>R\$ 31.460,44</b>
TOTAL						
						<b>R\$ 1.070.008,43</b>
EXECUÇÃO DOS TIRANTES (4944 m)						
Materiais e Equipamentos						
Código Sinapi	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
1379	cimento portland composto cp ii-32	Kg	88	435072,00	R\$ 0,57	R\$ 247.991,04
9869	tubo pvc, soldável, dn 32 mm, água fria (nbr-5648)	m	0,538	2660	R\$ 5,63	R\$ 14.975,08
9838	tubo pvc serie normal, dn 50 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	0,545	1129	R\$ 5,88	R\$ 6.639,93
90650	bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHP	0,109	539	R\$ 14,24	R\$ 7.673,88
90651	bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHI	0,422	2086	R\$ 0,58	R\$ 1.210,09
5631	escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m³, peso operacional 17 t	CHP	0,009	44	R\$ 141,90	R\$ 6.313,98
5632	escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m³, peso operacional 17 t	CHI	0,523	2586	R\$ 56,42	R\$ 145.885,87
14583	tarifa "a" entre 0 e 20m3 fornecimento d'água	m³	1,071	265	R\$ 15,70	R\$ 4.156,59
40432	espacador / separador de barra , metálico, tipo carambola, para tirantes, 25 x 84 mm	UN	0,815	4029	R\$ 1,20	R\$ 4.835,23
11971	porca zincada, sextavada, diametro 1"	UN	0,056	277	R\$ 1,85	R\$ 512,20
72898	carga e descarga mecanizadas de entulho em caminhao basculante 6 m³	m³	0,018	89	R\$ 3,81	R\$ 339,06
97913	transporte com caminhão basculante de 6 m³, em via urbana em revestimento primário	m³XKm	0,0054	27	R\$ 1,71	R\$ 45,65
						<b>R\$ 440.578,61</b>
CUSTOS INEXISTENTES NO SINAPI						
Compressor de ar rebocável, vazão 350 pcm, pressão efetiva de trabalho 7,4 psi, motor diesel,		mensal		5	R\$ 4.400,00	R\$ 22.000,00
Barras tirantes 32 mm		m		2326	R\$ 32,40	R\$ 75.362,40
Barras tirantes 36 mm		m		2618	R\$ 36,90	R\$ 96.604,20
Estabilizante		Kg		980	R\$ 22,50	R\$ 22.050,00
						<b>R\$ 216.016,60</b>
TOTAL						
						<b>R\$ 1.788.510,79</b>
CUSTO TOTAL SUBCONTRATADOS						
						<b>R\$ 1.399.445,00</b>
TOTAL GERAL						
						<b>R\$ 3.187.955,79</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

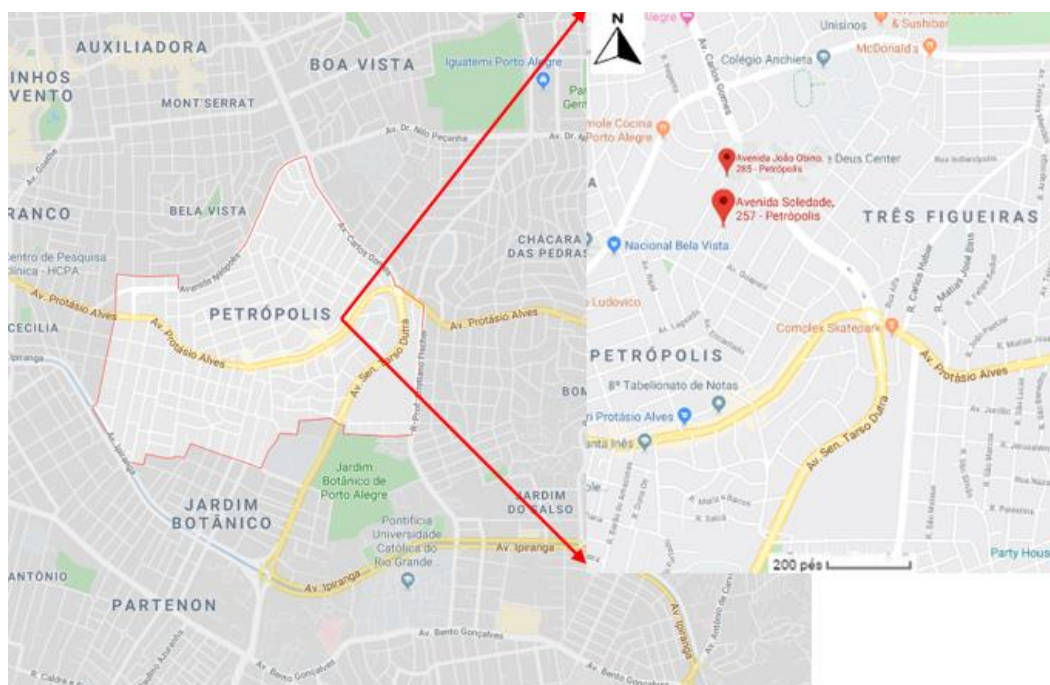
### 3.1 DEFINIÇÃO DAS OBRAS

As obras foram definidas através de contato com empresas ESTAQ e GEOMAX, que autorizaram o acompanhamento em campo e uso de dados para o estudo em questão. Foram acompanhadas duas obras localizadas no bairro Petrópolis, município de Porto Alegre – RS.

A obra A está localizada na Av. João Obino, 285, bairro Petrópolis município de Porto Alegre - RS. Foi realizada pela empresa ESTAQ sondagens e fundações. Trata-se de um empreendimento residencial com 14 pavimentos, um apartamento por andar, três vagas de garagem e dois níveis de subsolos.

A obra B está localizada na Av. Soledade, 257, bairro Petrópolis, município de Porto Alegre - RS e foi realizada pela empresa GEOMAX. Trata-se de um empreendimento residencial com 16 pavimentos, um apartamento por andar, três vagas de garagem e dois níveis de subsolos. A Figura 32 mostra a localização geral das duas obras estudadas.

Figura 32 - Localização das obras



Fonte: Google Maps (2019).

### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Após a definição das obras para estudo, buscou-se coletar informações das especificações de projeto e as características do solo onde seriam executadas as contenções. Como investigação do solo foram obtidos ensaios de sondagem *SPT* (*Standard Penetration Test*), que foram disponibilizados pelas empresas ESTAQ e GEOMAX e estão no anexo A deste trabalho.

Os relatórios de sondagem coletados na obra A, descreveram um solo tipo silte argiloso com areia fina e nível de lençol freático elevado, variando de 1,88 a 6,30 m. As sondagens obtidas na obra B, descreveram um solo tipo argila siltosa com areia fina e média com nível de lençol freático variando de 10 a 14 m.

Posteriormente, foi realizado um estudo dos projetos e levantamento de dados, com a finalidade de realizar os relatórios de acompanhamento semanais e obter conhecimento, vivência das etapas de execução e realizar a estimativa de materiais e custos. Os projetos de ambas as obras especificavam a forma de execução das lamelas e tirantes em cada etapa e as cargas de protensão que deveriam ser alcançadas em cada ensaio.

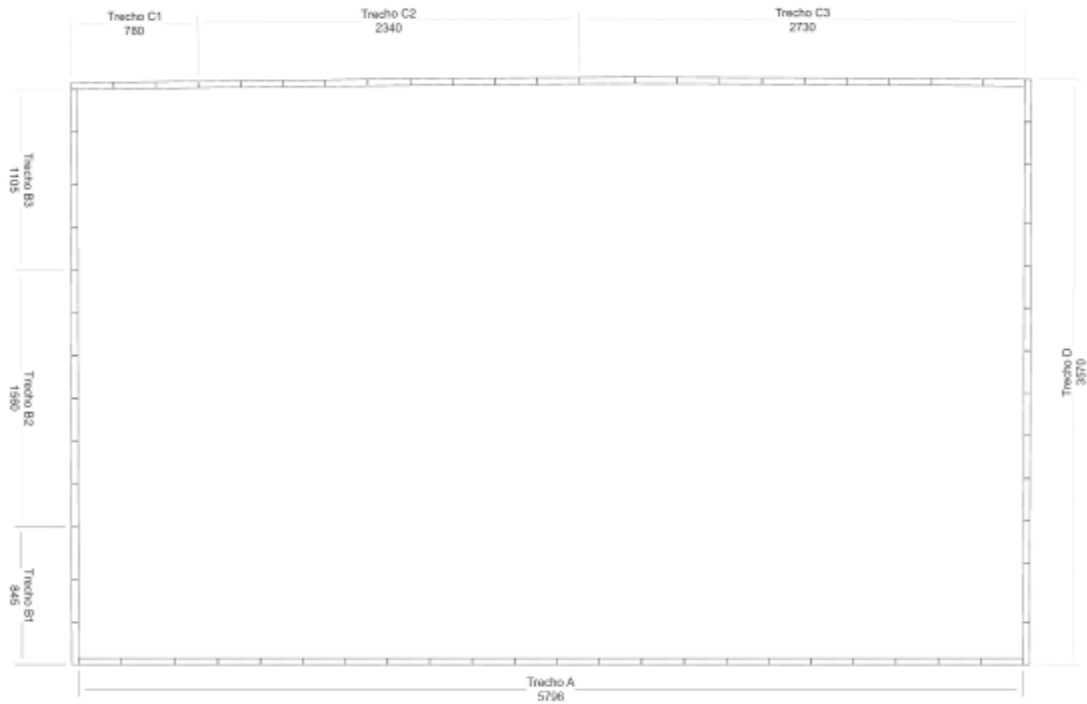
A área total de parede descrita no projeto da obra A, era de aproximadamente 2.565 m<sup>2</sup>, divididos entre 70 lamelas com profundidades variando de 9 a 19 m e espessura de 0,40 m, como não era possível alcançar a ficha necessária foram utilizados 293 tirantes provisórios para o escoramento da contenção, o solo a ser removido era de aproximadamente 32.000 m<sup>3</sup>. Devido às características do solo e nível de água elevado as perfurações dos tirantes em alguns trechos tiveram que ser realizadas com uso de estabilizante e em outros com ar comprimido.

O projeto da obra B estimava uma área de aproximadamente 1.650 m<sup>2</sup> de parede, dividida em 56 lamelas com profundidades de 6 a 15 m e espessura de 0,30 m, contudo também não era possível alcançar uma ficha necessária sendo então executados 157 tirantes de caráter provisório. O volume estimado de solo removido foi de 23.000 m<sup>3</sup>, devido a inexistência de água as perfurações dos tirantes foram realizadas com ar comprimido em todos os trechos. Em ambas as obras foram utilizadas armaduras em formato gaiolas montadas no canteiro, os aços utilizados foram do tipo CA-50, com diâmetros de 10, 16 e 20 mm. Assim como o estabilizante utilizado na escavação das lamelas que foram polímeros.

As Figuras 33 e 34 mostram a contenção em planta de ambas as obras.

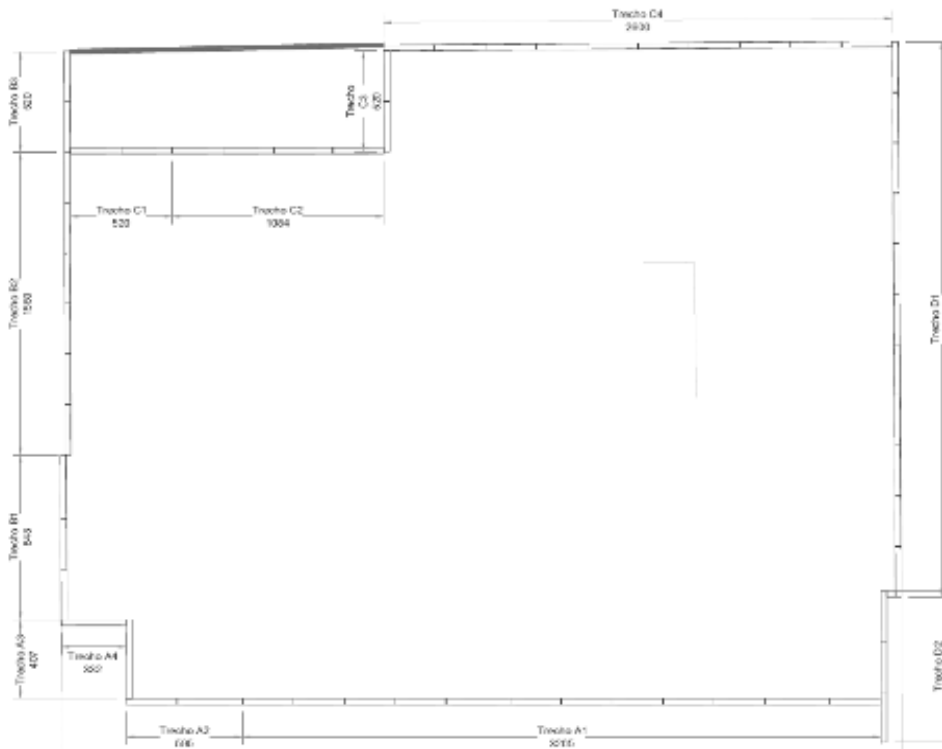


Figura 33 - Planta baixa da contenção na obra A



Fonte: ESTAQ (2019).

Figura 34 - Planta baixa da contenção na obra B



Fonte: GEOMAX (2019).

## 4 ESTUDO DE CASO

O presente capítulo tem como objetivo descrever as etapas de execução de parede diafragma atirantada implantada para execução de dois níveis de subsolos em empreendimentos residenciais localizados no município de Porto Alegre – RS. Dessa forma, destacando as soluções adotadas em razão das diferentes particularidades dos locais de implantação.

Aborda também uma estimativa de custo para cada etapa da execução de parede diafragma de acordo com a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).

Ambas as obras encontram-se em perímetro urbano, com edificações no entorno. Sendo assim, a parede diafragma atirantada foi a solução mais indicada devido às suas características de execução tais como: ausência de grandes vibrações; atingir elevadas profundidades; execução relativamente rápida e sem rebaixamento do nível de água no caso da obra A, que possuía lençol elevado.

Durante as etapas de descrição das obras, foram destacadas as diferentes técnicas de execução, os materiais utilizados e as possíveis implicações de acordo com as necessidades de cada obra. Assim como a estimativa de custos que destacou os gastos com materiais e mão de obra em cada etapa da execução.

### 4.1 ETAPAS DE EXECUÇÃO

A técnica de execução de parede diafragma possui uma sequência de etapas padrão, mas cada obra possui suas características e necessidades diferentes de implementação. Neste capítulo são apresentadas as particularidades de cada obra.

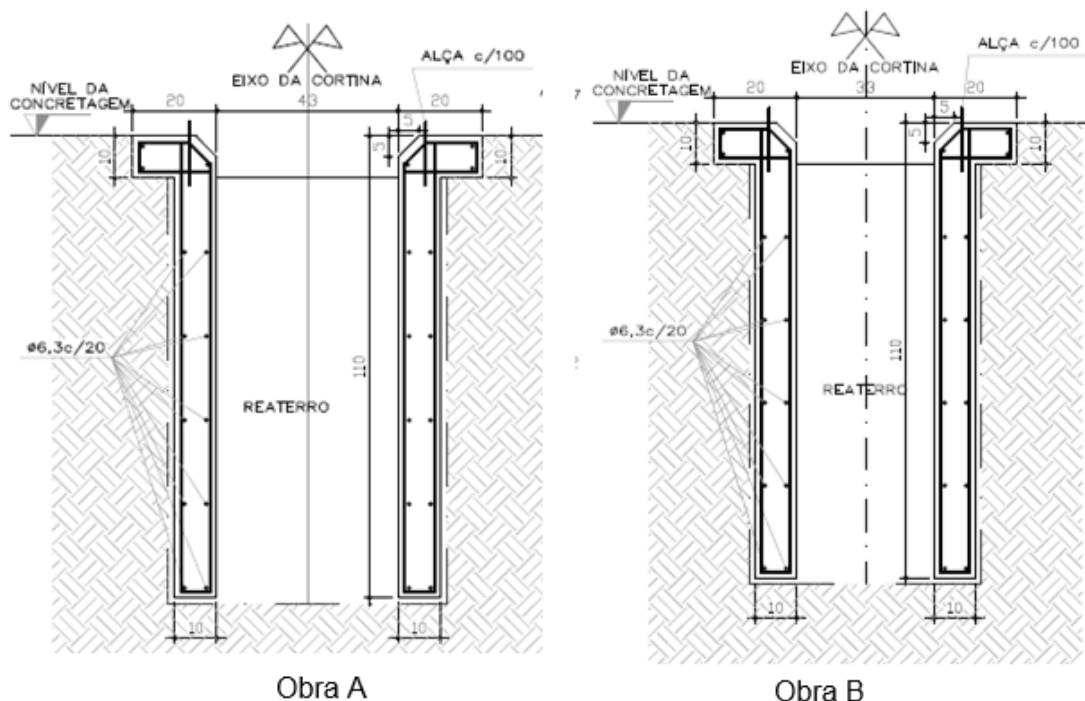
As etapas de execução de parede diafragma atirantada acompanhadas foram divididas da seguinte maneira: execução de mureta guia; preparo e bombeamento do fluido estabilizante; escavação das lamelas com uso do equipamento *clamshell*; colocação da armadura, chapas junta, chapa espelho e tubo tremonha; concretagem das lamelas; remoção das chapas; escavação e remoção do solo; abertura do furo na lamela; perfuração do solo com a perfuratriz; montagem e colocação do tirante no furo; injeção da nata de cimento e ensaio de protensão.

### 4.1.1 Mureta guia

As muretas guias estão presentes nas etapas necessárias para a execução da parede diafragma, com a função guiar o equipamento *clamshell* e impedir o desmoronamento do terreno próximo a superfície, não possuindo função estrutural. Por se tratar de um guia para as escavações, a execução deve seguir as especificações de projeto e ser rigorosamente nivelada. Não foi possível acompanhar a execução da mureta guia, pois a obra já estava em andamento no início deste estudo. Contudo, são destacadas as especificações de projetos neste capítulo.

Para obra A foi projetada uma mureta de concreto armado em todo o perímetro da obra com dimensões 1,10 m de profundidade e 0,43 m de espessura. Igualmente foi especificada uma mureta para obra B, mas com dimensões de 1,10 m de profundidade por 0,33 m de espessura. A Figura 35 mostra as especificações de projeto para execução da mureta guia de ambas as obras.

Figura 35 - Mureta guia



Fonte: ESTAQ e GEOMAX (2019).

De acordo com as informações obtidas pelos responsáveis e através dos acompanhamentos direto em campo pode se perceber a importância de executar a

mureta guia. Pois em terrenos que não estão na divisa podem servir de gabarito para a escavação, promovem um melhor alinhamento das lamelas no início da execução, ou seja, onde se encontra a mureta e facilitam também o controle do equipamento *clamshell*.

Em muitas obras esta etapa é negligenciada, com a finalidade de reduzir custos, mas o desalinhamento das lamelas pode aumentar os custos com reparos e acabamentos, é uma etapa de extrema importância e garantia de alinhamento inicial.

#### **4.1.2 Estabilizante**

O solo escavado foi contido por uma lama polimérica, que consiste em uma mistura de água e polímero, formando uma película que estabiliza o solo durante as escavações. O polímero utilizado na obra A, foi XTRA MUD BR que de acordo com AMC, (2017) é um polímero em emulsão e de alto poder encapsulante. Desse modo, servem muito bem para uso em fluidos de perfuração ou lamas de escavação que necessitam de um agente reativo. O fluido utilizado na obra B não foi divulgado.

As especificações do estabilizante descrevem 1 kg para 1000 l de água. Conforme informações dos engenheiros foram utilizados dois galões por lamela, cada bombona continha 20 kg, ou seja, foram utilizados aproximadamente 20.000 l de água por lamela. Posteriormente esse polímero retornou para os tanques para ser reutilizado.

Em ambas as obras o polímero foi preparado em tanques de água, sendo posteriormente bombeado até o local das escavações através de mangueiras de plástico. As Fotografias 1 e 2 apresentam os tanques de preparo e o estabilizante utilizado em ambas as obras assim como o bombeamento através de mangueiras para as valas escavadas.

Fotografia 1 - Etapas de preparo e bombeamento estabilizante da obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 2 - Etapas preparo e bombeamento estabilizante da obra B



Fonte: Registrado pela autora.

Através do acompanhamento pode se perceber que o controle de mistura do estabilizante pode ser falho devido a necessidade de rapidez na execução das lamelas, em alguns casos o pH da água e a quantidade de estabilizante a ser misturado não foi controlado, sendo necessário a aplicação diretamente no momento da escavação sem nenhum controle de quantidade e nem de qualidade. Não foi identificado grandes problemas quanto a desmoronamentos de solo durante a escavação, mas de acordo com os responsáveis pela obra a quantidade de polímero utilizada foi maior que a prevista devido ao uso inadequado e a falta de controle.

Em uma das obras também foi necessário deixar a vala escavada com o polímero submerso até o dia posterior, devido à impossibilidade de concretar no mesmo dia por falta de fornecimento do concreto. O procedimento é ariscado, pois

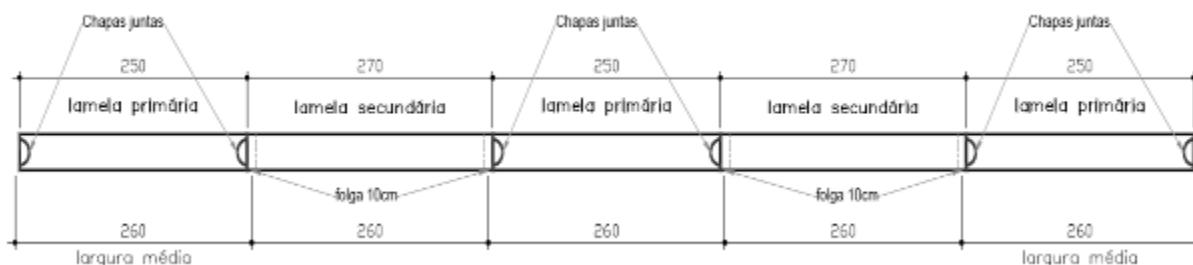
com o passar do tempo as moléculas de polímero podem se desestabilizar causando desmoronamento e descompressões no solo.

#### 4.1.3 Execução das lamelas

A parede diafragma deve ser executada em lamelas, podendo ter espessuras e profundidades variadas. As larguras mínimas correspondem as dimensões do equipamento *clamshell* utilizado para escavação, que geralmente variam de 2,50 m a 3,20 m.

As especificações de projeto para obra A descrevia lamelas com 0,40 m de espessuras, 2,50 m de largura e folga de 0,10 m de cada lado para lamelas secundárias. Resultando, portanto, em uma largura média de 2,60 m. De maneira semelhante foram projetadas as lamelas para obra B, mas com espessuras de 0,30 m em ambas as profundidades eram variáveis em cada trecho. A Figura 36 mostra o detalhe das lamelas.

Figura 36 - Detalhe das lamelas



Fonte: ESTAQ e GEOMAX (2019).

A espessura das lamelas depende das cargas para que são dimensionadas, no caso da obra A, as cargas eram mais elevadas devido ao lençol freático elevado, por isso foi realizada com espessura maior. De acordo com os subcontratados os custos para executar lamelas de 0,30 m ou de 0,40 m de espessura não variam, pois a mão de obra e os equipamentos utilizados são os mesmos. O que pode alterar são os custos com materiais como o volume de concreto e de armadura.

#### 4.1.3.1 Escavação

Durante este estudo foram acompanhadas as escavações das lamelas nos trechos A e D na obra A e do trecho A da obra B. Em ambas as obras as lamelas foram executadas de maneira semelhantes com uso de guindaste e *clamshell*. Após atingir a profundidade de 1 m de escavação era lançado através de sistema de bombas o polímero descrito anteriormente para conter o solo na escavação. As Fotografias 3 a 5 apresentam as escavações com uso de *clamshell*.

Fotografia 3 - Escavação das lamelas com guindaste e *clamshell* da obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 4 - Escavação das lamelas com guindaste e *clamshell* da obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 5 - Escavação das lamelas com guindaste e *clamshell*, da obra B



Fonte: Registrado pela autora.

Ao iniciar as escavações das lamelas é de extrema importância que todos os materiais necessários para a realização estejam disponíveis no canteiro e que o concreto já esteja a caminho, estas etapas devem ser realizadas sequencialmente sem interrupções.

Nesta etapa a qualidade dos painéis está diretamente ligada aos cuidados da equipe de execução e as condições dos equipamentos durante o processo, nos quais se destacam a verticalidade e o alinhamento dos painéis.

As verificações mecânicas dos equipamentos também são importantes para um bom andamento da execução. Em uma das obras ocorreram complicações com o guindaste, o equipamento teve que ser consertado duas vezes o que gerou atraso de duas semanas na finalização das lamelas.

#### 4.1.3.2 Materiais necessários para execução das lamelas

Para execução dos painéis são necessários materiais para melhor acabamento e controle na execução. Em ambas as obras foram utilizados materiais como: armadura, chapa junta, chapa espelho e tubo tremonha.

Após o início das escavações das lamelas foram realizadas as medidas da altura da lamela através de uma trena com peso colocada na vala e da largura por uma trena comum. A Fotografia 6 mostra os materiais.



Fotografia 6 - Materiais utilizados para medir as dimensões das lamelas



Fonte: Registrado pela autora.

As lamelas devem alcançar as larguras e profundidades especificadas em projeto. Durante o acompanhamento foi possível verificar que alguns trechos não alcançaram a profundidade esperada, devido a rochas e matacões encontrados. Foram então interrompidas as escavações, pois o *clamshell* não pode escavar rochas ou matacões. Seria ideal neste caso fazer o uso de hidrofresa mas possui um custo muito elevado.

#### 4.1.3.2.1 Armadura

A armadura utilizada na execução dos painéis era constituída de barras longitudinais de 16 e 20 mm de diâmetros, estribos e enrijecedores com diâmetros de 10 mm, dispostos em forma de gaiola. Montada em obra através das especificações de projetos. Assim, foi içada com o auxílio de um guindaste e mergulhada na vala preenchida com o polímero.

Devido às operações de içamento, o projeto especificava barras de enrijecimento para garantir a rigidez da armadura durante a implementação. Foi utilizado um rolete espaçador de plástico a cada 2 m em ambas as faces da gaiola, justamente para garantir o cobrimento das barras durante a concretagem. As Fotografias 7 e 8 demonstram a montagem das armaduras, colocação dos espaçadores e içamento.

Fotografia 7 - Preparo da armadura na obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 8 - Armadura e espaçadores da obra A



Fonte: Registrado pela autora.

No início das escavações das lamelas a armadura deve estar pronta para ser içada, pois é a primeira a ser colocada na vala. Os cortes e emendas são feitos após a confirmação da profundidade alcançada e devem ser feitas por um ferreiro. Conforme vai sendo mergulhada na vala preenchida por polímero, os espaçadores são colocados, para garantir o cobrimento. Esta etapa deve ser realizada de forma suave para evitar o deslocamento dos espaçadores, após atingir a cota especificada em projeto a armadura foi apoiada na mureta, evitando o deslocamento durante a concretagem.

#### 4.1.3.2.2 Chapa junta, chapa espelho e tubo tremonha

As juntas entre painéis são do tipo macho e fêmea, obtidas através de chapas junta que são inseridas nas extremidades dos painéis antes da concretagem. Para obter melhor acabamento da superfície das lamelas foram utilizadas chapas espelhos. Essas são chapas metálicas com comprimentos de até 6 m, inseridas na face externa da parede diafragma. Antes da concretagem é necessário inserir um tubo que possui um funil para a realização da concretagem submersa, denominado tubo tremonha.

Após o alcance da profundidade estimada em projeto, a armadura foi inserida acompanhada da chapa espelho, chapa junta, tubo tremonha. Ambos içados pelo guindaste, o painel foi finalizado com a concretagem e a remoção das chapas, que foram feitas de forma parcial a cada 30 min. As Fotografias 9 e 10 apresentam as etapas realizadas em ambas as obras.

Fotografia 9 - Colocação dos equipamentos da obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 10 - Materiais utilizados na execução das lamelas da obra B



Fonte: Registrado pela autora.

As chapas juntas não são necessárias em painéis de fechamento, e somente de um lado em painéis sequenciais, elas são colocadas através do guindaste após a armadura. A chapa espelho é fundamental para melhor acabamento da lamela ela é inserida após as chapas juntas e fica apoiada por uma madeira escorada na mureta guia, ambos os equipamentos devem estar limpos e sem resíduos das concretagens anteriores.

Durante o acompanhamento foi verificado que ao içar o tubo em alguns trechos a armadura foi danificada pelo funil, quando foi lançado na vala. Neste caso a armadura deve sempre ser preservada pois pode comprometer a resistência da parede.

#### 4.1.3.3 Concretagem

Posteriormente a colocação dos materiais necessários para execução das lamelas, foi realizada a concretagem. O processo de concretagem para a execução das paredes diafragmas é realizado de forma submersa, ou seja, de baixo para cima, de maneira contínua e uniforme. Em ambas as obras o concreto foi lançado através do tubo tremonha com profundidade variada, que possui em sua extremidade superior um funil. A medida que o concreto era lançado pelo tubo, a

lama polimérica era expulsa por um sistema de bombas para os tanques de armazenamento a fim de ser reutilizado nas próximas lamelas.

Conforme o concreto era elevado, o tubo tremonha era ajustado com cuidado para extremidade estar mergulhada no concreto com comprimento mínimo de 1,5 m. Para uma concretagem de sucesso, o concreto deve possuir alta trabalhabilidade e fluidez.

As especificações de projeto para ambas as obras foram:

- a)  $f_{ck} \geq 30$  MPa;
- b) consumo mínimo de cimento:  $400 \text{ kg/m}^3$ ;
- c) relação água/cimento  $\leq 0.55$ ;
- d) *slump*:  $22 \pm 3$  cm;
- e) utilizar brita 1;
- f) % de argamassa = 55%;
- g) exsudação máxima de 4%.

O controle tecnológico do concreto foi realizado através do *slump test*, momentos antes do início da concretagem. Este ensaio tem como objetivo conferir a trabalhabilidade do concreto.

Os resultados dos testes acompanhados em obra ficaram entre 23 e 24 cm de abatimento do cone, ou seja, dentro do especificado em projeto, posteriormente os corpos de provas foram rompidos para verificar a resistência aos 28 dias. A Fotografia 11 mostra a realização do ensaio antes da concretagem.

Fotografia 11 - Etapas do *slump test*



Fonte: Registrado pela autora.

Durante a concretagem foram realizadas verificações da cota do concreto, com uso da trena com peso descrita anteriormente. A concretagem foi realizada até a cota superior, ou seja, até o topo da parede para a remoção do concreto da parte superior que pode conter resíduos do estabilizante e resistência inferior. A cada lamela eram utilizados aproximadamente dois caminhões de concreto, ou seja, 16 m<sup>3</sup>. As Fotografias 12 e 13 mostram as concretagens acompanhadas.

Fotografia 12 - Etapas de concretagem da obra A no trecho D



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 13 - Etapas de concretagem da obra A no trecho A



Fonte: Registrado pela autora.

Nesta etapa o concreto deve ser lançado sem interrupções e a concretagem deve ser concluída o mais rápido possível. Deve se atentar para a remoção das chapas lentamente e a cada 30 min. O volume de concreto lançado na vala deve ser igual ou aproximado ao volume de escavação.

Após o término da concretagem e o período de cura foi realizado o arrasamento da parte superior das lamelas que continha restos do estabilizante.

#### 4.1.4 Remoção do solo

Após a execução de todas as lamelas e a cura do concreto que ocorreu em torno de 28 dias, iniciou-se a escavação e remoção do solo na área útil da obra. Descobrimos, desse modo, a parede de forma sincronizada com as linhas de tirantes. Em ambas as obras o solo foi escavado por escavadeiras e transportado por caminhões basculantes. O local de descarte não foi divulgado pelas empresas.

O volume de solo foi estimado através das dimensões de projeto, a obra A com um volume aproximado de 32.000 m<sup>3</sup> e a obra B com 23.000 m<sup>3</sup>, na obra A, foram utilizadas duas escavadeiras e na obra B uma escavadeira. As Fotografias 14 e 15 ilustram as etapas de escavação e remoção de solo em ambas as obras.

Fotografia 14 - Escavação e remoção do solo na obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 15 - Escavação e remoção do solo na obra B



Fonte: Registrado pela autora.

As escavações foram realizadas de maneira contínua, é de extrema importância para organização do canteiro que a remoção do solo seja de maneira sincronizada com as perfurações dos tirantes. A organização na etapa de remoção de solo é essencial para o melhor andamento da obra, um canteiro desorganizado pode causar atrasos. Os caminhões que transportam o solo devem estar sempre disponíveis no canteiro.

Após o início da remoção do solo e antes de iniciar a perfuração dos tirantes foram feitos os furos nas lamelas com uso da serra copo, uma ferramenta que faz corte no concreto em diferentes diâmetros e profundidades. Esse processo dura em torno de 20 minutos por furo e deve ser realizado por profissionais capacitados para função.

Para a abertura dos furos da obra A foi contratada uma empresa terceira que realiza este procedimento. Na obra B a empresa GEOMAX capacitou seus funcionários e fez aquisição dos equipamentos, realizando então os furos nas lamelas. As Fotografias 16 e 17 ilustram a ferramenta e os cortes realizados nas lamelas em ambas as obras.

Fotografia 16 - Abertura dos furos nas lamelas na obra A



Fonte: Registrado pela autora.



Fotografia 17 - Abertura dos furos nas lamelas na obra B



Fonte: Registrado pela autora.

Após o início das escavações, os furos das lamelas devem ser feitos de maneira sequencial e dependendo do número de tirantes são necessárias duas ou mais equipes. Na obra A foram utilizadas duas equipes de furação sendo necessário em alguns pontos furar duas ou três vezes, já na obra B foi necessário somente uma equipe. Nesta etapa deve se seguir o alinhamento e a cota dos furos que estão especificados no projeto.

#### 4.1.5 Tirantes

Os tirantes projetados para ambas as obras são denominados provisórios, ou seja, serão desativados após o travamento das lajes, perdendo sua função.

As especificações dos tirantes descritas em projeto para ambas as obras foram:

- a) verificar a natureza e a localização das fundações, subsolos, piscinas, reservatórios, canalizações ou estruturas enterradas nos terrenos vizinhos;
- b) somente iniciar após a permissão formal dos vizinhos;
- c) centrar os tirantes nos painéis, com exceção se estiver indicado;
- d) ao iniciar a perfuração verificar: a cota, o tipo de tirante, a inclinação e comprimentos (total, livre e ancorado), com anotação em planilhas de controle;
- e) injetar imediatamente perfurações interrompidas por obstáculos (fundações ou estruturas), caso não sejam utilizadas;

- f) a calda injetada deverá ter fator a/c máximo de 0,5 e resistência a compressão de 25 MPa na data de ensaio;
- g) testar todos os tirantes executados para comprovação de desempenho com registro específico;
- h) após o ensaio, incorporar a carga ao tirante conforme projetado;
- i) informar o projetista imediatamente, caso não for atingida a carga de ensaio, para adoção das providências cabíveis de cada caso;
- j) registrar em planilha todos os dados relativos a execução dos tirantes e encaminhar ao projetista;
- k) escavar somente abaixo da linha de tirantes já executada e após o ensaio comprobatório de desempenho;
- l) qualquer alteração de procedimento construtivo ou projeto deve ser autorizado por escrito pelo projetista;
- m) obedecer as recomendações da NBR 5629 (ABNT, 2006), referentes a ancoragens injetadas no terreno.

Para obra A foram projetados 293 tirantes monobarras, com proteção anticorrosiva de tubos PVC no trecho livre, centralizadores e calda de cimento no trecho ancorado. Para obra B foram 157 tirantes monobarras, protegidos com graxa no trecho livre, centralizadores e calda de cimento no trecho ancorado. A Tabela 4 descreve a quantidade de tirantes em cada obra.

Tabela 5 - Descrição dos tirantes

<b>Obra A</b>		
DYWIDAG (Ø 36 mm)		
Quantidade	Ancorado (m)	Carga de trabalho (tf)
132	12	50
GEWI PLUS (Ø 32 mm)		
Quantidade	Ancorado (m)	Carga de trabalho (tf)
161	8	33
<b>Obra B</b>		
GEWI PLUS (Ø 32 mm)		
Quantidade	Ancorado (m)	Carga de trabalho (tf)
157	8	33

Fonte: Elaborado pela autora.

Cada trecho de parede possuía um número de tirantes divididos em linhas identificados por letras que eram executados de forma sincronizada com as escavações do solo e furos nas lamelas. A Tabela 5 descreve os trechos e o número de linhas de tirantes em cada obra.

Tabela 6 - Trechos de lamela, linha de tirantes e sequência de execução

<b>Obra A</b>		
<b>Trecho</b>	<b>N° de linhas de tirantes</b>	<b>Sequência de execução</b>
A	3	C a A
B1	4	D a A
B2	4	D a A
B3	5	E a A
C	6	K a F
D	3	C a A
<b>Obra B</b>		
<b>Trecho</b>	<b>N° de linhas de tirantes</b>	<b>Sequência de execução</b>
A	—	—
B1	2	B a A
B2	3	C a A
B3	1	C
C1	2	B a A
C2	2	B a A
C3	2	B a A
C4	5	E a A
D1	5	E a A
D2	4	D a A

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.1.5.1 Perfuração

A perfuração dos tirantes em ambas as obras foi realizada de acordo com a locação, inclinação e direção definidas em projeto, o equipamento utilizado para abertura do furo no solo foi a perfuratriz, com ar comprimido ou água. As Fotografias 18 e 19 mostram as perfuratrizes utilizadas em ambas as obras.

Fotografia 18 - Perfuratrizes utilizadas na obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 19 - Perfuratriz utilizada na obra B



Fonte: Registrado pela autora.

Para obra A as perfurações foram realizadas de duas maneiras, com ar comprimido e água, devido ao solo arenoso e o lençol freático elevado, o que causava desmoronamentos durante a perfuração com ar comprimido. No trecho C, em alguns pontos foi necessário uso de água com estabilizante devido ao lençol freático elevado e desmoronamento do solo durante a perfuração. As Fotografias 20 e 21 apresentam a perfuração com uso de polímero e ar comprimido.

Fotografia 20 - Perfuração com uso de estabilizante na obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 21 - Perfuração a ar comprimido na obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Na obra B em todos os trechos as perfurações foram feitas com ar comprimido através de um compressor, sem problemas com desmoronamentos de solo e lençol freático, mas em alguns pontos foram alteradas as posições dos tirantes devido a interferências das fundações vizinhas. A Fotografia 22 mostra a perfuração com ar comprimido e o compressor utilizado.

Fotografia 22 - Perfuração com ar comprimido na obra B



Fonte: Registrado pela autora.

A perfuração é definida conforme as características do solo, ainda que, as perfurações com ar comprimido deixam a obra mais limpa e com menos barro não são possíveis em todos os tipos de solo, como no caso da obra A que possuía o nível de água elevado e um solo arenoso, não foi possível realizar todas as perfurações somente com ar comprimido sendo necessário executar com circulação de água e revestimento no caso do trecho C. O que tornou a obra mais barrenta e trabalhosa devido a necessidade de retornar a lama para os tanques, do mesmo modo a execução ficou mais demorada e o custo mais elevado. Já na obra B que possui um solo mais seco foi possível realizar todas as perfurações com ar comprimido de maneira mais rápida, limpa sem necessidade de bombear água ou lama.

A produtividade de perfuração na obra B foi de até dez tirantes por dia, já na obra A em alguns trechos só foi possível executar dois por dia, isso devido à dificuldade na perfuração e desmoronamento do solo.

#### 4.1.5.2 Montagem e instalação

Os tirantes foram montados e preparados em ambas as obras de maneira sincronizada com as perfurações, foram também realizados os cortes na barra, de maneira que as emendas ficassem no limite entre o trecho livre e o trecho ancorado.

Conforme a NBR 5629 (ABNT, 2006), para a execução de tirantes provisórios deve se prever alguma proteção contra a corrosão. Em ambas as obras a proteção anticorrosiva utilizada foi para tirantes provisórios.

Para a obra A foi utilizado proteção anticorrosiva classe II, que conforme a NBR 5629 (ABNT, 2006), são utilizadas por tirantes provisórios em meio medianamente agressivo. No qual o trecho ancorado foi protegido por centralizadores a cada 1 m e calda de cimento e o trecho livre foi protegido por tubo PVC 40 mm em paralelo a barra um tubo PVC 32 mm com válvulas manchetes que posteriormente foram injetadas. As válvulas foram utilizadas devido ao lençol freático elevado e solo de baixa resistência. A montagem dos tirantes foi realizada sobre cavaletes. (Fotografia 23).

Na obra B foi utilizada proteção anticorrosiva classe III, que conforme a NBR 5629 (ABNT, 2006), são utilizadas por tirantes provisórios em meio não agressivo. Onde o trecho ancorado foi equipado por centralizadores a cada 2 m e o trecho livre por graxa UNIGRAX. A graxa era aplicada no momento da colocação do tirante no furo. As Fotografias 23 e 24 ilustram a montagem dos tirantes e preparo da proteção anticorrosiva e os insumos utilizados em cada obra.

Fotografia 23 - Preparação dos tirantes obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 24 - Preparação dos tirantes obra B



Fonte: Registrado pela autora.

Imediatamente após a perfuração os tirantes foram instalados, a instalação deve ser realizada de maneira que não danifique a proteção anticorrosiva e posição dos demais componentes do tirante. Na obra A em alguns pontos foi feita a injeção da calda antes de colocar o tirante devido à instabilidade do solo. As Fotografias 25 a 28 ilustram a instalação dos tirantes em ambas as obras.

Fotografia 25 - Instalação do tirante trecho B da obra A



Fonte: Registrado pela autora.



Fotografia 26 - Instalação do tirante trecho C da obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 27 - Instalação do tirante trecho D da obra B



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 28 - Instalação do tirante trecho C da obra B



Fonte: Registrado pela autora.

Durante o acompanhamento desta etapa foi possível verificar a dificuldade de inserir os tirantes em alguns trechos da obra A. No trecho C foi necessário o auxílio da escavadeira para colocar o kit de tirante no furo, mas deve se atentar, pois isso pode interferir na proteção anticorrosiva e no ângulo do tirante no furo. Na obra B não houve dificuldade ao inserir o tirante.

#### 4.1.5.3 Injeção

As injeções em ambas as obras foram realizadas com calda de cimento, que de acordo com NBR 7681 (ABNT, 2013) é uma mistura de água e cimento, que deve possuir de 0,5 a 0,7 fator água/cimento e resistência de 25 MPa. As injeções são responsáveis por formar os bulbos de ancoragem que interagem com o solo transmitindo o esforço de tração.

Em ambas as obras a calda foi feita em misturadores de alta turbulência, com capacidade de injeção de 60 l/min, onde pode se obter o controle de dosagem e volume injetado. As Fotografias 29 e 30 ilustram os misturadores de calda em ambas as obras.

Fotografia 29 - Misturadores de calda da obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 30 - Misturadores de calda obra B



Fonte: Registrado pela autora.

Após a perfuração e instalação dos tirantes devem ser feitas as bainhas, que de acordo com NBR 5629 (ABNT, 2006) são injeções iniciais para fixação do tirante, preenchendo o furo sem uso de pressão.

Na obra A em alguns trechos, as injeções de bainha foram realizadas antes da instalação dos tirantes devido à instabilidade do solo. A Fotografia 31 ilustra a execução da bainha na obra A.

Fotografia 31 - Injeção da bainha na obra A

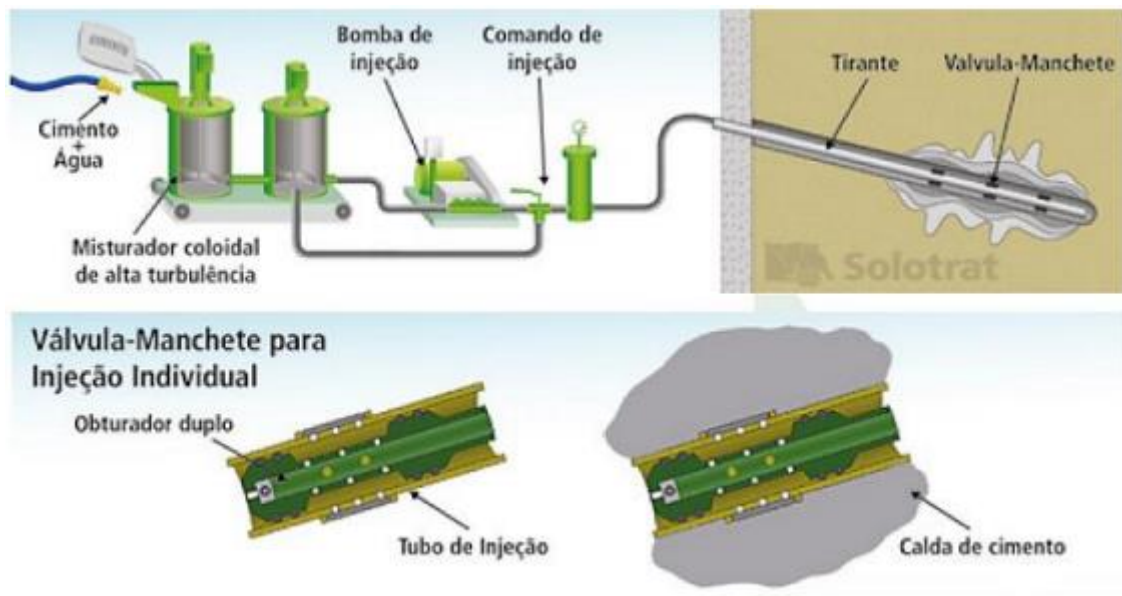


Fonte: Registrado pela autora.

No dia posterior a injeção da bainha e instalação do tirante, foi realizado o primeiro estágio de injeção, conhecido como injeção primária, ou seja, injeção com pressão controlada, que é feita com o auxílio de um obturador introduzido no tubo

paralelo ao tirante, as válvulas vão sendo injetadas individualmente, a partir da mais profunda. A Figura 37 ilustra o esquema de injeção de múltiplos estágios.

Figura 37 - Esquema de injeção



Fonte: Solotrat 2015.

A pressão aplicada na injeção faz com que a válvula se abra e a calda de cimento preencha os eventuais vazios que permaneceram na etapa anterior, diminuindo a pressão e caracterizando a abertura das manchetes. A Fotografia 32 ilustra as válvulas manchetes e a bomba utilizada para medir pressão da injeção.

Fotografia 32 - Bomba e válvulas manchete utilizadas na injeção da obra A



Fonte: Registrado pela autora.

Em casos em que não se obtenha a pressão de injeção adequada, no estágio primário, após o tempo de cura, (3 dias no caso de uso de cimento ARI e 7 dias no caso de cimento comum), se repete o processo de injeção quantas vezes forem necessárias.

A obra B utilizou injeções em um único estágio que normalmente é utilizada para solos com boa aderência, o processo é feito com a calda de cimento pela boca do furo sem necessidade de utilizar válvulas manchetes, logo após a instalação dos tirantes, essa injeção pode ser denominada injeção bainha. A Fotografia 33 ilustra a injeção da calda de cimento.

Fotografia 33 - Injeção da calda de cimento obra B



Fonte: Registrado pela autora.

O tipo de injeção é definido de acordo com resistência do solo, na obra A em alguns pontos foram necessários dois estágios de injeção, em outros somente a injeção primária foi suficiente. A resistência era testada após três dias da injeção caso não fosse obtida, era realizada novamente após três dias. Na obra B foi realizada somente a injeção de estágio único, os ensaios apresentaram resistência somente após sete dias de cura da nata de cimento.

#### 4.1.5.4 Protensão

Os ensaios de protensão são necessários para verificar a capacidade do tirante de suportar as cargas de trabalho descritas no projeto e garantir a estabilidade da cortina.

De acordo com NBR 5629 (ABNT, 2006), existem quatro tipos de ensaios de protensão, o básico, de qualificação, de recebimento e de fluência e devem ser realizados sete dias após a injeção, no caso de uso de cimento comum ou três dias no caso de cimento CP - V ARI.

Nas obras acompanhadas foram utilizados cimento CP - V ARI (alta resistência inicial), em todas as injeções. A Fotografia 34 ilustra os cimentos utilizados em ambas as obras.

Fotografia 34 - Cimento utilizado nas injeções das obras A e B, respectivamente



Fonte: Registrado pela autora.

Entretanto o período de espera para o início dos ensaios foi distinto, a obra A realizou os ensaios após 3 dias de cura e a obra B após 7 dias. De acordo com a engenheira Helena Corrêa, responsável pela obra B, os tirantes que eram ensaiados com três dias não estavam alcançando as cargas necessárias estipuladas em projeto, então os ensaios foram realizados após sete dias. Isso pode ter ocorrido devido ao preparo da nata de cimento, pois o excesso de água causa exsudação que reduz a resistência e a adesão das ancoragens ao solo.

Devido aos tirantes serem de caráter provisório em ambas as obras foi realizado somente o ensaio de recebimento, que de acordo com NBR 5629 (ABNT, 2006), consiste em carregar o tirante a partir da aplicação de um ciclo de cargas pré-definidas e das leituras dos deslocamentos da cabeça do tirante durante os carregamentos e descarregamentos aplicados.

Este ensaio deve ser realizado em todos os tirantes da obra, sendo 10% realizado com a carga máxima, descrita na tabela a seguir. A Tabela 7 descreve o ensaio e as fases de cargas que devem ser aplicadas.

Tabela 7 - Estágio de cargas do ensaio de recebimento

Tirante	Ensaio	Estágios de carga e descarga
Permanente	Tipo A	Fo e 0,3Ft; 0,6Ft; 0,8Ft; 1,0Ft; 1,2Ft; 1,4Ft; 1,6Ft e 1,75Ft
Permanente	Tipo B	Fo e 0,3Ft; 0,6Ft; 0,8Ft; 1,0Ft; 1,2Ft e 1,4Ft
Provisório	Tipo C	Fo e 0,3Ft; 0,6Ft; 0,8Ft; 1,0Ft; 1,2Ft; 1,4Ft e 1,5 Ft
Provisório	Tipo D	Fo e 0,3Ft; 0,6Ft; 0,8Ft; 1,0Ft e 1,2Ft

Fonte: NBR 5629 (ABNT, 2006).

Para realização do ensaio na obra A, foram utilizados equipamentos como: placa, porca, mesa, luva de emenda, conjunto macaco-bomba, trena e boletim de protensão. As cargas de trabalho especificadas em projeto foram de 50 tf para os tirantes do trecho C e 33 tf para os demais trechos.

O ensaio ocorreu da seguinte forma: foram aplicadas cargas divididas conforme a Tabela 6, a cada aplicação das cargas os deslocamentos obtidos foram sendo registrados, posteriormente foi realizado o alívio de pressão reduzindo as cargas aplicadas e anotando os deslocamentos para novamente carregar até a carga de incorporação. As Fotografias 35 e 36 mostram a realização do ensaio nos trechos A e D.

Fotografia 35 - Ensaio de recebimento trecho A



Fonte: Registrado pela autora.

Fotografia 36 - Ensaio de recebimento trecho D



Fonte: Registrado pela autora.

Para a obra B também foram utilizados equipamentos como: placa, porca, mesa, luva de emenda, conjunto macaco-bomba, deflectômetro e boletim de protensão. As etapas de ensaio foram as mesmas da obra A com cargas de trabalho de 33 tf para todos os tirantes. A Fotografia 37 ilustra a realização do ensaio e os equipamentos utilizados.

Fotografia 37 - Ensaio de recebimento obra B



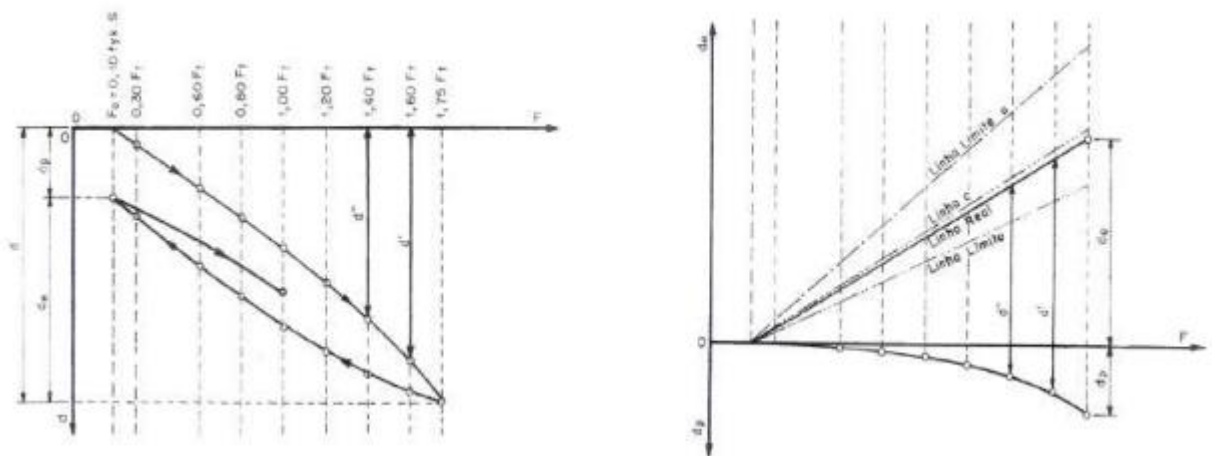
Fonte: Registrado pela autora.



Após o término do ensaio, os boletins eram enviados para a central da empresa executora para plotagem de gráficos que demonstravam a real situação dos deslocamentos e ancoragem dos tirantes.

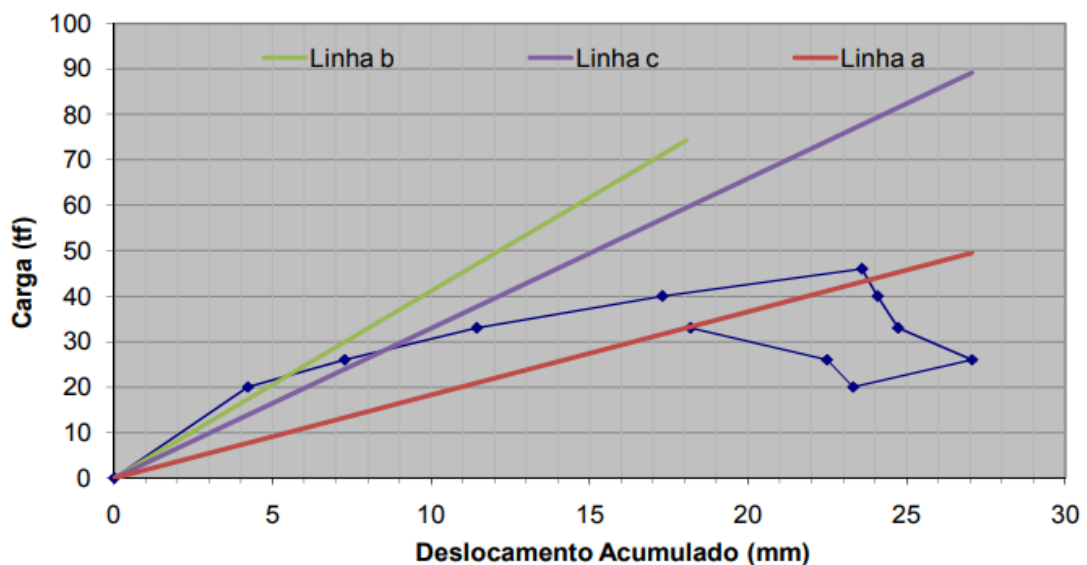
De acordo com NBR 5629 (ABNT, 2006), para o ensaio de recebimento devem ser plotados dois gráficos um referente aos deslocamentos totais e as cargas aplicadas e o outro aos deslocamentos divididos em elásticos e permanentes. A Figura 38 ilustra o modelo de gráfico estipulado pela norma e a Figura 39 mostra um modelo de gráfico obtido na execução do ensaio da obra B, não foi possível divulgar os gráficos da obra A.

Figura 38 - Gráficos de carga x deslocamento, ensaio recebimento



Fonte: NBR 5629 (ABNT, 2006).

Figura 39 - Gráfico obtido ensaio de recebimento obra B



Fonte: GEOMAX (2019).

Estes gráficos são responsáveis por informar o sucesso da execução do tirante e a segurança da contenção, os deslocamentos máximos da cabeça do tirante devem estar situados entre as linhas superior e inferior (a, c, b). De acordo com o gráfico da obra B este tirante está aceito porque a linha de ensaio está dentro dos limites estipulados em norma.

## 4.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Neste capítulo foi abordada uma estimativa de custo para cada etapa da execução de parede diafragma de acordo com a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que é gerido pela Caixa Econômica Federal, em parceria com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ambas responsáveis por atualizar as informações contidas na tabela.

A parte mais significativa dos custos de execução de parede diafragma atirantada estão destacadas em mão de obra e equipamentos especializados, que são geralmente serviços subcontratados e equipamentos fornecidos pelos executores, estes estão descritos como subcontratados e os custos foram obtidos pelas empresas ESTAQ e GEOMAX.

Inicialmente foram realizados levantamentos dos materiais e equipamentos utilizados através dos relatórios de acompanhamentos, que descrevem a quantidade de insumos e equipamentos necessários para a execução. Posteriormente foi feito um levantamento quantitativo de insumos através das dimensões e quantidades de serviço especificadas em projeto.

Este trabalho não disponibiliza os valores exatos cobrados pelos fornecedores, mas uma estimativa dos insumos e custos necessários para execução.

As composições básicas detalhadas a seguir, foram obtidas através de acompanhamentos nas obras e levantamentos na composição analítica dos serviços de forma detalhada disponível na base do sistema SINAPI, que foram separadas como: execução de mureta guia para contenção com 30 e 40 cm de espessura, execução de contenção em parede diafragma com espessuras de 30 e 40 cm, profundidades maiores que 10 m e execução de tirantes monobarras de 25 mm. No caderno técnico do SINAPI não possui barras com diâmetros diferentes de 25 mm, então foi estimado os valores das barras DYWIDAG de 32 e 36 mm utilizadas

através do site da empresa ArcelorMittal, assim como o estabilizante utilizado e o aluguel dos compressores que foram orçados com as empresas fornecedoras.

Dentro de cada composição os insumos estão descritos de maneira detalhada e possuem um coeficiente de produtividade, este coeficiente foi multiplicado pelas quantidades necessárias de cada obra acompanhada e, posteriormente, pelo custo estimado na tabela.

Os equipamentos utilizados pelas subcontratadas não foram orçados pela base SINAPI, pois estavam dentro do custo de contratação, e os insumos não cadastrados na tabela foram descritos como inexistentes e orçados através de fornecedores.

#### 4.2.1 Estimativa de custos obra A

As dimensões utilizadas no orçamento para estimar as quantidades de materiais, equipamentos e mão de obra, multiplicados pelos coeficientes da SINAPI, foram: perímetro de 188 m; área de 2.565 m<sup>2</sup>; volume de 1026 m<sup>3</sup>; e 4.944 m de tirantes, os itens que não foram encontrados na tabela foram disponibilizados pela empresa ESTAQ.

A seguir estão descritos os custos estimados divididos em: execução de mureta guia, execução das lamelas, execução dos tirantes e custos dos subcontratados. As Tabelas 8 a 12 ilustram os custos da obra A.

Tabela 8 - Estimativa de custo execução de mureta guia, base SINAPI 2019

EXECUÇÃO DE MURETA GUIA (188 m)					
Materiais e Equipamentos					
Código Sinapi	Serviço	unidade	Quantidade	custo	Total
1358	Chapa de madeira compensada resinada para forma de concreto, (2,2 x 1,1) m, e = 17 mm	m <sup>2</sup>	181	R\$ 27,65	R\$ 5.003,27
4491	Pontaletes de madeira (7,5 x 7,5)* cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	379	R\$ 3,21	R\$ 1.217,04
4509	Tabua de madeira 2,5 x 10 cm (1 x 4 ") pinus, mista ou equivalente da região- 3 m	m	327	R\$ 1,76	R\$ 576,29
5068	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	kg	56	R\$ 10,45	R\$ 580,34
91692	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHP	23	R\$ 23,30	R\$ 526,09
91693	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHI	99	R\$ 20,70	R\$ 2.041,53
96525	Escavação mecanizada para viga baldrame, com previsão de fôrma, com mini escavadeira.	m <sup>3</sup>	151	R\$ 30,08	R\$ 4.544,39
96544	Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. -12 m	kg	2505	R\$ 9,95	R\$ 24.929,49
92726	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C20	m <sup>3</sup>	47	R\$ 329,18	R\$ 15.471,46
					<b>R\$ 54.889,90</b>
Mão de obra					
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	250	R\$ 18,65	R\$ 4.666,40
88316	Servente com encargos complementares	h	150	R\$ 15,66	R\$ 2.350,85
					<b>R\$ 7.017,25</b>
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 61.907,15</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 - Estimativa de custo para execução das lamelas, base SINAPI 2019

EXECUÇÃO DAS LAMELAS (1026 m³)						
Materiais e Equipamentos						
Código Sinapi	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
90650	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHP	0,06	62,9	R\$ 9,00	R\$ 566,04
90651	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHI	0,30	308,2	R\$ 0,58	R\$ 178,76
38464	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c20, com brita 0, slump = 220 +/- 20 mm,	m³	1,12	1150,146	R\$ 419,70	R\$ 482.716,28
74010/1	Carga e descarga mecânica de solo utilizando caminhão basculante 6.0m3/16t	m³	1,25	1282,5	R\$ 1,67	R\$ 2.141,78
97913	Transporte com caminhão basculante de 6 m3, em via urbana em revestimento primário	m³XKm	0,38	384,75	R\$ 1,71	R\$ 657,92
34	Aço ca-50, 10,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	35434,53	R\$ 4,64	R\$ 164.416,22
27	Aço ca-50, 16,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	34860,66	R\$ 4,41	R\$ 153.735,51
29	Aço ca-50, 20,0 mm, vergalhão	Kg	1,14	56829	R\$ 4,12	R\$ 234.135,48
						<b>R\$ 1.038.547,99</b>
Mão de obra						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,7234	742,2084	R\$ 18,65	R\$ 13.842,19
88316	Servente com encargos complementares	h	1,085	1113,21	R\$ 15,66	R\$ 17.432,87
88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0012	1,2312	R\$ 14,54	R\$ 17,90
88245	Armador com encargos complementares	h	0,0088	9,0288	R\$ 18,55	R\$ 167,48
						<b>R\$ 31.460,44</b>
<b>TOTAL</b>						<b>R\$ 1.070.008,43</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10 - Estimativa de custos para execução de tirantes, base SINAPI 2019

EXECUÇÃO DOS TIRANTES (4944 m)						
Materiais e Equipamentos						
Código Sinapi	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
1379	cimento portland composto cp ii-32	Kg	88	435072,00	R\$ 0,57	R\$ 247.991,04
9869	tubo pvc, soldavel, dn 32 mm, agua fria (nbr-5648)	m	0,538	2660	R\$ 5,63	R\$ 14.975,08
9838	tubo pvc serie normal, dn 50 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	0,545	1129	R\$ 5,88	R\$ 6.639,93
90650	bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHP	0,109	539	R\$ 14,24	R\$ 7.673,88
90651	bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHI	0,422	2086	R\$ 0,58	R\$ 1.210,09
5631	escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m3, peso operacional 17 t	CHP	0,009	44	R\$ 141,90	R\$ 6.313,98
5632	escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m3, peso operacional 17 t	CHI	0,523	2586	R\$ 56,42	R\$ 145.885,87
14583	tarifa "a" entre 0 e 20m3 fornecimento d'agua	m³	1,071	265	R\$ 15,70	R\$ 4.156,59
40432	espacador / separador de barra , metalico, tipo carambola, para tirantes, 25 x 84 mm	UN	0,815	4029	R\$ 1,20	R\$ 4.835,23
11971	porca zincada, sextavada, diametro 1"	UN	0,056	277	R\$ 1,85	R\$ 512,20
72898	carga e descarga mecanizadas de entulho em caminhao basculante 6 m3	m³	0,018	89	R\$ 3,81	R\$ 339,06
97913	transporte com caminhão basculante de 6 m3, em via urbana em revestimento primário	m³XKm	0,0054	27	R\$ 1,71	R\$ 45,65
<b>TOTAL</b>						<b>R\$ 440.578,61</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11 - Custos inexistentes na base SINAPI 2019

CUSTOS INEXISTENTES NO SINAPI					
Compressor de ar rebocável, vazão 350 pcm, pressão efetiva de trabalho 7,4 psi, motor diesel,	mensal	5	R\$ 4.400,00	R\$ 22.000,00	
Barras tirantes 32 mm	m	2326	R\$ 32,40	R\$ 75.362,40	
Barras tirantes 36 mm	m	2618	R\$ 36,90	R\$ 96.604,20	
Estabilizante	Kg	980	R\$ 22,50	R\$ 22.050,00	
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 216.016,60</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 12 - Estimativa de custos dos subcontratados

<b>SUBCONTRATADOS</b>			
<b>EXECUÇÃO DAS LAMELAS (m<sup>2</sup>)</b>			
<b>Quantidade</b>	<b>Serviço executado</b>	<b>Custo por m<sup>2</sup></b>	<b>Total</b>
6	Operador de máquinas e equipamentos	R\$ 185,00	R\$ 474.525,00
1	Guindaste		
1	<i>Clamshel</i>		
4	Chapas		
1	Tubo tremonha		
1	Central de lama		
<b>EXECUÇÃO DOS TIRANTES (m)</b>			
<b>FUROS NO CONCRETO</b>		<b>Custo por furo</b>	<b>Total</b>
1	Serra copo	50	R\$ 15.000,00
<b>PERFURAÇÃO DO SOLO</b>		<b>Custo (m)</b>	<b>Total</b>
2	Perfuratriz sobre esteira,	R\$ 180,00	R\$ 889.920,00
8	Operador de máquinas e equipamentos		
1	Misturador duplo para nata cimento		
1	Bomba para injeção de nata de cimento		
1	Transporte de equipamentos		
<b>CUSTO TOTAL SUBCONTRATADOS</b>			<b>R\$ 1.399.445,00</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Para um melhor entendimento dos custos envolvidos foram realizados gráficos que descrevem o valor e o percentual representativo de cada etapa necessária para execução da parede diafragma atirantada.

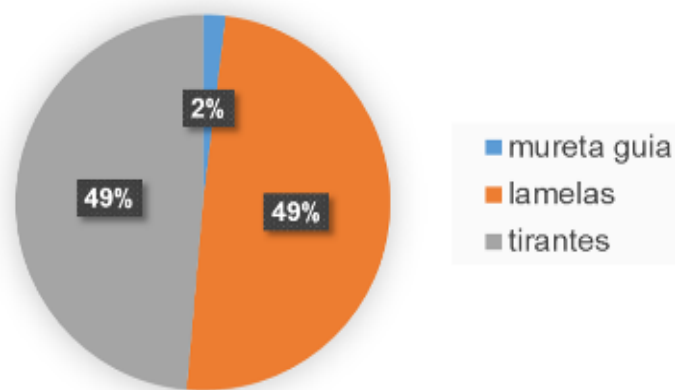
Através dos gráficos elaborados para obra A pode se observar que os custos entre tirantes e lamelas estão divididos de forma igual, isso pode ter ocorrido devido ao tipo de solo, o nível de água presente no terreno, que causou implicações e desmoronamentos, só sendo possível executar a perfuração com proteção anticorrosiva e uso de estabilizante, tornando a etapa dos tirantes mais onerosa. Os Gráficos 1 e 2 descrevem os valores e o percentual representativo de cada etapa.

Gráfico 1 - Custos de execução por etapa da obra A



Fonte: Elaborado pela autora.

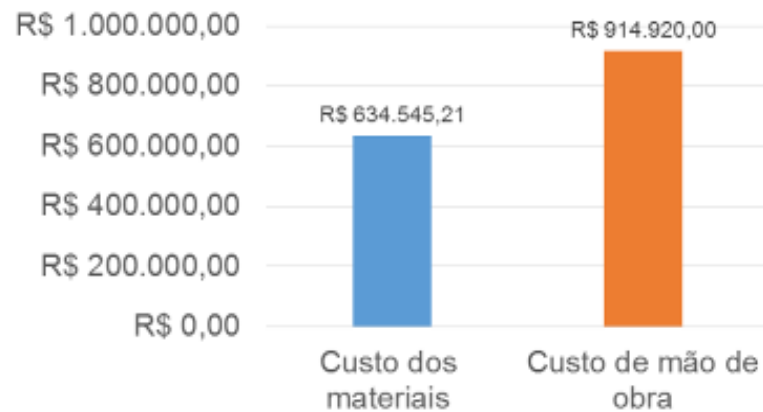
Gráfico 2 - Percentual de custos por etapas da obra A



Fonte: Elaborado pela autora.

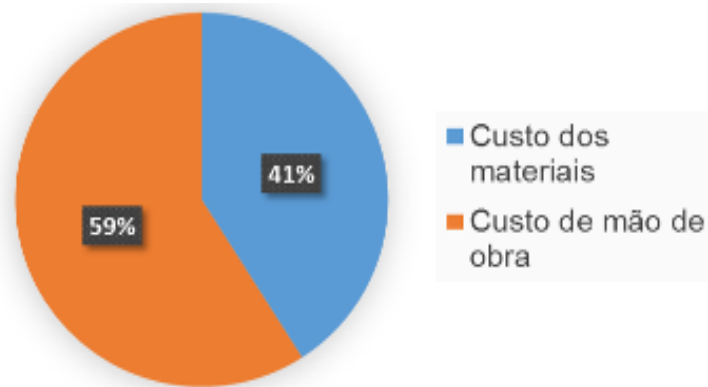
Após foram elaborados gráficos dos custos para a execução das lamelas e dos tirantes divididos em mão de obra e materiais com a finalidade de verificar os gastos de cada etapa de forma separada. Os Gráficos 3 a 6 demonstram estes resultados.

Gráfico 3 - Custo para execução dos tirantes da obra A



Fonte: Elaborado pela autora.

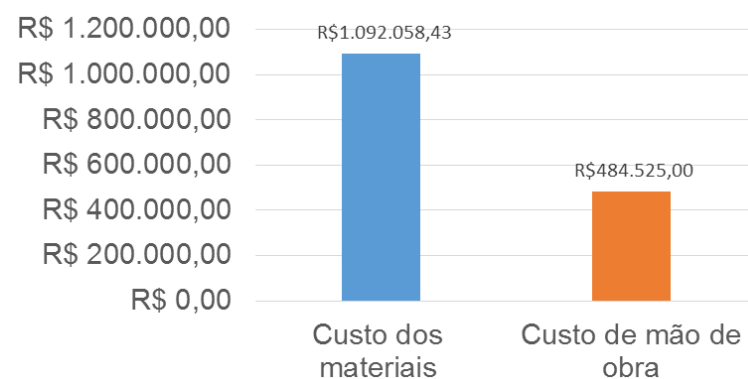
Gráfico 4 - Percentual de custos para execução dos tirantes na obra A



Fonte: Elaborado pela autora.

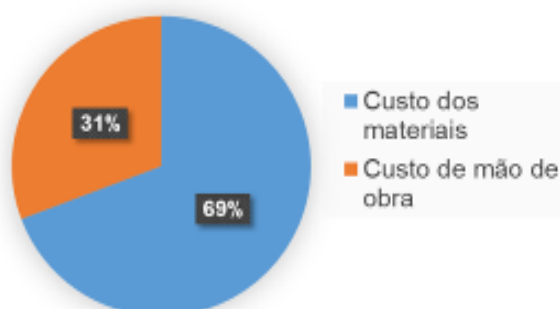
Nos gráficos da execução dos tirantes a mão de obra ficou com representativo de 59%, isso pode ter ocorrido devido aos equipamentos envolvidos na execução estarem todos representados pelas subcontratadas e serem calculadas como mão de obra.

Gráfico 5 - Custo para execução das lamelas da obra A



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 6 - Percentual de custos para execução das lamelas na obra A



Fonte: Elaborado pela autora.

Já no caso das lamelas os custos mais representativos estão nos materiais e equipamentos que representam 69%, o que ocorre devido ao grande volume de aço e concreto utilizado na confecção dos painéis.

#### 4.2.2 Estimativa de custos obra B

A obra B continha um perímetro de 145 m, uma área de 1.650 m<sup>2</sup>, um volume de 495 m<sup>3</sup> e 2.249 m de tirantes, estas foram as dimensões utilizadas no orçamento para estimar as quantidades de materiais, equipamentos e mão de obra, multiplicados pelos coeficientes da SINAPI, os itens que não estavam disponíveis na tabela foram disponibilizados pela empresa GEOMAX.

Do mesmo modo que a obra A os custos estimados foram divididos em: execução de mureta guia, execução das lamelas e execução dos tirantes e custos dos subcontratados. As Tabelas 13 a 17 ilustram os custos da obra B.

Tabela 13 - Estimativa de custo execução de mureta guia, base SINAPI 2019

EXECUÇÃO DE MURETA GUIA (145 m)						
Materiais e Equipamentos						
Código SINAPI	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
1358	Chapa de madeira compensada resinada para forma de concreto, (2,2 x 1,1) m, e = 17 mm	m <sup>2</sup>	0,96	140	R\$ 27,65	R\$ 3.858,90
4491	Pontalete de madeira (7,5 x 7,5)* cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,02	292	R\$ 3,21	R\$ 938,67
4509	Tabua de madeira 2,5 x 10 cm (1 x 4 ") pinus, mista ou equivalente da região- 3 m	m	1,74	253	R\$ 1,76	R\$ 444,48
5068	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	kg	0,30	43	R\$ 10,45	R\$ 447,60
91692	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHP	0,12	17	R\$ 23,30	R\$ 405,76
91693	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHI	0,52	76	R\$ 20,70	R\$ 1.574,59
96525	Escavação mecanizada para viga baldrame, com previsão de fôrma, com mini escavadeira.	m <sup>3</sup>	0,80	117	R\$ 30,08	R\$ 3.504,98
96544	Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. -12 m	kg	13,33	1932	R\$ 9,95	R\$ 19.227,53
92726	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C20	m <sup>3</sup>	0,25	36	R\$ 329,18	R\$ 11.932,78
						<b>R\$ 42.335,29</b>
Mão de obra						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	1,33	193	R\$ 18,65	R\$ 3.599,09
88316	Servente com encargos complementares	h	0,80	116	R\$ 15,66	R\$ 1.813,15
						<b>R\$ 5.412,24</b>
TOTAL						<b>R\$ 47.747,53</b>

Fonte: Elaborado pela autora.



Tabela 14 - Estimativa de custo execução das lamelas, base SINAPI 2019

EXECUÇÃO LAMELAS (495 m³)						
Materiais e Equipamentos						
Código SINAPI	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
90650	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico, potência 15 hp.	CHP	0,06	30,3	R\$ 9,00	R\$ 273,09
90651	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico, potência 15 hp	CHI	0,30	148,7	R\$ 0,58	R\$ 86,24
38464	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c20, com brita 0, slump = 220 +/- 20 mm	m³	1,12	554,895	R\$ 419,70	R\$ 232.889,43
74010/1	Carga e descarga mecânica de solo utilizando caminhão basculante 6,0m³/16t	m³	1,25	618,75	R\$ 1,67	R\$ 1.033,31
97913	Transporte com caminhão basculante de 6 m³, em via urbana em revestimento primário (unidade: m³xkm)	m³xKm	0,38	185,625	R\$ 1,71	R\$ 317,42
34	Aço ca-50, 10,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	34632	R\$ 4,64	R\$ 160.692,48
27	Aço ca-50, 16,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	33855	R\$ 4,41	R\$ 149.300,55
29	Aço ca-50, 20,0 mm, vergalhão	Kg	1,14	54150	R\$ 4,12	R\$ 223.098,00
						<b>R\$ 767.690,53</b>
Mão de obra						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,72	358	R\$ 18,65	R\$ 6.678,25
88316	Servente com encargos complementares	h	1,09	537	R\$ 15,66	R\$ 8.410,59
88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0012	0,594	R\$ 14,54	R\$ 8,64
88245	Armador com encargos complementares	h	0,0088	4,356	R\$ 18,55	R\$ 80,80
						<b>R\$ 15.178,28</b>
TOTAL						<b>R\$ 782.868,81</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15 - Estimativa de custos para execução de tirantes, base SINAPI 2019

EXECUÇÃO TIRANTES (2249 m)						
Materiais e Equipamentos						
Código SINAPI	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
1379	Cimento portland composto cp ii-32	Kg	88	197912,00	R\$ 0,57	R\$ 112.809,84
5631	Escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m³, peso operacional 17 t	CHP	0,009	20	R\$ 141,90	R\$ 2.872,20
5632	Escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m³, peso operacional 17 t	CHI	0,523	1176	R\$ 56,42	R\$ 66.362,73
40432	Espaçador / separador de barra, metálico, tipo carambola, para tirantes, 25 x 84 mm	UN	0,815	1833	R\$ 1,20	R\$ 2.199,52
11971	Porca zincada, sextavada, diâmetro 1"	UN	0,056	126	R\$ 1,85	R\$ 233,00
72898	Carga e descarga mecanizadas de entulho em caminhão basculante 6 m³	m³	0,018	40	R\$ 3,81	R\$ 154,24
97913	Transporte com caminhão basculante de 6 m³, em via urbana em revestimento primário (unidade: m³xkm).	m³xKm	0,0054	12	R\$ 1,71	R\$ 20,77
						<b>R\$ 184.652,29</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 16 - Custos inexistentes na base SINAPI 2019

CUSTOS INEXISTENTES NO SINAPI			
Compressor de ar rebocável, vazão 350 pcm, pressão efetiva de trabalho 7,4 psi, motor diesel,	aluguel	5	R\$ 4.400,00
Barras tirantes 32 mm	m	2249	R\$ 32,40
Estabilizante	bombona	750	R\$ 22,50
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 111.742,60</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 17 - Estimativa de custos dos subcontratados

SUBCONTRATADOS			
EXECUÇÃO DAS LAMELAS (m²)			
Quantidade	Serviço executado	Custo por m²	Total
5	Operador de máquinas e equipamentos	R\$ 180,00	R\$ 297.000,00
1	Guindaste		
1	Clamshel		
4	Chapas		
1	Tubo tremonha		
1	Central de lama		
EXECUÇÃO DOS TIRANTES (m)			
FUROS NO CONCRETO		Custo por furo	Total
1	Serra copo	55	R\$ 8.800,00
PERFURAÇÃO DO SOLO		Custo (m)	Total
1	Perfuratriz sobre esteira,	R\$ 170,00	R\$ 382.330,00
8	Operador de máquinas e equipamentos		
1	Misturador duplo para nata cimento		
1	Bomba para injeção de nata de cimento		
ENSAIO DE PROTENSÃO		Custo por ensaio	Total
1	Conjunto macaco bomba	R\$ 250,00	R\$ 39.250,00
1	Transporte de equipamentos	R\$ 10.000,00	R\$ 20.000,00
CUSTO TOTAL SUBCONTRATADOS			<b>R\$ 747.380,00</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

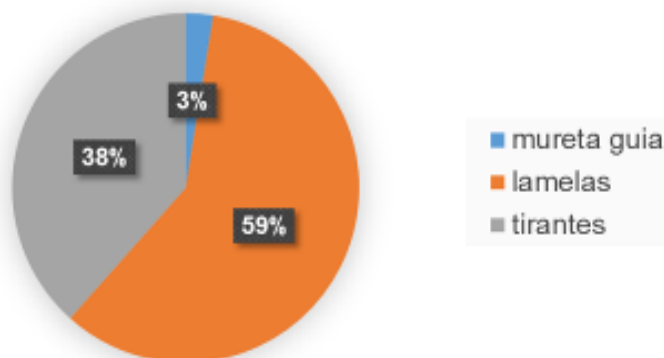
Na estimativa de custos da obra B as execuções dos tirantes obtiveram custos menores em comparação com as lamelas, isso pode ter ocorrido devido ao tipo de solo e a inexistência de água, as cargas de empuxo são menores e a proteção anticorrosiva mais simples, reduzindo os custos de implantação. Os Gráficos 7 e 8 apresentam estes resultados.

Gráfico 7 - Custos de execução por etapa da obra B



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 8 - Percentual de custo por etapa da obra B



Fonte: Elaborado pela autora.

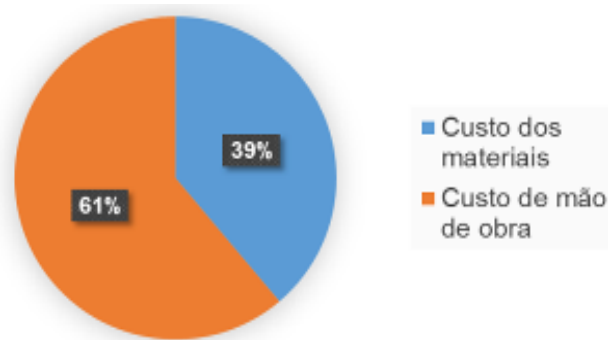
Através dos gráficos dos custos para a execução das lamelas e dos tirantes divididos em mão de obra e materiais da obra B, os indicativos também revelam um percentual mais elevado para mão de obra nos tirantes e para os materiais nas lamelas. Os Gráficos de 9 a 12 mostram os resultados.

Gráfico 9 - Custo para execução dos tirantes da obra B



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 10 - Percentual de custos para execução dos tirantes na obra B



Fonte: Elaborado pela autora.

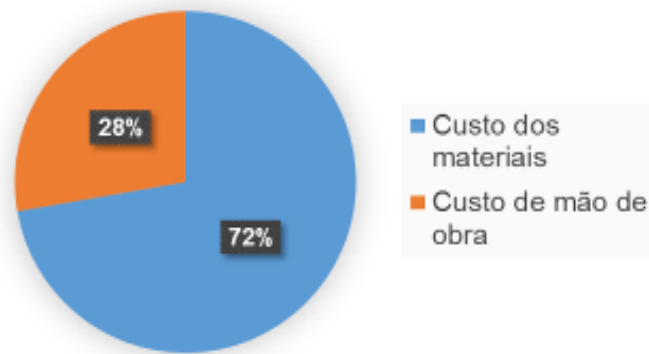
Nos gráficos da execução dos tirantes para a obra B, a mão de obra ficou com representativo de 61%, assim como a obra A devido aos equipamentos envolvidos na execução estarem todos representados pelas subcontratadas e serem calculadas como mão de obra.

Gráfico 11 - Custo para execução das lamelas da obra B



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 12 - Percentual de custos para execução das lamelas na obra B

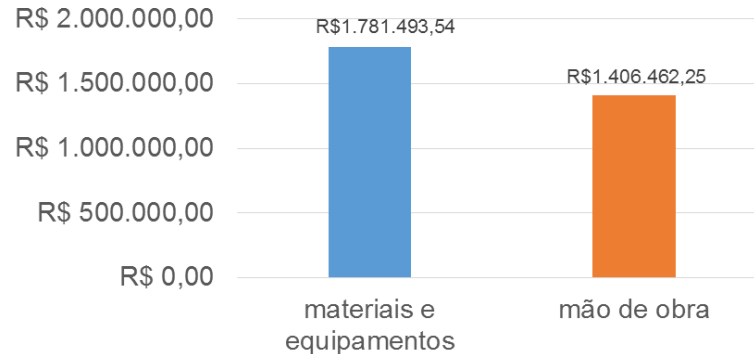


Fonte: Elaborado pela autora.

Na execução das lamelas os materiais e equipamentos representaram 72%, devido ao grande volume de aço e concreto utilizado na confecção dos painéis.

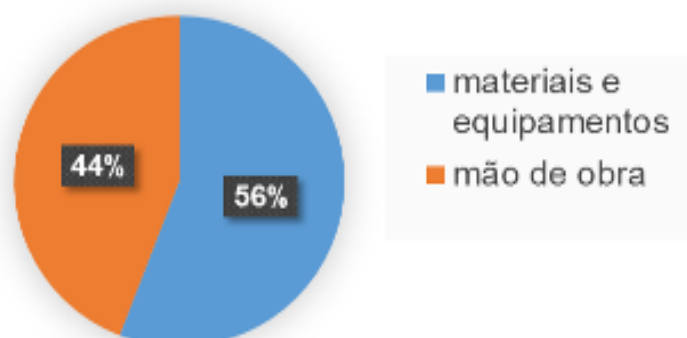
Posteriormente foram elaborados gráficos de custos totais divididos entre os custos com materiais e mão de obra para a execução de parede diafragma atirantada em ambas as obras. Os Gráficos 13 a 16 demonstram estes custos.

Gráfico 13 - Custo de material e mão de obra na obra A



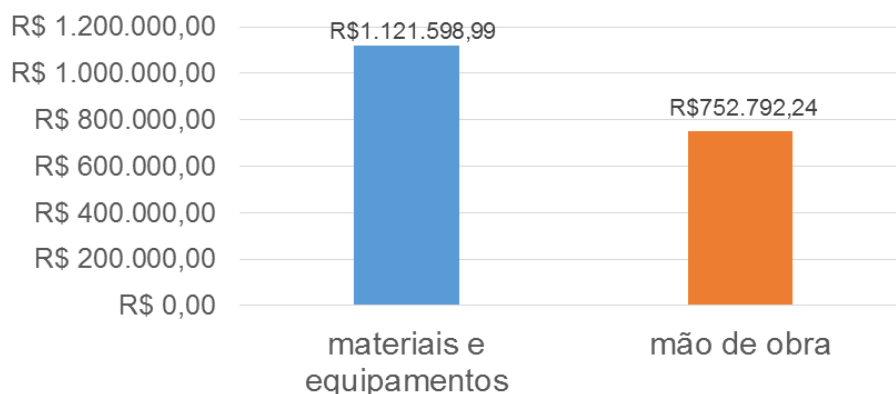
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 14 - Percentual de custo com materiais e mão de obra da obra A



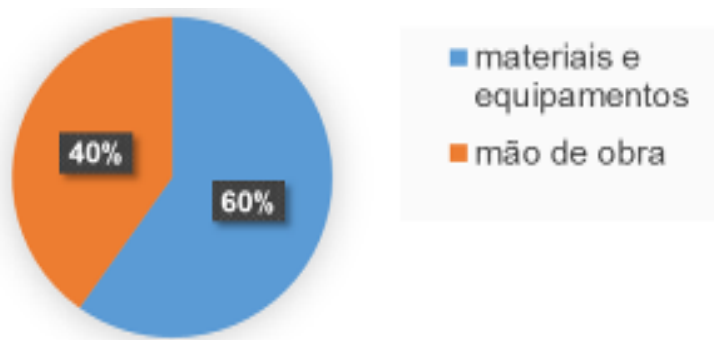
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 15 - Custo de material e mão de obra na obra B



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 16 - Percentual de custo com materiais e mão de obra da obra B

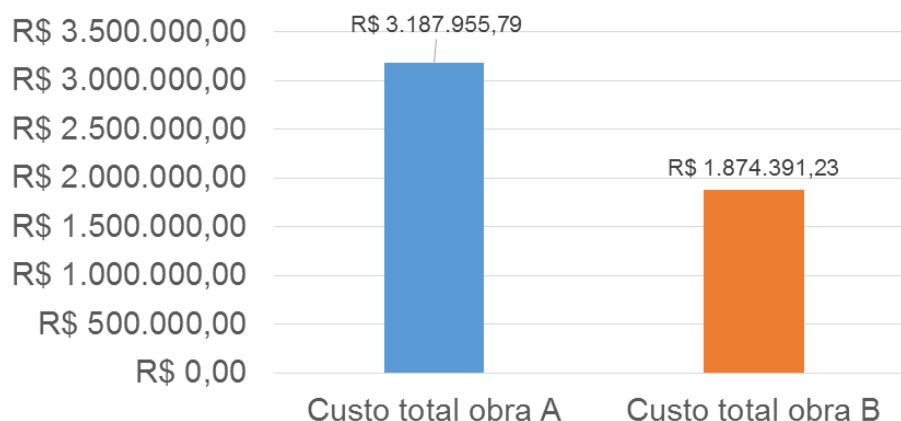


Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados demonstraram que os custos mais elevados estão nos materiais e equipamentos utilizados, ainda que alguns equipamentos estejam incluídos com os serviços das contratadas, o custo de materiais se mostrou elevado em comparação com a mão de obra. De acordo com esclarecimentos com os engenheiros responsáveis, os custos com materiais são mais elevados devido ao volume de aço e concreto necessário para a execução da contenção.

Da mesma maneira foram elaborados gráficos dos custos totais gastos com a execução de parede diafragma atirantada em ambas as obras. Os Gráficos 17 a 18 ilustram os custos obtidos.

Gráfico 17 - Custo total para execução em cada obra



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os resultados obtidos pode se verificar que a implantação de uma contenção em parede diafragma atirantada possui um custo elevado. Na obra A os custos estimados ficaram em R\$ 1243,00/m<sup>2</sup>, sendo R\$ 3.187.955,79 (três milhões, cento e oitenta e sete mil, novecentos e cinquenta e cinco reais e setenta e nove centavos.), os custos mais representativos ficaram em materiais e equipamentos com R\$ 1.781.493,54 (um milhão, setecentos e oitenta e um mil, quatrocentos e noventa e três reais e cinquenta e quatro centavos.). Isso ocorre devido ao grande volume de materiais e equipamentos envolvidos no processo de execução.

Para obra B o custo estimado ficou em R\$ 1136,00/m<sup>2</sup>, sendo R\$ 1.874.391,23 (um milhão, oitocentos e setenta e quatro mil, trezentos e noventa e um reais e vinte e três centavos.), com R\$ 1.121.598,99 (um milhão, cento e vinte um mil, quinhentos e noventa e oito reais e noventa e nove centavos.), gastos em materiais e equipamentos.

De acordo com a estimativa de custos pode se perceber que os custos mais elevados em comparativo de mão de obra e materiais estão nos materiais e equipamentos utilizados para a execução.

Destacando que estes valores são estimados podendo variar para mais ou menos dependendo das características de cada obra.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, apresenta-se as conclusões sobre os estudos realizados, bem como sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho aborda uma visão sobre a execução de parede diafragma atirantada de forma detalhada, através de acompanhamentos direto nas obras e uma estimativa de quantitativos e custos de implantação para a execução.

Através deste trabalho foi possível compreender o quanto as diferenças de solo e nível de lençol freático podem afetar no avanço e na facilidade da execução, como também no custo da contenção. E que a escolha do método não depende somente dos custos, mas das características necessárias como tipo de solo, nível da água, cargas, interferências vizinhas, disponibilidade de materiais na região e custo.

Durante as etapas de acompanhamento e descrição das obras pode se observar o quanto o processo de execução é manual e trabalhoso, que todas as etapas são extremamente importantes e devem ser seguidas de forma rigorosa e sem interrupções. O projeto inicial é de extrema importância, mas a qualidade e a segurança da contenção dependem também de uma correta execução.

Além disso, pode se identificar que dependendo das características do solo, a execução pode ser mais rápida, limpa e com menos interferências, como no caso da obra A, que foi executada de forma mais complexa devido ao nível de água do terreno ser elevado. Foram várias dificuldades na perfuração dos tirantes, tendo que ser utilizada duas metodologias de perfuração com ar comprimido, com água e estabilizante em alguns pontos, tudo isso gerou custos e atrasos no andamento da obra.

A obra B, não teve problemas quanto a presença de água durante perfuração dos tirantes, sendo executada de forma mais limpa e rápida, mas por se encontrar entre edificações em alguns trechos foram necessárias alterações nas posições de ancoragem. Bem como, na execução das lamelas em alguns trechos foram encontrados matacões e rochas tendo que ser interrompido a escavação, pois não foi possível fazer o uso de hidrofresa devido ao custo muito elevado.

Todas as interferências que acontecerem durante a execução de parede diafragma atirantada devem ser enviadas para o projetista, pois ele que deve dizer qual o melhor procedimento, principalmente quando forem interferências com fundações vizinhas. Através dos acompanhamentos da obra A pode se perceber várias interferências na execução das perfurações e tomadas de decisões que foram solucionadas pelos projetistas, como posição e ancoragem dos tirantes.

Em ambas as obras foram realizadas todas as etapas necessárias para a execução correta de uma parede diafragma atirantada, com todos os materiais e equipamentos necessários e inclusive com uso de polímero biodegradável, que reduz a agressividade ao meio ambiente. Segundo os engenheiros todas as cargas necessárias foram alcançadas nos ensaios de protensão e as contenções estão seguras e sem riscos.

Através da estimativa de custos pode se verificar que o gasto ao executar uma contenção em parede diafragma atirantada pode ser elevado e que os materiais e equipamentos utilizados representam aproximadamente 60% do custo total da contenção. Além disso, foi possível observar que os tirantes obtiveram um custo de mão de obra mais elevado, quando analisado separadamente devido aos equipamentos estarem incluídos nos custos das subcontratadas. Já as lamelas demonstraram maiores custos nos materiais utilizados, isso devido ao volume de concreto e aço utilizado durante o processo de execução.

Assim como a profundidade e espessura das lamelas, as cargas que devem ser suportadas, a quantidade de tirante necessária, o tipo de solo, o nível de água, o tipo de proteção anticorrosiva e as possíveis implicações influenciam de maneira significativa no custo final da obra. Também foi possível estimar as quantidades dos principais itens para a execução da parede diafragma atirantada em cada obra, como para obra A um volume de 1.150 m<sup>3</sup> de concreto, 128.000 kg de aço e 436.000 kg de cimento e para obra B foram utilizados 555 m<sup>3</sup> de concreto, 122.000 kg de aço e 198.000 kg de cimento.

A parede diafragma se mostrou vantajosa em ambas as obras, principalmente pela execução sem necessidade de rebaixamento do nível da água (como no caso da obra A), alcance de elevadas profundidades, suporte de cargas como empuxos de solo e água, execução na divisa e tempo de implementação relativamente rápido dependendo do perímetro e da quantidade de tirantes necessários. As desvantagens estariam nos elevados custos de implantação.



Ao realizar este estudo pode se adquirir um conhecimento aprofundado sobre parede diafragma atirantada, tal como compreender e acompanhar a complexidade de execução em perímetro urbano. Verificar importância do planejamento de equipes, estudos geotécnicos e sincronização das etapas para um resultado final positivo. Assim como obter parâmetros sobre as quantidades de mão de obra, materiais, equipamentos necessários e os respectivos custos envolvidos em cada etapa.

Portanto, através do acompanhamento em diferentes obras foi possível verificar que as características do solo podem acarretar custos e atrasos de execução e que cada obra possui suas particularidades em cada fase. Assim como as avaliações do entorno podem ser decisivas na redução de problemas, o estudo do solo e interferências do terreno como: fundações vizinhas e drenagem pública, são de extrema importância para a execução.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A evolução dos equipamentos e materiais tem avançado de forma rápida, gerando a necessidade de novos estudos que confirmam o sucesso de aplicação. Para trabalhos futuros sugere-se os seguintes assuntos:

- a) análise de projeto e execução de contenções pelo método *top down*;
- b) técnica de redução de interferências na ancoragem dos tirantes em perímetro urbano;
- c) estudo comparativo de execução de parede diafragma pelos métodos *top down* e *bottom up*.

## REFERÊNCIAS

AMC. XTRA MUD BR. **Viscosificante e encapsulante**. Product data sheet. 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/734370/Downloads/XTRA%20MUD%20BR.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.

ARCELORMITTAL. **Soluções em aço para construção civil**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.arcelor.com.br/pdf/galeria-mídia/publicações/handbook.pdf>. Acesso em: 16 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655**: concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5629**: execução de tirantes ancorados no terreno. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7480**: barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7681**: calda de cimento para injeção. Rio de Janeiro, 2013.

BASILE, B.F. **Verificação estrutural de estaca prancha de aço em obras portuárias**. Dissertação de engenharia civil: Departamento de Estruturas. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

BRASFOND. **Hidrofresa**. São Paulo, [2018]. Disponível em: <http://www.brasfond.com.br/fundações/hidrofresa.html>. Acesso em: 22 nov. 2018.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações - mecânica das rochas - fundações - obras de terra**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2015. v. 2.

CORSINI, R. Fundações e contenções. **Infraestrutura Urbana**: projetos custos e construção, [S.l.], ed. 34, jan. 2013. Disponível em: <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/index.aspx>. Acesso em: 22 nov. 2018.

CURCIO, G.; BÁ, L. Veja como funciona a escavação com hidrofresa. **Construção: mercado**, [S.l.], jan. 2017. Disponível em: <https://construcaomercado.pini.com.br/2017/01/veja-como-funciona-a-escavação-com-hidrofresa/>. Acesso em: 22 nov. 2018.

ESTAQ, SONDAGENS E FUNDAÇÕES. Porto Alegre, 2019. Documentos de uso interno da empresa.

GEOMAX, MÁXIMO EM GEOTECNIA. Porto Alegre, 2019. Documentos de uso interno da empresa.

GEORIO. **Manual Técnico de Encostas: Análise e Investigação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Obras. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 2000.

GEROLLA, G. Confira todas as etapas de construção desse tipo de tecnologia para contenção de taludes. **Equipe de Obra**, [S.l.], ed.57, mar. 2013. Disponível em: <<http://equipededeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/57/parede-diafragma-confira-todas-as-etapas-de-construcao-desse-tipo-278120-1.aspx>>. Acesso em: 18 out. 2018.

HASHIZUME, S. H. **Caracterização técnica e indicadores de custos de sistemas de contenção do solo na construção de edifícios**. Dissertação de Mestrado. Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo - IPT. São Paulo, p. 14. 2006.

IYOMASA, W. S. **Injeção de solo-cimento em solo residual de granitoide**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

JOPPERT, J. I. **Fundações e contenções de edifícios**. São Paulo: PINI, 2007.

LOTURCO, B. Ao alterar estruturas de encostas naturais, o diagnóstico correto é essencial para a escolha do método de contenção. **Téchne**, [S.l.], fev. 2004. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/83/artigo286273-1.aspx>>. Acesso em: 18 out. 2018.

MARZIONNA, J. D. *et al.* Análise, projeto e execução de escavações e contenções. In: HACHICH, W. *et al.* **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 537-578.

MEIRELES, A. B.; MARTINS, J. G. **Fundações e contenção lateral de solos**. Execução de cortinas de estacas. 1. ed. Goiás: PUC, 2006. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivos/Uploa d/17413/material/Cortinas%20de%20Estacas\\_web.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivos/Uploa d/17413/material/Cortinas%20de%20Estacas_web.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

MENDES, F. B. **O uso de ferramenta computacional na avaliação e dimensionamento de cortina atirantada**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

MILITITSKY, J. **Grandes escavações em perímetro urbano**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

MONTEIRO, F.G. **Parede diafragma atirantada e moldada *in loco***. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia, Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2009.

MOTA, C.B.N. **Estudo comparativo do impacto ambiental produzido pelo uso da lama bentonítica e de polímero em obras de fundações na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2010.

NARESI JÚNIOR, L. A. **Contenção com estaca prancha metálica**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/naresi1968/naresi/35-contencao-estaca-prancha>>. Acesso em: 15 maio 2019.

ORTIZ, E. G. **Análise dos procedimentos metodológicos de dimensionamento e execução de parede diafragma**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Campus de Guaratinguetá. São Paulo, 2011.

PACIFIC: groun dengineering. **Secant piles**. Burnaby, 2018. Disponível em: <<http://www.pacge.com/services/secant-piles>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

RANZINI, S. M. T.; NEGRO JÚNIOR, A. **Obras de contenção: tipos, métodos construtivos, dificuldades executivas**. In: HACHICH, W. *et al.* Fundações: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 497-515.

RATTICHERI, M. M. **Metodologia construtiva de paredes diafragma**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Campus de Guaratinguetá. São Paulo, 2015.

REGIAO METROPOLITANA. In: GOOGLE MAPS. Mountain View: Google, 2019. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/dir/Avenida+Jo%C3%A3o+Obino,+285+-+Petr%C3%B3polis,+Porto+Alegre+--+RS/-30.0349522,-51.1806224/@-30.0379421,-51.1776725,15.75z/data=!4m9!4m8!1m5!1m1!1s0x95197827d6ede15d:0x4f97fe7c1beb9730!2m2!1d-51.181378!2d-30.0346838!1m0!3e0>>. Acesso em: 05 set. 2019.

ROMAN, R. R. **Métodos para construção de parede diafragma: clamshell e hidrofresa**. Santa Catarina: Programa de Educação Tutorial do Curso de Engenharia Civil – UFSC, 2013. Disponível em: <<http://pet.ecv.ufsc.br/2013/11/metodos-para-construcao-de-parede-diafragma-clamshell-e-hidrofresa/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

SAES, J. L.; STUCCHI, F. R.; MILITTISKY, J. **Concepção de obras de contenção**. In: HACHICH, W. *et al.* Fundações: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 517-536.

SCIPIÃO, A. **Contenção de subsolo em área urbana com estaca secante**. Fortaleza, 2013. Disponível em: <[http://www.geone.com.br/2013/palestras/Apresentacao\\_GeoNE\\_Alan\\_Scipiao.pdf](http://www.geone.com.br/2013/palestras/Apresentacao_GeoNE_Alan_Scipiao.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

SILVA, H.O.W. **Tirantes em estruturas de contenção de solo: diretrizes para projeto e execução**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil: Departamento de Estruturas. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html>. Acesso em: 14 outubro 2019.

SOLOTRAT ENGENHARIA GEOTÉCNICA LTDA. **Manual de Serviços Geotécnicos Solotrat**. 5. ed. [São Paulo], 2015.

SOUZA, F. H. B.; NARESI JÚNIOR, L. A. **Parede diafragma moldada "in loco" com auxílio de lama bentonítica**. Juiz de Fora, 2018. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/naresi1968/naresi/20-execucao-de-parede-diafragma-com-auxilio-de-lama-bentonitica>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

TRINDADE, E.M.A. **Uso de polímero como substituto da bentonita na estabilização de escavações de solos**. Dissertação de mestrado Universidade de Évora. Portugal, 2010.

VELLOSO, D.; LOPES, F. R. **Concepção de obras de fundações**. In: HACHICH, W. *et al.* Fundações: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 211-263.

VIDAL, J.N. **Estudo comparativo entre solo grampeado e cortina atirantada para contenção de taludes**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS - São Leopoldo. Rio Grande do Sul, 2018.

VPAEQUIPAMENTOS. **Locação de martelo vibratório**. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: < [https://www.vpaequipamentos.com.br/locacao/martelo-vibratorio#prettyPhoto\[gallery\]/1/](https://www.vpaequipamentos.com.br/locacao/martelo-vibratorio#prettyPhoto[gallery]/1/)>. Acesso em: 16 maio 2019.

XANTHAKOS, P. P. **Ground anchors and anchored structures**. USA: John Wiley & Sons, 1991.

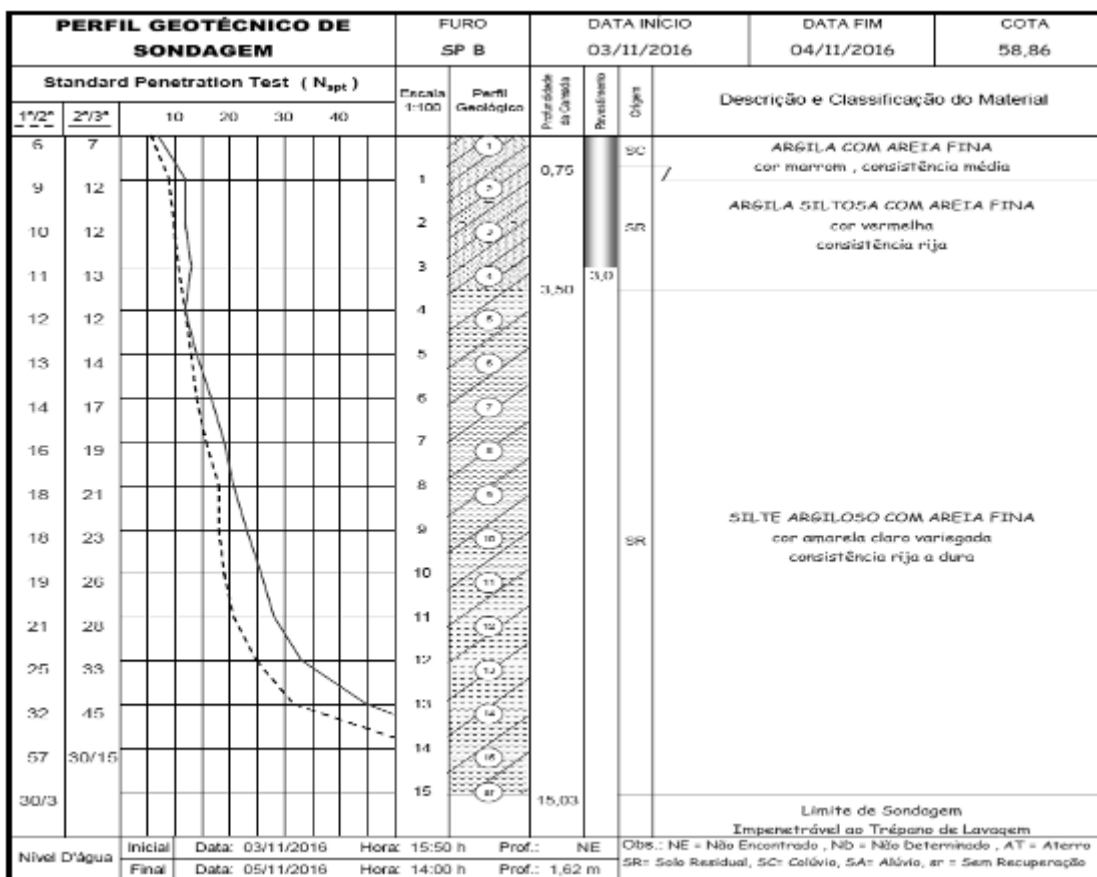
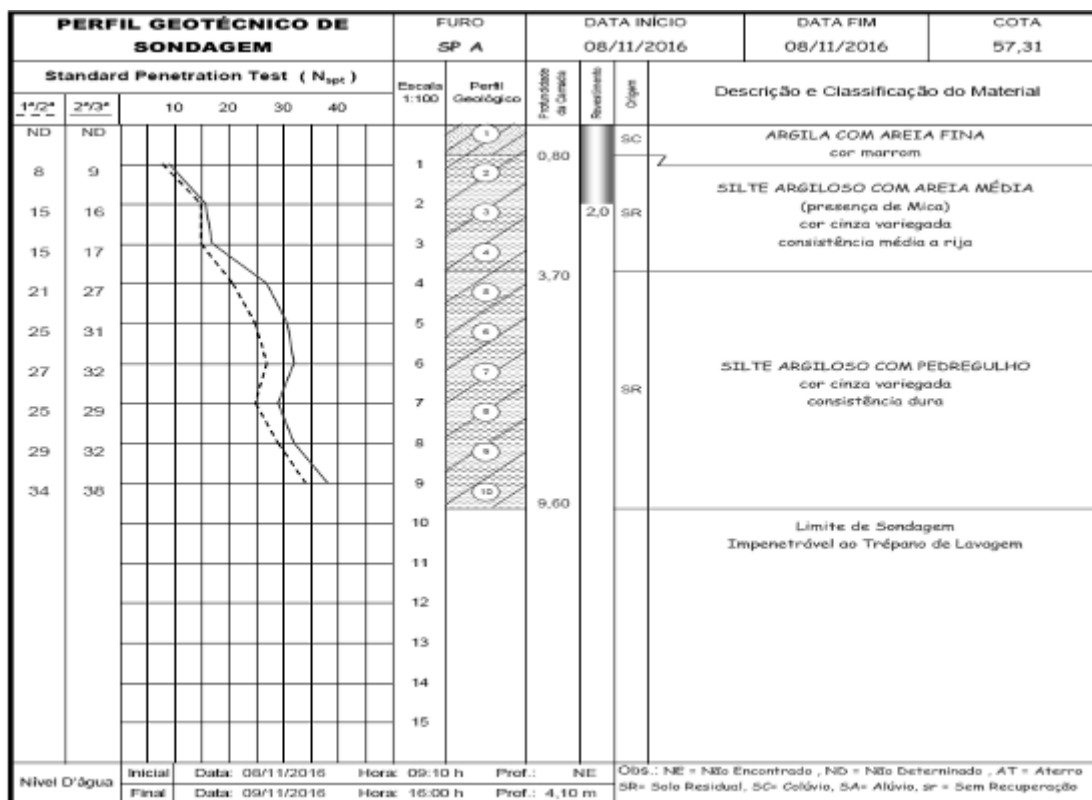
YASSUDA, C. T.; DIAS, P. H. V. **Tirantes**. In: HACHICH, W., *et al.* **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 603-640.

ZIRLIS, A. C.; PITTA, C. A.; SOUZA, G. J. T. **Manual de serviços geotécnicos Solotrat**. 5. ed. São Paulo: Solotrat Engenharia Geotécnica, 2015.

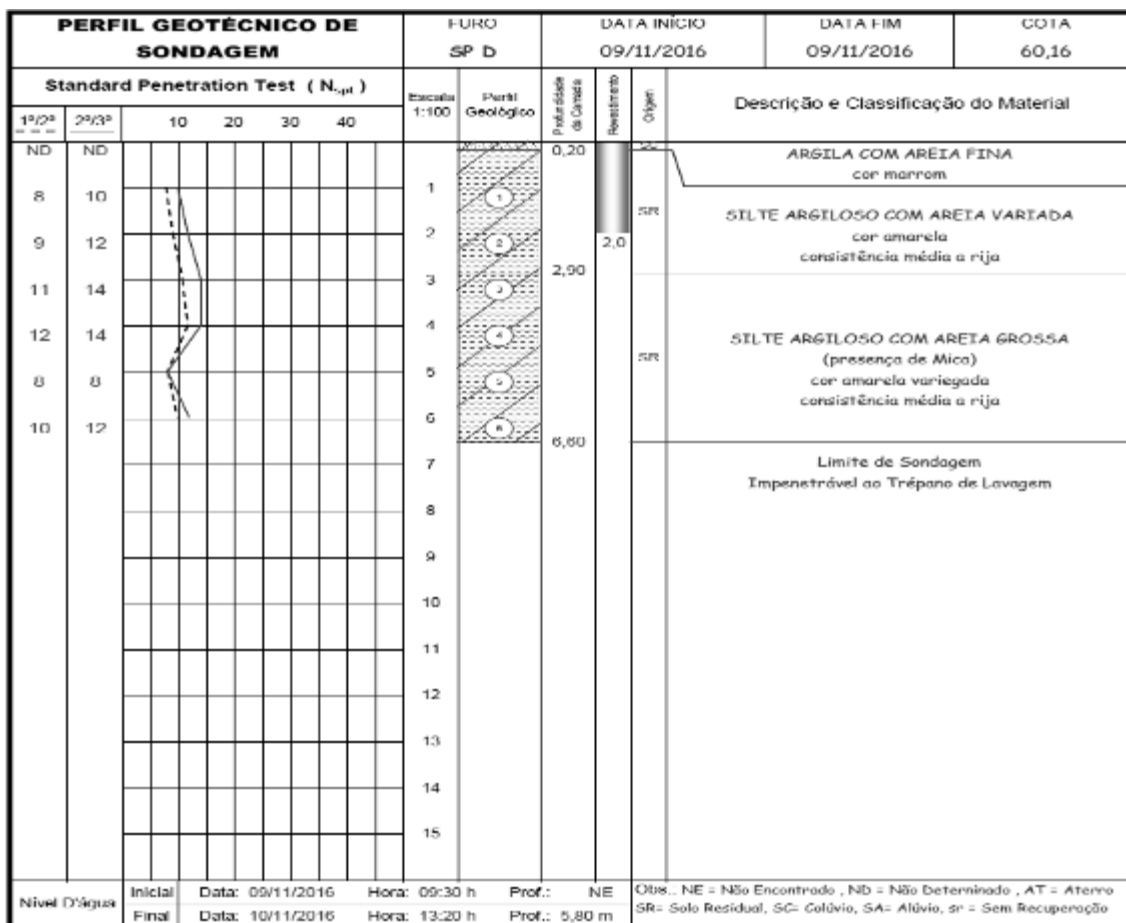
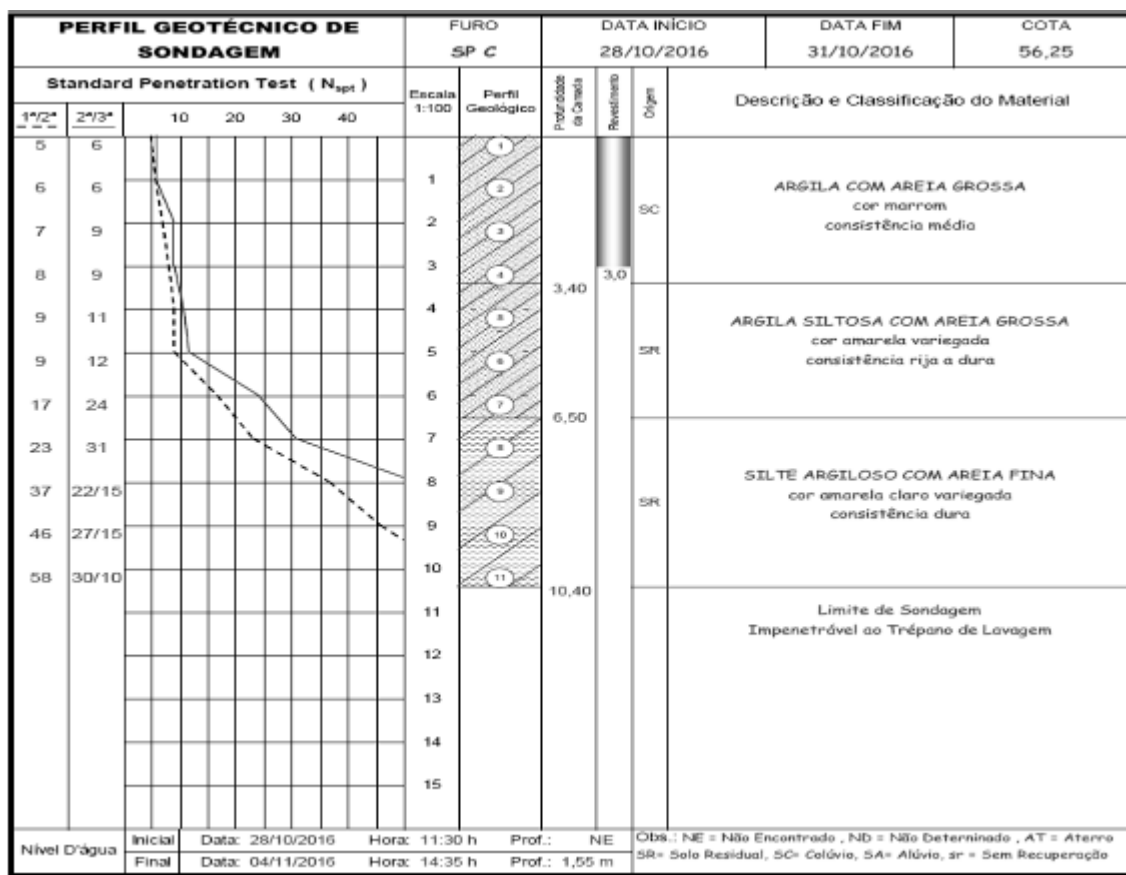
ZUCCHI, E.C. **Análise numérica de deslocamentos horizontais em cortina de estaca secante**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2018.

## ANEXO A – RELATÓRIOS DE SONDAGENS

## Obra A



## Obra A

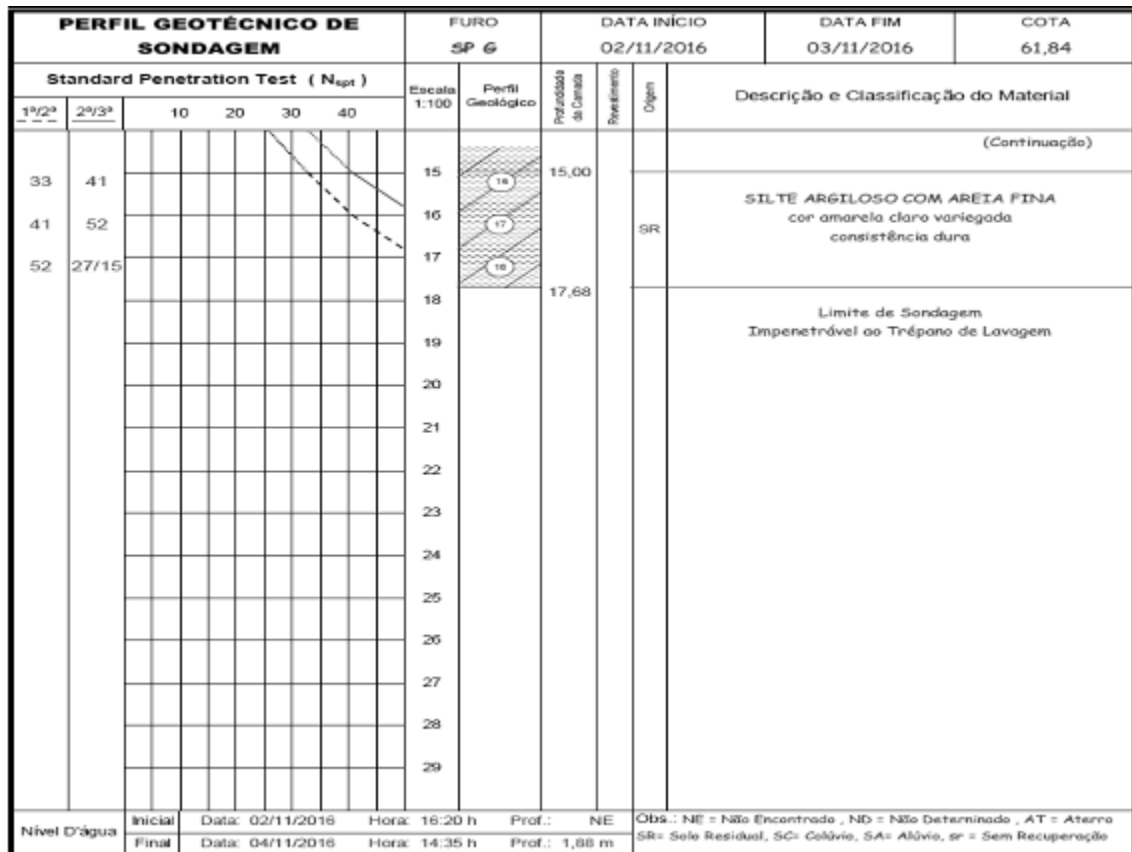
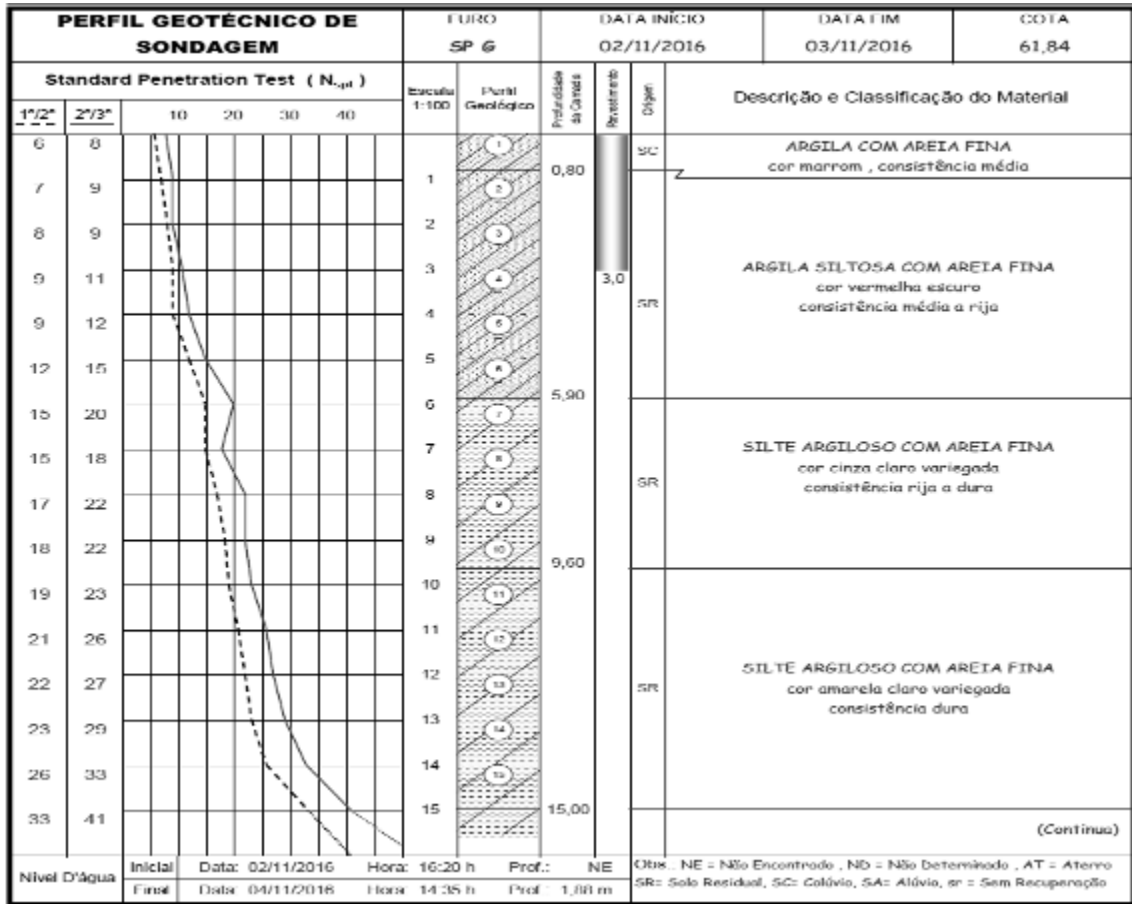


## Obra A

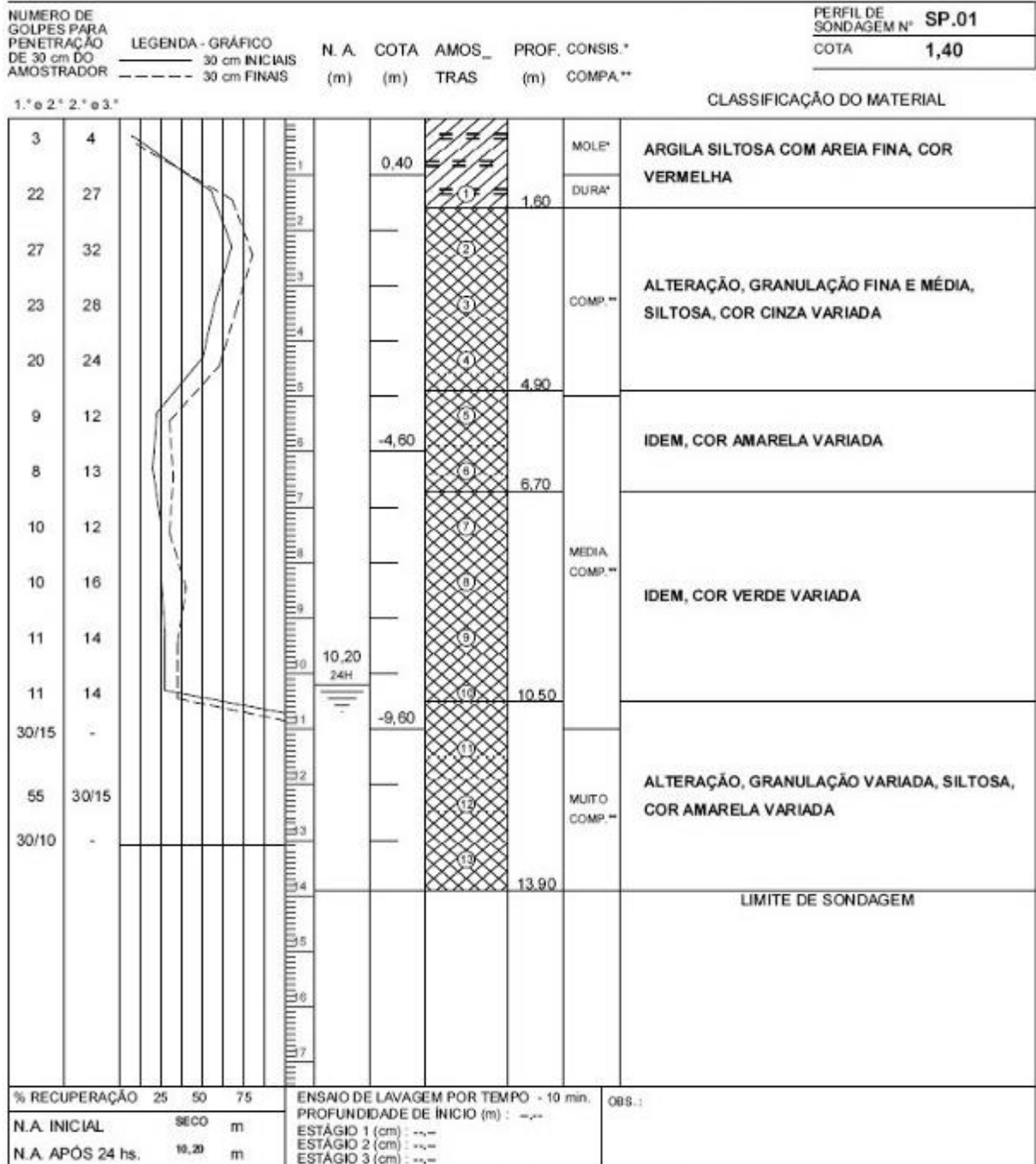
PERFIL GEOTÉCNICO DE SONDAGEM				FURO SP E	DATA INICIO	DATA FIM	COTA	
Standard Penetration Test ( $N_{apt}$ )				Escala 1:100	Perfil Geológico	Profundidade da Cavaleta	Resistência	Origem
1º/2º	2º/3º	10	20	30	40	Descrição e Classificação do Material		
8	9							
9	11					1	2,60	SR
9	12					2		
11	13					3		
13	16					4		
14	18					5		
12	19					6	5,40	
16	21					7		
18	23					8		SR
19	24					9		
23	29					10	10,50	
26	32					11		
36	48					12		
42	55					13		SR
45	56					14		
30/11						15	15,11	
Limite de Sondagem Impenetrável ao Trípode de Lavagem								
Nível D'Água	Inicial	Data: 01/11/2016	Hora: 11:00 h	Prof.: NE	Obs.: NE = Não Encontrado, ND = Não Determinado, AT = Aterro			
	Final	Data: 04/11/2016	Hora: 14:35 h	Prof.: 2,03 m	SR= Solo Residual, SC= Colúvio, SA= Alúvio, sr = Sem Recuperação			

PERFIL GEOTÉCNICO DE SONDAGEM				FURO SP F	DATA INICIO	DATA FIM	COTA	
Standard Penetration Test ( $N_{apt}$ )				Escala 1:100	Perfil Geológico	Profundidade da Cavaleta	Resistência	Origem
1º/2º	2º/3º	10	20	30	40	Descrição e Classificação do Material		
ND	ND							
9	10					1	0,90	SC
9	11					2		
10	11					3		
6	6					4		
6	7					5		SR
7	9					6		
8	9					7		
6	7					8		
6	6					9	8,80	SR
						10	9,90	
Limite de Sondagem Impenetrável ao Trípode de Lavagem								
Nível D'Água	Inicial	Data: 07/11/2016	Hora: 13:45 h	Prof.: NI	Obs.: NE = Não Encontrado, ND = Não Determinado, AT = Aterro			
	Final	Data: 09/11/2016	Hora: 16:00 h	Prof.: 6,30 m	SR= Solo Residual, SC= Colúvio, SA= Alúvio, sr = Sem Recuperação			

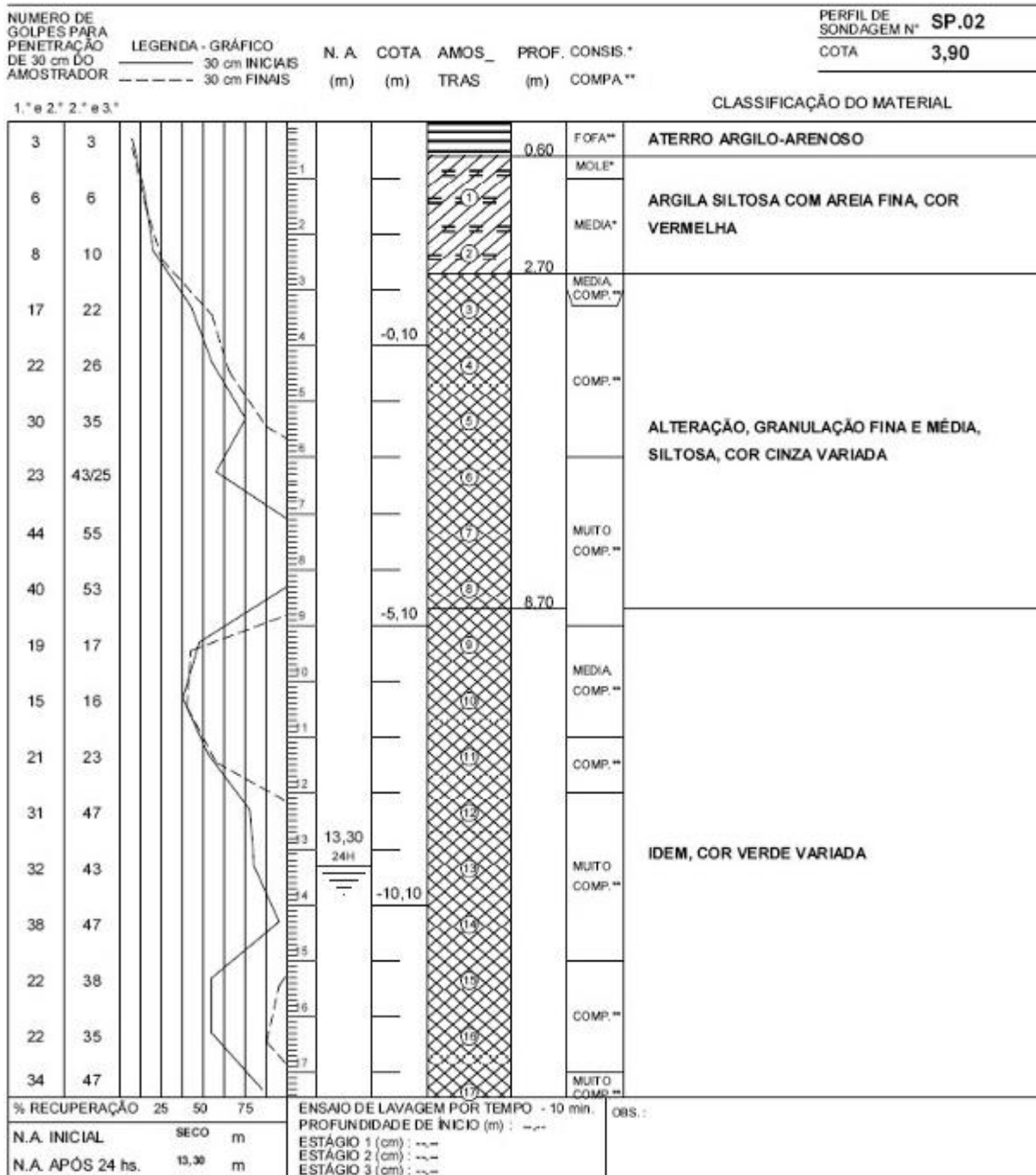




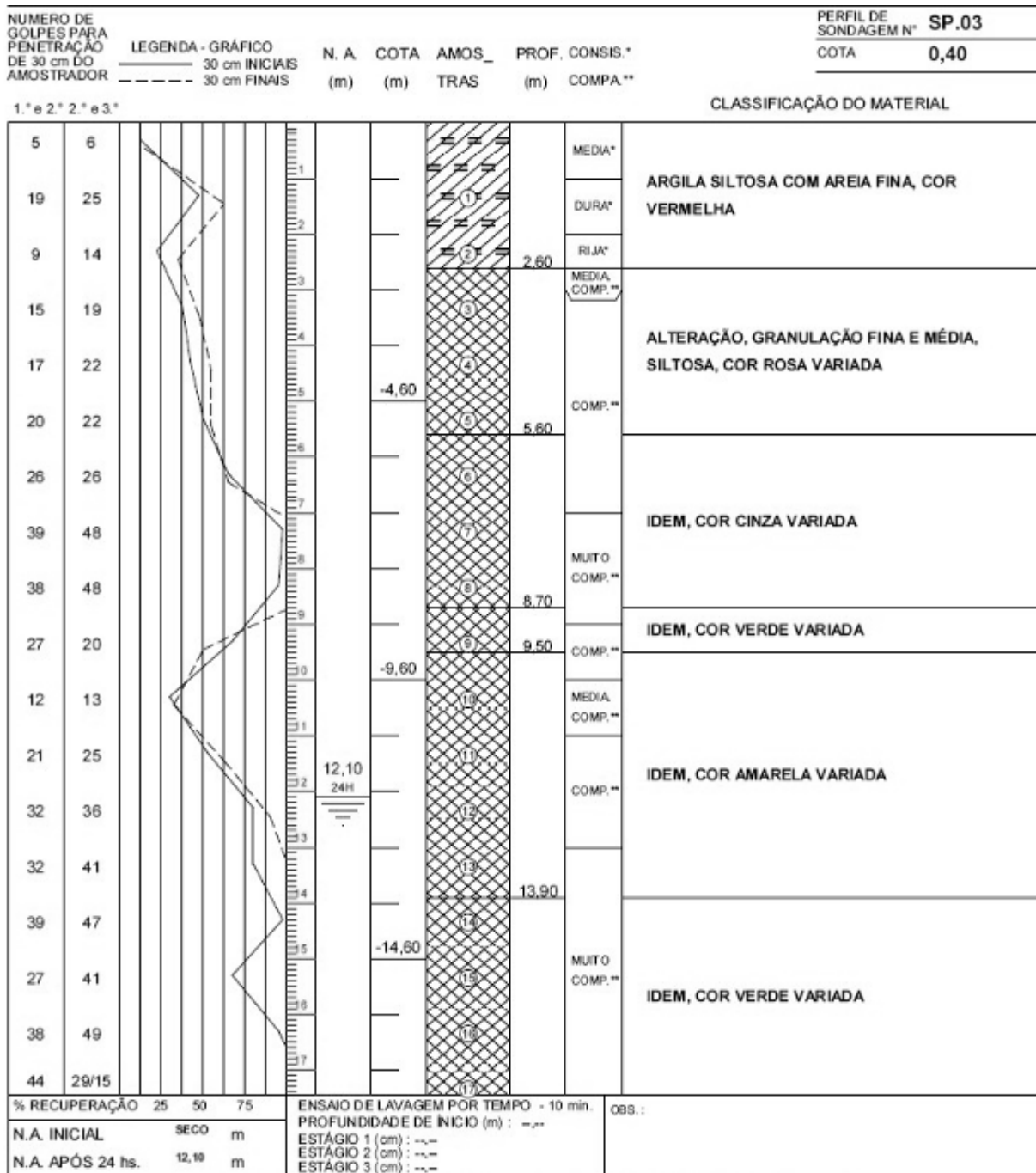
Obra B



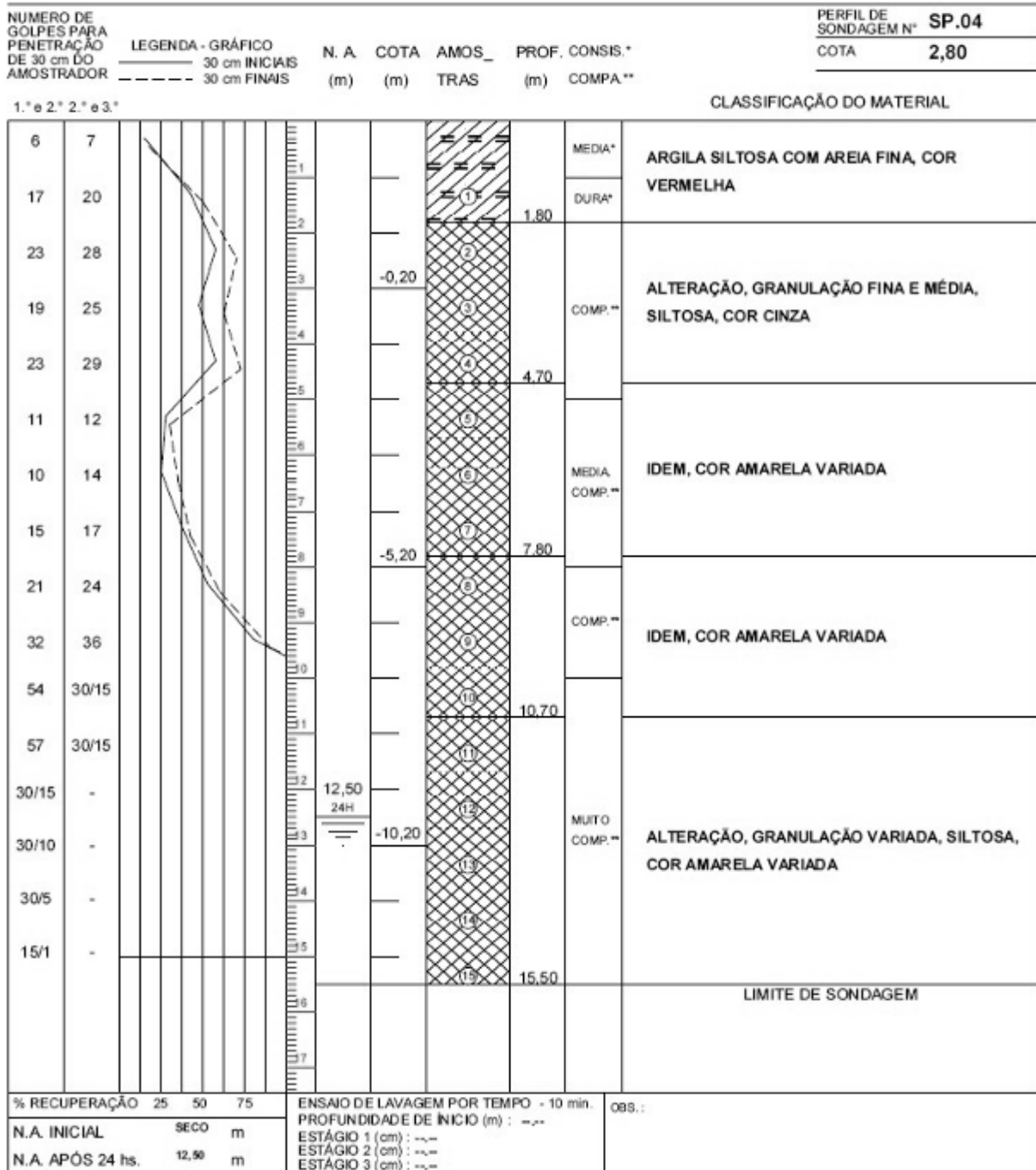
## Obra B



**Obra B**

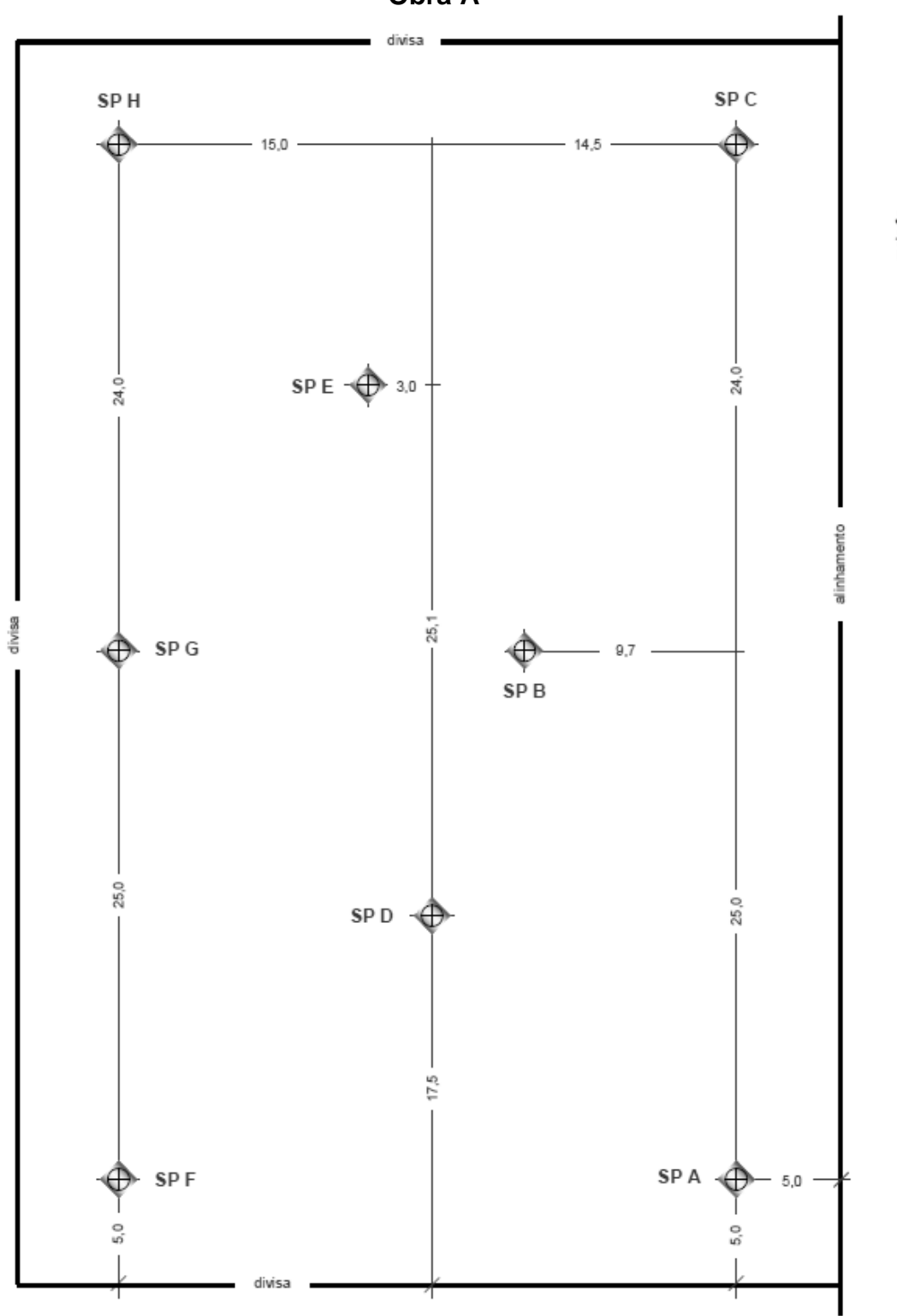


## Obra B

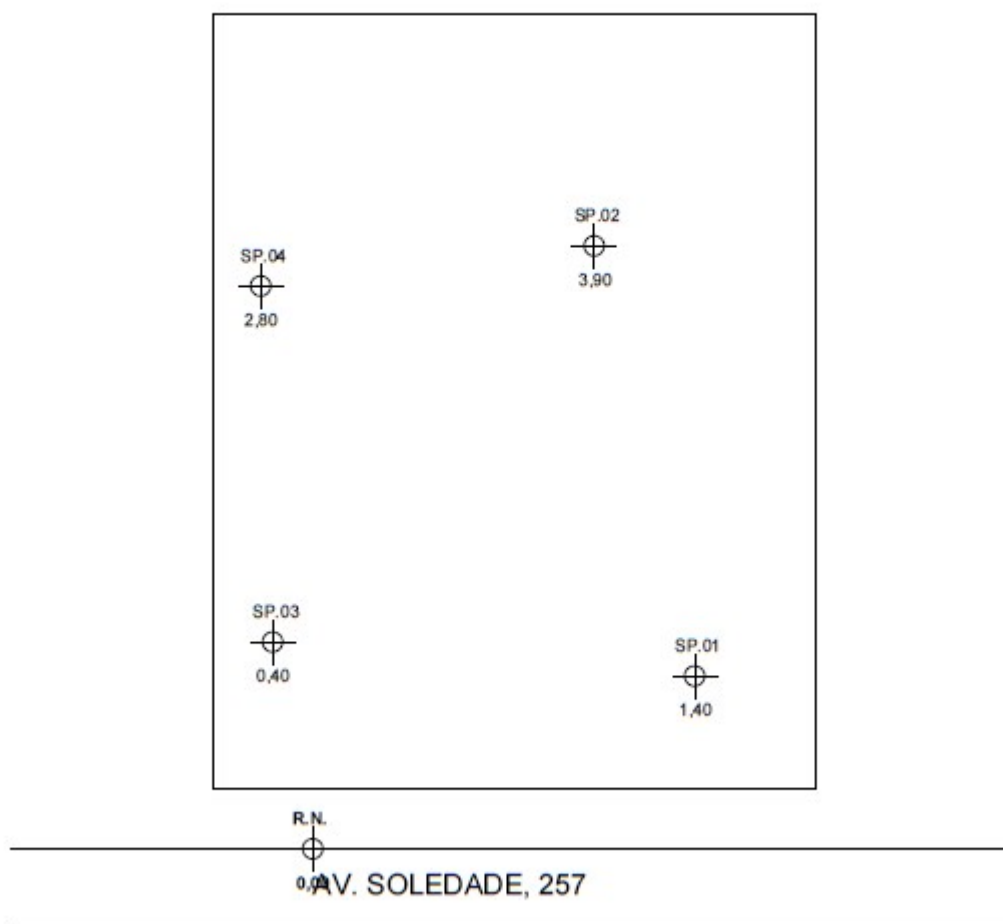


### ANEXO B – LOCALIZAÇÃO DOS FUROS

#### Obra A



Rua João Obino

**Obra B**

## APÊNDICE

### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>GEOMAX</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL	X	DATA:	<b>31/07 /19</b>
			CHUVA		Nº	<b>1</b>

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – SOLEDADE, 257 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

Nº de funcionários: 8

Equipamentos em uso: 1 escavadeira, 1 caminhão basculante, 1 guindaste, 1 *clamshell*.

Materiais em uso: polímero, aço, água, trena, tubo tremonha, chapa espelho, mangueiras.

Serviços em andamento: escavação e concretagem da lamela trecho A, preparo do polímero, montagem da armadura.

Implicações na execução: foi necessário comprar água para dar continuidade a execução pois a distribuição foi interrompida no momento da escavação.



Guindaste para içamento do *clamshell* e tubo tremonha, na execução da lamela do trecho A.



Preparo da armadura em formato gaiola para uso na lamela trecho A.



Tanques de armazenamento e preparo do polímero, estabilizante utilizado para conter o solo na escavação com o *clamshell*.



Escavadeira utilizada para remoção do solo.

Fonte: Elaborado pelo autor.



### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>GEOMAX</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL	X	DATA:	<b>08/08/19</b>
			CHUVA		Nº	<b>2</b>

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – SOLEDADE, 257 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

**Nº de funcionários: 6**

**Equipamentos em uso: 1 escavadeira, 1 caminhão basculante, 2 perfuratrizes, 1 serra copo.**

**Materiais em uso: barras de aço, água, cimento, graxa, espaçadores.**

**Serviços em andamento: remoção de solo, perfuração do trecho C, abertura dos furos nas lamelas.**



Serra copo utilizada para fazer o furo nas lamelas trecho C.



Perfuração dos tirantes trecho C, 4ª linha, com uso da perfuratriz e compressão de ar.



Colocação do tirante no furo.



Preparação do tirante trecho D, 4ª linha com uso de graxa como proteção contra corrosão e espaçadores a cada 2 m, colocação do tirante no furo.



Preparo e injeção da nata de cimento do trecho D, 4ª linha de tirante



Fonte: Elaborado pelo autor.



## Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>GEOMAX</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL	X	DATA:	<b>22/08/19</b>
			CHUVA		Nº	<b>4</b>

### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – SOLEDADE, 257 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

**Nº de funcionários: 7**

**Equipamentos em uso: 1 escavadeira, 1 caminhão basculante, 1 perfuratriz, 1 compressor de ar.**

**Materiais em uso: barra de aço, água, trena, arame, espaçadores, graxa.**

**Serviços em andamento: remoção do solo, perfuração e preparo dos tirantes trecho D, 5ª linha.**



Escavação e remoção do solo com escavadeira e caminhão basculante.



Perfuração do trecho D, 5ª linha de tirante, com perfuratriz e ar comprimido.



Preparo do tirante, colocação dos espaçadores e graxa.



Tirante sendo colocado no furo, com auxílio da perfuratriz.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### Relatório de acompanhamento de obra

<u>Luana da Silva Ramos</u> Acadêmica Eng. Civil	<u>GEOMAX</u> Empresa	Condições meteorológicas	SOL	X	DATA: <b>29/08/19</b>	
			CHUVA		Nº	<b>5</b>

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – SOLEDADE, 257 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

Nº de funcionários: 7

Equipamentos em uso: 1 escavadeira, 1 caminhão basculante, 1 perfuratriz, 1 serra copo, 1 compressor de ar.

Materiais em uso: barra de aço, água, trena, arame, espaçadores, graxa.

Serviços em andamento: remoção do solo, perfuração e abertura dos furos do trecho B.

Etapa final de execução dos tirantes.



Abertura do furo na lamelas do trecho B 3ª linha de tirante, com uso da serra copo



Perfuração do solo com perfuratriz e ar comprimido, trecho B



Preparo do tirante com espaçadores a cada 2 m e graxa para proteção contra corrosão.



Escavação e remoção do solo com uso de escavadeira e caminhão basculante.



Início da execução do gabarito para estacas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>ESTAQ</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL CHUVA	X	DATA: <b>25/07/19</b> N°	<b>1</b>
-----------------------------------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------	---	-----------------------------	----------

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – JOAO OBINO, 285 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

**N° de funcionários: 12**

**Equipamentos em uso: 1 escavadeira, 1 conjunto macaco bomba, 1 perfuratriz.**

**Materiais em uso: cimento, polímero, barra de aço, água, trena, tubos PVC 32mm, tubos PVC 50mm, arame, fita, e de cola cano, placas, porcas, luvas de emenda.**

**Serviços em andamento: perfuração e injeção do trecho C3, protensão dos tirantes do trecho A.**

**Implicações na execução: perfuração com uso de estabilizante devido desmoronamento do solo.**



Perfuração do solo a percussão de água e estabilizante, com uso de perfuratriz.



Lavagem do furo com uso de polímero, para evitar desmoronamentos do solo durante a perfuração.



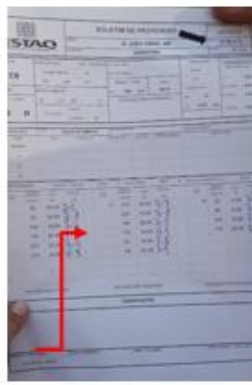
Colocação do kit tirante no furo.



Injeção da nata de cimento.



Ensaio de protensão trecho A linha B, cargas estimadas em projeto.



Boletim de protensão, resultados de deslocamentos em cada etapa do ensaio.



Remoção dos equipamentos de protensão.



Tirante finalizado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>ESTAQ</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL	X	DATA: <b>01/08/19</b>
			CHUVA		Nº <b>2</b>

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – JOAO OBINO, 285 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

**Nº de funcionários: 12**

**Equipamentos em uso: 2 escavadeiras, 1 conjunto macaco bomba, caminhão basculante, 1 perfuratriz, 1 serra copo.**

**Materiais em uso: barras de aço 16mm e 10mm, alicate, placa, porca e luva de emenda, água.**

**Serviços em andamento: remoção de solo, perfuração do trecho B1 linha C, protensão dos tirantes do trecho C3 linha J, abertura dos furos nas lamelas.**

**Implicações na execução: mudanças de ângulo no furo lamela 49, devido a interferências na perfuração.**



Remoção do solo e organização do canteiro, com uso de escavadeira.



Montagem das armaduras para lamelas do trecho D. Escavação da linha C, trecho B2.



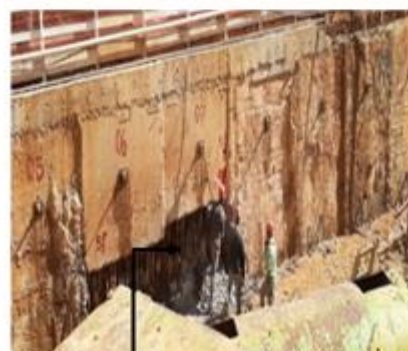
Execução dos furos no concreto trecho C3 para tirantes da linha I, com uso de serra copo.



Ensaio de protensão trecho C3 linha J, carga de trabalho estimada em projeto.



Perfuração do trecho B1, linha C, com uso de perfuratriz e ar comprimido.



Lamela escavada parcialmente encontrou rocha, e necessária limpeza para posterior concretagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>ESTAQ</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL CHUVA	X	DATA: Nº	<b>08/08/19</b> 3
-----------------------------------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------	---	-------------	----------------------

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – JOAO OBINO, 285 – PORTO ALEGRE - RS

##### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

Nº de funcionários: 12

Equipamentos em uso: 1 guindaste, 1 *clamshell*, motor bomba, 1 escavadeira, 1 caminhão basculante.

Materiais em uso: polímero, aço, água, trena.

Serviços em andamento: escavação da lamela trecho A, preparo da armadura em gaiola e remoção do solo.

Implicações na execução: guindaste com problemas de mecânica, atrasou a execução da lamela.



Montagem da armadura em gaiolas para lamela do trecho A.



Escavação e remoção do solo com uso de escavadeira e caminhão basculante.



Escavação da lamela no trecho A, com uso de guindaste e clamshell.



Lançamento do estabilizante para conter o solo e lamela preenchida.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>ESTAQ</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL	X	DATA: <b>15/08 /19</b>	<b>4</b>
			CHUVA		Nº	

### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – JOAO OBINO, 285 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

**Nº de funcionários: 10**

**Equipamentos em uso: 1 escavadeira, 1 guindaste, 1 clamshell, tanques de armazenamento, sistema de bombas.**

**Materiais em uso: concreto usinado, polímero, armadura, água, trena.**

**Serviços em andamento: escavação e concretagem lamelas do trecho D.**



Escavação das lamelas trecho D, com equipamento clamshell, içado pelo guindaste



Colocação dos espaçadores, preparação e içamento da armadura.



Colocação chapa espelho e chapa junta.



Içamento e colocação do tubo tremonha para concretagem.



Teste de *slump* do concreto usinado, 23 cm, de acordo com as especificações de projeto.



Concretagem, finalização da lamela e remoção parcial da chapa espelho a cada 30 minutos.



Fonte: Elaborado pelo autor.



### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>ESTAQ</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL CHUVA	X	DATA: Nº	22/08/19 5
-----------------------------------------------------	-------------------------	-----------------------------	--------------	---	-------------	---------------

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – JOAO OBINO, 285 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

Nº de funcionários: 10

Equipamentos em uso: 2 perfuratrizes, 1 escavadeira, 1 serra copo.

Materiais em uso: cimento, polímero, barra de aço, água, trena, tubos PVC 32mm, tubos PVC 50mm, mangueiras, arame, fita, e de cola cano.

Serviços em andamento: perfuração, injeção, montagem e furação das lamelas e tirantes do trecho C3 e B1.

Implicações na execução: perfuração com uso de estabilizante devido desmoronamento do solo, dificuldades de inserir o kit tirante no furo, necessitando auxílio da escavadeira.



Perfuração com ar comprimido, injeção da nata de cimento e colocação do kit tirante do trecho B.



Perfuração com percussão de água, injeção da nata de cimento com uso das hastas da perfuratriz devido ao desmoronamento do solo, colocação do kit tirante e furação nas lamelas do trecho C.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>ESTAQ</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL	X	DATA:	<b>29/08/19</b>
			CHUVA		Nº	6

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – JOAO OBINO, 285 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

**Nº de funcionários: 12**

**Equipamentos em uso: 1 escavadeira, 2 perfuratrizes.**

**Materiais em uso: cimento, polímero, barra de aço, água, trena, tubos PVC 32mm, tubos PVC 50mm, arame, fita, e de cola cano.**

**Serviços em andamento: perfuração, injeção, montagem e colocação do tirante do trecho C2 e C3.**

**Implicações na execução: dificuldade de inserir o tirante, necessário uso da escavadeira e da perfuratriz.**



Perfuração do solo a percussão de água trecho C2 com uso de perfuratriz.



Montagem do kit tirante.



Colocação do kit tirante no furo com auxílio da



Emendas do trecho ancorado para trecho livre



Perfuração do solo a percussão de água do trecho C3 com uso de perfuratriz.



Colocação da bengala e injeção da nata de cimento no trecho C3.



Colocação do kit tirante no furo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>ESTAQ</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL	X	DATA:	05/09/19
			CHUVA		Nº	7

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – JOAO OBINO, 285 – PORTO ALEGRE - RS

#### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

Nº de funcionários: 10

Equipamentos em uso: 1 guindaste, 1 clamshell.

Materiais em uso: concreto, armadura em gaiola, água, polímero, trenas, tubo tremonha, chapa espelho.

Serviços em andamento: escavação e concretagem da lamela trecho A.



Início das escavações lamela trecho A com uso de guindaste e clamshell, medições da largura com uso da trena comum.

Bombeamento do polímero estabilizante após 1 m de escavação através de mangueiras plásticas.



Trena com peso na ponta para medir a profundidade da lamela

lçamento e colocação da armadura, com auxílio do guindaste.

Concretagem da lamela após colocar chapa espelho e tubo tremonha.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### Relatório de acompanhamento de obra

<b>Luana da Silva Ramos</b> Acadêmica Eng. Civil	<b>ESTAQ</b> Empresa	Condições meteorológicas	SOL CHUVA	X	DATA: N°	12/09/19 8
-----------------------------------------------------	-------------------------	-----------------------------	--------------	---	-------------	---------------

#### EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA – JOAO OBINO, 285 – PORTO ALEGRE - RS

##### DESCRIÇÃO DOS ACOMPANHAMENTOS

N° de funcionários: 15

Equipamentos em uso: 2 escavadeiras, 1 conjunto macaco bomba, placas, porcas, luvas de emenda, protensão, 2 perfuratrizes, compressor de ar

Materiais em uso: cimento, barra de aço, água, trena, tubos PVC 32mm, tubos PVC 50mm, arame, fita, e de cola cano, mesa.

Serviços em andamento: montagem dos tirantes, perfuração e abertura de furo nas lamelas do trecho C3 linha K, protensão dos tirantes do trecho D linha C.



Preparo da cabeça do tirante para início da protensão, colocação da placa metálica, porca e luva de emenda.

A direita da foto instalação da mesa, macaco, luva e porca.

A esquerda da foto mostra o ensaio de carregamento e descarregamento, a direita ilustra o carregamento final aplicado no tirante, sendo realizado com uso do conjunto macaco e bomba. Conforme as cargas eram aplicadas foram medidos os deslocamentos através de uma trena e anotados no boletim de protensão a direita da foto.



Montagem e colocação do tirante nos furos do trecho C3.

Perfuração dos tirantes trecho C3, linha K na direita perfuração a precursão de água e a esquerda perfuração com ar comprimido. Abertura dos furos para perfuração a direita da foto.

Fonte: Elaborado pelo autor.

OBRA A						
EXECUÇÃO DE MURETA GUIA (188 m)						
Materiais e Equipamentos						
Código Sinapi	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
1358	Chapa de madeira compensada resinada para forma de concreto, (2,2 x 1,1) m, e = 17 mm	m²	0,96	181	R\$ 27,65	R\$ 5.003,27
4491	Pontaletes de madeira (7,5 x 7,5) cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,02	379	R\$ 3,21	R\$ 1.217,04
4509	Tabua de madeira 2,5 x 10 cm (1 x 4 ") pinus, mista ou equivalente da região- 3 m	m	1,74	327	R\$ 1,76	R\$ 576,29
5068	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	kg	0,30	56	R\$ 10,45	R\$ 580,34
91692	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHP	0,12	23	R\$ 23,30	R\$ 526,09
91693	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHI	0,52	99	R\$ 20,70	R\$ 2.041,53
96525	Escavação mecanizada para viga baldrame, com previsão de fôrma, com mini escavadeira.	m³	0,80	151	R\$ 30,08	R\$ 4.544,39
96544	Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. -12 m	kg	13,33	2505	R\$ 9,95	R\$ 24.929,49
92726	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C20	m³	0,25	47	R\$ 329,18	R\$ 15.471,46
						<b>R\$ 54.889,90</b>
Mão de obra						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	1,33	250	R\$ 18,65	R\$ 4.666,40
88316	Servente com encargos complementares	h	0,80	150	R\$ 15,66	R\$ 2.350,85
						<b>R\$ 7.017,25</b>
TOTAL						<b>R\$ 61.907,15</b>
EXECUÇÃO DAS LAMELAS (1026 m³)						
Materiais e Equipamentos						
Código Sinapi	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
90650	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHP	0,06	62,9	R\$ 9,00	R\$ 566,04
90651	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHI	0,30	308,2	R\$ 0,58	R\$ 178,76
38464	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c20, com brita 0, slump = 220 +/- 20 mm,	m³	1,12	1150,146	R\$ 419,70	R\$ 482.716,28
74010/1	Carga e descarga mecânica de solo utilizando caminhão basculante 6,0m3/16t	m³	1,25	1282,5	R\$ 1,67	R\$ 2.141,78
97913	Transporte com caminhão basculante de 6 m3, em via urbana em revestimento primário	m³XKm	0,38	384,75	R\$ 1,71	R\$ 657,92
34	Aço ca-50, 10,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	35434,53	R\$ 4,64	R\$ 164.416,22
27	Aço ca-50, 16,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	34860,66	R\$ 4,41	R\$ 153.735,51
29	Aço ca-50, 20,0 mm, vergalhão	Kg	1,14	56829	R\$ 4,12	R\$ 234.135,48
						<b>R\$ 1.038.547,99</b>
Mão de obra						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,7234	742.2084	R\$ 18,65	R\$ 13.842,19
88316	Servente com encargos complementares	h	1,085	1113,21	R\$ 15,66	R\$ 17.432,87
88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0012	1.2312	R\$ 14,54	R\$ 17,90
88245	Armador com encargos complementares	h	0,0088	9,0288	R\$ 18,55	R\$ 167,48
						<b>R\$ 31.460,44</b>
TOTAL						<b>R\$ 1.070.008,43</b>
EXECUÇÃO DOS TIRANTES (4944 m)						
Materiais e Equipamentos						
Código Sinapi	Serviço	unidade	coeficiente SINAPI	Quantidade	custo	Total
1379	cimento portland composto cp ii-32	Kg	88	435072,00	R\$ 0,57	R\$ 247.991,04
9869	tubo pvc, soldável, dn 32 mm, agua fria (nbr-5648)	m	0,538	2660	R\$ 5,63	R\$ 14.975,08
9838	tubo pvc serie normal, dn 50 mm, para esgoto predial (nbr 5688)	m	0,545	1129	R\$ 5,88	R\$ 6.639,93
90650	bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHP	0,109	539	R\$ 14,24	R\$ 7.673,88
90651	bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico	CHI	0,422	2086	R\$ 0,58	R\$ 1.210,09
5631	escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m3, peso operacional 17 t	CHP	0,009	44	R\$ 141,90	R\$ 6.313,98
5632	escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m3, peso operacional 17 t	CHI	0,523	2586	R\$ 56,42	R\$ 145.885,87
14583	tarifa "a" entre 0 e 20m3 fornecimento d'agua	m³	1,071	265	R\$ 15,70	R\$ 4.156,59
40432	espacador / separador de barra , metalico, tipo carambola, para tirantes, 25 x 84 mm	UN	0,815	4029	R\$ 1,20	R\$ 4.835,23
11971	porca zincada, sextavada, diametro 1"	UN	0,056	277	R\$ 1,85	R\$ 512,20
72898	carga e descarga mecanizadas de entulho em caminhão basculante 6 m3	m³	0,018	89	R\$ 3,81	R\$ 339,06
97913	transporte com caminhão basculante de 6 m3, em via urbana em revestimento primário	m³XKm	0,0054	27	R\$ 1,71	R\$ 45,65
						<b>R\$ 440.578,61</b>
CUSTOS INEXISTENTES NO SINAPI						
Compressor de ar rebocável, vazão 350 pcm, pressão efetiva de trabalho 7,4 psi, motor diesel,			mensal	5	R\$ 4.400,00	R\$ 22.000,00
Barras tirantes 32 mm			m	2326	R\$ 32,40	R\$ 75.362,40
Barras tirantes 36 mm			m	2618	R\$ 36,90	R\$ 96.604,20
Estabilizante			Kg	980	R\$ 22,50	R\$ 22.050,00
<b>TOTAL</b>						<b>R\$ 216.016,60</b>
TOTAL MATERIAL E MÃO DE OBRA						<b>R\$ 1.788.510,79</b>
CUSTO TOTAL SUBCONTRATADOS						<b>R\$ 1.399.445,00</b>
TOTAL GERAL						<b>R\$ 3.187.955,79</b>

<b>OBRA B</b>						
<b>EXECUÇÃO DE MURETA GUIA (145 m)</b>						
<b>Materiais e Equipamentos</b>						
<b>Código SINAPI</b>	<b>Serviço</b>	<b>unidade</b>	<b>coeficiente SINAPI</b>	<b>Quantidade</b>	<b>custo</b>	<b>Total</b>
1358	Chapa de madeira compensada resinada para forma de concreto, (2,2 x 1,1) m, e = 17 mm	m²	0,96	140	R\$ 27,65	R\$ 3.858,90
4491	Pontaletes de madeira (7,5 x 7,5)" cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,02	292	R\$ 3,21	R\$ 938,67
4509	Tabua de madeira 2,5 x 10 cm (1 x 4 ") pinus, mista ou equivalente da região- 3 m	m	1,74	253	R\$ 1,76	R\$ 444,48
5068	Prego de aço polido com cabeça 17 x 21 (2 x 11)	kg	0,30	43	R\$ 10,45	R\$ 447,60
91692	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHP	0,12	17	R\$ 23,30	R\$ 405,76
91693	Serra circular de bancada com motor elétrico potência de 5hp, com coifa para disco 10"	CHI	0,52	76	R\$ 20,70	R\$ 1.574,59
96525	Escavação mecanizada para viga baldrame, com previsão de fôrma, com mini escavadeira.	m³	0,80	117	R\$ 30,08	R\$ 3.504,98
96544	Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. -12 m	kg	13,33	1932	R\$ 9,95	R\$ 19.227,53
92726	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C20	m³	0,25	36	R\$ 329,18	R\$ 11.932,78
						<b>R\$ 42.335,29</b>
<b>Mão de obra</b>						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	1,33	193	R\$ 18,65	R\$ 3.599,09
88316	Servente com encargos complementares	h	0,80	116	R\$ 15,66	R\$ 1.813,15
						<b>R\$ 5.412,24</b>
<b>TOTAL</b>						<b>R\$ 47.747,53</b>
<b>EXECUÇÃO LAMELAS (495 m³)</b>						
<b>Materiais e Equipamentos</b>						
<b>Código SINAPI</b>	<b>Serviço</b>	<b>unidade</b>	<b>coeficiente SINAPI</b>	<b>Quantidade</b>	<b>custo</b>	<b>Total</b>
90650	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico, potência 15 hp,	CHP	0,06	30,3	R\$ 9,00	R\$ 273,09
90651	Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico, potência 15 hp	CHI	0,30	148,7	R\$ 0,58	R\$ 86,24
38464	Concreto usinado bombeável, classe de resistência c20, com brita 0, slump = 220 +/- 20 mm	m³	1,12	554,895	R\$ 419,70	R\$ 232.889,43
74010/1	Carga e descarga mecânica de solo utilizando caminhão basculante 6,0m³/16t	m³	1,25	618,75	R\$ 1,67	R\$ 1.033,31
97913	Transporte com caminhão basculante de 6 m³, em via urbana em revestimento primário (unidade: m³xkm)	m³xKm	0,38	185,625	R\$ 1,71	R\$ 317,42
34	Aço ca-50, 10,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	34632	R\$ 4,64	R\$ 160.692,48
27	Aço ca-50, 16,0 mm, vergalhão	Kg	1,11	33855	R\$ 4,41	R\$ 149.300,55
29	Aço ca-50, 20,0 mm, vergalhão	Kg	1,14	54150	R\$ 4,12	R\$ 223.098,00
						<b>R\$ 767.690,53</b>
<b>Mão de obra</b>						
88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,72	358	R\$ 18,65	R\$ 6.678,25
88316	Servente com encargos complementares	h	1,09	537	R\$ 15,66	R\$ 8.410,59
88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0012	0,594	R\$ 14,54	R\$ 8,64
88245	Armador com encargos complementares	h	0,0088	4,356	R\$ 18,55	R\$ 80,80
						<b>R\$ 15.178,28</b>
<b>TOTAL</b>						<b>R\$ 782.868,81</b>
<b>EXECUÇÃO TIRANTES (2249 m)</b>						
<b>Materiais e Equipamentos</b>						
<b>Código SINAPI</b>	<b>Serviço</b>	<b>unidade</b>	<b>coeficiente SINAPI</b>	<b>Quantidade</b>	<b>custo</b>	<b>Total</b>
1379	Cimento portland composto cp ii-32	Kg	88	197912,00	R\$ 0,57	R\$ 112.809,84
5631	Escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m³, peso operacional 17 t	CHP	0,009	20	R\$ 141,90	R\$ 2.872,20
5632	Escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m³, peso operacional 17 t	CHI	0,523	1176	R\$ 56,42	R\$ 66.362,73
40432	Espaçador / separador de barra, metálico, tipo carambola, para tirantes, 25 x 84 mm	UN	0,815	1833	R\$ 1,20	R\$ 2.199,52
11971	Porca zincada, sextavada, diâmetro 1"	UN	0,056	126	R\$ 1,85	R\$ 233,00
72898	Carga e descarga mecanizadas de entulho em caminhão basculante 6 m³	m³	0,018	40	R\$ 3,81	R\$ 154,24
97913	Transporte com caminhão basculante de 6 m³, em via urbana em revestimento primário (unidade: m³xkm).	m³xKm	0,0054	12	R\$ 1,71	R\$ 20,77
						<b>R\$ 184.652,29</b>
<b>CUSTOS INEXISTENTES NO SINAPI</b>						
Compressor de ar rebocável, vazão 350 pcm, pressão efetiva de trabalho 7,4 psi, motor diesel,		aluguel mensal		5	R\$ 4.400,00	R\$ 22.000,00
Barras tirantes 32 mm		m		2249	R\$ 32,40	R\$ 72.867,60
Estabilizante		bombona		750	R\$ 22,50	R\$ 16.875,00
						<b>R\$ 111.742,60</b>
<b>TOTAL MATERIAL E MÃO DE OBRA</b>						<b>R\$ 1.127.011,23</b>
<b>CUSTO TOTAL SUBCONTRATADOS</b>						<b>R\$ 747.380,00</b>
<b>TOTAL GERAL</b>						<b>R\$ 1.874.391,23</b>