

REVISTA DE ENGENHARIA CIVIL IMED



Análise técnico-econômica dos métodos construtivos de paredes diafragma moldadas *in loco*, estacas-prancha e estacas secantes

Techno-economic analysis of the constructive methods of cast *in loco* diaphragm wall, steel sheet pile and secant pile

*Fernando Feitosa Monteiro(1); Rodrigo Costa Lima Monteiro(2);
Francisco Heber Lacerda de Oliveira(3); Marcos Fábio Porto de Aguiar(4);
Yago Machado Pereira de Matos(5)*

1 Doutorando em Geotecnia. Universidade de Brasília (UnB). Brasil.
E-mail: engffmonteiro@gmail.com

2 Engenheiro Civil. Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Brasil.
E-mail: rodrigo@crolim.com.br

3 Professor Adjunto. Universidade Federal do Ceará (UFC). Brasil.
E-mail: heberoliveiracivil@hotmail.com

4 Professor Associado. Instituto Federal do Ceará (IFCE). Brasil.
E-mail: marcosfpa@hotmail.com

5 Mestrando em Geotecnia. Universidade Federal do Ceará (UFC). Brasil.
E-mail: yago_mpm@hotmail.com

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 4, n. 2, p. 3-19, Jul.-Dez. 2017 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Abr. 04, 2017; Aceito: Nov. 08, 2017]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2017.v4i2.1840>

Endereço correspondente / Correspondence address

Yago Machado Pereira de Matos
Avenida Santos Dumont, 6870 - Complemento: Apto 1008
Fortaleza, Ceará, Brasil
CEP 60192-022

Sistema de Avaliação: Double Blind Review
Editor-chefe: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui!/click here!](#)

Resumo

Neste trabalho, é apresentado um estudo técnico-econômico sobre os métodos de contenção de parede diafragma moldada *in loco*, estaca-prancha e estaca secante em obras de infraestrutura urbana e turísticas localizadas no município de Fortaleza, capital do Ceará. O estudo de caso analisou os custos relacionados à construção e às manutenções preventivas periódicas, além de aspectos técnicos e executivos dos métodos utilizados. Verificou-se que, apesar de possuir maiores vantagens técnicas, a estaca secante ainda é um processo de execução com custo superior ao da parede diafragma moldada *in loco*. Sendo assim, por razões de viabilidade econômica e, ainda sendo uma ótima alternativa de contenção, a parede diafragma moldada *in loco* mostrou-se o método mais vantajoso. Desse modo, pretende-se que este trabalho auxilie futuros estudos e a tomada de decisão por profissionais, empresas e órgãos públicos que venham a realizar obras de contenção do solo no contexto urbano.

Palavras-chave: Análise técnico-econômica. Contenção. Infraestrutura urbana.

Abstract

This paper presents a technical and economic study, on retaining wall methods as the molded in place diaphragm wall, sheet pile and secant pile, used in urban infrastructure and touristic construction sites located in Fortaleza, Ceará. The case study of this paper analyzed the construction and preventive maintenance costs, and technical and execution aspects of the methods used in tunnel works of Santos Dumont Avenue with Expressway, the Ceará Aquarium and the Rotary Tunnel at Castelão Arena. Despite having major technical advantages, the Secant Pile is still a executive process with significantly higher cost than molded in place diaphragm wall. Thus, for reasons of economic viability and still being a great contention method, the molded in place diaphragm wall becomes the most advantageous method.

Keywords: Techno-economic analysis. Retention. Urban infrastructure.

1 Introdução

Em muitas das capitais brasileiras, fatores como o crescimento populacional, aliado à grande densidade demográfica já existente, à facilidade de aquisição do automóvel próprio e à falta de planejamento por parte de seus gestores têm sido responsáveis pela problemática existente na mobilidade urbana. A união desses fatores acaba por gerar perda de tempo devido ao trânsito e, conseqüentemente, diminuição da qualidade de vida da população.

As alternativas para melhoria na qualidade da mobilidade urbana de grandes cidades precisam ser compatíveis com o pouco espaço disponível. Assim, buscando maximizar a utilização do espaço, alternativas diversas, tais como corredores exclusivos para o transporte público, veículos leves sobre trilhos, metrô, túneis e passagens inferiores (túneis, por exemplo), tornam-se mais favoráveis.

Obras de infraestrutura urbana, em sua maioria, requerem grandes espaços para sua construção, algo escasso nas grandes cidades. Com a alta densidade populacional característica das metrópoles, a necessidade de desapropriações para a realização de obras acaba por gerar grandes vultos de recursos financeiros, podendo inviabilizá-las. Uma possível solução para compensar as desapropriações seria a utilização de obras de terra, com a criação de novos níveis de tráfego, através de contenções, sendo a utilização de paredes diafragma moldadas *in loco* uma das soluções apropriadas, como alguns estudos têm demonstrado.

Para complementar o estudo realizado por Holanda *et al.* (2014), que realizou uma análise técnico-econômica dos processos construtivos de paredes diafragma moldadas *in loco* e pré-moldadas, este trabalho objetiva descrever um estudo técnico e, sobretudo, econômico comparativo entre este método e os de estacas-prancha e estacas secantes, as quais podem ser consideradas algumas das soluções de contenções para obras de infraestrutura urbana. Diante disso, o presente estudo levou em consideração não somente o custo de execução dos métodos, mas também os futuros custos com manutenções necessárias a prolongar a vida útil das contenções.

2 Revisão Bibliográfica

Nesta seção, apresentam-se algumas descrições e estudos sobre os principais métodos de contenção aplicados em obras de infraestrutura urbana e as respectivas atividades de manutenção.

2.1 Processos construtivos e de manutenção de obras de contenção

Na definição de Brasfond (2017), as paredes diafragma consistem em se realizar, no subsolo, um muro vertical de profundidades e espessuras variáveis, constituídos de

painéis elementares, alternados ou sucessivos, e aptos a absorver cargas axiais, empuxos horizontais e momentos fletores. A parede pode ter função estática ou de interceptação hidráulica, podendo ser constituída de concreto simples ou armado, pré-moldada ou de coulis (mistura de cimento, bentonita e água), conforme o escopo a que se destinar.

A principal vantagem da parede diafragma frente a outros tipos de contenção, como estacas secantes, é o reduzido número de juntas na parede, o que aprimora, significativamente, a retenção de água. Paredes diafragma tendem a ser utilizadas na contenção de escavações de grande profundidade, por terem a capacidade de suportar esforços estruturais bastante elevados.

Para Nicholson Construction (2017), as paredes diafragma moldadas *in loco* são, basicamente, trincheiras escavadas no solo, nas quais concreto reforçado é injetado. São escavados painéis no solo, utilizando *clam shells* ou hidrofresas, enquanto a estabilidade da trincheira é mantida utilizando suspensões tixotrópicas de bentonita. Uma vez escavada, reforços tridimensionais são inseridos na trincheira, seguidos da colocação de concreto estrutural utilizando tubos tremonha. O resultado é um sistema de parede estrutural que não somente fornece suporte temporário do solo, como também proporciona um sistema de fundação permanente.

Fundesep (2017) afirma que a difusão crescente do sistema de paredes diafragma se deve às seguintes vantagens: facilidade em adaptar-se à geometria do projeto; quase total ausência de vibração; não causa sensíveis descompressões ou modificações no terreno, evitando assim, danos às estruturas existentes; alcança profundidades abaixo do nível d'água; há possibilidade de os vários painéis fazerem parte da estrutura permanente; serve como contenção de escavações profundas.

Por sua vez, Skyline Steel (2017) destaca que as estacas-pranchas são longas seções estruturais com um sistema de conectores verticais que criam uma parede contínua, cuja finalidade é criar barreiras indobráveis para terra e água, resistindo a pressões laterais. A performance da estaca-prancha depende de sua geometria e do tipo de solo em contato.

A ABNT (2010) define estacas secantes como uma estrutura de parede rígida com elevada resistência à pressão horizontal da terra e à pressão da água. As deflexões horizontais da parede são mínimas. Quando devidamente executada, a cortina de estacas secantes constitui uma estrutura de suporte de água quase impermeável. Por último, a cortina de estacas secantes pode ser facilmente incorporada na estrutura final como um membro de suporte de carga vertical. As estacas secantes são construídas de forma que haja uma interseção entre uma estaca e outra. A prática comum é a de construir estacas primárias alternadas ao longo do perímetro da parede de contenção, deixando espaços livres um pouco menores que o diâmetro das estacas, onde serão executadas as estacas secundárias.

A parede diafragma moldada *in loco* é uma estrutura formada por concreto armado, que, quando realizada fora dos critérios básicos de concretagem, poderá necessitar de

manutenções, por conta de problemas de armadura aparente ou de estanqueidade. Em sua execução, utiliza-se de chapas-junta para criar o acabamento da junta entre as lamelas. Considerando que as juntas são o ponto mais propício a sofrer com problemas relacionados à estanqueidade, deve-se considerar alguma forma de manutenção da vedação entre estas, com o intuito de garantir a estanqueidade entre as lamelas.

Segundo o Cype Ingenieros (2016), existe necessidade de se realizar inspeções das paredes diafragma moldadas anualmente. Caso seja detectada alguma anomalia, será determinada a sua importância e, se for o caso, a solução a adotar. A cada três anos, há a necessidade de reparação e substituição da vedação das juntas, em muros expostos à intempérie. A cada cinco anos, são necessárias a reparação e a substituição da vedação das juntas em muros não expostos à intempérie e a verificação do estado da pasta das juntas, substituindo-a quando for necessário.

Com relação às estacas secantes, como essas estruturas são construídas com materiais de característica próxima aos das paredes diafragma e não possuem juntas, a necessidade de manutenção também é irrisória, podendo haver necessidade, apenas, caso haja falhas de execução, como a má mistura de argamassa, armações aparentes, ou outros problemas de execução.

Já para as estacas-prancha, a principal preocupação quanto à sua durabilidade é a ocorrência de corrosão. Estas taxas serão mais elevadas quanto mais próximas as estacas forem instaladas do mar. Por conta da necessidade de longa vida útil da maioria das estruturas, é importante incluir proteções contra corrosão das estacas-prancha, como pintura anticorrosiva, revestimento de zinco, proteção catódica, ou cobrimento de cimento ou concreto. Medidas contra corrosão, quando bem executadas, podem proteger as estacas, tanto em solo quanto em água, por períodos de aproximadamente 15 a 20 anos. Conforme Swedish Commission on Pile Research (2017), a estaca-prancha necessitará de manutenção entre 15 e 20 anos após a sua construção. Como ela possui o maior intervalo de tempo entre as manutenções, será adotado o período de 20 anos como o período de análise padronizado para os três métodos de contenção.

Pelo longo intervalo entre as manutenções, a estaca-prancha acaba possuindo a situação mais crítica de manutenção. Porém, nada impede que as manutenções ocorram dentro de intervalos menores, de acordo com a necessidade e a disponibilidade de recursos financeiros dos órgãos gestores.

A falta de manutenção ao longo do tempo gera um volume muito grande de recursos financeiros e materiais a serem aplicados para as correções/soluções dos problemas, por menores que eles possam ser, além dos transtornos que podem ser gerados à mobilidade urbana, uma vez que essas estruturas estão localizadas em pontos críticos da malha da cidade, e a sua interrupção gera impedimentos à circulação de pessoas e mercadorias. Por isso, é necessário que haja planejamento e gestão dessas manutenções. Sendo assim, o tipo de manutenção a ser adotado para a análise será a manutenção preventiva.

3 Método de Pesquisa

O método aplicado nesta pesquisa envolve a análise técnico-econômica dos métodos executivos de paredes diafragma moldadas *in loco*, estacas-prancha e estacas secantes, algumas das soluções de contenções mais empregadas em obras de infraestrutura urbana do município de Fortaleza, capital do Ceará. Um estudo de caso foi realizado nas obras do túnel da Av. Santos Dumont com Via Expressa, do Acquário Ceará e, por fim, do túnel da Av. Deputado Paulino Rocha com Av. Alberto Craveiro. Os dados técnicos foram obtidos diretamente dos respectivos projetos junto às Secretarias de Infraestrutura da Prefeitura de Fortaleza (obras dos túneis) e do Governo do Estado do Ceará (obra do Acquário).

A escolha da alternativa de investimento mais adequada é função, basicamente, dos resultados da análise econômica das alternativas disponíveis. Economicamente e financeiramente, um projeto nada mais é do que um conjunto de desembolsos e recebimentos distribuídos durante o período de projeto. A comparação econômica de projeto de investimento exige que tanto os desembolsos quanto recebimentos sejam trasladados no tempo para um mesmo instante (NOBRE JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014).

Para a análise de viabilidade econômica, foi utilizada a ferramenta de Valor Presente Líquido (VPL), por ser uma das mais recomendadas no contexto das obras de infraestrutura de transportes nacionais, indicada nos estudos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), além de ser mais fácil a visualização dos benefícios e custos dos projetos, obras e serviços. Assim, o método do Valor Presente Líquido caracteriza-se pela transferência para o instante presente de todas as variações de caixa esperadas, descontadas à taxa mínima de atratividade, taxa a partir da qual se considera que está obtendo-se ganhos financeiros. Se o VPL for positivo, a proposta de investimento pode ser considerada atrativa, e quanto maior seu valor, mais atrativa será a proposta (NOBRE JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014). O valor presente líquido pode ser calculado através da equação:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{x_j}{(1+i)^j} = \sum_{j=0}^n \frac{x_j}{(1+i)^j} \quad (1)$$

Onde: x é o valor futuro; i são os juros e j o tempo.

4 Resultados e Discussões

A análise deste item será feita individualmente para cada uma das obras estudadas, sendo apresentado um quadro-resumo com os custos de construção, manutenção e os respectivos valores presentes líquidos.

4.1 Túnel da Avenida Santos Dumont com Via Expressa

A obra do túnel da Avenida Santos Dumont com Avenida Almirante Henrique Sabóia (mais conhecida como Via Expressa) é mais uma das várias obras de mobilidade urbana da cidade de Fortaleza, que foram construídas para a Copa do Mundo de 2014. A obra, que adotou paredes diafragma moldadas *in loco*, teve como objetivo eliminar o sinal do cruzamento, aumentando a fluidez do tráfego e reduzindo os congestionamentos frequentes em ambas as vias e em vias próximas. Na Figura 1, é apresentado um panorama do momento da execução da obra do túnel.

Figura 1. Vista da obra do túnel da Av. Santos Dumont



Fonte: Monteiro, 2014.

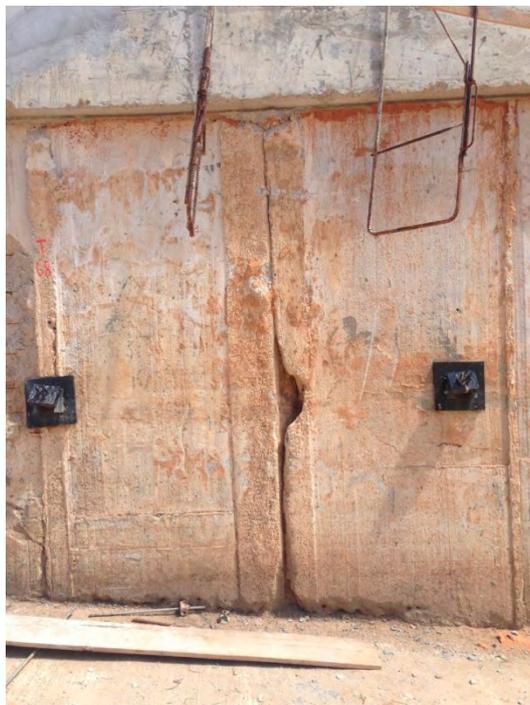
4.1.1 Análise técnica de parede diafragma moldada *in loco*

A parede diafragma moldada *in loco* é um método de contenção bastante utilizado atualmente. Além da capacidade de atingir profundidades abaixo do nível da água e de se adaptar à geometria do terreno, as paredes diafragma moldadas *in loco* podem ser executadas próximas a outras edificações, no limite do terreno, por existir quase total ausência de vibração em seu processo além de não causar descompressões ou modificações no terreno.

Uma das desvantagens relacionada ao método da parede diafragma é a necessidade do uso de lama bentonítica. Com função de conter as paredes do solo escavado, essa lama é indispensável ao método de parede diafragma. Porém, ela deve ser tratada constantemente, para que não esteja contaminada com areia, argila ou silte no momento da concretagem, ou trará problemas às características do concreto e a má concretagem da lamela. Normalmente o concreto do topo das lamelas acaba tornando-se podre, pois estará misturado à lama, então, deverá ser arrasado, gerando desperdício e retrabalho.

O uso da lama também pode acarretar contaminação de águas existentes nas proximidades da escavação. A necessidade de uma central de tratamento da lama com tanques e bombas para seu bombeamento acarreta uma maior ocupação do canteiro de obras. Na Figura 2, pode-se ver uma junta mal executada, devido à quantidade insuficiente de lama bentonítica e quebra parcial da parede, o que pode gerar problemas futuros de estanqueidade.

Figura 2. Falha executiva na junta entre lamelas



Fonte: Monteiro, 2014.

4.1.2 Custos de construção de parede diafragma moldada in loco

Neste item, os resultados serão resumidos a um valor unitário por metro quadrado de contenção executada (R\$/m²), baseado nas planilhas de custos das respectivas secretarias de infraestrutura, com o intuito de facilitar a comparação.

Os dados de custos de execução foram fornecidos por Concremat (2014). Foram executados um total de 3.753,00 m² de contenção ao custo total de construção de R\$ 5.743.327,94. A Tabela 1 detalha os serviços. Dividindo-se o custo total de construção pela área total de construção tem-se um custo de R\$ 1.530,33 / m².

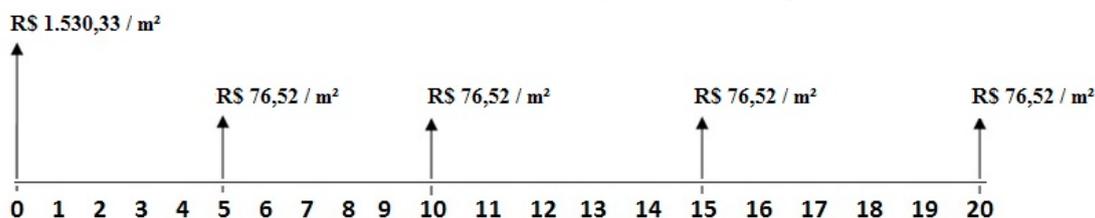
Tabela 1. Resumo dos valores para execução de parede diafragma moldada *in loco*

Item	Valor (R\$)
Execução de Mureta Guia	239.609,93
Execução de Lamelas	4.820.106,83
Execução de Tirantes	571.875,76
Execução de Vigas de Coroamento	111.735,42
Total para execução de 3753m² de parede diafragma moldada <i>in loco</i>	5.743.327,94

4.1.3 Custos de manutenção de parede diafragma moldada *in loco*

Por se tratar de um serviço de não muita complexidade, devendo-se apenas realizar um preenchimento, com *coulis* ou outro material vedante nas juntas das lamelas, e nem sempre necessário, dependendo da qualidade da concretagem, foi atribuído um custo de manutenção de apenas 5% do seu custo de construção por metro quadrado. O percentual foi atribuído com base em informações de algumas empresas executoras

Desse modo, tem-se o fluxo de caixa para um período de 20 anos de análise e uma taxa de juros de 11% a.a. na Figura 3. O VPL obtido para o período de análise foi de R\$ 1.628,17/m².

Figura 3. Fluxo de caixa para manutenção de parede diafragma moldada *in loco*

4.2 Acquário Ceará

A obra do Acquário Ceará, localizada na Praia de Iracema foi iniciada no dia 11 de novembro de 2010. O empreendimento será o primeiro aquário internacional da América Latina, com cunho científico-educacional, que se tornará um importante atrativo de visitação, fortalecendo o turismo do Ceará. A obra empregou estacas-prancha como solução de contenção e pode ser observada a partir da Figura 4.

Figura 4. Vista da obra do Acquário



Fonte: Monteiro, 2014.

4.2.1 Análise técnica de estaca-prancha

A estaca-prancha possui a grande vantagem de não necessitar da utilização do concreto, tornando sua execução bem mais rápida, sendo necessária apenas a cravação do perfil metálico no solo. Além disso, por possuírem efetivos intertravamentos, são consideradas ótimas contenções de águas.

Um dos grandes problemas que pode até inviabilizar a utilização da estaca-prancha como contenção de solos é a dificuldade de atingir a profundidade de projeto em solos muito duros, podendo acarretar danos na estrutura da estaca, ou em suas junções, comprometendo sua estabilidade. Além disso, a vibração decorrente da cravação das estacas pode gerar problemas a estruturas próximas.

Outro problema relacionado à estaca-prancha a ser considerado é a sua vulnerabilidade à corrosão. Dependendo, entre outros fatores, do tipo de solo com o qual ela estará em contato, a taxa de corrosão será maior ou menor, trazendo, assim, com o tempo, danos à estrutura, que deverão ser tratados para que ela não venha a ser comprometida. Na Figura 5, podem-se observar os componentes construtivos da estaca-prancha e seu intertravamento, fator que garante boa estanqueidade à construção.

Figura 5. Estaca-prancha (a) intertravamento da estrutura; (b) componentes construtivos

4.2.2 Custos de construção de estaca-prancha

Os dados de custo de execução da estaca-prancha foram fornecidos pelo DAE (2014). Foram fornecidos valores de serviços e suas áreas correspondentes. A Tabela 2 detalha os serviços levados em consideração na execução da estaca-prancha. Dividindo-se os valores pelas suas áreas e somando os resultados, tem-se um custo de R\$ 2.756,33 / m².

Tabela 2. Resumo dos valores para execução de estaca-prancha

Item	Área (m ²)	Valor (R\$)	Valor (R\$)/m ²
Estaca Prancha	6568,8	2.686.348,30	408,96
Cravação de Estacas Prancha	4148,93	2.581.750,08	622,27
Execução de Tirantes	4090,89	3.674.417,56	898,20
Proteção Catódica	4090,89	2.082.500,00	509,06
Pintura Anticorrosiva	3627,07	1.152.890,50	317,86
Valor total por m² para execução de estaca-prancha			2.756,33

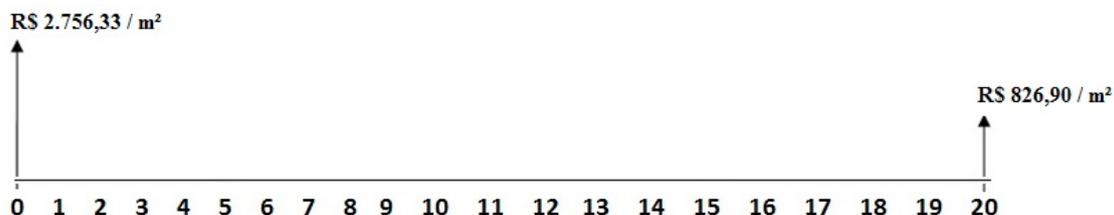
4.2.3 Custos de manutenção de estaca-prancha

A estaca-prancha é, de todos os três tipos analisados, o método de contenção que sofre mais severamente com as intempéries. Sua estrutura metálica se torna muito susceptível à corrosão, o que, com o tempo, comprometerá suas funções. Há a necessidade da realização e manutenção de proteções contra a corrosão.

Será considerado um período de 20 anos de intervalo entre cada manutenção e atribuído um custo de manutenção de 30% do seu custo de construção por metro quadrado, tendo em vista que a realização da proteção catódica e da pintura anticorrosão custou 30% do valor total para realização das estacas-prancha do Acquário Ceará. O VPL determinado para o período foi de R\$ 2.858,89/m².

Portanto, tem-se o seguinte fluxo de caixa para um período de 20 anos de análise na Figura 6.

Figura 6. Fluxo de caixa para manutenção de estaca-prancha



4.3 Túnel da Rotatória da Arena Castelão

O túnel da Rotatória da Arena Castelão, uma das obras de mobilidade urbana da cidade de Fortaleza, foi uma obra planejada com o objetivo de reduzir o fluxo existente na Rotatória da Arena Castelão, que recebe uma grande quantidade de veículos das avenidas do entorno. A obra utilizou estacas secantes para estabilização do maciço e pode ser vista na Figura 7.

Figura 7. Vista da obra do túnel da Arena Castelão



Fonte: Monteiro, 2014.

4.3.1 Análise técnica de estaca secante

Sendo uma estrutura resistente, com materiais semelhantes aos utilizados na parede diafragma, as estacas secantes são uma inovação no mercado, possuindo algumas características técnicas que a colocam em posição de vantagem, se comparada a outros métodos.

Seu processo se dá através de uma execução contínua, com escavação e concretagem direta realizadas pela perfuratriz, sem necessidade de utilização de lama

bentonítica, o que traz maior segurança quanto à qualidade da concretagem, não gerando concreto podre. Além disso, há a capacidade de se perfurar materiais rígidos.

Toda a execução da estaca secante é acompanhada através controle computadorizado e sensores, aferindo dados de profundidade, verticalidade, entre outros, o que diminui a possibilidade de falhas de execução e perda exagerada de concreto, reduzindo assim custos extras e gerando um bom acabamento final. Os componentes construtivos da estaca secante estão destacados na Figura 8.

Figura 8. Estacas secantes no túnel da rotatória da Arena Castelão



Fonte: Monteiro, 2014.

4.3.2 Custos de construção de estaca secante

Os dados de custos de execução da estaca secante foram fornecidos por Concremat (2014). Foi executado o total de 7207,40 m² de contenção ao custo total de construção de R\$ 15.911.322,98. A Tabela 3 detalha os serviços levados em consideração na execução da estaca secante. Dividindo-se o custo total de construção pela área total de construção, tem-se um custo de R\$ 2.207,64 / m².

Tabela 3. Resumo dos valores para execução de estaca secante

Item	Valor (R\$)
Execução de Estacas Secantes	11.727.048,48
Execução de Tirantes e Vigas	3.672.565,81
Execução de Arassamento de Concreto e Vigas de Coroamento	511.708,69
Total para execução de 7207,40m² de Estaca Secante	15.911.322,98

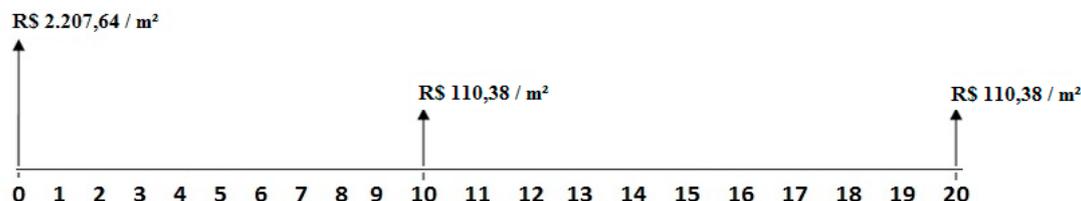
4.3.3 Custos de manutenção de estaca secante

A estaca secante é constituída de argamassa armada, sua estanqueidade acaba por ser superior à da parede diafragma, pois, pelo método construtivo onde uma estaca é cortada pela outra, uma melhor vedação é garantida. Porém, a quantidade de juntas por metro de contenção é maior no caso da estaca secante, pois, em 2,5 metros de parede diafragma, haverá juntas apenas nas suas extremidades, enquanto que na parede de estaca secante haverá 7 juntas, tendo em vista que cada estaca possui 33 cm de diâmetro.

Sabendo-se que, apesar da melhor qualidade de vedação entre as juntas, há uma maior quantidade de juntas a serem objetos de manutenção, deve-se considerar um custo de manutenção por metro quadrado equivalente ao da parede diafragma, sendo adotado o custo de manutenção de 5% do custo de construção por metro quadrado.

Contudo, será adotado um intervalo de 10 anos entre cada manutenção, tendo em vista a superior qualidade de vedação garantida no processo construtivo da estaca secante, o que garantirá a maior duração da estanqueidade da parede. Logo, a Figura 9 apresenta o fluxo de caixa para um período de 20 anos de análise, sendo obtido um valor de R\$ 2.260,21/m².

Figura 9. Fluxo de caixa para manutenção de estaca secante



4.4 Análise econômica

Realizou-se uma análise econômica dos três métodos de contenção em estudo, objetivando determinar qual a opção de menor custo para um período de análise de 20 anos. Para tal foi utilizado o método do Valor Presente Líquido (VPL) sendo que apenas os custos diretos, não havendo a possibilidade, na presente pesquisa, de mensurar valores de benefícios ou custos indiretos.

Dessa forma, o método de contenção que apresentasse o menor VPL seria a opção mais econômica. Para o cálculo do VPL foi utilizado como Taxa Mínima de Atratividade a taxa de juros anual oficial do Governo Federal, de 11,0%, do Sistema Especial de Liquidação e Custódia - SELIC, fornecido pelo Banco Central do Brasil referente ao mês de março de 2014.

Os custos de construção, custos de manutenção e VPLs estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Custos de construção, manutenção e valores presentes líquidos

Métodos de Contenção	Custo de Construção (R\$/m ²)	Custo de Manutenção (R\$/m ²)	VPL (R\$/m ²)
Parede diafragma moldada <i>in loco</i> (Túnel da Avenida Santos Dumont com Via Expressa)	1530,33	76,52 (a cada 5 anos)	1628,17
Estaca-prancha (Acquário Ceará)	2756,33	826,90 (a cada 20 anos)	2858,89
Estaca secante (Túnel da Rotatória da Arena Castelão)	2207,64	110,38 (a cada 10 anos)	2260,21

Com base nos VPLs apresentados na Tabela 4, tem-se que o método de contenção com o menor custo de construção e manutenção é a parede diafragma moldada *in loco*, representando cerca de 56% do valor do método de contenção mais caro, que foi a estaca-prancha.

O seu baixo custo de construção deve-se a fatores, como a necessidade de menor número de tirantes por metro linear além de não exigir a execução de duas linhas de tirantes, como foi necessário nas obras com estaca-prancha e estaca secante.

5 Conclusões

Comparando-se a parede diafragma moldada *in loco* com a estaca-prancha, apesar de o material e a cravação da estaca-prancha serem mais baratos que a escavação e concretagem da parede diafragma, a necessidade de mais tirantes e de uma proteção anticorrosiva envolvendo proteção catódica e pintura anticorrosiva acabam por tornar a estaca-prancha uma opção de contenção mais onerosa. Já se comparada à estaca secante, a execução da escavação e da concretagem da estaca secante já apresentam um custo superior ao da parede diafragma. Ainda se pode ressaltar a necessidade de inclusão de maior quantidade de tirantes na execução da estaca secante.

Deve-se ressaltar que a análise realizada no presente estudo possui algumas limitações. Devido à parede diafragma ser executada em grandes e largas peças, com peso consideravelmente maior que as estacas-prancha e com menor espaçamento que as estacas secantes (fatores estes que podem diminuir a quantidade de tirantes), dependendo do tipo de solo no qual será executada uma contenção e da profundidade de escavação, haverá uma variação na quantidade de tirantes adotados. Além disso, a necessidade de proteção contra corrosão para as estacas-prancha varia de acordo com o tipo de ambiente no qual ela será inserida. Como a obra onde estaca-prancha foi executada situa-se em ambiente marinho, existe uma grande precaução com sua corrosão, fazendo-se necessário, assim, a aplicação de dois métodos de proteção anticorrosiva.

É notável a disparidade de custo por metro quadrado de construção entre os métodos. Tem-se que a estaca-prancha possui um custo 80% maior que a parede diafragma moldada *in loco* e a estaca secante, um custo 44% maior. Porém, tendo em vista os diferentes ambientes onde foram executadas cada uma das obras, com tipos de solo distintos e alguns ambientes mais agressivos que os outros, algumas medidas, como a utilização de mais tirantes ou a utilização de proteções anticorrosivas, acabaram por inviabilizar determinadas soluções de contenções.

Verificou-se que o ideal seria uma análise dos três métodos sob as mesmas condições de terreno. Visando não somente aos custos iniciais de construção, também foram levados em conta custos necessários relacionados à manutenção e garantia da vida útil das contenções. Porém, foi encontrada grande dificuldade, mesmo no cenário internacional, para encontrar materiais relacionados aos assuntos de manutenção dos métodos de contenção, como necessidade, periodicidade e detalhamento de execução das manutenções.

A análise econômica de um projeto é, muitas vezes, fator determinante na tomada de decisão, principalmente para gestões públicas com suas limitações financeiras. Porém, não é a única análise a ser levada em consideração. Há a necessidade de estudos para determinar a viabilidade técnica de um projeto.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010. 91 p.

BRASFOND. **Paredes Diafragma**. Disponível em <<http://www.brasfond.com.br/fundacoes/pdiafragma.html>>. Acesso em: 05 set. 2017.

CYPE Ingenieros. **Manual de uso e manutenção**. Disponível em: <http://manualdeutilizacao-emanutencao.brasil.geradordeprecos.info/Fundacoes/Contencoes/Paredes_diafragma.html>. Acesso em: 12 mar. 2017.

CONCREMAT. **Tabela de custos de execução da parede diafragma moldada in loco do túnel da Avenida Santos Dumont**. Fortaleza, Ceará. 2014.

DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E ENGENHARIA (DAE). **Tabela de custos de execução do Acquário Ceará**. Fortaleza, Ceará. 2014.

FUNDESP. **Parede Diafragma Moldada in loco**. Disponível em <<http://www.fundes.com.br/2009/paredesdiafragma.html>>. Acesso em: 05 set. 2017.

HOLANDA, K. V.; MONTEIRO, F.F.; OLIVEIRA, F.H.L.; AGUIAR, M.F.P; NETO, J.C.P. **Análise técnico-econômica dos processos de paredes diafragmas moldadas in loco e pré-moldadas**. 43ª Reunião Anual de Pavimentação - 43a. RAPv, 2014, Maceió. Anais da 43a. Reunião Anual de Pavimentação. Rio De Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, 2014.

MONTEIRO, R. C. L. **Análise técnico-econômica dos métodos de paredes diafragma moldadas in loco, estacas-prancha e estacas secantes**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza.

NICHOLSON CONSTRUCTION. **Diaphragm Walls**. Disponível em <<http://www.nicholson-construction.com/earthRetention/diaphragmWalls.aspx>>. Acesso em: 05 set. 2017.

NOBRE JÚNIOR, E. F.; OLIVEIRA, F. H. L. **Curso de projetos de transportes**. Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, 2014.

SKYLINE STEEL. **Steel Sheet Piling**. Disponível em <<http://www.skylinesteel.com/globalnav/products/steel-sheet-piling>>. Acesso em: 05 set. 2017.

SWEDISH COMMISSION ON PILE RESEARCH. **Corrosion and Protection of Steel Piles and Sheet Piles in Soil and Water**. Disponível em: <<http://www.geoforum.com/info/pileinfo/corrosion.asp>>. Acesso em: 07 set. 2017.