

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/428

Utilização de Coulis em Parede Diafragma para Contenção de Fluido Químico em Solo e Preservação do Meio Ambiente

Giuliano Silva Castro de Oliveira

Eng^o Civil, Geofix Fundações, São Paulo, Brasil, giuliano.oliveira@geofix.com.br

Marcio Abreu de Freitas

Eng^o Civil, Geofix Fundações, São Paulo, Brasil, marcio.freitas@geofix.com.br

RESUMO: Entre o oceano Atlântico e a Lagoa Mundaú em Maceió/AL, Brasil, está localizada uma planta química industrial onde ocorreu um vazamento de dicloroetano em um de seus tanques. O desafio consistiu em projetar e executar uma estrutura enterrada no entorno de três tanques de modo a isolá-los com medidas corretivas e preventivas para a preservação do meio ambiente. A solução sugerida foi a execução de uma parede diafragma plástica, sem função estrutural, utilizando “coulis”, uma mistura de bentonita, cimento e água com um coeficiente de permeabilidade da ordem de 10^{-7} cm/s. Esta técnica reduziu, para níveis aceitáveis pelos órgãos controladores, a percolação dos fluidos contaminantes no solo no sentido da Lagoa Mundaú, servindo de barreira para o caso de novos vazamentos nesta área. A sondagem indicava solo predominantemente arenoso com camada de areia muito dura a partir de 10 m, local onde foi inserida a ponta da parede diafragma, garantindo a interrupção do fluxo do contaminante. Em apenas 6 meses, foram executados 6.500 m² de parede de diafragma plástica com profundidade entre 13 e 15 m, distribuídos num trecho de 490 m em forma de "U" ao redor dos tanques, destacando esse projeto de grande magnitude e importância ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Coulis, Parede Diafragma Plástica, Maceió, Preservação do Meio Ambiente

ABSTRACT: Between the Atlantic Ocean and Mundaú Lake in Maceió/AL, Brazil, an industrial chemical plant is located where a dichloroethane leak occurred in one of its tanks. The challenge consisted of designing and executing a buried structure around three tanks to isolate them with corrective and preventive measures to preserve the environment. The suggested solution was to create a plastic diaphragm wall, with no structural function, using “coulis”, a mixture of bentonite, cement and water with a permeability coefficient of the order of 10^{-7} cm/s. This technique reduced, to acceptable law levels, the percolation of contaminating fluids into the soil towards Mundaú Lake, serving as a barrier in case of new leaks in this area. The SPT drilling log indicates predominantly sandy soil with a very hard layer of sand from 10 m deep, where the tip of the diaphragm wall was inserted, ensuring the interruption of the contaminant flow. In just 6 months, 6,500 m² of plastic diaphragm walls were built with a depth of between 13 and 15 m, distributed over a 490 m "U" shaped section around the tanks, highlighting this project of great magnitude and environmental importance.

KEYWORDS: Coulis, Plastic Diaphragm Wall, Maceió, Environmental Preservation

1 INTRODUÇÃO

Este artigo trata da obra de parede diafragma plástica de cimento-bentonita confinante com permeabilidade da ordem de 10^{-7} cm/s, a qual foi executada de modo a reduzir o fluxo do contaminante no solo, sem caminhos preferenciais em juntas de ligação de trechos e lamelas.

A unidade está localizada entre o oceano Atlântico (Praia Pontal da Barra) e a Lagoa Mundaú, fato este que aumenta a preocupação com o meio ambiente, demandando medidas corretivas e preventivas a fim de garantir a preservação do mesmo. Sendo assim, a empresa executora, através da execução da parede diafragma de coulis, possibilitou a redução da permeabilidade do solo ao redor dos tanques de dicloroetano, evitando que fluidos contaminantes percolassem no solo no sentido da Lagoa Mundaú acima dos níveis aceitáveis, servindo de barreira para o caso de novos vazamentos nesta área.

2 DADOS DA OBRA

O local tinha aproximadamente 21.500 m² de área de canteiro de obras, onde foi projetada uma contenção em parede diafragma plástica com perímetro 489,40 m para isolamento de fluido químico contaminante. A área de contenção foi de 6.756,16 m² com espessura de 60 cm e profundidade de escavação entre 13 e 15 m. A obra teve início em 11 de novembro de 2013 e terminou em 15 de maio de 2014.

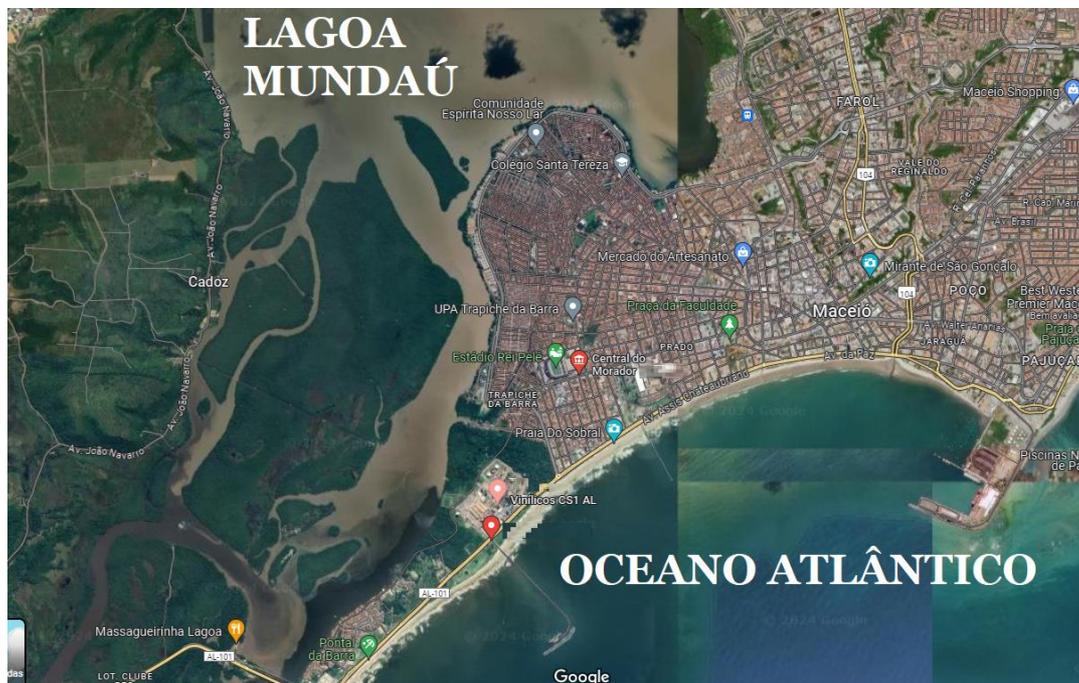


Figura 1. Local da obra



Figura 2. Local dos serviços

3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Foram executados 10 sondagens para caracterização do solo e determinação da pluma de contaminação. Conforme apresentado na figura 3, Sondagem S-TG5, as sondagens para descrição litológica da área evidenciaram um solo constituído, predominantemente, de areia quartzosa (fina a média e média a grossa) com presença de solo muito duro a partir de 10 m de profundidade, onde a maior parte da sondagem foi interrompida aos 14,00 m em camada duro que exigiu 30 golpes para descer apenas 10 cm do amostrador.

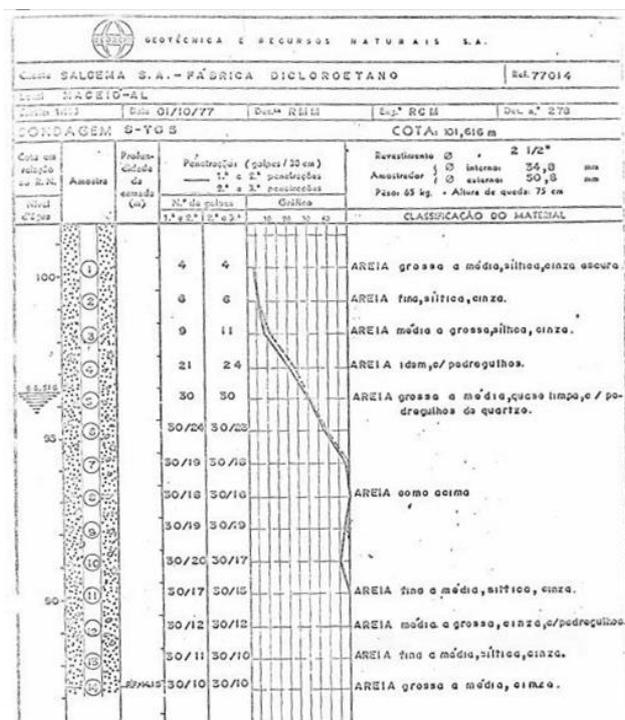


Figura 3. Sondagem S-TG5 (Solo arenoso)

4 METODOLOGIA

A metodologia proposta para execução de parede diafragma plástica constitui-se na escavação com equipamento Clam-Shell. A obra foi executada pelo método de painéis alternados de 3,15 m nos painéis iniciais e 2,55 m nos painéis de fechamento, garantindo que 30 cm de cada lado dos painéis iniciais fossem escavados no intuito de engastá-los, resultando num painel de fechamento com dimensão final de 3,15 m, conforme figura 4 abaixo. Deste modo, criou-se uma estrutura monolítica, evitando juntas frias e garantindo a continuidade geométrica da parede confinante.

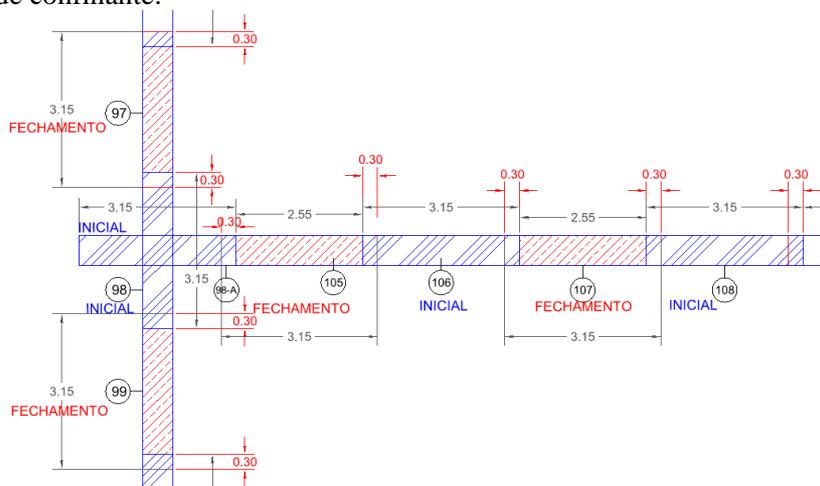


Figura 4. Detalhe da configuração de lamelas no projeto executivo

O material utilizado na parede diafragma foi uma argamassa plástica, conhecida como “coulis”, com a seguinte composição: 115 kg de bentonita sódica natural específica para parede diafragma plástica, 415 kg de cimento portland por cada metro cúbico de argamassa, além de 820 litros de água, ou seja, aproximadamente 1:4:8 em peso. O correto tipo de bentonita foi de fundamental importância para obtenção da condutividade hidráulica desejada. O coulis obtido com essa mistura apresentou uma viscosidade que demandou um sistema robusto de bombeamento para a injeção de material na parede diafragma. Foi utilizada na mistura água potável e apropriada para as reações de hidratação do coulis, apresentando reduzidos teores de sais. Para a mistura de materiais na preparação do coulis foi obedecida a seguinte ordem:

1. Colocação da água no misturador e em seguida a bentonita sódica específica;
2. Mistura até a formação de gel com descanso de aproximadamente 15 minutos para hidratação da bentonita;
3. Acréscimo de cimento à mistura para preparação do coulis;
4. Lançamento na parede diafragma após homogeneização da mistura.

Após o preparo da mistura, eram extraídas amostras do produto na central de injeção e no ponto de aplicação as quais eram submetidas à ensaios de permeabilidade para garantia da condutividade hidráulica inferior a 1×10^{-7} cm/s.

Dados da Escavação					Obs.	Dados da Escavação				
nº	Data	Lamela	Resultado	ΔT		nº	Data	Lamela	Resultado	ΔT
1	19/12/2013	I-03	11/01/2014	23 dias		82	12/03/2014	I-36	21/03/2014	9 dias
2	20/12/2013	I-09	11/01/2014	22 dias		83	14/03/2014	F-93	21/03/2014	7 dias
3	07/01/2014	I-01	11/01/2014	4 dias		84/85	14/03/2014	S-95 / S-96	22/03/2014	8 dias
4	08/01/2014	I-11	16/01/2014	8 dias		86/87	17/03/2014	I-40 / I-40A	22/03/2014	5 dias
5	08/01/2014	I-05	16/01/2014	8 dias		88	18/03/2014	F-35	22/03/2014	4 dias
6	09/01/2014	I-15	16/01/2014	7 dias		89	18/03/2014	F-44	22/03/2014	4 dias
7	10/01/2014	I-07	16/01/2014	6 dias		90/91	19/03/2014	I-29 / I-29A	28/03/2014	9 dias
8	10/01/2014	I-19	16/01/2014	6 dias		92	19/03/2014	F-39	22/03/2014	3 dias
9	13/01/2014	I-13	23/01/2014	10 dias		93/94	20/03/2014	F-41 / F-42	28/03/2014	8 dias
10	14/01/2014	I-21	10/02/2014	27 dias		95	21/03/2014	I-106	27/03/2014	6 dias
11	15/01/2014	F-02	23/01/2014	8 dias		96	21/03/2014	I-110	27/03/2014	6 dias
12	16/01/2014	I-25	23/01/2014	7 dias		97	21/03/2014	I-114	27/03/2014	6 dias
13	17/01/2014	I-17	10/02/2014	24 dias		98	24/03/2014	I-120	27/03/2014	3 dias
14	21/01/2014	I-02	10/02/2014	20 dias		99/100	24/03/2014	S-30/S-31	27/03/2014	3 dias
15	22/01/2014	I-23	28/01/2014	6 dias	Reprovada	101	25/03/2014	I-108	31/03/2014	6 dias
16	23/01/2014	F-06	29/01/2014	6 dias		102	25/03/2014	I-112	31/03/2014	6 dias
17	23/01/2014	F-18	29/01/2014	6 dias	Reprovada	103/104	26/03/2014	I-118/I-118A	31/03/2014	5 dias
18	24/01/2014	S-20	10/02/2014	17 dias		105	26/03/2014	I-122	31/03/2014	5 dias
19	24/01/2014	S-26	10/02/2014	17 dias		x	27/03/2014	I-34R	01/04/2014	5 dias

Figura 5. Acompanhamento da condutividade hidráulica do coulis.

A figura 5 acima apresenta alguns dos resultados de condutividade hidráulica obtidos nos ensaios. Caso o coulis preparado obtivesse resultado de ensaio de condutividade hidráulica superior à necessária, a lamela era re-executada, conforme destacado na figura 5. Para controle de qualidade da mistura, a obra dispunha de um conjunto de permeômetros para determinação da condutividade hidráulica do coulis preparado e injetado em todos os painéis da parede diafragma de forma a assegurar que estavam abaixo dos valores máximos aceitáveis.

Para permitir a execução da parede diafragma no local correto foi executada a construção prévia de mureta-guia. A escavação do solo foi realizada com diafragmadora e ferramenta Clam-Shell e a estabilização do solo ocorreu com lama bentonítica, de modo a evitar descontinuidades da parede, trincheira drenante e recalques na superfície que poderiam causar danos às estruturas próximas (fundações rasas das edificações e tubulações vizinhas).

A obra foi acompanhada por engenheiro responsável para garantia do atendimento às especificações do projeto executivo da parede diafragma e os aspectos relativos à disposição do solo ocorreram de acordo com as normas brasileiras.

4.1 Projeto

Conforme projeto “as built” apresentado na figura 6 a seguir, a parede foi subdividida em dois tramos para facilitar a ordem e prioridade de execução. O tramo 2, portanto, foi executado somente após a conclusão do primeiro e penetrou 5 m perpendicularmente através da lamela já construída do tramo 1. O tramo 1 foi construído com perímetro de 315,49 m e tramo 2 com 173,96 m, totalizando em 489,45 m de perímetro de parede diafragma ao redor dos três tanques de dicloroetano, onde um dos tanques apresentou vazamento.



Figura 6. Projeto As Built

5 EXECUÇÃO

Devido a proximidade dos tanques e tubulações de produtos químicos, o índice de periculosidade da obra era alto, aumentando a responsabilidade de todos os envolvidos, uma vez que foram utilizados equipamentos pesando até 80 toneladas, tais como a diafragmadora hidráulica Casagrande B-300 apresentada na figura 7. A solução adotada foi enfatizar a segurança no trabalho e implantar um programa de índice de prevenção de acidentes onde, com diversas ações, aumentou-se o controle dos possíveis riscos durante a execução da obra. Para a execução da parede diafragma plástica foram utilizados 4 equipamentos:

- Diafragmadora Hidráulica Casagrande B-300
- Diafragmadora Hidráulica Bauer GB 50
- Guindaste Hidráulico Fuwa QUY 50C
- Guindaste Hidráulico Fuwa QUY 55HD



Figura 7. Diafragmadora hidráulica no local da obra.

Conforme apresentado na figura 8, a utilização de diafragmadoras hidráulicas com haste telescópica foi essencial na redução do impacto durante a escavação de lamelas próximas as tubulações de produtos químicos.

Para o preparo do Coulis, bem como preparo e armazenamento da lama bentonítica, foram instaladas 3 (três) Centrais Automáticas Integradas preparadas para processar cimento e bentonita, armazenadas em big bags de 1.000 Kg, aumentando os padrões de produtividade, saúde, segurança e meio ambiente durante a execução da obra.

Após a instalação do canteiro de obras e montagem dos equipamentos, iniciou-se a execução do trecho interno do Tramo 1, seguindo para o trecho externo do mesmo tramo e retornando novamente a parte interna da indústria para finalização. Na sequência foi realizada a execução do tramo 2 para isolamento definitivo dos 3 (três) tanques de dicloroetano.



Figura 8. Execução da escavação da parede diafragma plástica

A empresa executora tomou todos cuidados necessários para atender as necessidades da obra. Desta forma, foi montado um container oficina e dois containers almoxarifados onde foram estocados materiais, peças e equipamentos necessários para o andamento da obra. Foi disponibilizado um mecânico e um eletricista full time na obra, visando atender toda demanda de manutenção de equipamentos e peças no menor tempo possível. Para viabilizar a execução do projeto a empresa executora contou com equipe de manutenção 24 horas, transporte aéreo de peças, equipe de engenharia especializada e equipe de segurança do trabalho, a qual conquistou o índice de zero acidentes até o término dos serviços.

6 RESULTADOS

Todos os 161 painéis foram executados com sucesso e obtiveram os resultados esperados de condutividade hidráulica inferior a 1×10^{-7} cm/s. Conforme dados apresentados na figura 9, podemos verificar que o melhor resultado foi de condutividade hidráulica de $8,6 \times 10^{-8}$ cm/s e o pior resultado foi de $2,8 \times 10^{-7}$ cm/s, porém todos mantidos dentro do limite mínimo previsto em projeto.

Lamela	Envio dos Resultados	Traço	Data da Execução	Hora da Coleta	Amostras Preparadas	Tempo de Descanso (horas)	Ponto de Coleta	Número da Cuba	Amostras	Data do Ensaio	Condutividade (cm/s)	Gradiente (-)	Volume (cm ³)	
I103	10/04/2014	1:4:8	04/04/2014	14:45	15:05	29h	Central	3	I103.1	08/04/2014	8,8E-08	150	4	
											I103.2	1,1E-07	150	4
				15:00	15:20	29h	Ponto de Injeção	6	I103.3		8,8E-08	150	4	
											I103.4	1,3E-07	150	5
F119	16/04/2014	1:4:8	10/04/2014	14:05	14:20	24h	Central	1	F119.1	14/04/2014	1,9E-07	150	9	
				14:30	14:50	24h	Ponto de Injeção	5	F119.3		2,5E-07	150	13	
											F119.4	1,6E-07	150	7
F105	24/04/2014	1:4:8	16/04/2014	10:50	11:15	74h	Central	4	F105.1	22/04/2014	1,6E-07	150	7	
				11:10	11:25	74h	Ponto de Injeção	6	F105.3		1,1E-07	150	4	
				15:30	15:50	29h	Central	4	F121.1		1,7E-07	150	8	
F121	08/05/2014	1:4:8	30/04/2014	16:00	16:21	29h	Ponto de Injeção	7	F121.3	06/05/2014	1,2E-07	150	6	
											F121.4	1,4E-07	150	6
I154	13/05/2014	1:4:8	06/05/2014	17:10	17:30	31h	Central	4	I154.1	09/05/2014	2,0E-07	150	9	
				17:45	18:00	31h	Ponto de Injeção	6	I154.3		1,2E-07	150	5	
I158	15/05/2014	1:4:8	08/05/2014	11:45	12:00	25h	Central	4	I158.1	13/05/2014	8,6E-08	150	4	
											I158.2	2,8E-07	150	14
				12:10	12:25	25h	Ponto de Injeção	6	I158.3		8,6E-08	150	4	
											I158.4	7,1E-08	150	3
F157	26/05/2014	1:4:8	15/05/2014	12:00	12:20	26h	Central	4	F157.1	22/05/2014	1,3E-07	150	6	
				12:30	12:45	26h	Ponto de Injeção	7	F157.3		1,5E-07	150	6	
											F157.4	1,6E-07	150	7

Figura 9. Resultados de Condutividade Hidráulica

7 CONCLUSÃO GERAL

Evidenciou-se neste trabalho que a engenharia geotécnica pode ser aplicada também em projetos de preservação do meio ambiente, contribuindo de forma significativa para o bem do nosso planeta. Após a constatação do sucesso deste projeto, é importante salientar que a técnica de construção de parede difragma plástica com utilização de coulis se mostrou efetiva para gerar estanqueidade no solo, sendo indicada para criar uma barreira física atuante na resolução de problemas de vazamentos de tanques de produtos químicos no solo.

8 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por permitir que a nossa manifestação como profissionais deixe contribuições significativas para engenharia e para a preservação do meio ambiente no planeta Terra.

Agradecemos a empresa Geofix Fundações e a todos os colaboradores envolvidos neste projeto.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (2012). *Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos – ABEF*. Editora Pini, 1ª edição. São Paulo.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.
- Geofix Fundações (2014). *Histórico de obras em arquivo particular*. Osasco.
- Joppert, I. Jr. (2007) *Fundações e Contensões de Edifícios: Qualidade total na gestão do projeto e execução*. Editora Pini, 1ª edição. São Paulo.