

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

CAIANE PRISCILA DE SOUZA

ANÁLISE DAS CAUSAS DE FALHAS EXECUTIVAS EM PAREDE DIAFRAGMA:
Estudo de caso aplicado a um edifício localizado em Novo Hamburgo - RS

São Leopoldo
2020

CAIANE PRISCILA DE SOUZA

**ANÁLISE DAS CAUSAS DE FALHAS EXECUTIVAS EM PAREDE DIAFRAGMA:
Estudo de caso aplicado a um edifício localizado em Novo Hamburgo - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof^a Dr^a Mirtes Caron Peres Ramires

São Leopoldo

2020

Dedico este trabalho aos meus pais, Adelar e Simone,
impulsionadores do meu progresso e pessoas às quais
expresso a maior admiração, pela sua força e
honestidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a elaboração e desenvolvimento deste trabalho, mas em especial:

À minha orientadora Prof^a Dr^a Mirtes Caron Peres Ramires, pela constante confiança e incentivo durante a elaboração do trabalho.

À construtora que permitiu que este estudo fosse realizado em uma das suas obras, disponibilizando dados e informações importantes para o desenvolvimento do trabalho.

Aos grandes amigos que me apoiaram nesta jornada, demonstrando confiança e otimismo em todos os momentos de desespero.

Por fim, e mais importante, aos meus pais, Adelar e Simone, que sempre me incentivaram na busca por progresso, e, agradeço imensamente ao meu namorado, Raul, cujos conselhos sempre foram os melhores e por quem eu manifesto admiração pela sua garra e determinação.

"Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho."

Dalai Lama

RESUMO

A utilização de parede diafragma como contenção de subsolos é uma das soluções mais adotadas em grandes centros urbanos, tendo em vista as características apropriadas para este uso no que tange ao processo executivo e a disponibilidade de recursos e equipamentos. Este trabalho inicia-se pela fundamentação do processo executivo de parede diafragma, apresentando todas as etapas necessárias para a aplicação do sistema em uma obra. Na descrição do método executivo são abordadas as características dos equipamentos e materiais utilizados, procedimentos de verificação e detalhes da realização de cada etapa executiva. Para verificação da importância dos conceitos abordados na fundamentação do processo executivo, foi apresentado um estudo de caso cuja parede diafragma apresentou problemas de acabamento e integridade das estruturas. As falhas identificadas foram analisadas com base no comparativo do processo executivo detalhado e no que possivelmente foi feito inadequadamente durante a obra. Desta forma, foram levantadas as possíveis causas destas falhas, considerando os erros relativos à execução e/ou à qualidade dos materiais e equipamentos utilizados. As principais causas encontradas foram a falta de limpeza das juntas antes da concretagem, a ausência de controle tecnológico do polímero estabilizante, a utilização incorreta do tubo de concretagem, problemas relativos à trabalhabilidade do concreto, entre outras. Verificou-se também a necessidade de executar reparos nas lamelas que apresentaram problemas, o que gerou impacto no orçamento, cronograma e área útil do pavimento subsolo. Por fim, como resultado desta análise, elaborou-se uma proposta de instrução de serviço para a construtora responsável pela obra.

Palavras-chave: Contenções. Parede diafragma. Falhas executivas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama para escolha da contenção.....	20
Figura 2 – Esboço da parede diafragma atirantada	22
Figura 3 – Elementos de um tirante de acordo com a norma.....	25
Figura 4 – Etapas de execução de uma parede diafragma.....	27
Figura 5 – Mureta guia para execução de parede diafragma	29
Figura 6 – Ação estabilizante do fluido sobre o solo	30
Figura 7 – Equipamento com Clamshell.....	32
Figura 8 – Tipos de juntas	33
Figura 9 – Fluxograma das etapas do trabalho	38
Figura 10 – Localização da obra	41
Figura 11 – Planta baixa da parede diafragma.....	43
Figura 12 – Planta baixa e perfil aproximado do terreno.....	45
Figura 13 – Fluxograma da análise dos resultados.....	47
Figura 14 – Lamelas que apresentaram deformidades	48
Figura 16 – Trecho da contenção reparado	63
Figura 17 – Corte esquemático do sistema utilizado.....	64

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Lamela nº 2 com nichos de concretagem e irregularidades nas juntas	49
Fotografia 2 – Lamela nº 13 com nichos de concretagem e irregularidades nas juntas	50
Fotografia 3 – Lamela nº 15 com diversas falhas de execução	52
Fotografia 4 – Lamela nº 21 com grandes nichos de concretagem e irregularidades nas juntas	53
Fotografia 5 – Lamela nº 26 com grandes nichos de concretagem.....	55
Fotografia 6 – Lamela nº 8 com irregularidades nas juntas e falta de alinhamento ..	57
Fotografia 7 – Lamelas nº 11 e nº 14 com problemas nas juntas e de concretagem	58
Fotografia 8 – Lamelas nº 22, nº 23 e nº 24 com diversas anomalias.....	59
Fotografia 9 – Lamelas nº 12, nº 25 e nº 42 com problemas de acabamento	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das lamelas classificadas no nível crítico.....	49
Quadro 2 – Resumo das lamelas classificadas no nível moderado	56
Quadro 3 – Resumo das lamelas classificadas no nível leve.....	60
Quadro 4 – Proposta de Instrução de Serviço para execução de parede diafragma	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades da lama bentonítica	30
Tabela 2 – Propriedades da lama polimérica	31
Tabela 3 – Resumo de custos previstos no orçamento base junho 2018	42
Tabela 4 – Custos relativos aos reparos da parede diafragma	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Incidência das causas sugeridas61

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ABEF	Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia
CUB	Custo Unitário Básico
CSL	Comercial Salas e Lojas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Tema	15
1.2 Delimitação do Tema	15
1.3 Problema	16
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo Geral	16
1.4.2 Objetivos Específicos	16
1.5 Justificativa	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Construção de subsolos	18
2.2 Contenções de solo	18
2.3 Parede diafragma atirantada	21
2.4 Elementos constituintes do sistema de contenção	23
2.4.1 Parede de concreto armado	23
2.4.2 Tirantes	24
2.5 Método executivo da parede diafragma moldada <i>in loco</i>	27
2.5.1 Mureta guia	28
2.5.2 Fluido estabilizante	29
2.5.3 Escavação	32
2.5.4 Colocação das juntas e da armadura	33
2.5.5 Concretagem	34
3 METODOLOGIA	38
3.1 Caracterização da pesquisa	38
3.2 Delineamento da pesquisa	39
3.4 Procedimento de coleta dos dados	39
3.5 Procedimento de análise dos dados	40
3.6 Caracterização do objeto de estudo	40
3.6.1 Localização	40
3.6.2 Definições do projeto arquitetônico	41
3.6.3 Custos relativos às contenções	42
3.6.4 Características gerais do projeto de contenções	42
3.6.5 Características dos materiais utilizados na contenção	43

3.6.6 Sondagem do terreno.....	45
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
4.1 Falhas observadas na parede diafragma	47
4.1.1 Análise das falhas críticas	48
4.1.2 Análise das falhas moderadas	56
4.1.3 Análise das falhas leves	60
4.2 Síntese das causas indicadas	61
4.3 Reparos das falhas	63
4.4 Impacto das falhas na concepção e finalização do empreendimento	65
5 PROPOSTA DE INSTRUÇÃO DE SERVIÇO PARA APERFEIÇOAMENTO DA EXECUÇÃO	66
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS.....	72
ANEXO A – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DO SERVIÇO	76
ANEXO B – DADOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE.....	77
ANEXO C – RELATÓRIO DE SONDAÇÃO DO TERRENO	79

1 INTRODUÇÃO

A necessidade da implantação de subsolos nas construções atuais é decorrente da progressiva demanda imobiliária nos centros urbanos, aliada com a insuficiência de áreas úteis disponíveis para construção. Ainda neste cenário, a obrigatoriedade da disponibilização de vagas de garagem e a limitação de altura para edificações em perímetro urbano, conforme Plano Diretor de cada município, direcionam as construtoras à utilização deste artifício.

Para realização de construções abaixo do nível natural do terreno existem diferentes técnicas construtivas que consistem, basicamente, na contenção do solo existente nos limites da área a edificar. Tais contenções são dimensionadas para garantir a segurança durante a etapa de escavação, tanto para o terreno a ser escavado, quanto para as propriedades vizinhas, de forma que não ocorram grandes deslocamentos provenientes de empuxos de solo. Observa-se que, em alguns casos, estas estruturas também são dimensionadas a fim de resistirem às cargas da edificação como elemento de fundação.

A parede diafragma moldada *in loco* é uma solução geotécnica que possui o método construtivo apropriado para este tipo de construção, visto que a mesma pode ser executada sem que haja a retirada do solo antes da sua finalização. De forma simples, pode-se afirmar que o solo, associado a um fluído estabilizante, constitui a fôrma para a concretagem das frações que compõem o sistema. Estas frações são chamadas de lamelas.

Considerando o exposto acima, nota-se que este tipo de contenção não conta com elementos rígidos convencionais confinando o concreto e a armadura no momento da execução. Desta forma, é possível prever que algumas imperfeições relativas ao acabamento e à união das lamelas possam ocorrer, sobretudo, quando não é seguido o procedimento executivo adequado.

Estes problemas podem promover desde deficiências no desempenho técnico das estruturas até o desconforto do usuário final da edificação e, desta forma, demandam soluções específicas que podem ser dispendiosas e dificultadoras para o cumprimento do orçamento, do planejamento e do projeto arquitetônico da obra.

À vista disso, percebe-se a necessidade de analisar estes casos isoladamente e identificar a origem de tais defeitos, visando aprimorar o processo

construtivo através da provisão de informações para o canteiro de obras e do controle rigoroso na execução.

1.1 Tema

O tema deste trabalho consiste na análise das possíveis causas de falhas verificadas em contenções do tipo parede diafragma, implantadas em um edifício localizado na cidade de Novo Hamburgo – RS. Tais falhas são analisadas com base na etapa executiva da contenção, abordando os procedimentos adotados, equipamentos e materiais utilizados na obra.

1.2 Delimitação do Tema

O tema contenções abrange diversas técnicas e soluções de engenharia. Existem diferentes sistemas de contenções que proporcionam uma gama de informações a serem analisadas e estudadas.

O tipo de contenção abordado neste trabalho é a parede diafragma, onde estão apresentados conceitos fundamentais para o entendimento do sistema construtivo e os princípios básicos para obras de contenção.

O trabalho se limita às anomalias executivas deste sistema de contenção, descrevendo as principais falhas apontadas em uma obra localizada em Novo Hamburgo - RS.

O foco deste trabalho é descrever as falhas aparentes após escavação das lamelas da parede diafragma, correlacionando informações acerca do processo executivo para que se possa descrever as possíveis causas destas anomalias e, assim, identificar correções na etapa de execução tendo em vista o cuidado com os materiais, com os equipamentos e com os detalhes do processo executivo.

As informações necessárias para desenvolvimento deste trabalho foram obtidas através de pesquisas teóricas, coleta de dados da obra e levantamento de custos através do software Sienge com valores corrigidos para junho de 2018, visto que a execução da parede diafragma foi finalizada neste período.

1.3 Problema

A concepção de subsolos ocorre através de técnicas construtivas complexas que exigem grandes investimentos, haja vista o cuidado que se deve ter com relação às edificações vizinhas e à segurança da própria obra. Neste contexto, no qual a execução de parede diafragma é uma opção viável por possuir agilidade executiva, surge a necessidade de estudar detalhadamente este sistema. Os problemas incidentes neste podem ser simples ou complexos, oriundos da má execução ou outros fatores, mas, obviamente, não são previstos no orçamento e no cronograma de obra. Convém observar também que, como este sistema de contenção torna-se parte da arquitetura dos subsolos, o seu acabamento condiciona o bem-estar e a satisfação dos usuários.

1.4 Objetivos

Os objetivos deste trabalho de pesquisa dividem-se em: geral e específicos.

1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa analisar a(s) causa(s) das principais falhas que ocorreram na parede diafragma de uma obra localizada em Novo Hamburgo - RS, indicando as correções necessárias no procedimento executivo a fim de evitá-las em próximas obras.

1.4.2 Objetivos Específicos

Acerca do objetivo geral, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

- a) indicar as falhas existentes em uma obra localizada em Novo Hamburgo - RS;
- b) realizar a análise dos dados fornecidos pela construtora e fornecedores envolvidos no processo;
- c) realizar o levantamento de custos relativos aos reparos da parede diafragma do estudo de caso;

- d) verificar o impacto no cronograma e projeto arquitetônico da obra devido aos problemas encontrados;
- e) identificar melhorias no processo executivo a fim de evitar as falhas, construindo uma Instrução de Serviço para o método;

1.5 Justificativa

Tendo em vista o desafio de se executar subsolos considerando o acréscimo de custo incorporado ao orçamento e a percepção sensível dos usuários quanto ao acabamento das estruturas, seja pelo apelo estético seja pela promoção de insegurança quanto a estabilidade das mesmas, percebe-se a necessidade de promover o detalhamento do processo construtivo visando a execução impecável da contenção. Para os casos nos quais as falhas ocorreram, independentemente da causa, é necessário reparar os danos levando em conta o desempenho técnico do sistema, a segurança, a disponibilidade de técnicas e materiais necessários, o custo e as exigências arquitetônicas. Desta forma, o presente estudo justifica-se pela necessidade de orientações detalhadas para o procedimento executivo, a fim de obter como resultado uma estrutura condizente com o que foi projetado, planejado e orçado durante a concepção do empreendimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta as informações obtidas através da pesquisa bibliográfica realizada. Os itens abordados servem para conceituar as áreas que abrangem o presente estudo, focando em conceitos de contenção, elementos que compõem o sistema e o procedimento executivo da parede diafragma.

2.1 Construção de subsolos

Conforme a Lei Complementar nº 284, de 27 de outubro de 1992, subsolo é o pavimento situado abaixo do nível natural do terreno, ou abaixo do nível médio do passeio, em uma edificação.

De acordo com Caputo (1978), a execução do subsolo consiste em rebaixar o nível d'água (quando aplicável), escavar o terreno e escorar os taludes a fim de proteger as edificações vizinhas. Contudo, com a crescente demanda imobiliária nos centros urbanos, os construtores acabam ocupando maiores áreas abaixo do nível do solo e, deste modo, as cargas e as profundidades requeridas se tornam maiores e exigem execução rápida, o que estimula os projetistas a proporem técnicas construtivas diferenciadas.

Lafraia (2006) expõe que as escavações em centros urbanos começaram por volta dos anos 1920 e 1930, com contenções feitas de escoras em madeira. Somente na década de 1990 grandes empreendimentos começaram a utilizar parede diafragma e tirantes protendidos em suas escavações. O autor também acrescenta que atualmente nas grandes cidades há um incentivo à construção de subsolo devido à necessidade de se garantir vagas de estacionamentos para edifícios comerciais e residenciais.

2.2 Contenções de solo

As contenções são estruturas que possuem como objetivo fundamental resistir a empuxos ou tensões geradas em um maciço de solo, garantindo a sua estabilidade quando este está sendo exposto a escavações, cortes ou aterros (HACHICH et al. 1998).

Quando são realizadas obras em subsolos deve-se preservar a segurança do local de escavação, devido às edificações vizinhas para posterior construção de sua infraestrutura. As obras de contenção servem para estes casos, sendo executadas estruturas que suportem as tensões e absorvam as deformações a que o solo estará suscetível no momento da escavação. As contenções deste tipo são chamadas de periféricas (COUTO, 2014).

Ranzini e Negro Junior (1998) apresentam os principais tipos de estruturas de contenção:

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

De acordo com Cardoso (2002), existem também diferentes classificações para as contenções:

- a) pela existência ou não da contenção em si, podendo ser contidas ou em talude;
- b) pela transitoriedade da contenção, podendo ser provisórias ou definitivas;
- c) pelo funcionamento estrutural da contenção, podendo ser flexíveis ou rígidas;
- d) pela forma de obtenção do equilíbrio, podendo ser escoradas ou não-escoradas.

Costa (2015) indica a existência de três tipos de estruturas de contenção que se diferenciam pelo seu modo de funcionamento, sendo elas: estruturas de contenção rígidas, estruturas de contenção flexíveis e estruturas que englobam um misto das duas anteriores. Segundo o autor as estruturas de contenção flexíveis estruturas à flexão e sofrem deformações em estado de serviço, alterando a distribuição de pressões e de esforços aplicados nestas. Assim, surge um processo interativo entre solo e estrutura. Devido a maior capacidade de redistribuir os momentos fletores em relação às estruturas rígidas, as flexíveis sofrem maiores

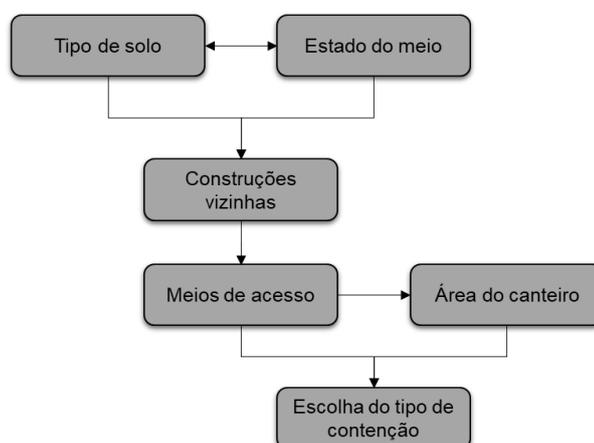
deslocamentos, e por isso, normalmente são instalados elementos de travamento nas mesmas.

Para a escolha do tipo de contenção mais adequado, Tacitano (2006) relata que se deve levar em conta fatores como rapidez, custo e segurança, com base nos itens listados:

- a) as dimensões da escavação (profundidade, largura e comprimento);
- b) as propriedades do solo na região;
- c) a sequência imposta pelo método construtivo;
- d) sobrecargas devidas ao trânsito local e aos equipamentos utilizados na obra;
- e) o regime do nível de água, quando presente na escavação;
- f) o tipo de escoramento;
- g) a presença de utilidades e edificações vizinhas;
- h) o clima (principalmente a temperatura nas estroncas);
- i) o tempo de construção (tanto de escavação, quanto de instalação do escoramento);
- j) técnicas construtivas e equipamentos disponíveis;
- k) experiência profissional e prática local;
- l) disponibilidade financeira.

De forma análoga, Couto (2014) apresenta um diagrama para escolha da melhor contenção, conforme Figura 1.

Figura 1 – Diagrama para escolha da contenção



Fonte: Adaptada de Couto (2014, p.77).

2.3 Parede diafragma atirantada

Conforme Martins (2012), as paredes diafragma são contenções constituídas em concreto armado que funcionam como uma laje vertical construída antes da escavação do terreno junto a edificações lindeiras, funcionando como proteção para estas e podendo, ainda, fazer parte da estrutura do edifício em alguns casos.

Guimarães (2015) conceitua que as paredes diafragma se assemelham às cortinas de contenção por se tratarem de estruturas planas que resistem aos esforços horizontais do solo, estando estabilizadas parte pelo empuxo passivo existente ao longo do trecho inserido no solo (ficha) e parte por tirantes ou estroncas posicionados na parte superior das mesmas. Para o autor, a principal diferença está no método de execução cuja solução é empregada e devido às paredes diafragma, na sua grande maioria, constituírem subsolos.

Martins (2012) destaca que estas paredes são projetadas como estruturas flexíveis devido às verificações de segurança comporem-se basicamente à rotação, translação e equilíbrio vertical, apresentando deslocamentos horizontais admissíveis.

Tacitano (2006) escreve que as paredes diafragma, quando empregadas para alturas entre dois níveis de escoramento, são classificadas como estruturas rígidas por possuírem um maior produto de rigidez e assim estarem menos suscetíveis a deslocamentos horizontais quando empregadas nas mesmas condições do que estruturas flexíveis, tais como estacas-prancha e perfis metálicos. Desta forma, o produto de rigidez, o tipo de escoramento, a distribuição do escoramento e o tipo de solo são fatores que determinam se uma parede de contenção é rígida ou flexível.

Para estabelecer a rigidez deste tipo de contenção devem ser calculados os deslocamentos ocasionados por flexão na face das paredes, e, com base nos resultados, caberá ao projetista analisar se é possível desprezá-los (HACHICH et al. 1998).

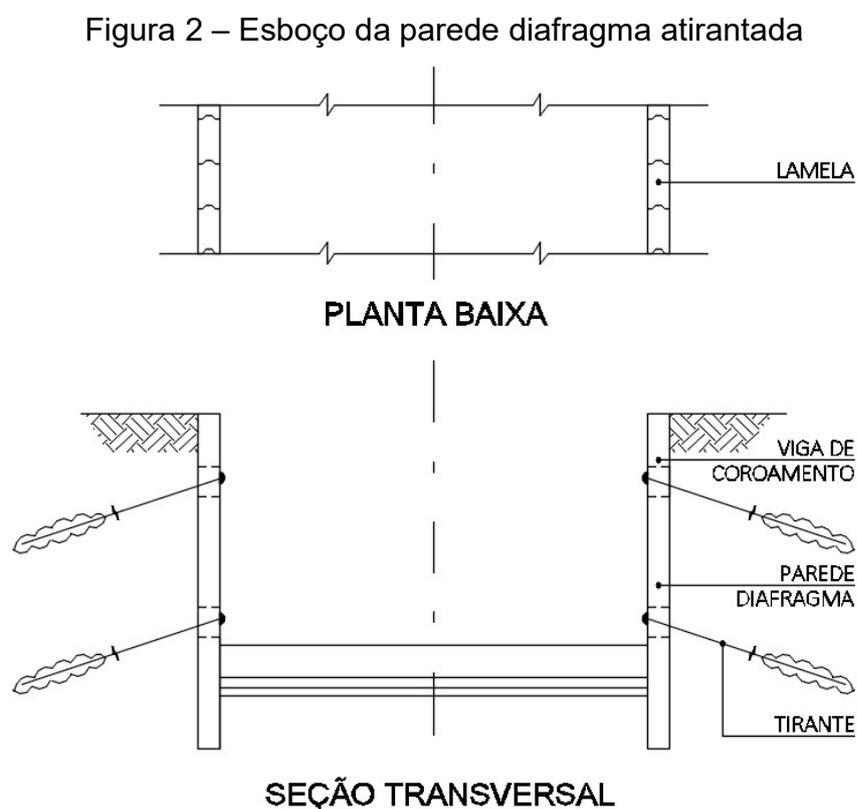
Brito (1999) acrescenta que as paredes diafragma devem ser dimensionadas como estruturas flexíveis devido ao processo interativo solo-estrutura, cuja distribuição das tensões provocadas pelo maciço de solo proporciona carregamentos na base destes elementos e grandes deslocamentos no seu topo. Tais deslocamentos reduzem os esforços do solo perpendiculares ao plano da parede, quando comparada a uma estrutura rígida.

O autor observa que a este fato justifica-se o uso de ancoragens na parte superior da estrutura.

Ranzini e Negro Junior (1998) descrevem paredes diafragma e tirantes como elementos que compõem o tipo de contenção chamado de escoramento. Tal estrutura é considerada como provisória por ser executada com o objetivo de permitir a construção de outras obras.

De acordo com os autores, as paredes diafragma são construídas em trechos (chamados de lamelas) que variam de 2 a 3 m de comprimento. Os tirantes são introduzidos no solo contido perpendicularmente às paredes e ancorados por meio de um trecho alargado denominado bulbo.

A Figura 2 apresenta estes elementos em conjunto.



Fonte: Adaptada de Hachich (1998, p.507).

Saes, Stucchi e Milititsky (1998) afirmam que as paredes diafragma e os tirantes exercem a função de paramento e de escoramento, respectivamente. A necessidade de cada um destes elementos depende da relação entre resistência do solo e a resultante das ações promovidas por ele. Tacitano (2006) complementa que o paramento é a parte que fica em contato direto com o solo e o escoramento é

destinado à estabilização do paramento, garantindo a estabilidade global do sistema de contenção.

2.4 Elementos constituintes do sistema de contenção

Com base nas definições apresentadas no item anterior entende-se que as paredes diafragma atirantadas constituem uma técnica de contenção composta por painéis de concreto armado e tirantes, onde os elementos devem apresentar um comportamento solidário no que diz respeito aos empuxos provenientes do solo onde estará inserida a estrutura.

Este subitem caracteriza os principais elementos deste conjunto.

2.4.1 Parede de concreto armado

De acordo com Rodrigues (2015), as paredes podem ser do tipo moldadas *in loco* ou pré-moldadas. As moldadas *in loco* são as mais comuns e são executadas em painéis de concreto armado através de trincheiras escavadas mecanicamente e de forma alternada. Segundo o autor, estas estruturas possuem espessuras que variam do mínimo de 0,40 m e superam 1,0 m, em alguns casos. As profundidades também podem superar 45 m.

Saes et al. (1998) acrescentam que as paredes diafragma são um tipo de paramento que revolucionou a engenharia de fundações desde os anos 50 por não ocasionar vibrações ou desconfinar terrenos adjacentes durante a sua execução, sendo concebidas de uma forma relativamente fácil, segura e econômica mesmo junto às edificações lindeiras já existentes. Os autores observam outras características vantajosas, tais como a implantação desta técnica em quase todo tipo de solo e o impedimento do fluxo de água para o interior da escavação, formando um paramento estanque. Além disso, estas paredes podem ser utilizadas em contenções de alturas variáveis, aceitam diferentes tipos de escoramento e podem facilmente fazer parte da estrutura definitiva do prédio, entre outros aspectos interessantes.

Conforme Marzionna et al. (1998), estas paredes são dimensionadas normalmente como vigas, devendo resistir ao cisalhamento através de estribos. Quanto ao momento fletor, os autores explicam que usualmente o dimensionamento

é feito tendo como base apenas o momento máximo, considerando a dificuldade em garantir o correto posicionamento da “gaiola”. Contudo, isso poderia ser evitado através de um bom acompanhamento técnico no momento da execução.

O detalhamento da armadura é feito de forma a permitir a passagem do tubo tremonha, que é o canal utilizado para a concretagem dos painéis. Observa-se que a largura útil dos painéis deve ser menor que o comprimento escavado para fins de colocação da armadura.

2.4.2 Tirantes

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2018), que estabelece através da Norma Brasileira (NBR) 5629, os requisitos para projeto e execução de tirantes ancorados em solos ou rochas, estes elementos estruturais consistem em peças introduzidas no terreno compostas por cabeça, trecho livre e trecho ancorado. Injeta-se, no trecho ancorado, uma nata de cimento que forma o bulbo de ancoragem ligado à estrutura através do elemento resistente à tração, com a função de transmitir esforços ativos de tração distribuídos a uma região estável do terreno. Os elementos constituintes deste dispositivo são:

- a) cabeça do tirante: dispositivo que transfere a carga do tirante para a estrutura a ser ancorada, esta parte fica fora do terreno e é constituída por placas de apoio, cunhas, cones e porcas;
- b) comprimento livre (LI): distância (trecho) entre a cabeça do tirante até o início do bulbo de ancoragem;
- c) comprimento livre efetivo (Lle): trecho efetivo de alongamento livre sob aplicação de carga. O mesmo é obtido através de ensaio de qualificação;
- d) comprimento do trecho ancorado ou comprimento do bulbo (La): trecho do tirante que transmite a carga aplicada ao terreno, composto pela barra metálica envolta de nata de cimento;
- e) comprimento ancorado efetivo (Lae): trecho efetivo de transferência de carga ao solo, sendo estimado por meio de ensaio.

Yassuda e Dias (1998) complementam que a cabeça do tirante é constituída geralmente por placa de apoio, cunha de grau e bloco de ancoragem.

A placa de apoio serve para transferir as tensões sobre a estrutura à qual o tirante é incorporado. A cunha de grau fornece alinhamento ao eixo do tirante em relação à cabeça, trabalhando junto com o bloco de ancoragem com o objetivo formar 90° com a barra de aço, de forma a potencializar a aplicação de carga à tração, tendo em vista que estes elementos, em geral, têm resistência limitada à flexão.

A Figura 3 apresenta os componentes constituintes de um tirante de acordo com o exposto pelos autores.

Figura 3 – Elementos de um tirante de acordo com a norma

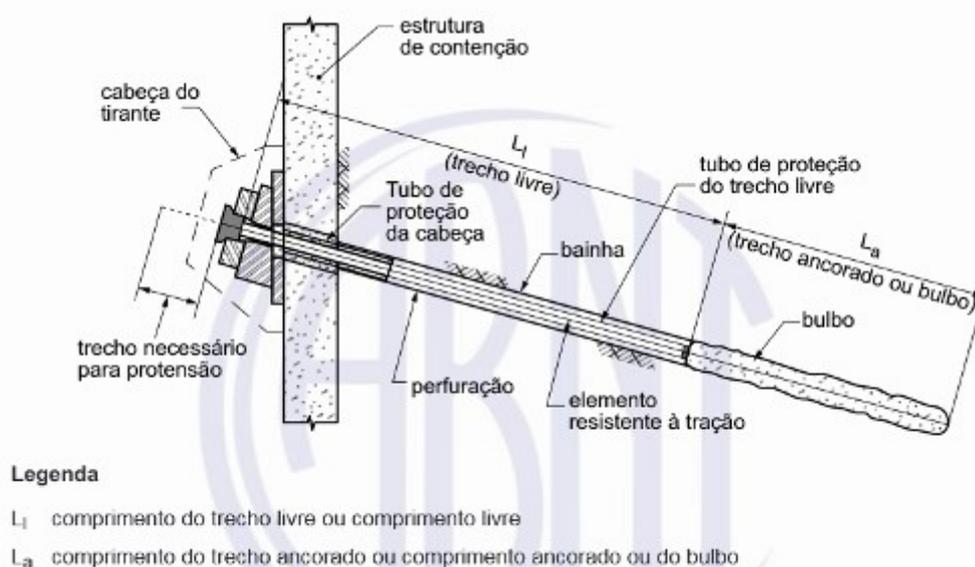


Figura A.1 – Elementos básicos do tirante

Fonte: NBR 5629 (ABNT, 2018, p. 10).

De acordo com Yassuda e Dias (1998), os diferentes tipos de tirantes podem ser classificados em função da sua vida útil, do sistema de injeção, da forma de trabalho e do material constituinte. Desta forma, os autores apresentam os principais aspectos de cada classificação:

- quanto à vida útil: podem ser provisórios, destinados às obras com necessidade de funcionamento do sistema por até 2 anos, ou permanentes, destinados às obras com demanda superior a 2 anos;
- quanto ao sistema de injeção: podem ser injetados em estágio único, quando ocorre a injeção após a perfuração e instalação do tirante ou

injetados em múltiplos estágios, quando são feitas ao menos duas injeções em fases distintas;

- c) quanto à forma de trabalho: pode ser ativo, quando o tirante opera sempre em carga sendo protendido no início da sua atividade ou passivo, quando o solo se ancora ou a estrutura ligada ao tirante induz esforços;
- d) quanto ao material constituinte: pode ser monobarra de aço, múltiplas barras de aço, cordoalhas de aço ou constituídos por materiais sintéticos.

A ABNT (2018) estabelece critérios de resistência à corrosão, segurança, dimensionamento e precauções construtivas específicas conforme a classificação quanto à vida útil destas ancoragens. Os tirantes permanentes, por exemplo, devem receber manutenções periódicas para verificação de anomalias e para garantir a integridade dos elementos que os compõem. Sempre que identificadas manifestações patológicas estas devem ser objeto de relatório e reparo com responsável técnico e projeto específico. O fator de segurança que multiplicará a carga de trabalho dos tirantes provisórios e permanentes é, respectivamente, de 1,5 e 1,75.

Yassuda e Dias (1998) ressaltam que o aço constituinte deste tipo de ancoragem deve resistir ao esforço com segurança adequada e que o chamado trecho livre deste não possua aderência representativa em relação ao solo, visto que é através deste caminho que a carga aplicada na cabeça do tirante é transmitida ao bulbo de ancoragem. Quanto ao material que compõe as barras, os autores relatam que existem alguns tipos de tirantes compostos por fibras químicas, classificados como sintéticos, que possuem alta resistência à tração e à corrosão, porém, ainda não são largamente utilizados devido à ínfima difusão no mercado quando comparados ao aço. Consoante a isso, Joppert Júnior (2008, p. 60) afirma: “A maioria dos tirantes utilizados atualmente são compostos por aço em forma de fios, cordoalhas, barras maciças e tubos metálicos vazados”.

A utilização de tirantes oferece diversas vantagens, tais como: aplicação de cargas elevadas, considerando que os mesmos são elementos de pequeno porte relativamente simples de serem executados; proporcionam grandes áreas livres nas obras, quando comparados à outros tipos de escoramentos; 100% da estrutura é testada, tendo em vista que cada barra deve ser analisada individualmente; tratam-se de estruturas autoportantes, portanto não requerem fundações para sua

utilização. Contudo, este sistema de ancoragem necessita de autorização prévia dos vizinhos, tendo em vista que a ancoragem comumente é feita no terreno destes. Outros aspectos relevantes são: impossibilidade de reutilização destes elementos, quando comparados a outros tipos de escoramentos; possibilidade de induzir deformações e/ou levantamentos de terreno, devido à alta pressão instalada em alguns casos; a interferência em obras vizinhas, tendo em vista que estes elementos não são retirados do terreno mesmo quando são provisórios (HACHICH et al. 1998).

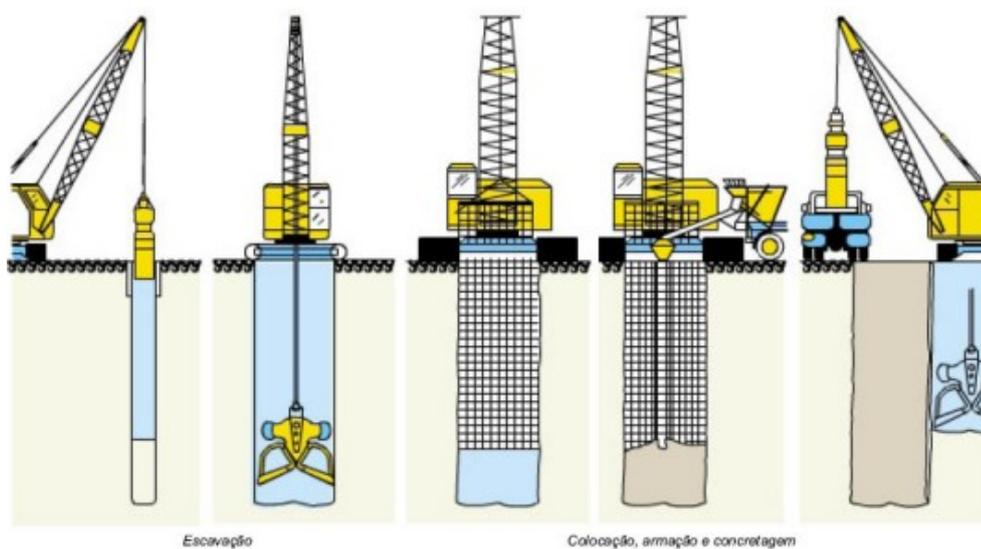
2.5 Método executivo da parede diafragma moldada *in loco*

De acordo com Hashizume (2006), as paredes diafragma moldadas *in loco* são executadas antes de se realizar a escavação do terreno, seguindo um roteiro específico. As principais etapas são:

- a) execução de muretas guia;
- b) escavação com auxílio de fluido estabilizante;
- c) colocação da chapa ou tubo junta;
- d) colocação da armadura;
- e) concretagem.

A Figura 4 apresenta as etapas executivas mencionadas.

Figura 4 – Etapas de execução de uma parede diafragma



Fonte: Fundesp (2005) apud Hashizume (2006).

Os itens seguintes apresentam estas fases de execução com as definições dos elementos utilizados no processo.

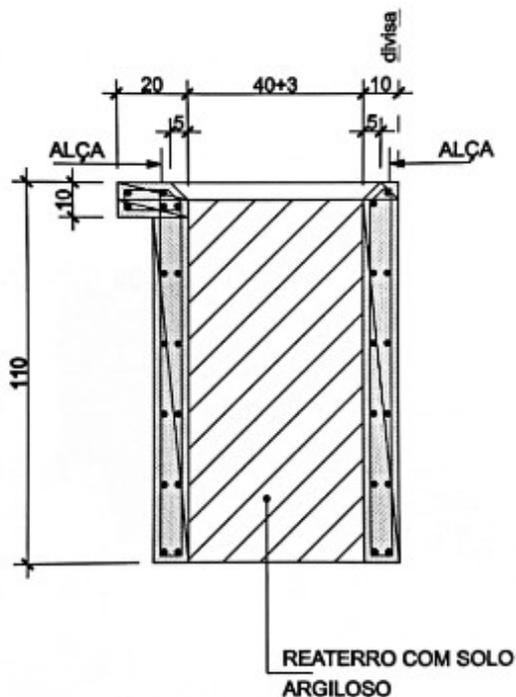
2.5.1 Mureta guia

A mureta guia consiste em uma estrutura de concreto armado, composta de elementos paralelos, que tem por objetivo alinhar a escavação da parede, impedir o desmoronamento do solo próximo a superfície e garantir uma altura de lama compatível com o lençol freático (HASHIZUME, 2006).

Acrescentando o que foi dito por Hashizume (2006), Brito (1999) explica que tais muretas são armadas devido a sua função de possibilitar a suspensão das armaduras da parede, suportar as cargas e impactos dos equipamentos de escavação, suportar os arranques dos tubos junta e proporcionar uma superfície autoportante para as diversas etapas de execução da contenção. De acordo com o autor, a mureta guia deve ser executada em todo o perímetro onde será feita a contenção, de forma que o eixo da vala coincida com o da parede, em toda a sua extensão. A distância entre as paredes da mureta, ou seja, a largura da vala, deve ser igual a espessura da parede, acrescentando-se até 5 cm de folga para facilitar a inserção do equipamento de escavação. A espessura de cada parede que compõe a mureta varia de 0,15 m a 0,20 m. A altura pode variar de 0,80 m a 1,50 m, sendo preferível utilizar alturas maiores para evitar espessuras excedentes na contenção logo abaixo da mureta.

A Figura 5 apresenta uma mureta guia em corte. Salienta-se que as medidas representadas nesta figura foram pré-estabelecidas pelo autor como exemplo.

Figura 5 – Mureta guia para execução de parede diafragma



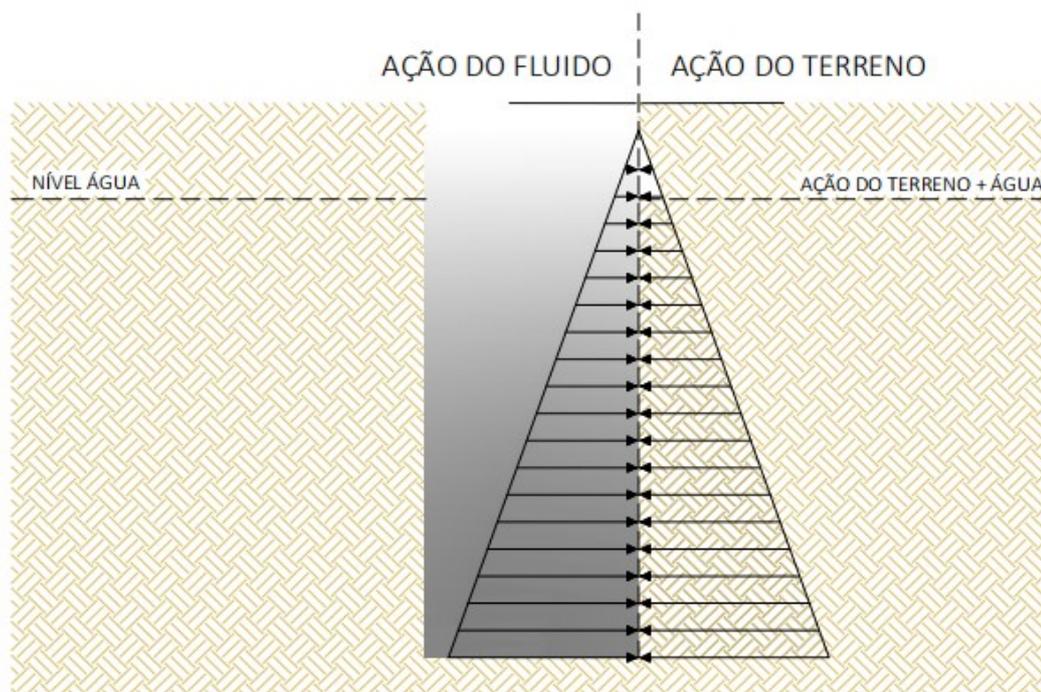
Fonte: JOPPERT JÚNIOR (2008, p. 39).

2.5.2 Fluido estabilizante

De acordo com Joppert Júnior (2008), para prosseguir com a escavação da parede diafragma a vala deve ser preenchida com um fluido estabilizante, podendo ser de natureza bentonítica ou sintética.

O fluido tem como finalidade estabilizar o solo escavado mantendo um estado de tensão sobre ele (MARTINS, 2012). Outras funções atribuídas a este material são: selar as paredes da vala impedindo a perda de lama no solo; propiciar a concretagem sem interferir na ligação entre o concreto e a armadura; ter fluidez adequada para constituir o processo e ter capacidade de se manter livre de detritos de solo, tornando-o reutilizável (TRINDADE, 2010). A Figura 6 ilustra as tensões existentes entre solo e lama estabilizadora.

Figura 6 – Ação estabilizante do fluido sobre o solo



Fonte: Adaptada de Trindade (2010, p. 20).

Trindade (2010) também esclarece que independentemente da utilização de lama bentonítica ou lama polimérica como fluido estabilizante, ambos os materiais precisam ser misturados com água antes da sua aplicação no processo. Desta forma, é importante prever uma central de mistura na obra para ambas as soluções. O autor aponta que ambos os fluidos podem ser reutilizados no processo após a troca e limpeza dos mesmos, sendo feita a decantação para os poliméricos e a desarenação para os bentoníticos.

De acordo com a ABNT (2019), algumas propriedades devem ser mantidas e controladas durante a execução para que se obtenha o bom desempenho do fluido estabilizante. A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam as características necessárias e os equipamentos de ensaio para a lama bentonítica e para o fluido polimérico, respectivamente.

Tabela 1 – Propriedades da lama bentonítica

Propriedades	Valores	Equipamentos para ensaio
Densidade	1,025 g/cm ³ a 1,10 g/cm ³	Densímetro
Viscosidade	30 s/qt a 90 s/qt	Funil Marsh
pH	7 a 11	Indicador de pH
Teor de areia	Até 3%	Baroid sand content ou similar

Fonte: NBR 6122 (ABNT, 2019).

Tabela 2 – Propriedades da lama polimérica

Propriedades	Valores	Equipamentos para ensaio
Densidade	1,005 g/cm ³ a 1,10 g/cm ³	Densímetro
Viscosidade	35 s/qt a 120 s/qt	Funil Marsh
pH	9 a 12	Indicador de pH
Teor de areia	Até 4,5%	Baroid sand content ou similar

Fonte: NBR 6122 (ABNT, 2019).

Dentre as principais diferenças entre os dois tipos de fluidos apresentados, salienta-se que a lama polimérica é um produto biodegradável, sendo mais vantajosa em relação a lama bentonítica pela facilidade no descarte e, conseqüentemente, menor impacto ao meio ambiente.

Contudo, convém observar que a estrutura e a composição das cadeias poliméricas tornam este fluido sintético mais sensível em alguns aspectos. A mistura através de equipamentos mecânicos e a contaminação do solo ou da água por agentes químicos como o Carbonato de Cálcio e cátions de Magnésio podem quebrar as cadeias moleculares fazendo com que ele perca a sua viscosidade e, conseqüentemente, não promovendo o encapsulamento do solo (TRINDADE, 2010).

Outro aspecto importante que distingue estes dois tipos de estabilizantes é que a lama bentonítica deve descansar por 12h antes da sua utilização, tendo em vista a sua completa hidratação para atingir o desempenho esperado. Já o polímero, por sua vez, pode ser utilizado logo após a mistura, sendo observadas as propriedades indicadas na Tabela 2 (ABNT, 2019).

O'Neill (1991) acrescenta que, quando utilizado o fluido polimérico, deve-se aguardar o tempo necessário para decantação das partículas de solo suspensas durante o processo de escavação, para que se possa retirá-las do fundo da vala antes da execução da concretagem. Este procedimento impede que a lama fique mais densa e acabe se depositando nas laterais, visto que o concreto não consegue empurrá-la para fora da escavação.

Convém ressaltar que a qualidade do material estabilizante, bem como a sua correta utilização, verificação e limpeza, influenciam diretamente na excelência do processo de execução de parede diafragma (MILITITSKY, 2016).

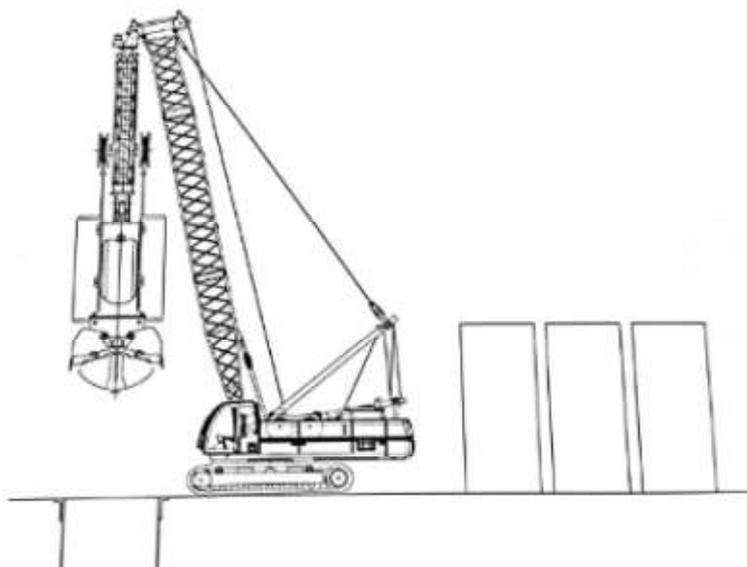
2.5.3 Escavação

Para dar início a etapa de escavação deve-se testar a lama estabilizadora, verificando densidade, viscosidade e pH a fim de verificar que há condições para utilização da mesma e tendo em vista o tipo de solo existente no local (HASHIZUME, 2006). É importante garantir que o nível da lama dentro da vala seja superior a 1,5 m em relação ao nível do lençol freático, visando garantir a estabilidade do solo durante a escavação (MAIA et al. 1998).

De acordo com Martins (2012), existem dois tipos de equipamentos para a escavação destas paredes e cada um é adequado para determinados tipos de solo. O Clamshell é o equipamento ideal para escavar solos brandos, pois possui mandíbulas que retiram o solo do local. O Hidrofresa é indicado para locais onde há rochas a serem escavadas, visto que este equipamento possui rodas e correntes de corte que desagregam este material sugando-o para fora da escavação.

O Clamshell, apresentado na Figura 7, é o instrumento mais citado nas bibliografias consultadas e o que se apresentou mais utilizado nas obras de contenção pesquisadas.

Figura 7 – Equipamento com Clamshell



Fonte: JOPPERT JÚNIOR (2008, p. 40).

A escavação é executada através da penetração da ferramenta no solo e, à medida que o solo é retirado através das mandíbulas do equipamento a lama estabilizante deve ser introduzida simultaneamente. A velocidade do equipamento

deve ser controlada tendo em vista o tempo requerido para ação do estabilizante no solo. Também é importante verificar o nível de lama na cavidade durante o processo (HASHIZUME, 2006).

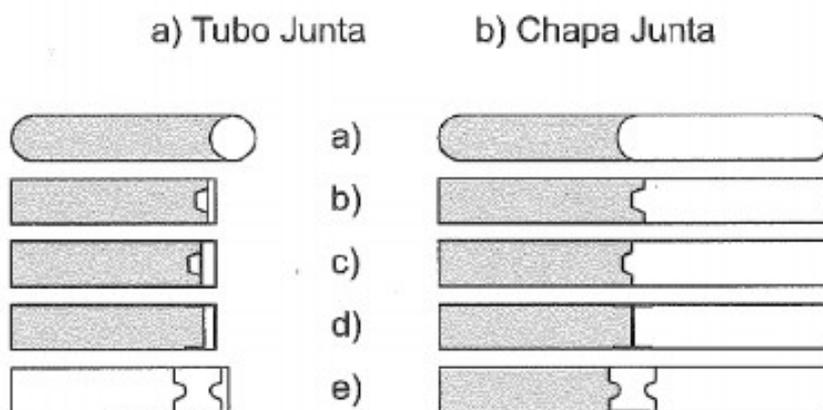
De acordo com Anson (2001), o alinhamento e a verticalidade final do painel estão diretamente ligados ao correto manuseio, operação e verificação do equipamento de escavação.

2.5.4 Colocação das juntas e da armadura

Os painéis podem ser escavados de modo sucessivos ou alternados, sendo que a divisão destes deve ser feita através de tubos junta colocados no término da escavação e retirados no início de pega do concreto (CAPUTO, 1987).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (ABEF) (2012), a chapa junta ou tubo junta (Figura 8) são peças metálicas colocadas através de guindaste e que devem possuir comprimento igual ou maior à profundidade da lamela mais profunda. Estes elementos devem ser untados com desmoldante ou graxa para facilitar a retirada posteriormente. O alinhamento vertical e a limpeza destes elementos devem ser verificados antes da etapa de concretagem. Para obter um acabamento melhor da estrutura e para prevenir o excessivo consumo de concreto, bem como diminuir as possíveis protuberâncias nas paredes, pode-se utilizar chapas espelho¹ nas suas faces.

Figura 8 – Tipos de juntas



Fonte: ABEF (2012, p. 311).

¹ Elemento de aço em formato de chapa, colocado na extremidade da parede diafragma antes da concretagem, a fim de aferir melhor acabamento à mesma (ABEF, 2012).

Joppert Júnior (2008) acrescenta que a correta utilização dos tubos junta e a sua limpeza antes da concretagem são fatores importantes para garantir a qualidade nas juntas no final do processo.

A armadura dos painéis é executada em formato de gaiolas, podendo ser feita na obra ou adquirida pré-montada. Constitui-se basicamente por barras longitudinais e estribos, sendo necessário acrescentar elementos transversais à mesma a fim de enrijecer a estrutura, garantindo assim o içamento e transporte seguro até a escavação (HASHIZUME, 2006).

De acordo com Brito (1999), quando é necessário fracionar as gaiolas devido a profundidade da parede diafragma, devem ser realizadas amarrações com prolongamento 40% superior ao habitual. Da mesma forma, quando há ancoragens concentradas na estrutura deve-se prever reforço de punção² para estes locais. O autor observa que apesar da existência destes elementos de reforço a densidade das armaduras não pode prejudicar a concretagem ou potencializar a segregação do concreto, visto que se mantem o espaçamento entre barras longitudinais de, no mínimo, 10 cm e otimiza-se o dimensionamento das barras horizontais com o propósito de utilizar o mínimo possível. É imprescindível prever o espaço necessário para passagem do tubo de concretagem. As gaiolas são içadas por grua, através de alças deixadas na armadura, e são introduzidas na mureta guia com o auxílio da equipe de execução. Ao inserir a armadura no trecho escavado a equipe aplica os espaçadores (chamados roletes), para garantir o recobrimento de 5 cm que protege a estrutura quanto a agressividade do solo. Outra etapa indicada pelo autor é a retirada da lama ascendente durante a colocação da armadura.

2.5.5 Concretagem

A concretagem da parede diafragma é feita através do tubo tremonha que é colocado no espaço livre entre as armaduras, até atingir o fundo da vala. O concreto é inserido de baixo para cima, e, como a sua densidade é maior do que a do fluido estabilizante, este último sobe e é bombeado para os reservatórios sem que haja a mistura com o concreto e o extravasamento da vala. Durante a concretagem o tubo

² A punção consiste na ruptura por cisalhamento, de uma pequena área, causada por cargas concentradas ocorrentes em sistemas de lajes lisas, na ligação pilar-laje e, de forma análoga, em paredes diafragma considerando o sistema parede-tirante.

tremonha é levantado de modo que a sua extremidade esteja sempre submersa no mínimo 1,5 m, evitando assim o aparecimento de juntas frias. Quando as lamelas possuem grandes dimensões pode ser utilizado mais de um tubo tremonha, visto que a etapa de concretagem deve ser feita no menor tempo possível e ininterruptamente. Nos casos em que se necessite interromper o serviço, recomenda-se que o tempo máximo de intervalo seja de 1 hora (ABEF, 2012).

Concretagens demoradas podem ocasionar a decantação de partículas mais grossas de solo (existentes na lama) sobre a superfície do concreto que já foi lançado, causando descontinuidade na parede de contenção. A verificação da lama antes da concretagem, a limpeza do fundo e cuidados na concretagem evitam este tipo de problema (MAIA et al. 1998).

Anson (2001) observa que devido as características reológicas do concreto fresco, o tubo tremonha não deve ficar submerso por mais de 2,0 m, visto que isso pode prejudicar a subida deste dentro da escavação, prejudicando a concretagem.

Para evitar a segregação do concreto dentro do tubo tremonha (devido ao contato direto com o fluido estabilizante) pode-se inserir uma bola de borracha dentro do tubo. Esta servirá de anteparo, separando o fluido do concreto. Desta forma, é importante deixar o tubo tremonha com o espaçamento mínimo correspondente ao seu diâmetro, em relação ao fundo da vala, para que o concreto consiga expulsar este anteparo e preencha a lamela com uniformidade (EFFC/DFI, 2018).

Após o início do endurecimento do concreto, o tubo junta e a chapa espelho (quando aplicável), devem ser retirados lentamente (ABEF, 2012). O tempo médio para retirada do tubo junta e da chapa espelho é de 2,5 a 3,0 horas (JOPPERT JÚNIOR, 2008).

O concreto deve ser fluido e trabalhável para que se distribua uniformemente expulsando a lama estabilizante da superfície de escavação e da armadura, de modo que fique em completo contato com estes elementos. Para verificar se o concreto está fluindo corretamente e que não estão ocorrendo falhas devido à armadura muito densa ou permanência de estabilizante, o consumo deve ser medido constantemente, comparando-o com o consumo teórico previsto pela escavação (HASHIZUME, 2006).

Milititsky (2016) afirma que as características do concreto, sobretudo a sua trabalhabilidade, são fatores determinantes para que se obtenha uma estrutura íntegra e eficiente.

De acordo com a ABNT (2019), as características indicadas na NBR 6122 são necessárias para que o concreto apresente o desempenho adequado, independentemente da sua classe. Destas características, citam-se:

- a) abatimento igual a 22 ± 3 cm;
- b) consumo mínimo de cimento de 400kg/m^3 ;
- c) fck entre 30 e 40MPa;
- d) diâmetro de agregado de 9,5 mm a 25 mm;
- e) teor de exsudação inferior a 4%;
- f) fator $a/c \leq 0,45$ para concreto C40 e fator $a/c \leq 0,6$ para concreto C30.

Convém observar que a ABNT (2010), versão anterior da NBR 6122, apresentava alguns requisitos distintos, tais como:

- a) dimensão máxima do agregado de 19mm (brita 1);
- b) % de argamassa de 55%;
- c) fck mínimo de 20MPa;
- d) fator $a/c \leq 0,60$.

O teor de argamassa é um parâmetro importante nestes tipos de elementos em concreto, dada a sua relação direta com o acabamento da parede. O fato de as duas faces da parede estarem confinadas faz com que haja uma maior superfície de contato entre o concreto e a forma (solo), trazendo a necessidade de mais finos para acomodação ideal do concreto. Aliado a isso, a dosagem dos finos utilizados para compor a pasta está diretamente vinculada a relação água/cimento e, conseqüentemente, a trabalhabilidade. Em resumo, não é recomendado utilizar outros materiais em substituição ao cimento, pois estes, em geral, possuem granulometria mais fina e assim, necessitam de mais água na mistura, elevando a relação a/c . Isto, quando não dosado corretamente, implica na proporção inadequada de água em relação aos materiais secos, fazendo com que a

trabalhabilidade seja prejudicada e promovendo assim a segregação (RECENA, 2017).

Joppert Júnior (2008) acrescenta que não devem ser utilizados cimentos compostos de escória de alto-forno, cimentos de alta resistência inicial, agregado de pó-de-pedra e retardadores de pega, além de recomendar cuidados em relação ao uso de superplastificantes, que, em excesso, podem ocasionar a pega heterogênea do concreto, gerando falhas nas juntas entre os painéis da parede.

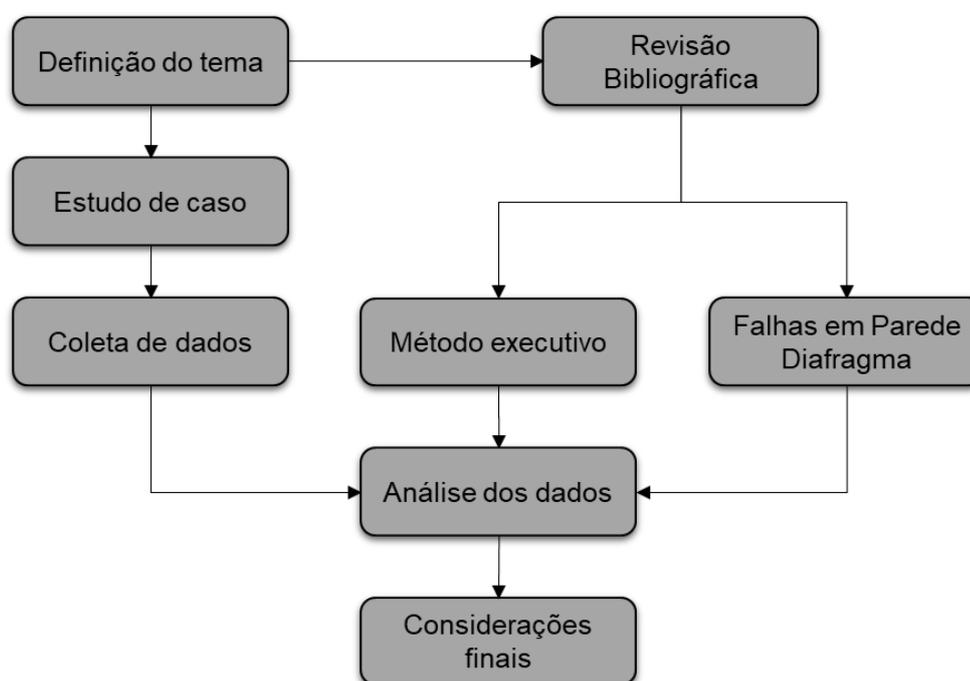
Outra recomendação importante que o autor ressalta é que se deve evitar a utilização do concreto após este atingir 2,5 horas de tempo de mistura, ou seja, desde a saída da usina até o momento da concretagem. O tempo de pega deve estar dentro do previsto, entre 2,5 a 3,0 horas.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve o procedimento utilizado para elaboração do trabalho, apresentando a caracterização da pesquisa, o delineamento e as técnicas de obtenção e análise dos dados.

Este trabalho foi dividido em etapas conforme o fluxograma apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

3.1 Caracterização da pesquisa

De acordo com Silveira e Córdova (2009), a pesquisa aplicada está diretamente relacionada à solução de problemas específicos, por meio da obtenção de conhecimento para aplicação prática.

O objetivo da pesquisa aplicada é promover maior domínio sobre o problema estudado criando a possibilidade de construir hipóteses. Normalmente fazem parte desse tipo de pesquisa: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas experientes no assunto; e (c) análise de exemplos que envolvam o problema. (SILVEIRA; CÓRDOVA, p. 35, apud GIL, 2007).

A pesquisa utilizada neste trabalho foi de natureza aplicada, onde buscou-se conhecimento com finalidade prática, visando a solução de problemas. A mesma apresentou caráter exploratório, obtendo informações necessárias para esclarecer as questões deste trabalho.

A modalidade de pesquisa adotada foi um estudo de caso, tendo como objeto de estudo uma obra localizada em Novo Hamburgo - RS.

3.2 Delineamento da pesquisa

A pesquisa se ateve a identificação das principais falhas que ocorreram na parede diafragma moldada *in loco* de uma obra, resultando na verificação de pontos de melhoria no processo executivo utilizado pela construtora.

O método construtivo aplicado ao sistema de contenção está referenciado no Capítulo 2 deste trabalho, onde estão descritos os principais elementos e processos constituintes deste.

Esta pesquisa foi realizada em uma obra localizada em Novo Hamburgo - RS, constituída de 5 pavimentos, sendo 1 destes abaixo do nível natural do terreno. A obra já foi concluída e entregue. As paredes diafragma foram executadas entre o período de dezembro de 2017 e março de 2018.

A autora fez o acompanhamento da execução das contenções no início dos serviços, com visitas semanais ou quinzenais. Após o término dos serviços ocorreram outras visitas para verificação e registro fotográfico das falhas e entendimento das soluções utilizadas nesta obra.

3.4 Procedimento de coleta dos dados

A coleta de dados consistiu na obtenção dos dados e informações do sistema utilizado necessários para uma análise comparativa entre as bibliografias consultadas e os procedimentos aplicados à obra em questão.

Para esta etapa da pesquisa foram utilizados métodos específicos, dos quais listam-se:

- a) definição do estudo de caso e busca pelas informações características da obra;

- b) observação e coleta de dados, tais como processo executivo, documentos da obra, projeto de contenções, sondagem do terreno, entre outros;
- c) consulta a especialistas e pessoas experientes no tema;
- d) levantamento fotográfico das falhas;
- e) pesquisa bibliográfica;
- f) visita à outras obras semelhantes, caso necessário.

3.5 Procedimento de análise dos dados

As falhas encontradas foram relacionadas a etapa executiva na qual foram geradas, estabelecendo um comparativo qualitativo entre os procedimentos indicados nas bibliografias estudadas e o procedimento aplicado na obra, bem como a especificação de materiais utilizados. Para estas análises as informações obtidas na pesquisa também foram utilizadas para embasamento e comparação. Os documentos técnicos pertinentes à obra, tais como projetos e sondagens, foram analisados tendo como base os requisitos evidenciados nos referenciais teóricos.

Os custos da execução das paredes, bem como da solução empregada às falhas, foram levantados através do sistema de gestão que a empresa utiliza, denominado Sienge¹.

3.6 Caracterização do objeto de estudo

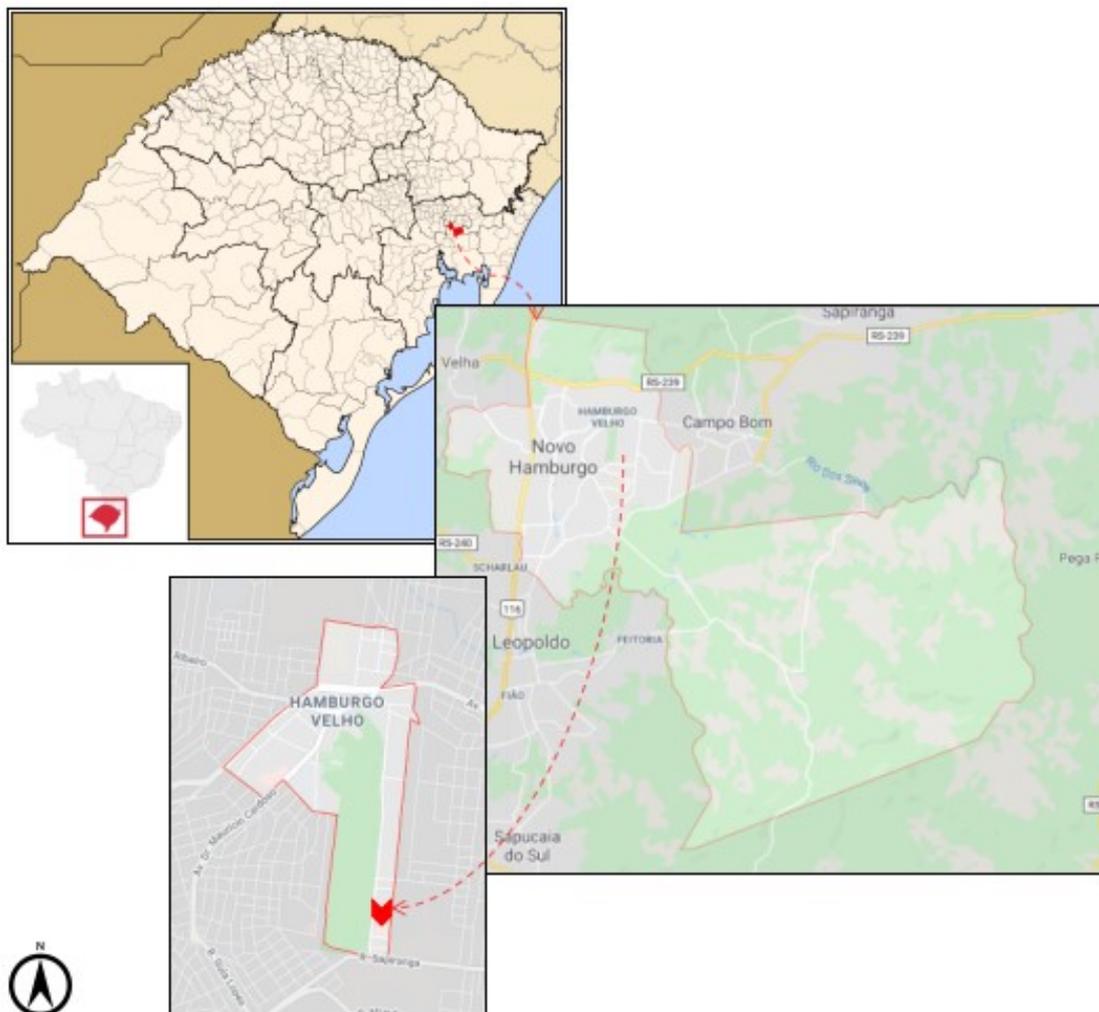
Este subcapítulo apresenta as principais características do empreendimento, cujo estudo de caso pertence. Foram priorizadas as informações que possuem relação com o tema deste trabalho. O nome do edifício, bem como os dados da incorporadora e da empresa executora das contenções foram preservados.

3.6.1 Localização

A obra está localizada no bairro Hamburgo Velho, na cidade de Novo Hamburgo, estado do Rio Grande do Sul. A Figura 10 mostra a localização aproximada do empreendimento nos mapas.

¹ Sienge é um software de gestão de informações e controles organizacionais dos dados internos de uma empresa, desenvolvido para a indústria da construção.

Figura 10 – Localização da obra



Fonte: Elaborada pela autora, com base no Google Imagens e Google Maps (MAPA NOVO HAMBURGO..., 2020a, 2020b).

3.6.2 Definições do projeto arquitetônico

O uso do edifício será exclusivamente comercial, necessitando, conforme diretrizes urbanísticas do município, a destinação de no mínimo 30 vagas de garagem para o empreendimento. Devido ao fato de a altura da edificação exceder o limite imposto pelo Plano diretor, foi necessário construir um pavimento de subsolo.

Desta forma, a estrutura da edificação constitui-se por 5 pavimentos, sendo um subsolo destinado às vagas de estacionamento; pavimento térreo que abrange lojas comerciais, uso comum e vagas de estacionamento; outros 3 pavimentos designados somente às salas comerciais.

3.6.3 Custos relativos às contenções

O empreendimento em questão foi criado sob o regime de incorporação imobiliária a preço de custo, sendo que o orçamento é corrigido pelo indexador CUB CSL 8A², durante a fase de construção. O orçamento inicial feito em setembro de 2016 previu uma verba de R\$ 551.460,00 para execução da parede diafragma, incluindo os tirantes. Para uma análise mais aproximada entre os valores orçados e o custo dos reparos, considerou-se os valores do orçamento corrigidos até junho de 2018, data aproximada da finalização da estrutura.

Desta forma, o custo orçado atualizado para junho de 2018, incluindo materiais, mão de obra e equipamentos, foi de R\$ 593.517,31. Este valor representa aproximadamente 9,45% do custo global da obra.

O terreno possui área de 1.085,09 m², sendo a área total construída de 2.990,80 m². O perímetro total do lote é de 146,14 m, destes, 120,8 m estão em divisas que necessitaram de contenção. Com base nestas informações, obtém-se a área total de parede diafragma de 943,72 m², prevista conforme projeto específico de contenções.

A Tabela 3 apresenta, simplificada, as informações relativas ao custo desta contenção.

Tabela 3 – Resumo de custos previstos no orçamento base junho 2018

Item do orçamento	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total	Proporção
Parede diafragma	943,72 m ²	R\$ 628,91	R\$ 593.517,31	9,45%

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

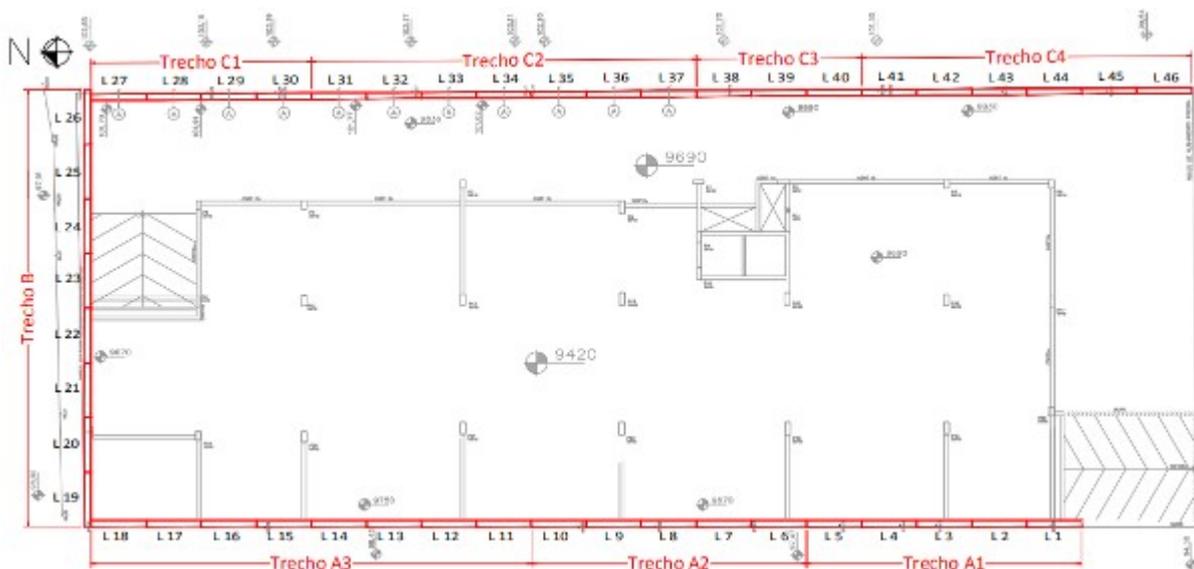
3.6.4 Características gerais do projeto de contenções

O sistema de contenção projetado para esta obra foi parede diafragma com trechos associados a diferentes tipos de escoramentos. Estes escoramentos estão divididos da seguinte forma: trechos C1 e C2 com tirantes provisórios, trechos B (parcial), C1, C2 e C3 vinculados posteriormente a supraestrutura através de pérgolas feitas especificamente para este fim e trechos A1, A2, A3 e B (parcial)

² CSL 8A é uma classificação dada através ABNT NBR 12721:2006 - Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento, para edificações comerciais com área até 5.942,94 m². A sigla CSL significa Comercial Salas e Lojas, o número 8 classifica quanto ao número limite de pavimentos tipo e a letra A indica que está sendo considerado o padrão de acabamento alto.

vinculados posteriormente a supraestrutura através das próprias lajes do pavimento. A Figura 11 apresenta a planta baixa da parede diafragma, cujos trechos citados estão destacados em vermelho.

Figura 11 – Planta baixa da parede diafragma



Fonte: Adaptada do projeto de contenções do empreendimento (2020).

A parede diafragma possui área de 943,72 m² e está dividida em 46 lamelas com largura média de 2,60 m, espessura de 30 cm e profundidade variando de 3,5 m a 10,68 m.

3.6.5 Características dos materiais utilizados na contenção

O concreto especificado para a execução da parede, de acordo com o projeto, deveria possuir as seguintes especificações técnicas:

- a) $f_{ck} \geq 30$ MPa;
- b) consumo mínimo de cimento de 400kg/m³;
- c) relação água/cimento $\leq 0,55$;
- d) slump de 22 ± 3 cm;
- e) utilizar brita 1 no traço;
- f) % de argamassa em massa de 55%;
- g) permitido o uso de aditivos plastificantes;
- h) especificar na nota fiscal a quantidade máxima de água a ser adicionada

na obra, considerando a água retida na central mais uma estimativa de água perdida por evaporação.

O concreto utilizado na obra foi usinado, sendo fornecido por uma empresa da cidade de Sapucaia do Sul - RS, distante aproximadamente 20 km da obra. Conforme o traço constante no contrato, a especificação do concreto é:

- a) $f_{ck} \geq 30$ MPa;
- b) consumo de cimento de 400kg/m^3 ;
- c) relação água/cimento de 0,60;
- d) slump de 22 ± 3 cm;
- e) utilizada brita 0 no traço.

As demais especificações apresentadas no projeto não foram identificadas na carta traço e/ou notas fiscais de remessa de material.

O aço especificado para compor a armadura foi CA 50, sendo utilizada a bitola 10 mm para montagem dos estribos e 16 mm para as barras verticais da gaiola.

O aço para as lamelas foi comprado diretamente de usina. Este foi entregue para uma empresa terceirizada fazer o corte, dobra e armação das peças. Desta forma, a obra recebeu as gaiolas já armadas, no tamanho especificado em projeto e prontas para içamento.

No projeto não havia especificações quanto ao fluido estabilizante, somente a observação a utilização deste deveria possuir controle tecnológico. Considerando a logística do canteiro, facilidade de utilização e do descarte, a construtora optou-se pela utilização de polímero como fluido estabilizante.

Para composição do fluido foram utilizados dois produtos, sendo eles:

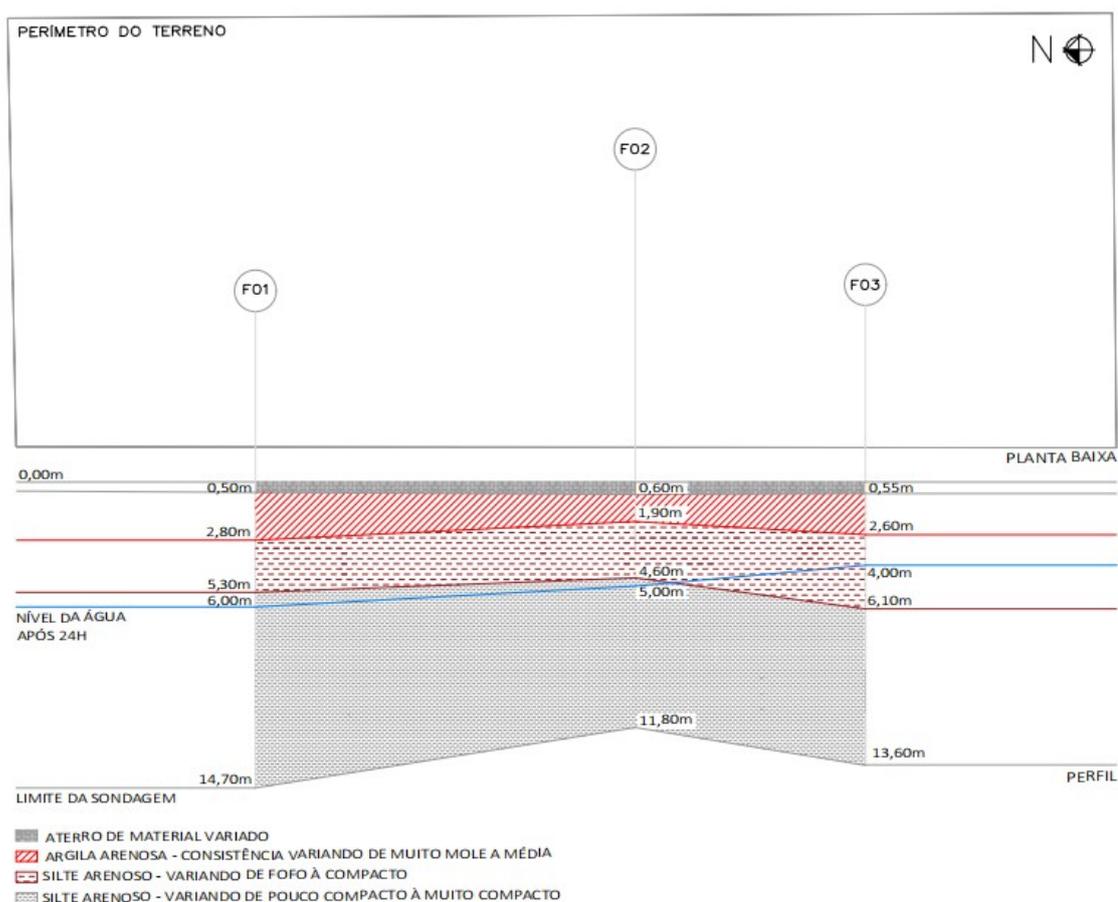
- a) corretor de pH;
- b) viscosificante granulado.

3.6.6 Sondagem do terreno

A sondagem do local foi feita por uma empresa terceirizada que é especializada neste serviço. A execução das perfurações ocorreu no dia 19/01/2017 e foi executada por meio de percussão simples com auxílio de circulação de água.

Foram realizados 3 furos no terreno, e, conforme consta na planta de locação de sondagem, a quantidade e a localização destes foram definidas pela contratante (incorporadora do empreendimento). O perfil aproximado do terreno está apresentado na Figura 12. As informações exibidas neste foram retiradas dos perfis individuais dos furos, fornecidos no relatório de sondagem que está disposto no Anexo C.

Figura 12 – Planta baixa e perfil aproximado do terreno



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

O limite da sondagem variou de 11,80 m, no furo F02, até 14,70 m, no furo F01. O nível da água foi verificado após transcorrerem 24 horas da execução da sondagem. A cota variou de 4,00 m, no furo F03, até 6,00 m, no furo F01.

O solo foi caracterizado da seguinte forma:

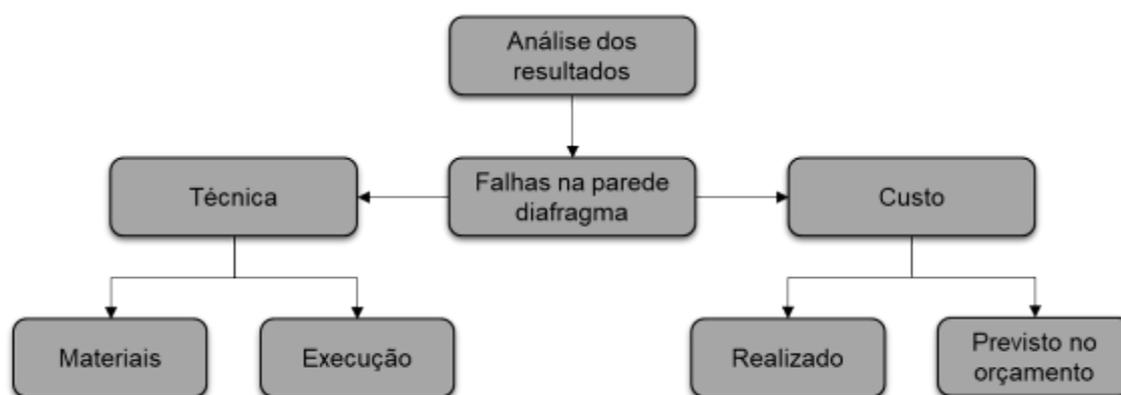
- a) camadas de argila arenosa, cuja consistência variou de muito mole a média;
- b) camadas de silte arenoso, cuja compactidade variou de fofo a muito compacto.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo expõe as irregularidades encontradas no sistema de contenção da obra em estudo, explanando as suas possíveis causas e apresentando, de forma sucinta, o custo acrescentado ao orçamento para reparação destas. As informações apresentadas na bibliografia, bem como o que foi descrito no subcapítulo 3.6, concatenam com as hipóteses das causas de tais falhas.

Para melhor compreensão da forma com que as informações estão vinculadas, criou-se um fluxograma específico para este capítulo. Este está apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma da análise dos resultados



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

4.1 Falhas observadas na parede diafragma

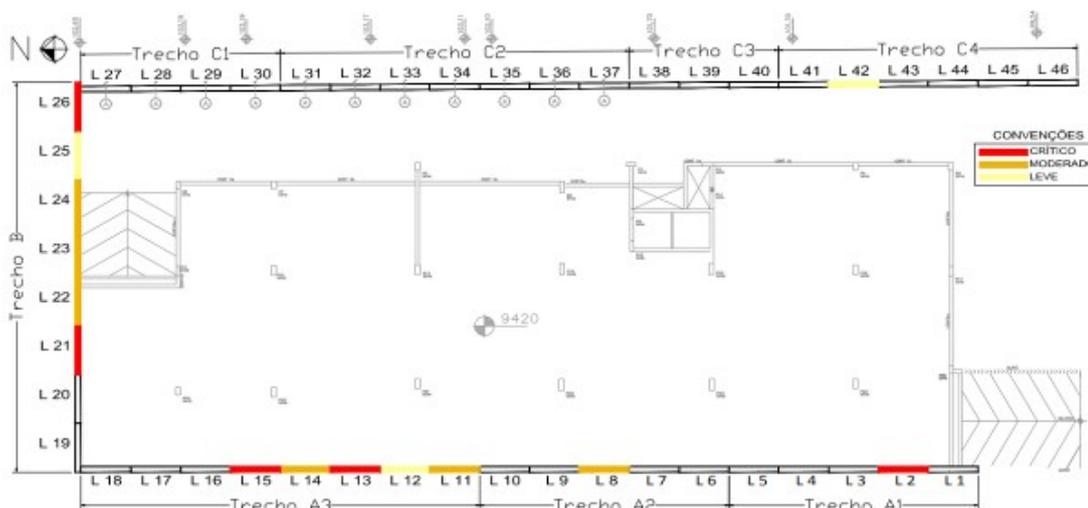
A parede diafragma da obra em questão se divide em 46 lamelas, com dimensões padrão de 2,50 m de largura por 0,30 m de espessura, excetuando-se as lamelas de fechamento, pois estas possuem dimensões distintas.

Observa-se que foram detectadas anomalias somente nas lamelas, ou seja, os tirantes não apresentaram problemas durante o período analisado. É importante ressaltar também que o prognóstico das anomalias não será evidenciado, pois o foco é entender a qual erro executivo a falha está vinculada.

As falhas estão expostas de acordo com uma escala de intensidade, onde os grandes nichos de concretagem com exposição de armadura estão evidenciados no nível crítico. A escala abrange nível crítico, moderado e leve. As falhas de nível moderado apresentam problemas de alinhamento e falhas nas juntas entre as

lamelas, já as falhas de nível leve apresentam problemas de acabamento. A Figura 14 ilustra, em planta baixa, as lamelas que apresentam deformidades, bem como o nível de intensidade das falhas.

Figura 14 – Lamelas que apresentaram deformidades



Fonte: Adaptada do projeto de contenções do empreendimento (2020).

De acordo com o exposto, aponta-se que 14 das 46 lamelas apresentaram algum tipo de anomalia, quantidade esta que representa aproximadamente 30% da parede diafragma.

Observa-se que nos trechos A1, A2, A3 e B não foi executada a mureta guia.

4.1.1 Análise das falhas críticas

Todas as lamelas com anomalias classificadas no nível crítico possuem nichos de concretagem com exposição de armadura. Na maioria destas também se identificam irregularidades nas juntas e desalinhamento em relação às adjacentes.

O Quadro 1 apresenta um resumo das estruturas enquadradas no nível crítico, na respectiva ordem a qual elas são apresentadas ao longo do texto. A sequência destas segue a numeração crescente estabelecida no projeto de contenções, não tendo relação com o grau de intensidade do problema.

Quadro 1 – Resumo das lamelas classificadas no nível crítico

Nº Lamela	Problemas identificados	Nível da falha
2	Nichos de concretagem e irregularidades nas juntas	Crítico
13	Nichos de concretagem e irregularidades nas juntas	Crítico
15	Nichos de concretagem, irregularidades nas juntas e desalinhamento	Crítico
21	Nichos de concretagem e irregularidades de junta	Crítico
26	Nichos de concretagem	Crítico

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A lamela nº 2 está ilustrada na Fotografia 1, onde destacam-se os nichos de concretagem e a respectiva a exposição da armadura. Também se verifica solo entre as juntas com os painéis contíguos, indicando que há irregularidades no concreto e possíveis fendas entre eles.

Fotografia 1 – Lamela nº 2 com nichos de concretagem e irregularidades nas juntas



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Os problemas visíveis nesta seção da parede ocorrem na cota -4,30 m em relação ao nível natural do terreno. Desta forma, pressupõe-se que havia presença de água durante a escavação e que a camada de solo correspondente, analisando o perfil aproximado do terreno, era silte arenoso.

O concreto fornecido para esta lamela possuía traço compatível com as especificações do projeto, conforme verificado na nota fiscal de remessa. Contudo,

não se pode garantir a correta dosagem de água na obra, pois não foram registrados os valores obtidos no teste de abatimento do concreto.

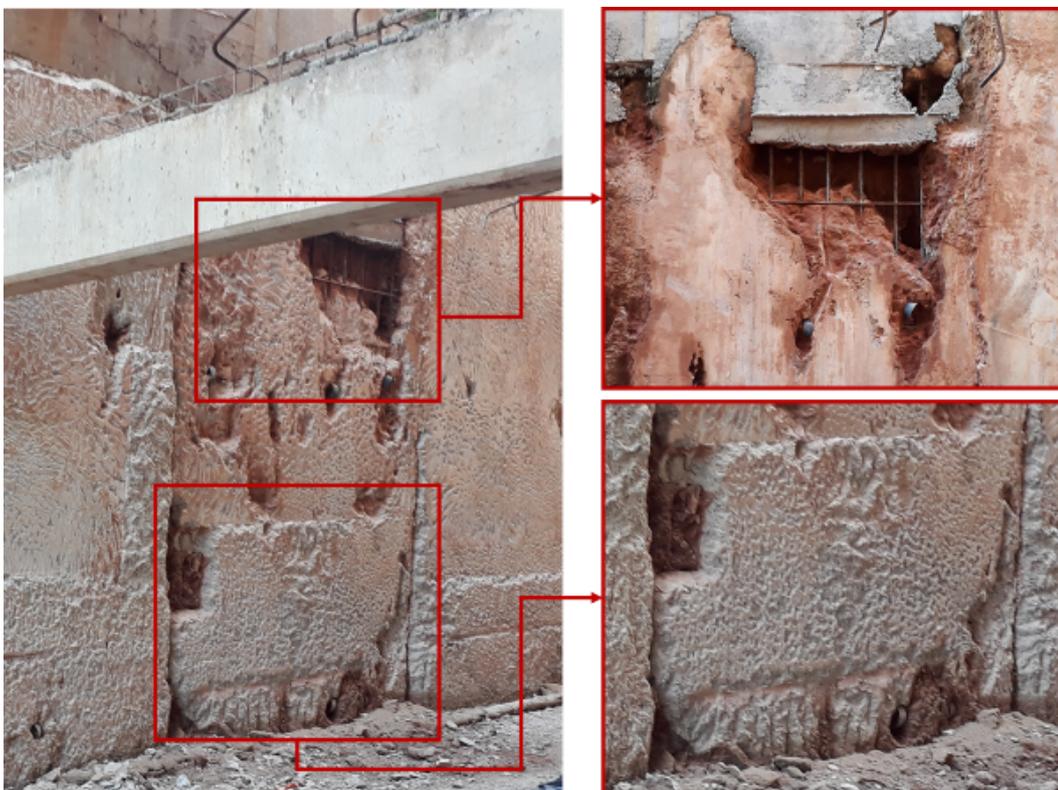
Como provável causa destes defeitos, citam-se os principais itens:

- a) ausência de limpador de juntas e limpeza do fundo;
- b) contaminação do fluido estabilizante, não verificação dos parâmetros característicos e possíveis correções antes da concretagem;
- c) retirada rápida do tubo tremonha ou não o manter submerso no mínimo 1,50 m durante a concretagem;
- d) a presença de água indica que o controle do polímero deveria ser mais rigoroso, visto que a estabilidade fica comprometida no interior da escavação.

A Fotografia 2 expõe os defeitos identificados na lamela nº 13.

Vê-se um grande nicho de concretagem com exposição da armadura no seu topo e outros vazios nas laterais e na face exposta do painel.

Fotografia 2 – Lamela nº 13 com nichos de concretagem e irregularidades nas juntas



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Analisando a posição da lamela em relação ao perfil estimado do solo, verifica-se que no nível onde vê-se as falhas, de acordo com o perfil estimado do solo, encontra-se uma camada de argila mole e silte fofo, sem a presença de água. Convém observar que um dia antes da execução desta unidade houve a troca do polímero, porque, segundo o engenheiro executor, a presença de silte havia contaminado a lama tornando-a inutilizável.

Relacionando o horário de início da concretagem com o horário de saída do caminhão betoneira da usina, calculou-se que a duração entre estas etapas foi de aproximadamente 3 horas. De acordo com Joppert Júnior (2008), este intervalo de tempo não pode superar 2,5 horas, pois este excedente pode comprometer as características do concreto, principalmente no que tange à sua trabalhabilidade.

Destacam-se as principais origens destas falhas:

- a) inexistência de mureta guia para execução, dificultando o controle do nível da lama e promovendo instabilidade no topo da escavação, ficando suscetível a desmoronamento do solo;
- b) contaminação do fluido estabilizante, não verificação dos parâmetros característicos e possíveis correções antes da concretagem;
- c) má trabalhabilidade do concreto dificultando o correto movimento de ascensão dentro da escavação;
- d) lamela concretada em duas etapas. Neste caso, pode haver o comprometimento da estabilidade da escavação, além da possibilidade de decantar partículas de solo entre as camadas de concreto, comprometendo o desempenho estrutural da peça.

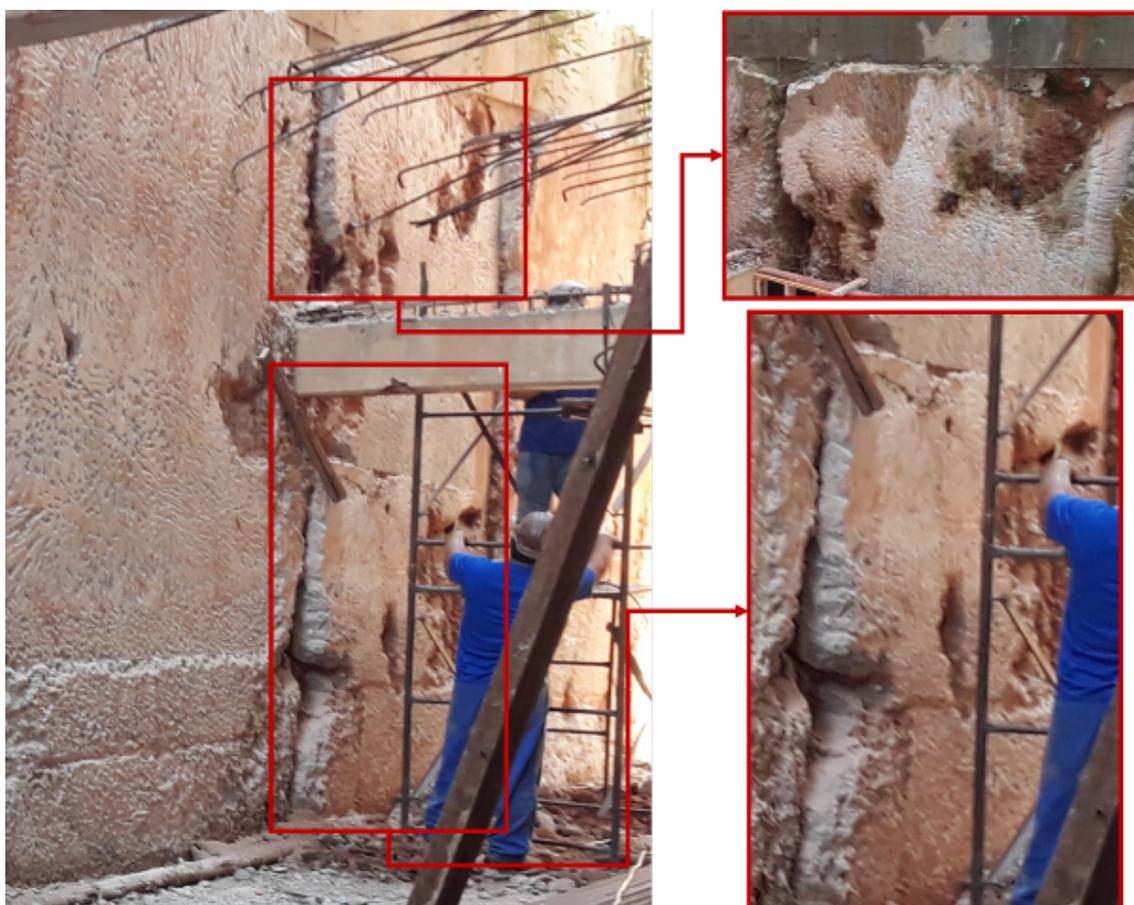
A Fotografia 3 mostra as falhas identificados na lamela nº 15.

Percebe-se a existência de vazios de concretagem em diversos pontos da parede, sendo os mais críticos na junta com a lamela nº 14 (esquerda da foto). É possível verificar ainda o desalinhamento com os painéis adjacentes e a existência de uma junta horizontal, o que evidencia a concretagem do painel em etapas distintas.

O perfil estimado do solo na altura escavada, onde aparecem as falhas, é similar ao da lamela anterior - camada de argila mole e silte arenoso fofo, sem a presença de água.

O polímero já tinha sido substituído na ocasião de escavação desta e o concreto fornecido estava de acordo com as especificações do projeto.

Fotografia 3 – Lamela nº 15 com diversas falhas de execução



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Apontam-se as principais causas destas anomalias:

- a) inexistência de mureta guia para execução, dificultando o controle do nível da lama e promovendo instabilidade na escavação. Além disso, a falta de alinhamento entre as lamelas é devida a ausência deste elemento guia no trecho;
- b) aparentemente não foi utilizado o tubo junta no encontro com a lamela nº 14 ou ele não foi limpo corretamente antes da concretagem;
- c) não verificação dos parâmetros característicos do fluido estabilizante e possíveis correções antes da concretagem;
- d) lamela concretada em duas etapas. Neste caso, pode haver o

comprometimento da estabilidade da escavação devido ao tempo de utilização da lama. Além disso, Maia et. al (1998) observam a possibilidade de decantar partículas de solo entre as camadas de concreto, formando uma borra e comprometendo o desempenho estrutural da peça.

A Fotografia 4 apresenta a lamela nº 21 com grandes nichos de concretagem, promovendo a perda de seção e descontinuidade do elemento na horizontal e consequentemente a exposição da sua armadura.

As juntas entre as lamelas contíguas apresentam vãos consideráveis, comprometendo a estabilidade da contenção.

Fotografia 4 – Lamela nº 21 com grandes nichos de concretagem e irregularidades nas juntas



Fonte: Registrada pela autora (2018).

A classificação estimada do solo no local de falha é silte arenoso, variando de fofo a medianamente compacto, sem a presença de água.

De acordo com o diário de obra, a duração da escavação desta foi superior à média das demais lamelas, totalizando 4h30min. O tempo entre o fim da escavação e início da concretagem foi de 5 minutos. Desta forma, subentende-se que o tempo de colocação da armadura está englobado na duração da escavação. Independente

disso, a análise destes horários indica que não foi esperado o tempo necessário para decantação das partículas de solo suspensas na lama polimérica.

De acordo com O'Neill (1991), a execução da concretagem antes da decantação e limpeza de fundo faz com que a lama fique mais densa e não seja arrastada pelo concreto que sobe, sendo depositada nas laterais da escavação e, assim, promovendo vazios de concretagem.

Apontam-se as principais causas destas anomalias:

- a) aparentemente não foi utilizado o tubo junta nos encontros com as lamelas nº 20 e nº 22 e/ou as juntas não foram limpas corretamente antes da concretagem;
- b) falta de limpeza do fundo e decantação das partículas suspensas na lama polimérica conforme citado anteriormente;
- c) desmoronamento para dentro da escavação, devido à falta de controle tecnológico do polímero ou concretagem incorreta, sem utilizar o tubo tremonha ou não mantendo-o submerso durante a concretagem;
- d) desmoronamento para dentro da escavação devido a ausência de chapa espelho.

A Fotografia 5 expõe grandes nichos de concretagem e exposição da armadura da lamela nº 26. É possível ver ao fundo o muro do vizinho, onde possivelmente, houve perda de lama.

Analisando o perfil estimado do terreno, a camada de solo na cota da falha era silte arenoso, variando de compacto a muito compacto e sem a presença de água.

O concreto utilizado estava de acordo com as especificações do projeto, porém, como em todas as lamelas, não foram registrados os testes de abatimento e, conseqüentemente, o volume de água adicionado à mistura.

Milititsky (2016) esclarece que, as falhas de concretagem, na sua grande maioria, estão associadas à dosagem inadequada do concreto e/ou a falta de controle de qualidade do fluido estabilizante antes da concretagem.

Fotografia 5 – Lamela nº 26 com grandes nichos de concretagem



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Desta forma, citam-se as principais causas destas anomalias:

- a) erros de concretagem relativos à utilização do tubo tremonha. Deixá-lo submerso com profundidade maior do que 2,0 m faz com que o concreto não possua força suficiente para empurrar o polímero para cima, ocasionando falhas de concretagem (ANSON, 2001). Neste caso, pode ter ocorrido também a retirada excessiva do tubo, não deixando-o submerso e, assim, favorecendo o aparecimento de nichos de concretagem;
- b) falta de limpeza do fundo e decantação das partículas suspensas na lama polimérica conforme citado anteriormente;
- c) desmoronamento para dentro da escavação, devido à falta de controle tecnológico do polímero ou concretagem incorreta, sem utilizar o tubo tremonha ou não mantendo-o submerso durante a concretagem.
- d) não utilização de chapa espelho, o que evita o desmoronamento no topo da lamela e melhora o acabamento da parede.

4.1.2 Análise das falhas moderadas

Todas as unidades com anomalias classificadas no nível moderado possuem irregularidades nas juntas. Em algumas destas também são identificados pequenos nichos de concretagem, porém sem exposição da armadura. Observa-se que também foram identificados problemas de alinhamento/verticalidade em algumas destas.

É importante ressaltar que tal classificação não diminui a gravidade dos problemas verificados. A diferença entre as anomalias apresentadas no subitem anterior está especificamente na exposição da armadura, porém, os problemas apresentados no presente subitem também são de extrema relevância para o funcionamento adequado e segurança do sistema de contenção.

O Quadro 2 apresenta um resumo das estruturas enquadradas no nível moderado, na respectiva ordem a qual elas são apresentadas ao longo do texto. A sequência destas segue a numeração crescente estabelecida no projeto de contenções, não tendo relação com o grau de intensidade do problema.

Quadro 2 – Resumo das lamelas classificadas no nível moderado

Nº Lamela	Problemas identificados	Nível da falha
8	Irregularidades nas juntas, falta de alinhamento e pequenos vazios de concretagem	Moderado
11	Irregularidades nas juntas e nicho de concretagem	Moderado
14	Irregularidades nas juntas e nicho de concretagem	Moderado
22	Irregularidades nas juntas e nicho de concretagem	Moderado
23	Irregularidades nas juntas e nicho de concretagem	Moderado
24	Irregularidades nas juntas e falta de alinhamento	Moderado

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Fotografia 6 exibe a lamela nº 8 em ângulos diferentes.

Os seus problemas consistem em irregularidades nas juntas com as lamelas nº 7 e nº 9, com evidência de solo entre elas, e na falta de alinhamento/verticalidade do painel em relação aos demais.

Convém observar que não foram encontrados registros de medição e verificação do prumo do equipamento, bem como da mureta guia para nenhuma das lamelas executadas nesta obra.

Fotografia 6 – Lamela nº 8 com irregularidades nas juntas e falta de alinhamento



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Diversos fatores podem influenciar na qualidade final das juntas e no alinhamento dos painéis, porém, citam-se os principais fatores pensados para este caso:

- a) inexistência de mureta guia para execução, comprometendo o posicionamento adequado do equipamento para escavação e assim deixando o painel fora do alinhamento;
- b) não existem registros da aferição dos equipamentos antes e durante a etapa de escavação, o que sugere que não foram feitos. Desta forma, o equipamento fora de prumo pode ter gerado a anomalia no painel;
- c) falta de limpeza nas juntas antes da concretagem permite que fique solo acumulado nas laterais, originando falhas.

A Fotografia 7 contempla as lamelas nº 11 e nº 14, respectivamente. Ambas possuem descontinuidades nas juntas e pequenos vazios de concretagem. Observa-se que elas foram executadas no mesmo dia.

Fotografia 7 – Lamelas nº 11 e nº 14 com problemas nas juntas e de concretagem



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Ao analisar o diário de obras percebeu-se que a concretagem da lamela nº 11 ocorreu no final do dia, sendo finalizada às 18 horas. Desta forma, entende-se que não foram utilizados os tubos junta e a chapa espelho, visto a equipe saiu da obra neste horário e a utilização destes elementos exige que sejam retirados logo após o início da cura do concreto (aproximadamente 3 horas).

Citam-se as principais causas sugeridas para estas estruturas:

- a) não utilização da chapa espelho e tubo junta no caso da lamela nº 11;
- b) não verificação dos parâmetros característicos do fluido estabilizante e possíveis correções antes da concretagem para ambos os casos;
- c) falta de limpeza nas juntas antes da concretagem no caso da lamela nº 14.

A Fotografia 8 contempla as lamelas nº 22, nº 23 e nº 14, respectivamente. Todas apresentam descontinuidades nas juntas. A lamela nº 24, direita da foto, apresentou também um grande desvio no alinhamento com as demais.

Fotografia 8 – Lamelas nº 22, nº 23 e nº 24 com diversas anomalias



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Bem como a lamela nº 11, verificou-se através do diário de obras que a concretagem da lamela nº 22 foi finalizada às 18 horas, inviabilizando a utilização dos tubos junta e da chapa espelho. Também foi verificado através da análise das notas fiscais de remessa de concreto que o tempo entre a saída do caminhão da usina até o início da concretagem do painel superou 2h30min, podendo comprometer as características do material.

Dentre as possíveis causas destas anomalias, citam-se as seguintes:

- a) não utilização da chapa espelho e tubo junta no caso da lamela nº 22;
- b) má trabalhabilidade do concreto devido a demora a utilizá-lo na lamela nº 22;
- c) falta de limpeza nas juntas antes da concretagem, para todos os casos;
- d) sabe-se que existia mureta guia para execução deste trecho, porém, não foi verificado o prumo e o alinhamento desta e/ou do equipamento de

escavação, comprometendo o posicionamento adequado do painel.

4.1.3 Análise das falhas leves

As unidades classificadas no nível leve possuem irregularidades no acabamento, apresentando protuberâncias na sua face. Algumas destas apresentam outras anomalias, em pequena escala.

Observa-se que as protuberâncias no concreto não representam risco, na sua grande maioria, porém, as outras falhas identificadas, mesmo que pequenas, necessitam de correções para garantia e segurança do sistema de contenção.

O Quadro 3 mostra o resumo das estruturas classificadas neste nível.

Quadro 3 – Resumo das lamelas classificadas no nível leve

Nº Lamela	Problemas identificados	Nível da falha
12	Diversos	Leve
25	Irregularidades no acabamento	Leve
42	Irregularidades no acabamento	Leve

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Fotografia 9 apresenta as lamelas nº 12, nº 25 e nº 45, respectivamente.

Fotografia 9 – Lamelas nº 12, nº 25 e nº 42 com problemas de acabamento



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Convém observar que, no caso da lamela nº 12, a fotografia foi capturada após o início do reparo no concreto, por isso não é possível identificar tais

protuberâncias. Ainda sobre este painel, verifica-se neste outras anomalias como pequenos vazios de concretagem.

Nas lamelas nº 25 e nº 45 convém observar que há infiltração nas juntas, o que indica pequenas falhas de concretagem na conexão destas com as demais e a presença de solo nas juntas.

Citam-se as principais causas das anomalias apresentadas:

- a) não utilização a chapa espelho;
- b) falta de limpeza nas juntas antes da concretagem, para todos os casos.

4.2 Síntese das causas indicadas

As anomalias identificadas no estudo de caso se repetem ao longo dos painéis analisados, e, desta forma, a maioria das causas destas falhas também foram recorrentes durante a análise.

O Gráfico 1 mostra a incidência das principais causas sugeridas durante a análise.

Gráfico 1 – Incidência das causas sugeridas



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A falta de limpeza nas juntas, juntamente com a não utilização do tubo junta e chapa espelho são as causas mais incidentes na análise. Observa-se que este tipo de problema é facilmente resolvido com o acompanhamento do serviço, seguindo o passo a passo do procedimento. Estima-se que este foi o fator determinante para o não sucesso da execução, tendo em vista que o responsável pela execução não

permanecia no canteiro de obras durante 100% do tempo e a equipe executora não tinha uma instrução de serviço detalhada para seguir.

A falta de controle do fluido estabilizante e problemas com a concretagem aparecem também como principais causas. Estas são causas comuns em obras com falhas de concretagem em paredes diafragma, conforme exposto por Milititsky (2016). A estes fatores também se atribui a necessidade do acompanhamento contínuo dos serviços pelo responsável técnico e, principalmente, pelo controle adequado dos materiais e procedimento de concretagem.

A ausência da mureta guia não foi citada em todas as lamelas analisadas, porém, sabe-se que a sua ausência impacta nas etapas de escavação e de concretagem, pois esta controla a subida do fluido estabilizante e serve como contenção do solo na parte superior da escavação, evitando desmoronamentos. Desta forma, deve ser considerada como fator relevante para as falhas de um modo geral.

Convém observar que, conforme exposto no subitem 4.1, nos trechos A1, A2, A3 e B não foi executada a mureta guia. Em consulta ao engenheiro responsável pela execução, foi justificado que devido ao solo apresentar instabilidade nestes trechos ficou inviável a execução da mureta. Desta forma, apenas os trechos C1, C2, C3 e C4 contemplavam mureta guia para escavação e concretagem das lamelas.

É importante ressaltar que nos casos em que a vala apresenta instabilidade para montagem das muretas guias, deve-se prever um reforço de solo apropriado para evitar tais desmoronamentos. De qualquer forma, não se pode descartar a utilização deste elemento, principalmente quando o solo apresenta tais condições.

Em relação ao desempenho e trabalhabilidade do concreto, sabe-se que as notas fiscais de remessa estavam de acordo com o estabelecido em projeto, porém, não foram encontrados registros referentes ao controle de recebimento, o que indica que este pode ter sido um problema mais recorrente.

Quanto a verificação dos equipamentos, também não foram encontrados registros da aferição destes. De qualquer forma, é necessário que o responsável faça estas verificações e anote em planilha de controle, para garantir a qualidade das estruturas.

4.3 Reparos das falhas

A escolha e execução dos reparos aplicados na parede diafragma ocorreu após consulta ao projetista, fornecedores e técnicos experientes no assunto. As opções e métodos aplicáveis não foram aprofundados no trabalho, apenas foram citadas, resumidamente, as soluções empregadas nesta obra e os respectivos custos para execução destas.

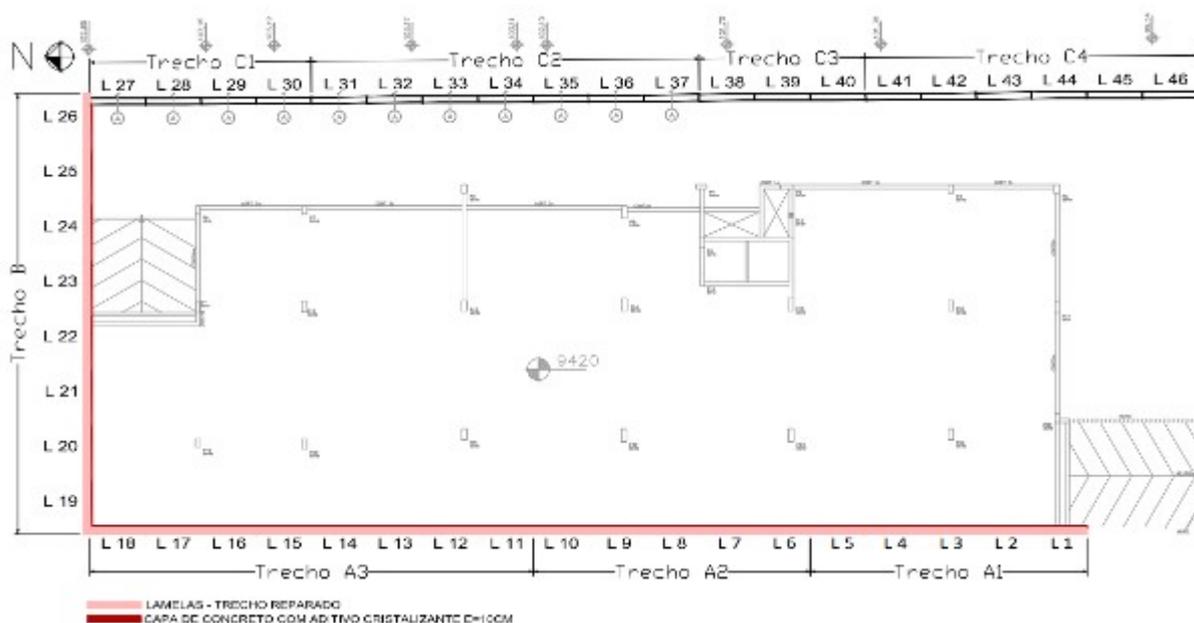
A solução adotada para o reparo das falhas nesta obra consistiu em um capeamento da parede diafragma, em determinados trechos, utilizando concreto com aditivo cristalizante e reforço em tela eletrosoldada em aço.

Utilizou-se também fita hidroexpansiva no encontro entre o capeamento e o piso do subsolo, a fim de garantir a estanqueidade da base exposta da parede.

A espessura média do capeamento da contenção foi de 10 cm e a altura variou conforme o nível de escavação das lamelas, sendo a viga de coroamento o limite superior deste revestimento.

As Figura 15 e Figura 16 apresentam, respectivamente, o trecho da contenção que recebeu este capeamento e o corte esquemático do sistema utilizado.

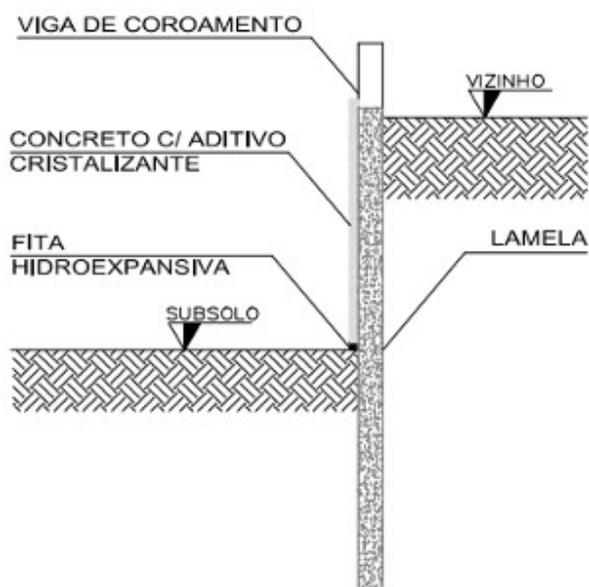
Figura 15 – Trecho da contenção reparado



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Os trechos demarcados na Figura 15 correspondem ao perímetro onde foram identificados o maior número de anomalias, conforme apresentado no início do capítulo 4. Apesar de algumas das lamelas incluídas nestes trechos não apresentarem problemas, o capeamento foi feito em toda a sua extensão devido a continuidade do acabamento da parede.

Figura 16 – Corte esquemático do sistema utilizado



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

A composição do custo de execução dos reparos foi feita com base no somatório de notas fiscais relativas a compra de materiais, a locação de equipamentos e a contratação de mão de obra para realização dos serviços.

Após levantamento do custo por item, conforme exposto na .

Tabela 4, verificou-se que o custo total dos reparos foi de R\$ 48.622,00, sendo proporcional a 8,2% do valor global (corrigido) da parede diafragma.

Tabela 4 – Custos relativos aos reparos da parede diafragma

Item	Valor	Proporção
Concreto cristalizante	R\$ 22.583,00	3,8%
Impermeabilizações extras	R\$ 5.555,00	0,9%
Formas/escoramentos	R\$ 10.037,00	1,7%
Aço	R\$ 3.122,00	0,5%
Equipamentos	R\$ 870,00	0,1%
Mão de obra	R\$ 6.455,00	1,1%
Total	R\$ 48.622,00	8,2%

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

4.4 Impacto das falhas na concepção e finalização do empreendimento

Dentre os principais problemas gerados pela ocorrência de falhas na parede diafragma do empreendimento em estudo, pode-se citar o custo dos reparos, o atraso no cronograma de obra, cuja entrega final não foi prejudicada, mas acarretou em transtornos e atraso de outros serviços, e na perda de área interna devido ao recapeamento da estrutura de contenção.

Conforme apresentado no item 3.6.3, o regime de incorporação desta obra é a preço de custo, desta forma, todo valor excedente ao planejado, requer reunião dos sócios para prestação de contas e divisão dos custos.

O custo extra correspondente a 8,2% do valor orçado para a parede diafragma é expressivamente alto e não pode ser fundamentado na ideia de que o orçamento inicial estava incoerente, portanto, este problema além de ser financeiramente negativo, também pode ferir a credibilidade do administrador da obra.

De acordo com as informações fornecidas pela construtora, o tempo de execução dos reparos foi de aproximadamente 60 dias. Este serviço impactou no cronograma de execução da supraestrutura - lajes do pavimento térreo que eram vinculadas à parede diafragma nos trechos que apresentaram problemas.

Tal atraso não foi tão severo neste caso específico, pois estas lajes faziam parte do perímetro externo da torre, não impactando no desenvolvimento dela. Contudo, o atraso destas estruturas exigiu adequações no planejamento da obra e prejudicou o que fora planejado para outros serviços.

Em relação a arquitetura, houve a perda de aproximadamente 6 m² no pavimento subsolo devido ao recapeamento feito na contenção. Esta área ficou distribuída ao longo dos boxes de estacionamento e circulação de veículos, diminuindo a área útil destes ambientes.

Observa-se que a perda foi linearmente distribuída nestes ambientes e estes, por sua vez, possuíam dimensões majoradas. Deste modo, ainda foi possível garantir a funcionalidade do projeto sem maiores danos aos usuários da edificação.

5 PROPOSTA DE INSTRUÇÃO DE SERVIÇO PARA APERFEIÇOAMENTO DA EXECUÇÃO

O estudo de caso apresentado comprova a necessidade de cuidados especiais em relação ao processo executivo de parede diafragma, principalmente, no que concerne aos materiais aplicados, equipamentos utilizados e às etapas de execução.

Verificou-se, ao longo do estudo de caso, que a construtora em questão não possui documento técnico específico para acompanhamento deste tipo de serviço, por se tratar de um procedimento eventual e específico para uma parcela das obras. Dada a importância de se ter um guia orientativo para execução de serviços técnicos, auxiliando na coordenação, verificação e avaliação do processo executivo, o Quadro 4 apresenta uma proposta de Instrução de Serviço baseada nas bibliografias consultadas para este trabalho.

Para auxiliar no processo de verificação e acompanhamento, foi elaborado um modelo de Ficha de Acompanhamento do Serviço, constante no Anexo A deste trabalho. Esta ficha foi criada para fins de registro das informações importantes relativas à execução, tais como: dados do painel executado, qualidade dos materiais, aferição de equipamentos, rastreabilidade do concreto, entre outros.

Quadro 4 – Proposta de Instrução de Serviço para execução de parede diafragma

(continua)

<i>Logo da Empresa</i>	IS-035 Execução de parede diafragma	Revisão R00
Emitente:		Aprovador:
REFERÊNCIAS TÉCNICAS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ABNT NBR 6122:2019 – Projeto e Execução de Fundações; ▪ ABEF - Manual de Execução de Fundações e Geotecnia - Práticas Recomendadas - 2012. 	
DOCUMENTOS NECESSÁRIOS PARA EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relatório de sondagem do terreno; ▪ Planta com os níveis topográficos (compatíveis com o projeto de contenção); ▪ Projeto completo da contenção contendo: normas técnicas e documentos de referência, detalhamento da mureta guia, dimensões dos painéis, cotas de apoio e de arrasamento, detalhamento dos escoramentos (quando aplicável), sequência executiva, detalhamento da armadura, requisitos e características do concreto e do fluido estabilizante, quantitativo estimado de material, entre outras observações pertinentes à execução; ▪ Ficha de acompanhamento do serviço, conforme modelo disposto no Anexo A. 	

(continua)

EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS	Mureta guia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Linha de nylon, trena, prumo de face e de centro, mangueira de nível, esquadro, martelo e equipamentos de corte.
	Escavação das lamelas e preparo para concretagem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Guindaste e Clamshell; ▪ Central de lama; ▪ Bomba de recalque de lama; ▪ Conjunto de tubos junta e chapa espelho; ▪ Limpador de junta; ▪ Laboratório de campo para verificação do polímero (balança de densidade, funil Marsh, indicador de pH e bureta graduada); ▪ Trena com peso na ponta e prumo de face.
	Concretagem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laboratório de campo para verificação do concreto (formas para montagem de corpo-de prova e conjunto para slump test); ▪ Bomba para concreto; ▪ Funil e tubo tremonha.
ITENS DE SEGURANÇA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacete; ▪ Bota de borracha ou couro; ▪ Luvas de raspa e de borracha; ▪ Óculos de segurança; ▪ Protetor auricular; ▪ Cinto de segurança e capa de chuva, quando necessário. 	
SERVIÇOS ANTERIORES	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificação dos vizinhos: cotas, estabilidade das construções, edificações na divisa, laudo fotográfico; ▪ Contratação de seguro de obra; ▪ Autorização formalizada do vizinho no caso de uso de tirantes; ▪ Verificar condições do terreno necessidade de terraplenagem preliminar para acesso dos equipamentos; ▪ Verificar infraestrutura necessária para execução do serviço: energia elétrica, abastecimento de água potável, entre outros; ▪ Locação da obra dentro do terreno. 	
SEQUÊNCIA DE TAREFAS	Serviços iniciais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Locação das lamelas; ▪ Escavação cuidadosa da vala para execução da mureta guia – evitar necessidade de reaterro porém, quando existir, deve ser feito com solo/cimento (10% de cimento); ▪ Montagem da forma (face interna) da mureta guia, com os devidos estroncamentos para evitar deformações; ▪ Concretagem da mureta guia, lançando o concreto contra o terreno; ▪ Verificação da posição da mureta guia antes de iniciar a etapa de escavação.
	Escavação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Montagem do Clamshell no guindaste e verificação do prumo/nivelamento do equipamento – registrar na ficha de acompanhamento do serviço; <p><i>Como verificar: colocar o fio de prumo no ponto mais alto do equipamento e verificar se ele passa no centro da mandíbula do Clamshell. Confirmar se as conchas se fecham de forma alinhada neste processo.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Preparo e verificação das características da lama polimérica;

(conclusão)

SEQUÊNCIA DE TAREFAS	Escavação	<p>?Iniciar a escavação da parede e inserir a lama polimérica na vala simultaneamente. Garantir que o fluido fique, no mínimo, 1,5 metros acima do nível do lençol freático e não transborde da mureta guia;</p> <p>?Ao término da escavação, verificar a profundidade da lamela com o auxílio da trena com peso na ponta;</p> <p>?Realizar a limpeza do fundo da vala após a decantação das partículas de solo existentes no fluido estabilizante. Se necessário, deve-se recircular/trocar a lama polimérica para que a parte mais densa não fique depositada no fundo.</p>
	Colocação dos elementos metálicos	<p>?Preparar a armadura para que possa ser içada com o guindaste. Prever o espaço necessário para inserção do tubo tremonha;</p> <p>?Limpar as juntas dos painéis já concretados, quando se tratar de lamela secundária;</p> <p>?Colocar a armadura com o auxílio do guindaste, inserindo-a cuidadosamente na área escavada e verificando o seu topo, de forma que ele esteja sempre na horizontal (alinhado). Inserir os espaçadores à medida em que a armadura desce. Para painéis muito profundos a união das barras deve seguir o indicado em projeto específico. Garantir a distância de 30 cm entre o fundo da escavação e a extremidade da armadura;</p> <p>?Colocar os tubos junta e chapa espelho (untadas com desmoldante ou graxa), verificando o seu alinhamento continuamente;</p> <p>?Fixar a armadura na mureta guia, afim de evitar deslocamentos durante a etapa de concretagem;</p> <p>?Inserir o tubo tremonha de modo que fique distante, aproximadamente, 15cm do fundo da vala. Utilizar uma bola de borracha dentro do tubo, para impedir a mistura de lama com concreto.</p>
	Concretagem	<p>?Verificação das características da lama polimérica. Verificar viscosidade, densidade, pH e teor de areia;</p> <p>?Efetuar a verificação e recebimento do concreto, conforme características indicadas em projeto. Moldagem de um corpo-de-prova e slump test para cada caminhão. Registrar na ficha de acompanhamento do serviço;</p> <p>?Lançar o concreto dentro da lamela através do tubo tremonha. A concretagem deve ser contínua e, em casos excepcionais onde isso não for possível, não se deve interromper a concretagem por mais de 1 hora. Observação: deve-se levantar o tubo tremonha de acordo com a subida do concreto, de forma que o tubo fique submerso no mínimo 1,5 m e no máximo 2,0 metros;</p> <p>?Bombear a lama polimérica simultaneamente a concretagem;</p> <p>?Verificar o nível do concreto dentro do painel e se ocorre o abatimento do mesmo, utilizando como referência os tubos juntas;</p> <p>?Retirar os tubos junta e a chapa espelho após início da pega do concreto (de 2,5 a 3,0 horas).</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de contenções do tipo parede diafragma é uma solução empregada em grande escala para construção de subsolos nos centros urbanos. O procedimento executivo requer que a equipe envolvida seja especializada e que os materiais sigam o que foi especificando em projeto, pois se trata de um elemento estrutural que garante a segurança da obra e da sua vizinhança.

Por se tratar de um tipo de contenção utilizado há mais de três décadas é possível encontrar inúmeras bibliografias e estudos que abordam esta temática, contudo, a integralização de informações e a concepção de um guia orientativo que aborda os detalhes e cuidados necessários a fim de evitar problemas executivos não é evidenciado constantemente nas pesquisas, apesar de sua extrema importância para o êxito da construção.

Para o desenvolvimento deste trabalho o sistema construtivo foi fundamentado, abordando todos os elementos constituintes do sistema, inclusive os que não tinham apresentado problemas, como no caso dos tirantes provisórios, mas foi dado destaque principal para o método executivo visto que este era o tema central do trabalho. Ao analisar as falhas aparentes da parede diafragma do estudo de caso, foi possível correlacionar estas com as bibliografias que tratavam do método executivo e dos materiais utilizados, analisando os detalhes que impactam no resultado final da contenção e, assim, atingindo o objetivo principal deste trabalho, que era identificar as falhas e evidenciar as melhorias necessárias para o processo.

O constante acompanhamento dos serviços e a realização das verificações necessárias são a base para seguir o procedimento correto de execução. Pode-se citar a contratação de equipe especializada, contando com equipamentos adequados e em perfeito funcionamento, como um dos aspectos imprescindíveis para o sucesso dos serviços. É de extrema importância que todos os envolvidos tenham experiência e qualificação para execução do sistema.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar que as principais causas das anomalias em parede diafragma correspondem a falta de limpeza das juntas e do fundo da escavação, má utilização do fluido estabilizante, principalmente no que diz respeito ao controle tecnológico deste durante a obra, incorreta utilização dos equipamentos durante a concretagem e interrupções no processo, ausência de

mureta guia, má trabalhabilidade do concreto no momento de utilização e falta de verificação da condição dos equipamentos de escavação. Estas foram as principais causas observadas neste estudo de caso, porém, convém observar que foram levantadas hipóteses e que podem ter ocorridos outras, além destas.

A Instrução de Serviço apresentada no capítulo 5 tem como objetivo principal descrever detalhadamente os processos necessários e a ordem em que eles devem ocorrer, visando evitar os problemas apresentados anteriormente.

A apresentação das falhas da parede diafragma relativa a este estudo de caso reforça a importância da execução correta a fim de garantir a integridade das estruturas e para eliminar os impactos ocasionados pelos reparos destas, pois estes podem ser muito onerosos e desfavoráveis para o projeto, prejudicando tanto a construtora quanto o usuário final da edificação.

Conforme apresentado neste trabalho, o custo para os reparos das anomalias foi significativo em relação ao custo total da contenção, cerca de 8,2%, prejudicando o planejamento financeiro dos investidores do empreendimento e afetando a credibilidade da empresa executora. O cronograma de obra também sofreu interferências, visto que ocorreu o atraso de aproximadamente 60 dias para a execução da supraestrutura ligada à parede diafragma.

Quanto ao projeto arquitetônico, verificou-se que foram perdidos em torno de 6m² de área útil no pavimento, o que pode afetar o conforto do usuário e a funcionalidade do projeto.

Convém observar que as falhas encontradas foram analisadas pelo projetista responsável e por outros técnicos especializados no assunto, a fim de estabelecer a melhor terapia para o caso. Ressalta-se a extrema importância de que quaisquer anomalias identificadas neste sistema de contenção sejam imediatamente informadas ao projetista, com o propósito de prover a solução adequada com celeridade, garantindo a segurança da estrutura e conseqüentemente das áreas adjacentes.

Por fim, conclui-se que o presente trabalho atingiu os objetivos estabelecidos, demonstrando a importância de cuidados específicos quando da execução de parede diafragma.

Considerando os tópicos que são pertinentes ao tema, dá-se sugestões para trabalhos futuros:

- a) considerando a importância do entendimento das conseqüências que as

falhas apresentadas podem ocasionar, sugere-se um estudo aprofundado do prognóstico de tais problemas;

- b) as formas de tratamento das falhas, principalmente no que diz respeito ao uso de aditivos cristalizantes e seu funcionamento também é um tópico interessante que pode ser abordado;
- c) este trabalho apresentou as falhas ficaram visíveis na parede diafragma após a sua escavação. É possível prever que outras falhas semelhantes ocorrem no trecho que não é escavado. Desta forma, sugere-se um estudo sobre métodos de análise e identificação de falhas ocorridas em toda extensão de parede diafragma;
- d) a análise da investigação geotécnica do terreno também pode ser abordada, a fim de entender se o que foi realizado nesta obra foi o suficiente para a concepção do projeto e da execução.

REFERÊNCIAS

ANSON. **Paredes diafragma e estacas escavadas**. São Paulo: Anson, 2001. Catálogo em PDF enviado via e-mail.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA (ABEF). **Manual de execução de fundações e geotecnia**: práticas recomendadas. 1. ed. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12721**: avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5629**: tirantes ancorados no terreno: projeto e execução. Rio de Janeiro: ANBT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6122**: projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6122**: projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BRITO, J.; FRANÇA, P. **Paredes moldadas e barretas**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 1999. *E-book*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286778824_Paredes_Moldadas_e_Barretas. Acesso em: 18 set. 2019.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – mecânica das rochas – fundações – obras de Terra**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: complementos de geotécnica, fundações e infra-estrutura. 1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

CARDOSO, F. F. **Sistemas de contenção**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto4/Muros%20Arrimo/Sistemas_contencao.pdf. Acesso em: 20 set. 2019.

COSTA, P. A. V. D. B. **Soluções de escavação e contenção periférica com preservação de fachadas centenárias**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2015. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126295043833937/Tese%20Rua%20Rosa%20Araujo%20Paulo%20Costa.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

COUTO, P. M. F. **Estudo de soluções de contenção periférica em função das condicionantes de execução**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia De Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3382/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 28 set. 2019.

EUROPEAN FEDERATION OF FOUNDATION CONTRACTORS; DEEP FOUNDATION INSTITUTE. **Guide to tremie concrete for deep foundations**. [S. l.]: Concrete Task Group, 2018. (Pub. CPF-2015-DRSH-1). Disponível em: <http://www.dfi.org/viewpub.asp?tid=TM-PLATFORMS>. Acesso em: 20 jul. 2020.

GUIMARÃES, K. P. **Cortinas atirantadas**: estudo de patologias e suas causas. 2015. Trabalho de Diplomação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/138336/000989344.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 ago. 2019

HASHIZUME, S. H. **Caracterização técnica e indicadores de custos de sistemas de contenção no solo na construção de edifícios**. 2006. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Área de concentração: Tecnologia em Construção de Edifícios, São Paulo, 2006. Disponível em: http://cassiopea.ipt.br/teses/2006_HAB_Sandra_Haruna.pdf. Acesso em: 16 out. 2019.

JOPPERT JÚNIOR, I. O. **Fundações e contenções de edifícios**: qualidade total na gestão do projeto e execução. **1. ed.** São Paulo: PINI, 2008.

LAFRAIA, E. F.; AMORIM, E. S.; KOCHEN, R. **Parecer técnico de tirantes em áreas urbanas**. São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot128.pdf>. Acesso em: 25 set. 2019.

MAIA, C. M. M. *et al.* Execução de fundações profundas. *In*: HACHICH, W. *et al.* (ed.). **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 329-408.

MAPA NOVO HAMBURGO. *In*: GOOGLE imagens. Mountain View: Google, 2020a. Disponível em:
https://www.google.com/search?q=mapa+novo+hamburgo+&tbm=isch&ved=2ahUK EwiwvfP5rq3sAhXhDbkGHTHhDB4Q2-cCegQIABAA&oq=mapa+novo+hamburgo+&gs_lcp=CgNpbWcQAziCCAAyBggAEA cQHjIGCAAQBxAeMgQIABAEYIABAIEB4yBggAEAcQHjIECAAQGDIECAAQGD oECCMQJzoICAAQCBAHEB5QgjNY8kNg209oAHAAeACAAYICiAGoBJIBBTauMi4x mAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=aWmDX_DkOeGb5OUP scKz8AE&bih=576&biw=1366. Acesso em: 19 mar. 2020.

MAPA NOVO HAMBURGO. *In*: GOOGLE Maps. Mountain View: Google, 2020b. Disponível em:
https://www.google.com/search?q=mapa+novo+hamburgo+&tbm=isch&ved=2ahUK EwiwvfP5rq3sAhXhDbkGHTHhDB4Q2-cCegQIABAA&oq=mapa+novo+hamburgo+&gs_lcp=CgNpbWcQAziCCAAyBggAEA cQHjIGCAAQBxAeMgQIABAEYIABAIEB4yBggAEAcQHjIECAAQGDIECAAQGD oECCMQJzoICAAQCBAHEB5QgjNY8kNg209oAHAAeACAAYICiAGoBJIBBTauMi4x mAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=aWmDX_DkOeGb5OUP scKz8AE&bih=576&biw=1366. Acesso em: 19 mar. 2020.

MARTINS, J. M. P. **Técnicas de execução e dimensionamento de paredes moldadas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade da Madeira, Funchal, 2012. Disponível em:
<https://digituma.uma.pt/bitstream/10400.13/1543/1/MestradoMiguelMartinsI.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

MARZIONNA, J. D. *et. al.* Análise, projeto e execução de escavações e contenções. *In*: HACHICH, W. *et. al.* (ed.). **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 517-536.

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

O'NEILL, M. W. **Construction practices and defects in drilled shafts**. Transportation Research Record 1331. Washington: Transportation Research Board, 1991. Disponível em: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1331/1331-002.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

PORTO ALEGRE. **Lei complementar nº 284, de 27 de outubro de 1992**. Institui o código de edificações de Porto Alegre e dá outras providências. Porto Alegre: Prefeitura Municipal, 1992. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/porto-alegre/lei-complementar/1992/28/284/lei-complementar-n-284-1992-institui-o-codigo-de-edificacoes-de-porto-alegre-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 25 set. 2019.

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

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento portland**. Porto Alegre: ediPUCRS, 2017.

RODRIGUES, S. C. B. B. **Sistemas modulares de escoramento para estruturas de contenção enterradas**. 2015. Relatório de estágio (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Ramo Estruturas, Porto, 2015. Disponível em:
https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/8108/1/DM_SaraRodrigues_2015_MEC.pdf.
Acesso em: 28 set. 2019.

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

TRINDADE, E. M. A. **Uso de Polímero como Substituto da Bentonite na Estabilização de Escavações em Solos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) – Universidade de Évora, Évora, 2010. Disponível em:
<http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/21033/1/E%c3%b3nio%20Manuel%20Apolin%c3%a1rio%20Trindade%20-%20Tese%20de%20Mestrado%20-%20186%20516.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

YASSUDA, C. T.; DIAS, P. H. V. Tirantes. *In*: HACHICH, W. *et al.* (ed.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 603-639.

(conclusão)

Data	Lamela	Espessura [m]	Largura [m]	Escavação					Tempo entre início da concr. e fim da escavação	Concretagem							Traço conforme NF remessa								
				Início Escavação	Fim Escavação	Profundidade	Volume escavado	Duração da escavação		Início da Concretagem	Fim da Concretagem	Duração de concretagem	Volume previsto	NF Remessa	Horário de saída da Usina	Tempo entre saída da usina e início da concr.	Volume caminhão	água L	Areia F	Areia M	Brita 0	cimento kg	A/C	Aditivo	Outros
12/01/2018	L10	0,30	2,50	08:00	10:27	6,90	5,18	02:27	00:33	11:00	11:25	00:25	5,18	21559	09:06	01:54	6,00	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
12/01/2018	L8	0,30	2,50	13:00	15:00	6,00	4,50	02:00	00:15	15:15	15:40	00:25	4,50	21564	13:24	01:51	5,50	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
16/01/2018	L6	0,30	2,50	08:40	10:30	6,50	4,88	01:50	04:20	14:50	15:20	00:30	4,88	21585	13:29	01:21	5,50	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
16/01/2018	L9	0,30	2,70	10:35	14:10	6,50	5,27	03:35	01:50	16:00	16:40	00:40	5,27	21584	13:01	02:59	6,00	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
19/01/2018	L7	0,30	2,70	07:30	10:00	6,00	4,86	02:30	00:35	10:35	11:15	00:40	4,86	21630	09:28	01:07	5,50	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
19/01/2018	L5	0,30	2,50	11:35	15:00	6,00	4,50	03:25	00:40	15:40	16:40	01:00	4,50	25030	12:56	02:44	6,00	220	259	605	895	300	0,73	1,6	100
22/01/2018	L4	0,30	2,50	07:30	14:00	6,00	4,50	06:30	00:40	14:40	15:20	00:40	4,50	21641	13:20	01:20	6,00	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
23/01/2018	L3	0,30	2,50	10:30	13:40	6,00	4,50	03:10	00:05	13:45	14:15	00:30	4,50	21652	12:33	01:12	6,00	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
24/01/2018	L45	0,30	2,50	10:10	13:45	7,70	5,78	03:35	01:50	15:35	16:15	00:40	5,78	21665	14:36	00:59	7,50	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
25/01/2018	L46	0,30	2,50	07:30	10:30	7,60	5,70	03:00	01:30	12:00	13:00	01:00	5,70	25195	10:35	01:25	7,50	220	259	605	895	300	0,73	1,6	100
26/01/2018	L12	0,30	2,80	09:20	10:00	7,00	5,88	00:40	02:30	12:30	13:20	00:50	5,88	21684	11:42	00:48	8,00	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
30/01/2018	L19	0,30	2,50	13:30	15:40	6,50	4,88	02:10	00:20	16:00	16:40	00:40	4,88	21704	12:33	03:27	5,00	240	248	570	918	400	0,60	1,2	
									00:00					21707	14:11		5,50	240	248	570	918	400	0,60	1,2	
31/01/2018	L20	0,30	2,50	07:30	10:00	6,60	4,95	02:30	03:15	13:15	14:10	00:55	4,95	21715	12:12	01:03	8,00	240	248	570	918	400	0,60	1,2	
31/01/2018	L22	0,30	2,50	14:20	17:20	6,60	4,95	03:00	00:20	17:40	18:00	00:20	4,95	21718	15:09	02:31	5,50	240	248	570	918	400	0,60	1,2	
02/02/2018	L21	0,30	2,60	07:30	12:00	6,70	5,23	04:30	00:05	12:05	12:45	00:40	5,23	21731	10:19	01:46	8,00	240	248	570	918	400	0,60	1,2	
02/02/2018	L2	0,30	2,50	13:30	16:20	6,20	4,65	02:50	00:10	16:30	17:00	00:30	4,65	21733	14:34	01:56	6,50	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
05/02/2018	L23	0,30	2,50	07:35	10:30	6,70	5,03	02:55	01:05	11:35	12:00	00:25	5,03	21740	10:09	01:26	5,50	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
06/02/2018	L26	0,30	2,50	08:30	11:00	8,00	6,00	02:30	00:55	11:55	12:30	00:35	6,00	21757	10:17	01:38	5,50	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
06/02/2018	L24	0,30	2,50	13:00	16:00	6,50	4,88	03:00	00:45	16:45	17:20	00:35	4,88	21764	15:17	01:28	8,00	240	249	573	918	400	0,60	1,2	
07/02/2018	L25	0,30	2,75	11:00	15:15	8,20	6,77	04:15	00:25	15:40	16:10	00:30	6,77	25582	13:59	01:41	6,50	220	259	605	895	300	0,73	1,6	100
08/02/2018	L1	0,30	2,90	08:20	11:00	5,50	4,79	02:40	00:50	11:50	12:25	00:35	4,79	25616	10:15	01:35	7,00	220	259	605	895	300	0,73	1,6	100

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

ANEXO C – RELATÓRIO DE SONDAGEM DO TERRENO

PORTO ALEGRE, 23 DE JANEIRO DE 2017

Prezados Senhores:

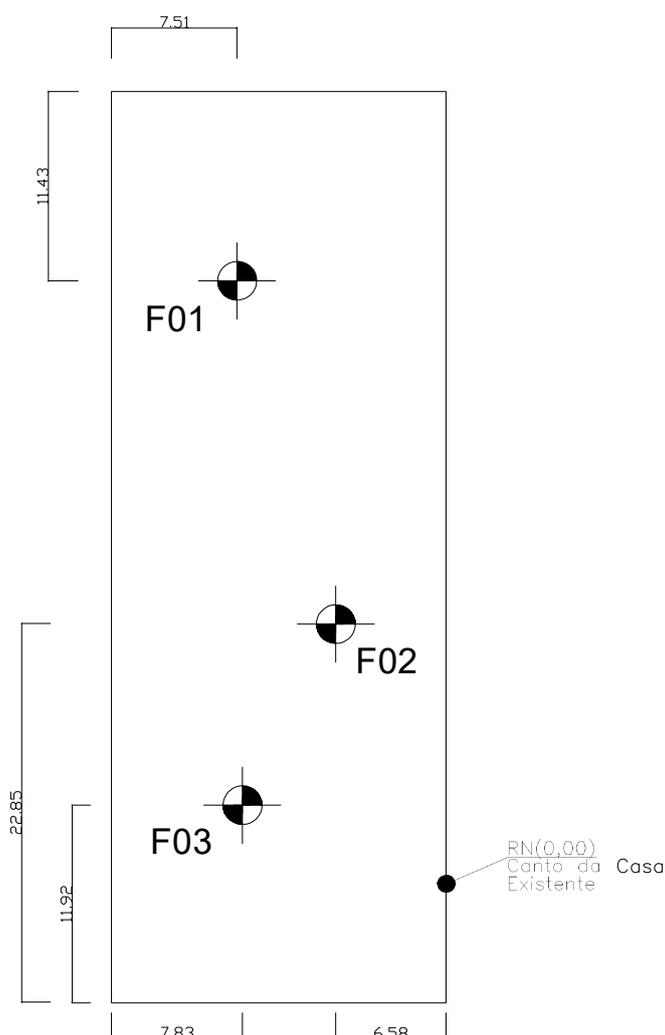
Vimos através desta apresentar-lhes o relatório de sondagem de reconhecimento do subsolo da obra em epígrafe, constantes de **03** furos, **F01 à F03** totalizando **40,10** metros lineares perfurados em solo.

As perfurações foram feitas por percussão simples com auxílio de circulação de água e protegidas por um revestimento de 2 ½”.

A extração das amostras foi realizada com o amostrador padrão com as seguintes características, diâmetro interno 1 3/8” diâmetro externo 2”.

Durante o ensaio de penetração “standard” indicou-se o número de golpes de um soquete de 65 kg, que cai por gravidade de uma altura de 75cm, para penetrar 30cm do amostrador caracterizado acima, nas camadas de solo atravessadas.

Abaixo, enviamos planta de locação dos furos e os perfis individuais dos furos conforme a ABNT prescreve.



SONDAGEM F02		COTA 0,65		PESO: 65 kg		REVESTIMENTO 0 63.5mm = 2.12"					
				ALTURA DE QUEDA: 75 cm		AM OSTRADOR { ø INTERNO 34.9mm = 13/8" ø EXTERNO 50.0mm = 2"					
COTA DE CRIAÇÃO DO POÇO EM	NÍVEL D'ÁGUA	NÚMERO DE GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AM OSTRADOR					PROFUNDIDADE (cm)	AM OSTRAS	PROFUNDIDADE (cm)	CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	MÉTODO DE PERFURAÇÃO
		Nº DE GOLPES		GRÁFICO							
		*	**	5	15	25					
		4	4					1- 0,60	1	Aterro de material variado, cor variado.	Percussão
		5	7					2- 1,90	2	Argila arenosa, cor marrom variado, de consistência média.	
		5	6					3- 4,60	3	Siltite arenoso, pouco argiloso, cor vermelho variado, de pouco compacto à medianamente compacto.	
		6	10					4- 4,60	4		
		10	14					5- 4,60	5	Siltite arenoso, pouco argiloso, cor marrom variado, de compacto à muito compacto.	
		14	25					6- 4,60	6		
		17	29					7- 4,60	7	Siltite arenoso, pouco argiloso, cor marrom variado, de compacto à muito compacto.	
		15	24					8- 4,60	8		
		47	29/15					9- 11,80	9	LIMITE DE SONDAGEM	
		30/15	---					10- 11,80	10		
		30/15	---					11- 11,80	11		
		30/15	---					12- 11,80	12		
								13-			
								14-			
								15-			
								16-			
								17-			
								18-			
								19-			
CLIENTE:								Elaborado por:			
OBRA:											
ON:	PRANCHA:	ESCALA:	PERCUSSÃO	ROTATIVA							
2016/1521-S			INÍCIO: 19/01/2017	INÍCIO:							
			FIM: 19/01/2017	FIM:							
*	† E 2ª PENETRAÇÃO			**	2ª E 3ª PENETRAÇÃO						

