

43^a RAPv – REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO E 17^o ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

Maceió, AL - 27 a 30 de maio de 2014

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DOS PROCESSOS DE PAREDES DIAFRAGMAS MOLDADAS IN LOCO E PRÉ-MOLDADAS

Kalil Veloso Holanda¹; Fernando Feitosa Monteiro²; Francisco Heber Lacerda de Oliveira³; Marcos Fábio Porto de Aguiar⁴ & José Ciro Pinheiro Neto⁵

RESUMO

No presente cenário de busca de soluções para os problemas de mobilidade urbana, as paredes diafragmas são apontadas como estruturas ideais para o contexto urbano, regiões com alta concentração populacional e elevado volume de tráfego. Neste artigo é feito um estudo comparativo, com ênfase técnico-econômica, sobre os métodos pré-moldado e moldado *in loco*, sendo apresentadas as respectivas descrições e características sobre a execução de cada um dos tipos e realizado um comparativo entre estes. O estudo de caso deste trabalho analisou não somente os valores econômicos, mas também os aspectos técnicos e executivos, suas vantagens e desvantagens, dos métodos utilizados nas obras de alargamento da Rodovia CE-522 (Avenida Washington Soares), o túnel da Avenida Santos Dumont sob a Via Expressa (Avenida Henrique Sabóia) e o Metrô de Fortaleza, todas na cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, descrevendo as características de ambos os métodos de forma comparativa visando facilitar, com o auxílio dos aspectos econômicos, a viabilidade de cada método para diferentes tipos de obra. Verifica-se que, do ponto de vista técnico, a parede pré-moldada apresenta diversas vantagens quando comparada à parede moldada *in loco*, porém, não se pode afirmar o mesmo quanto ao aspecto econômico. Este trabalho tem como objetivo auxiliar na tomada de decisão mais apropriada pelo poder público ou por empresas que utilizarão paredes diafragmas na execução de suas obras.

PALAVRAS-CHAVE: análise técnico-econômica; paredes diafragma; pré-moldada; moldada *in loco*.

ABSTRACT

In the present scenario of searching solutions for the problems of urban mobility, diaphragm walls are seen as ideal structures for the urban context, regions with high population density and high traffic volume. This paper is a comparative study with technical-economic emphasis on precast and cast in situ methods, displayed their descriptions and characteristics on the implementation of each of the types and performed a comparison between them. The case study of this work has examined not only the economic values, but also the technical and business aspects, advantages and disadvantages of the methods used in the works to widen Highway CE -522 (Avenida Washington Soares), the tunnel of Avenida Santos Dumont under the Expressway (Avenida Henrique Sabóia) and Fortaleza subway, all in the city of Fortaleza, Ceara State, describing the features of both methods in order to facilitate a comparative way, with the economic aspects, the viability of each method for different types of work. It appears that, from a technical standpoint, the precast wall presents several advantages when compared to the diaphragm wall in situ, however, we can not say the same about the economic aspect. This paper seeks to assist the more appropriate decision making by public authorities or by companies that use diaphragm walls in the execution of his works.

KEY WORDS: technical-economic analysis, diaphragm walls, preformed, modeld *in situ*.

^{1, 2, 5} Alunos de graduação em Engenharia Civil da Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Centro de Ciências Tecnológicas. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz. CEP 60.811-905. Fortaleza. Ceará. E-mails: kalilholanda@gmail.com; fernandofm91@hotmail.com; ciropinheiro1992@gmail.com

^{3, 4} Professores Auxiliares da Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Centro de Ciências Tecnológicas. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz. CEP 60.811-905. Fortaleza. Ceará. E-mail: heberoliveira@unifor.br; marcosporto@unifor.br.

PAREDES DIAFRAGMAS

BRASFOND (2013) conceitua Paredes Diafragmas como um muro vertical, constituído no subsolo, com profundidades e espessuras variáveis, constituídos de painéis elementares alternados ou sucessivos, e aptos a absorver cargas axiais, empuxos horizontais e momentos fletores. A parede poderá ter função estática ou de interceptação hidráulica, podendo ser constituída de concreto simples ou armado, pré-moldada ou de *coulis*.

Parede Diafragma moldada *in loco*, conforme GEOFUND (2013), é um elemento de contenção e/ou fundação moldado no solo, formando um muro de concreto armado vertical contínuo no subsolo, possibilitando a absorção de cargas axiais, empuxos e momentos fletores. Pode ser utilizada como elemento de fundação, absorvendo cargas normais, e pode ser executada em presença ou não de lençol freático. Para Paredes Diafragmas pré-moldadas de concreto armado ou protendido, o encaixe entre painéis consecutivos é do tipo macho-fêmea, de diferentes formas geométricas.

MOLDADAS *IN LOCO*

Segundo GEOFUND (2013), as Paredes Diafragma moldadas *in loco* têm espessura variável entre 0,30 e 1,20m, larguras entre 1,50 e 3,20m. A parede diafragma é executada em painéis ou lamelas, consecutivos ou alternados, cuja continuidade é assegurada com o auxílio de um tubo ou chapa-junta para a parede moldada *in loco*, colocado após a escavação do painel e retirado logo após o início do endurecimento do concreto.

No método executivo, a Parede Diafragma é executada em painéis ou lamelas, consecutivos ou alternados, empregando-se chapas-junta do tipo macho e fêmea como elementos de ligação entre os painéis. A técnica de execução de Paredes Diafragmas moldadas *in loco*, compreendem três fases: escavação, montagem do painel (ou lamela) e lançamento do concreto.

Para a escavação é utilizada um equipamento chamado *Clam Shell*. Essa ferramenta pode executar paredes com espessura entre 30cm e 1,2m. A largura padrão de cada lamela é de 2,5m. Para guiar inicialmente o *Clam Shell* na escavação é necessário a execução de uma mureta guia de concreto armado, longitudinal ao eixo da parede e enterrada no solo, com profundidade de 1,0m e espessura entre suas faces de 3,0 a 4,0cm maior que a espessura da parede, servindo também como apoio das ferragens e tubo tremonha.

Quando a escavação atingir de 1,0 a 1,5m de profundidade, é iniciado o bombeamento da lama bentonítica, fluído responsável por estabilizar as paredes da escavação e contrabalancear os empuxos existentes devido à presença de lençol freático evitando o colapso do solo antes da concretagem. Durante o processo de escavação, é necessário o acompanhamento constante dos instrumentos que regulam a verticalidade da torre do guindaste principal para evitar desvios do *Clam Shell*. A velocidade de escavação é determinada pela resistência do solo e comprimento da parede.

Após o término da escavação, é iniciada a montagem das chapas-junta, colocação da armação no painel e do tubo tremonha para a concretagem. As chapas-junta são montadas verticalmente nas laterais da escavação, com a seção trapezoidal virada para dentro da mesma, formando assim uma junta fêmea, que na concretagem do painel seguinte será preenchida, solidarizando-se com este.

A armadura para a Parede Diafragma é previamente montada e deve ser suficientemente rígida para ser içada por guindaste.

Antes do início da concretagem do painel, deve-se observar as condições físicas da lama bentonítica. De acordo com a NBR 6122 (2010), a lama bentonítica deve estar dentro de parâmetros determinados para que possa ser iniciada a concretagem. É determinado, em laboratório, os parâmetros necessários: teor de areia, viscosidade, densidade da mistura e PH.

A concretagem da Parede Diafragma é executada de baixo para cima, continuamente e, sendo o concreto mais denso que a lama bentonítica, expulsa a mesma sem que ambos se misturem.

PRÉ-MOLDADAS

Para BRASFOND (2013), as Paredes Diafragma pré-moldadas são constituídas por uma série de elementos em concreto armado, preparados em usina ou no próprio canteiro. Esses painéis são dimensionados e armados para responder às solicitações a que serão submetidos.

Para reduzir o peso do pré-moldado, GEOFUND (2013) afirma que a parede pode ter a ficha, parte inferior do pré-moldado, concretada *in loco*. Neste caso, sugere-se o uso de placas vazadas onde a concretagem da ficha é realizada por dentro da placa.

Segundo FUNDESP (2009), o painel pré-moldado pode ter um recobrimento menor, normalmente 3,0cm e concreto com resistência estrutural superior a 25 MPa. Deste modo, a resistência estrutural da parede pré-moldada é substancialmente superior a da moldada *in situ*. FUNDESP (2009) ainda completa afirmando que a parede pré-moldada não terá perdas de concreto, perdas essas que acarretam, além do custo do material, custos de remoção dos bolsões de concreto, originados pela fuga do concreto. Estes valores podem ser muito elevados, principalmente em regiões de solo mole.

METODOLOGIA

O presente artigo utiliza materiais bibliográficos encontrados na internet, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de Mestrado, teses de Doutorado, artigos científicos, manuais técnicos e de procedimentos, especificações de serviços, dentre outros, para analisar os métodos executivos. Um estudo de caso nas obras de alargamento da Rodovia CE-522 e do túnel da Avenida Santos Dumont com Via Expressa, em Fortaleza / CE, para Paredes Diafragmas moldadas *in loco*. Para a Pré-Moldada será realizado um estudo sobre a obra do Metrô de Fortaleza, sob o enfoque da viabilidade técnico-econômica.

ESTUDO DE CASO

Alargamento da rodovia ce-522

O alargamento da Avenida Washington Soares, ou Rodovia CE-522, localizada na cidade de Fortaleza, Ceará, foi executada na tentativa de amenizar os grandes congestionamentos que se formavam no local devido ao elevado tráfego de veículos e trazer mais fluidez ao fluxo na região.

A obra teve como objetivo desativar dois semáforos, na Avenida Washington Soares com Avenida Rogaciano Leite e o outro na Avenida Washington Soares com Avenida Coronel Miguel Dias. Foi executado um túnel conduzindo o tráfego da Avenida Rogaciano Leite sob a Avenida Washington Soares e, após o término da obra foi proibido a conversão à esquerda para quem iria à Avenida Washington Soares. Foi executado também um túnel de acesso ao *shopping*, a partir da Avenida Washington Soares.. Na Figura 1 é possível observar a região através de uma vista aérea.

O desperdício também ocorre na parte superior das lamelas onde o concreto se mistura com a lama e perde suas características, chamado de “concreto podre”, que também ocasiona a necessidade de o demolir.

Como foi apontado anteriormente estas ocasionam desperdícios, principalmente em regiões de solo mole, e deixam um péssimo acabamento nas paredes que poderiam ser expostas. Para as áreas que necessitam ser expostas é gasto mais tempo e material de revestimento devido a sua característica não homogênea e as falhas causadas pelas demolições dos bolsões.

A sua execução *in loco* também é responsável pela necessidade de um *slump* mais alto, britas de menor diâmetro e, muitas vezes, fck do concreto reduzido. Estes fatores podem exigir da peça um perfil mais robusto e talvez não adequar o uso da parede como suporte para lajes. Peças mais robustas implicam em escavações mais demoradas e mais material a ser retirado de campo.

Parede Diafragma Pré-Moldada

FUNDESP (2009) considera a utilização de painéis pré-moldados de concreto armado, ou protendido, a mais importante inovação ao processo de execução de Paredes Diafragmas.

É importante apontar que a parede pré-moldada pode ter um recobrimento menor (normalmente de 3cm) e concreto com fck superior a 25 Mpa, dando a esse tipo de estrutura uma resistência estrutural substancialmente superior do que a moldada *in loco* o que permite executar uma parede com uma espessura menor.

Obviamente o pré-moldado não acarreta em desperdícios significativos de concreto, pois o método não produz o chamado “concreto podre”, e não há formações de bolsões.

As placas pré-moldadas, devido ao seu método de execução, possuem acabamentos mais homogêneos, ou seja, são mais facilmente revestidas e tem uma aparência mais agradável se expostas. Por serem concretadas em fôrmas e fora dos buracos são mais confiáveis em relação à possíveis aços expostos, o que exclui qualquer necessidade técnica de revestir a parede após escavada.

Os painéis pré-moldados, no entanto, demandam espaço tanto para a sua execução (com a central de pré-moldados que é formada pelos moldes para confecção das placas, o preparo das gaiolas de aço, o armazenamento dos materiais para produção e o preparo do concreto, entre outros) quanto para seu armazenamento.

ANÁLISE ECONÔMICA

Para a análise econômica dos métodos será considerado apenas o custo inicial, tendo em vista que quaisquer custos de manutenção, substituição, reparos, etc., não se adequam ao estudo ou estão presentes de forma semelhantes em ambos os métodos, tornando redundante a sua comparação.

Será extraído um valor unitário do metro cúbico (R\$/m³) para cada obra estudada. Para a atribuição do valor unitário será considerado todos os custos relacionados na obra como escavação, transporte, concreto, demolição de concreto, armadura, aluguel de máquinas, etc.

Será utilizado apenas um valor para representar o custo inicial de cada método. Como todas as obras estudadas utilizaram o método de Paredes Diafragmas Moldadas *in loco*, será feito uma média

entre os três valores obtidos para encontrar o valor adotado na comparação. Para o método Pré-Moldado o valor utilizado será o valor obtido através das composições de preço da obra do Metrô de Fortaleza, na linha Leste.

PAREDE DIAFRAGMA MOLDADA *IN LOCO*

As obras estudadas na qual utilizaram o método de Parede Diafragma Moldada *in loco* foram o túnel da Avenida Santos Dumont e o alargamento da Rodovia CE-522.

a) Alargamento da Rodovia CE-522

A partir dos dados fornecidos por DER (2013), a obra de alargamento da Rodovia CE-522 foram considerados 835,00 m³ de Paredes Diafragma executados a um custo total para a execução de R\$ 2.814.915,84, como detalhado na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo de valores da obra para execução de Parede Diafragma Moldada *in loco*.

Item	Valor (R\$)
Escavação	974.776,50
Máquinas	63.247,85
Transportes	57.640,61
Concreto/Lançamento	453.452,96
Armadura de aço CA-50/60	615.027,60
Demolição e outros	20.770,32
Total para execução de 835 m³ de Parede Diafragma Moldada <i>in loco</i>	2.184.915,84

Dividindo o custo total de R\$ 2.184.915,84 pelo volume executado de 835,00 m³ obtemos o custo da obra de R\$ 2.616,67 / m³.

b) Túnel da Avenida Santos Dumont com Via expressa

No túnel da Avenida Santos Dumont com Via expressa os custos foram fornecidos pela Secretaria Extraordinária da Copa - SECOPAFOR (2013). Os valores foram divididos em execução de Parede Diafragma em solo de SPT menor ou igual a 50, maior que 50 e armadura. Os valores utilizados pela obra foram para a execução de Paredes Diafragmas de 0,50 m de espessura por metro quadrado, como detalhado na Tabela 2.

Tabela 2: Valores unitários da obra.

Item	Valor Unitário (R\$)
Execução de Parede Diafragma em solo com SPT menor ou igual a 50(m ²)	789,64
Execução de Parede Diafragma em solo com SPT maior ou igual a 50(m ²)	1.456,35
Armadura para Parede Diafragma em aço CA-50(kg)	7,68

O período em estudo da obra executou 551,15 m² de parede em solo com SPT inferior ou igual a 50, 45,00 m² em solo com SPT superior à 50 e utilizou 40.076,00 kg de aço para a armadura das gaiolas das paredes. Na Tabela 3 é possível observar os custos totais no período estudado.

Tabela 3: Valores totais do período.

Item	Valor Unitário (R\$)
Execução de Parede Diafragma em solo com SPT menor ou igual a 50(m ²)	435.210,09
Execução de Parede Diafragma em solo com SPT maior ou igual a 50(m ²)	65.535,75
Armadura para Parede Diafragma em aço CA-50(kg)	307.783,68
Total para a execução de 596,15m² de Parede Diafragma	808.529,52

Foram executados no período em questão 596,15 m² de Paredes Diafragmas com 0,50 m de espessura, ou seja, 298,08 m³. O custo total resultou em R\$ 808.529,52, o que significa que o custo foi de R\$ 2.712,50/m³.

c) Metrô de Fortaleza – Linha Leste

A partir da composição de preço fornecida por SEINFRA (2013) para utilização na linha Leste da obra do Metrô de Fortaleza, foi possível obter os valores demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores da obra para execução de 1,00 m³ de Parede Diafragma Moldada *in loco*

Item	Valor (R\$)
Execução	1.306,72
Concreto/Lançamento	907,25
Armadura de aço CA-50/60	752,64
Total para execução de 1,00 m³ de Parede Diafragma Moldada in loco	2.966,61

d) Valor adotado para a Parede Diafragma Moldada *in loco*

Na Tabela 5 é possível observar o valor por metro cúbico das obras de alargamento da Rodovia CE-522, do túnel da Avenida Santos Dumont e do Metrô de Fortaleza.

Tabela 5: Valores totais do período.

Item	Valor (R\$/m ³)
Obra de alargamento da Rodovia CE-522	2.616,67
Obra do túnel da Avenida Santos Dumont com Via Expressa	2.712,50
Obra do Metrô de Fortaleza - Linha Leste	2.966,61
Média dos valores	2.765,26

A média entre os valores obtidos é de R\$ 2.765,26 e será o valor adotado para Parede Diafragma Moldada *in loco* no comparativo econômico dos métodos.

Parede Diafragma Pré-Moldada

O custo unitário do metro cúbico de Parede Diafragma Pré-Moldada foi obtido a partir da composição de preço para utilização na linha Leste da obra do Metrô de Fortaleza, fornecida por SEINFRA (2013). É possível observar estes valores na Tabela 6.

Tabela 6: Valores para execução de Parede Diafragma Pré-Moldada.

Item	Valor (R\$)
Escavação	1.655,18
Transportes/Máquinas	268,05
Formas	111,65
Concreto/Lançamento	624,43
Armadura de aço CA-50/60	752,64
Total para a execução de 1,00 m³ de Parede Diafragma Pré-Moldada	3.411,95

Comparativo Técnico-Econômico

Este item procura demonstrar através de um quadro-resumo, apresentado na Tabela 7, as características técnicas e econômicas dos dois métodos estudados neste trabalho de forma comparativa e simplificada, facilitando assim a análise conclusiva do estudo de caso.

Tabela 7: Quadro-Resumo comparativo técnico-econômico.

Aspecto	Parede Diafragma Moldada <i>in loco</i>	Parede Diafragma Pré-Moldada
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Não exige grandes espaços; • Possibilidade de execução em canteiros com limitação de pé direito; • Não necessita de central de pré-moldados; • Guindaste menor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recobrimento menor (normalmente 3 cm); • Possibilidade de utilizar fck superior a 25 MPa; • Sem desperdício de concreto; • Sem necessidade de demolições; • Possibilidade de concretar a ficha <i>in loco</i> para reduzir o peso da placa pré-moldada; • Bom acabamento, sem necessidade de revestimento.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Desperdício de concreto; • Necessidade de demolir os <i>overbreak</i> e o “concreto podre”; • Acabamento ruim, necessidade de revestimento em áreas expostas; • Resistência estrutural reduzida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda grande espaço para a produção e a estocagem de placas; • Necessita de um guindaste que suporte um maior peso; • Muitas vezes inviável para projetos de grandes profundidades.
Valor (R\$/m ³)	2.765,26	3.411,95

É notório uma maior quantidade de benefícios na execução da Parede Diafragma Pré-Moldada quando comparada à Moldada *in loco*, porém aquele método não atende todo tipo de projeto. É de grande importância a consideração do espaço tomado para a produção e estocagem das placas pré-moldadas, pois estes tornam inviáveis a utilização do método Pré-Moldado em algumas obras.

A Parede Diafragma Pré-Moldada tem uma grande vantagem sobre a Moldada *in loco* na pós execução, onde são poucos os trabalhos além da escavação. A necessidade de demolir bolsões e “concreto podre” no método Moldado *in loco* acarreta em perdas de tempo, mão-de-obra alocada no que pode ser considerado retrabalho, desperdícios e grandes custos.

No âmbito econômico a Parede Pré-moldada obteve uma elevação de 23% do valor em relação a média das obras com Paredes Moldadas *in loco*. Analisando apenas as Paredes Diafragmas executadas no Metrô de Fortaleza verifica-se que o método Pré-Moldado possui um valor 15% superior ao valor da Moldada *in loco*.

CONCLUSÃO

O estudo de caso apresentado no presente trabalho levou em consideração os aspectos técnicos encontrados durante a pesquisa e os custos para o metro cúbico de execução nas obras de alargamento da Rodovia CE-522, túnel da Avenida Santos Dumont com Via Expressa e o Metrô de Fortaleza, tendo as três obras contribuído para a obtenção dos valores adotados para a Parede Diafragma Moldada *in loco*. Os valores do método Pré-Moldado foram obtidos por composições de preço apenas da obra do Metrô de Fortaleza.

É possível observar que cada método tem suas vantagens e desvantagens. Apesar de parecer claro que o método Pré-Moldado, além de ser um processo executivo mais atual, atende melhor as obras em geral, a tomada de decisão sobre o método a ser utilizado vai depender das condições físicas de campo e de cada projeto.

Pode-se observar que os custos são próximos, apesar de o valor do método Pré-Moldado ser um pouco mais elevado, cerca de 23% acima da média dos valores do método Moldado *in loco*, estes custos podem variar dependendo dos projetos de cada obra. É preciso, claramente, levar em consideração os gastos com mão-de-obra e materiais que serão utilizados na Parede Moldada *in loco* após sua escavação.

Conclui-se, então, que a escolha do método correto necessita de um estudo das condições do terreno, do cronograma físico da obra, das necessidades e exigências de cada projeto. Apesar de o método Pré-Moldado se destacar ligeiramente em suas vantagens, este está limitado pelo seu processo construtivo que impossibilita a sua utilização em grande parte das obras com canteiros pequenos ou com limitações de pé direito e possui o custo superior ao método de Moldado *in loco*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASFOND, Fundações Especiais. **Parede Diafragma**. Disponível em <<http://www.brasfond.com.br/fundacoes/pdiafragma.html>> Acesso em 20 Abril, 2014.

DER. **3^a Medição, execução do acesso subterrâneo ao shopping center Iguatemi – Túnel 2**. Fortaleza, 2013.

FUNDESP, **Parede Diafragma**. Disponível em <<http://www.fundesps.com.br/2009/paredesdiafragma.html>> Acesso em 24 Abril, 2014.

GEOFUND. **Parede Diafragma**. Disponível em <<http://www.geofund.com.br/?p=210>> Acesso em 24 setembro, 2013.

GOOGLE. Disponível em <www.google.com> Acesso em 20 Abril, 2014. Leite, J.

METROFOR. **Metrô de Fortaleza**. Disponível em <www.metrofor.ce.gov.br> Acesso em 20 Abril, 2014.

NBR 6122. **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

SEINFRA. Secretaria da Infraestrutura. **Implantação da Linha Leste do Metrô de Fortaleza**. Fortaleza, 2013.

SECOPAFOR. Secretaria Extraordinária da Copa. **Medição 15, mobilidade urbana Copa 2014**. Fortaleza, 2013.