

Parede Diafragma com Tirante Provisório

Micheline Viviane Penha Marins¹; Carlos Eduardo Guarido²;

¹ Aluna Graduação Engenharia Civil- Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

² Professor Engenharia Civil -Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

mvpmengcivil@gmail.com, carlosguarido@globo.com

Resumo - A necessidade de escavação de solos cada vez mais profundos em edificações vem tornando frequente o uso de paredes diafragma in loco, plástica e pré-fabricada por ser uma solução rápida, econômica, segura e eficaz. Esta técnica possibilita a escavação de solo, executando, para isto, uma parede de concreto armado, a partir da superfície do terreno, ao longo do perímetro da obra. O presente trabalho teve como objetivo definir critérios e procedimentos executivos necessários à implantação de parede diafragma e tirantes provisórios, para servir como contenção. O trabalho aborda as vantagens dos equipamentos de escavação como o Clamshell e a Hidrofresa, bem como as técnicas de escavação, tipos de armadura, concretagem em lamelas, metodologias de drenagem e comparação em relação as outras técnicas, bem como a utilização de tirantes provisórios para garantir a estabilidade do muro de contenção. A aplicação de dois métodos executivos, possibilitando fazer uma análise comparativa entre ambos na situação real de obra, a utilização dos tirantes provisórios e da finalização da obra reaterrada para ser entregue ao cliente.

Palavras Chaves: parede diafragma, altura de escavação, esforços solicitantes.

Abstract - The need for excavation of ever deeper underground basements in buildings has made the use of diaphragm walls in loco, plastic and prefabricated frequent because it is a fast, economical, safe and effective solution. This technique allows the excavation of soil, executing, for this, a reinforced concrete wall, from the surface of the land, along the perimeter of the work. The present work had as objective to define criteria and executive procedures necessary for the implantation of diaphragm wall and provisional ties, to serve as containment. The work addresses the advantages of excavation equipment such as Clamshell and Hidrofresa, as well as excavation techniques, types of reinforcement, layered concrete, drainage methodologies and comparison with other techniques, as well as the use of temporary tie rods for ensure the stability of the retaining wall. The application of two executive methods, making it possible to make a comparative analysis between both in the real situation of the work, the use of the temporary ties and the completion of the re-assembled work to be delivered to the client.

Key Words: diaphragm wall, excavation height, stresses.

1 Introdução

O avanço tecnológico da construção industrializada trouxe mais agilidade ao processo de instalação das paredes-diafragma. Também agregou maior qualidade ao sistema, melhorando a segurança, o controle e reduzindo o emprego de mão de obra. Essa evolução, e outros benefícios

acrescentados pelas paredes-diafragma pré-fabricadas, são analisadas pelo engenheiro civil (Allen *et al.* 2009, Anson 2010).

Quando é relatado o assunto de parede diafragma surge a dúvida entre utilizar paredes diafragmas pré-fabricas em vez de paredes-diafragma construída no local da obra in loco, mediante esta dúvida este autor esclarece que a técnica de paredes-diafragma tem passado por constante inovações. A mais importante atualmente refere-se à utilização de painéis pré-moldados de concreto armado ou protendido (Antunes e Amaral 2016).

O painel pré-moldado pode ter um recobrimento menos – normalmente 3 centímetros – e concreto com fck (resistência) superior a 25 MPa. A parede pré-moldada tem um controle de qualidade mais fácil de ser executado, pois é feita antes da introdução na escavação. Desta forma, a resistência estrutural é substancialmente superior à da moldada em local, que por outro lado, tem um controle de qualidade e tecnológico mais difícil de ser acompanhado e demanda uma equipe maior para esta finalidade, principalmente junto à fiscalização. Além disso, a parede pré-moldada gera baixa perda de concreto, enquanto a moldada in loco tem muita perda, principalmente nas escavações onde existe solo de baixa resistência ou solo mole.

A tecnologia de execução de paredes-diafragma pré-moldada é utilizada em todo o mundo, porém no Brasil, apesar de termos uma defasagem de poucos anos em relação aos países desenvolvidos, onde esta técnica surgiu, estamos bem atualizados. Há, inclusive, empresas que possuem equipamentos modernos de fundação para esta finalidade. Porém, a complexidade para a execução de obras deste tipo é muito grande. Não são obras usuais e têm alto custo executivo. A geologia do terreno, o estudo de riscos e os custos com elaboração de cronogramas de obra é que influenciam na escolha desta técnica de execução.

Escavações profundas, cortes verticais e aterros de grandes dimensões são cada vez mais importantes para a implantação de empreendimentos, especialmente em áreas urbanas, onde há escassez de terrenos para construir. Isto torna a etapa de execução de paredes-diafragma pré-moldadas uma das mais críticas durante a execução da obra. Em função dos riscos que a movimentação de terra envolve, erros de dimensionamento, de projeto e de execução podem ser fatais, em função da grandeza de equipamentos e guindastes envolvidos na obra (Franki 2019).

Ao se optar pela construção de paredes-diafragma deve se levar em conta alguns fatores, como: local e acesso à obra; resultados de ensaios de laboratório de solos e rochas, interpretação do perfil geológico e geotécnico do terreno por meio de sondagens rotativas; tipo e tamanho dos terrenos e espaço físico da obra (GEOFIX 2019).

O objetivo desse trabalho foi definir critérios e procedimentos executivos necessários à implantação de parede diafragma e tirantes provisórios, para servir como contenção.

2 Metodologia

Parede diafragma com tirantes provisório

Utilizou-se desta metodologia em todo perímetro da obra, totalizando uma área de 2130 m³ de parede diafragma moldada in loco com espessura de 40 cm.

2.1 Lamelas

Foi projetada com espessura de 40 cm, com seu comprimento variando de 3,20 m a 5,10 m de escavação correspondendo ao perímetro do subsolo, dividido em painéis (chamado de lamelas) de 3,20 m que foram concretados de acordo com o planejamento de escavação e montagem das armações utilizadas.

2.2 Concreto e Armação

Especificado o uso de concreto usinado com a resistência de $f_{ck} \leq 30$ MPa (300Kg/cm³) de concreto e *slump* teste de 220 ± 30 mm. Ferragem armada com CA 50 e CA 25 conforme diâmetros constantes do projeto, conforme NBR 7480:2007 e NBR 6152:1992.

2.3 Tirantes

Foram projetadas três linhas de tirantes provisórios. Totalizando-se 165 tirantes provisórios instalados no eixo de cada lamelas, com uma angulação de 25.

2.4 Lama bentonítica

A lama utilizada apresentava as características conforme descrito na norma NBR 6122:1996, a densidade deve ter de 1,025g/cm³ a 1,10g/cm³, sua viscosidade deve ter de 30 seg a 90 seg, o valor do pH entre 7 a 11, e o teor de areia até 3%.

2.5 Análise do projeto arquitetônico e do projeto de cargas

Para a definição do comprimento da parede diafragma foi considerada a profundidade em que se encontra um solo resistente, que foi em torno de 12 m de profundidade. Foi considerada também a necessidade de ser uma parede profunda para dificultar a percolação da água no terceiro subsolo, embora houve um sistema para drenar a água. Portanto, a parede diafragma teve que suportar esforços de empuxo da terra e água, e esforços verticais.

2.6 Cálculo dos esforços atuantes na parede

Para o cálculo do empuxo, foi utilizada a teoria da mecânica dos solos. O correto é colher amostras dos solos, para se realizar ensaios de laboratório, para se obter a resistência, o ângulo de atrito, o gama e a coesão. Entretanto, as empresas executoras não possuem tempo viável ou procuram economizar, portanto os calculistas recorrem às literaturas, que também garante segurança no empuxo.

2.7 Análise da sondagem

Cada camada de solo teve seu cálculo do empuxo ativo e empuxo da água, quando se está no nível da água. Ao final ocorre a somatória de todos os empuxos, para se obter um empuxo total. Com base neste empuxo total foi calculada a ferragem para a parede de diafragma. A ferragem poderia ser diferente para cada etapa do solo, ou seja, poderia ter uma ferragem mais leve no início da parede e uma ferragem mais pesada no final. Mas, para manter uma uniformidade e não correr o risco de inversão da ferragem no momento de posicionamento na lamela, padronizou-se uma ferragem única para toda a parede, baseada na somatória dos empuxos. A parede foi calculada como se fosse uma viga, analisado o momento em cada setor, e, com isso especificados também os tirantes.

2.8 Tirantes

Os tirantes utilizados neste projeto foram os do tipo provisórios. A função destes é suportar a força de empuxo da terra e água, após a total escavação da terra do terreno. Após a construção e travamento da parede de diafragma, os tirantes perdem a sua função. O ideal é que os tirantes ficassem em ângulo de vinte e cinco graus referente à parede. Primeiramente, pelo fato de os tirantes terem que ficar fora do ângulo de ruptura do solo (em torno de quinze a vinte por cento de inclinação), ou seja, sempre irão ficar em um ângulo menor que noventa graus. Eles não podem ser muito inclinados, senão a componente vertical da força carregaria a parede para baixo e a componente horizontal da força praticamente não existiria. Concluiu-se que seriam necessárias três linhas de tirantes ao longo da parede. A primeira linha com resistência de sessenta toneladas,

a segunda com oitenta toneladas e a terceira com doze toneladas. Percebeu-se que quanto mais profunda a parede, o diagrama de pressão foi maior. O tirante teve que estar ancorado em um solo relativamente firme. O primeiro tirante teve pelo menos 5 m de recobrimento em relação ao térreo. O bulbo de ancoragem é uma relação correspondente à carga que ele iria suportar, quanto mais carga ele suportará, maior deveria ser sua ancoragem.

3 Resultados

Inicialmente realizou-se a limpeza do terreno e instalações do canteiro de obra, com estrutura para vestiário, banheiros e refeitório. A construção de dois portões na obra facilitou o trânsito dos caminhões de terra e caminhões betoneiras, ambos com lava rodas, evitando o alastre de material para fora da área de trabalho.

Foi realizada a mureta guia no sistema de contra barranco, facilitando a execução e diminuindo assim o tempo para início da escavação. A figura 01 mostra o detalhamento da confecção da mureta guia em todo perímetro da área. A mureta teve a função de auxiliar o equipamento chamado *clam shell* na escavação.



Figura 1- Confecção da mureta guia

Lama Bentonítica

Foi utilizada na execução, pois em sua composição há água e bentonita. A esta lama foi adicionado polímero, que misturado à água e argila adquire a mesma densidade do solo, possibilitando escavar até 80 m. O intuito foi impedir que a água do lençol freático não entrasse dentro no buraco de escavação, não misturando-se com a lama, dando resistência ao solo.

Escavação das lamelas

Foi realizada a escavação das lamelas de 3,20 m e 0,40 cm espessura até se fechar todo perímetro da obra, seguindo a numeração do projeto, facilitando a conferência e acompanhamento da execução. As lamelas foram escavadas e concretadas de duas em duas, aumentando o

rendimento da execução e reduzindo a emenda entre elas, além de amenizar possíveis patologias proveniente das juntas. As escavações variaram de acordo com o solo. Vale ressaltar que a estabilidade das escavações está diretamente relacionada à qualidade do *cake* formado pela lama bentonítica. No caso dos solos porosos é provável que a permeabilidade seja grande, uma vez em que há um índice de vazio elevado nesse tipo de solo. Dessa forma, o risco de desmoronamento é considerado alto, pois existe o aumento da pressão neutra dos fluidos infiltrados no solo o que, conseqüentemente, resulta num elevado consumo de concreto que irá penetrar nos vazios resultantes da falha do *cake* no decorrer do processo de escavação.

Colocação da Armadura

Para as paredes diafragmas, a armadura foi montada de forma prévia com uma estrutura rígida o suficiente para poder ser içada por um guindaste. Cada armadura precisou conter seis alças $\varnothing$ 16 mm CA 50, das quais duas foram manipuladas no momento do içamento. Para tanto, foram utilizados para cobrir a armadura entre 7,5 cm a 10 cm, roletes (espaçadores circulares) de espessura de 5 cm e diâmetro de 16 cm. A depender da necessidade do projeto, foram amarrados na armadura no sentido de sua largura e intercalados nas duas faces, conforme figura 02.



Figura 02 - Posicionamento da Armadura

Chapa espelho e chapa junta

Após a escavação foi inserida a chapa junta para dar formato na emenda do concreto entre as lamelas. Foi inserida também a chapa espelho, evitando perda de concreto, e obtendo um acabamento na superfície de contato. Essas chapas foram fabricadas com tamanho máximo de 6 m. O posicionamento da chapa junta e chapa espelho são apresentadas na figura 03.



Figura 03 - Posicionamento da chapa espelho

Concretagem

Foi realizada a concretagem de todas as lamelas com o auxílio do tubo de tremonha. Para obtenção de um resultado satisfatório foi calculado o percentual de perda de concreto, evitando *overbreak*. As perdas variaram de 09 a 11 por cento, e este resultado satisfatório foi obtido na avaliação das concretagens. Foi analisada também a resistência do fck em laboratório conforme norma NBR 14931:2004, com o rompimento de amostras retiradas de todos os caminhões betoneiras lançados nas lamelas, obtendo o resultado dentro dos padrões determinados em projeto.

Execução da viga de coroamento

Foi executada em todo perímetro da obra uma cortina de concreto armado, em que esta estrutura foi construída na parte superior das lamelas, para servir de travamento em todo o perímetro da parede diafragma (vide figura 04).



Figura 04 - Arrasamento da viga de coroamento

Tirantes

A perfuração foi desenvolvida com sonda rotativa ou extratora para os trechos em concreto, e perfuratriz sobre esteiras quando o trecho perfurado foi em solo. A perfuratriz permitiu a realização de perfurações em qualquer ângulo e direção, com força e torque suficientes para a realização da perfuração no solo.

Para a perfuração do terreno, optou-se pelas perfuratrizes rotativas, cujo acionamento era feito por sistema hidráulico e um sistema de circulação de água.

Os tirantes foram executados de acordo com o nível de linhas estipuladas em projeto, divididas em três linhas, A (cota - 2,5 m), B (cota - 5,5 m) e C (cota - 8 m). Após a retirada do solo do trecho correspondente a linha, a perfuratriz fazia as perfurações dos tirantes dessa linha. Os furos das paredes foram feitos por perfuradores de concreto, com uma angulação de 25° estipulado em projeto. Posteriormente, iniciou-se a furação do solo com a perfuratriz. Os tirantes eram protendidos após três dias da última injeção da calda com Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), em decorrência da cura rápida do cimento.

Logo após a conclusão do posicionamento das cordoalhas no furo, iniciou-se à fase da injeção de calda de cimento, também denominada de bainha, dentro do furo, por gravidade. Esta aplicação foi feita por meio de hastes com obturador simples no interior dos tubos de injeção dos tirantes, alojando-o um pouco acima da última válvula. Inicialmente fez-se a injeção de água para remover qualquer detrito remanescente no interior do furo, e posteriormente injetou-se a calda de cimento.

Após um intervalo mínimo de dez horas da execução da bainha, iniciou-se a fase de injeção de calda de cimento com pressão monitorada. Esta fase foi chamada de injeção primária, executada com haste com obturador duplo, rompendo o anel de cimento da bainha e ocorrendo uma queda na pressão do manômetro. Os volumes aplicados da calda e a pressão de injeção garantiram a ancoragem adequada do tirante ao solo. Salienta-se que os critérios adotados para a injeção devem ser analisados e, se necessário, revisados ao longo da execução. Um boletim de cada tirante foi emitido no final da injeção.

4 Conclusões

Este estudo possibilitou um profundo aprendizado sobre o planejamento e gerenciamento de processos de contenção de solos por meio técnico de diafragma, por ser um método eficiente, embora ainda de custo elevado. O uso da lama bentonítica facilitou a execução da parede diafragma, em função das perdas e maior estabilidade nas lamelas e redução de outras. A parede diafragma moldada *in loco* com tirantes provisórios são estruturas com finalidade de conter o empuxo do solo tanto na vertical quanto na horizontal, permitindo suporte a escavação. Após este processo, a implementação dos tirantes provisórios, a ser desprotendido, foi efetuar o corte da cabeça do tirante, que após execução pode-se dar início ao reaterro da área. A escolha da parede foi a mais eficaz em termos de estabilidades do solo, devido as características do solo e por ser em campo aberto. O estudo do solo foi fundamental nas definições da técnica, considerando as construções das circunvizinhanças, profundidade do subsolo e cargas determinadas em projeto, garantindo a estabilidade da área. O sistema de parede diafragma pode ser executado na presença de água, evitando assim a descompressão do solo pelo rebaixamento do lençol freático, necessário em diversas técnicas. A técnica considera a avaliação e absorção de água nos vazios do solo, evitando o adensamento e posterior recalque da fundação, que pode comprometer a integridade das edificações vizinhas. O respeito às leis e diretrizes ambientais de trabalho, com o aproveitamento máximo de seus materiais, reaproveitamento da lama bentonítica e da água minimizou o impacto ao meio ambiente.

5 Referências

Alenn AG et al (2009) Influence of sources and meteorology on surface concentrations of gases and aerosols in a coastal industrial complex. *Journal of the Brazilian Chemical Society*.20:214-221

Anson (2010) Paredes Diafragma e Estacas Escavadas - Catálogo São Paulo

Antunes FRP, Amaral RC (2016) Projeto e Execução de Parede Diafragma Atirantada. UNIVAP

Franki (2019) Parede diafragma . <https://slidex.tips/download/parede-diafragma-1-historico> – Acessado em 02 de agosto de 2019

GEOFIX (2019). Parede diafragma Clamshell. <http://www.geofix.com.br/site2010/servicos/paredes-diafragma-clam-shell/>. Acessado em 21 de novembro de 2019