

Análise de estabilidade geotécnica de parede diafragma com comparativo de custo direto entre aquisição e descarte dos agentes estabilizantes do solo

Álvaro Henrique Bittencourt Bagio (1), Christiane Ribeiro da Silva (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) alvarobagio@hotmail.com, (2) christiane@unesc.net

Resumo: Existem diversos métodos fundamentados em conceitos técnicos de engenharia civil para contenção de solo. Este artigo apresenta um estudo de caso em obra de contenção do tipo parede diafragma, buscando a determinação dos parâmetros geotécnicos de projeto pelo método de Joppert Júnior. A partir de correlações com o N_{SPT} foram definidos os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo utilizados na determinação dos esforços laterais sobre a contenção. O método consiste em uma análise de dependência entre os momentos solicitados na estrutura para determinação dos fatores de segurança contra rotação e translação. No método, o fator de segurança adotado é de 1,5 e os resultados obtidos foram satisfatórios. A condição real de travamento da parede atendeu aos requisitos mínimos propostos, mostrando a estabilidade da estrutura. Para a construção da contenção, além do maquinário de escavação linear, a utilização de agentes estabilizantes de solo é imprescindível para dar sustentação às paredes da vala durante as escavações. Existem dois tipos de agentes estabilizantes, a lama bentonítica muito difundida e utilizada em solos arenosos na área de fundações profundas e o polímero sintético, material que ganhou espaço no mercado pela facilidade de descarte. Foi realizado um comparativo de custos direto voltado para aquisição e descarte desses materiais analisando o melhor custo/benefício para a obra. O polímero mostrou um índice de consumo 15 vezes menor e 3 vezes mais barato com relação à bentonita, se tornando a melhor opção.

Palavras-chave: contenção; Joppert; fluido; polímero; bentonita.

Abstract: There are a variety of methods for soil containment structures based in technical concepts of civil engineering. This research shows a case study about stability analysis by Joppert Júnior method of diaphragm wall. From the correlations with the results of standard penetration test the soil resistance parameters were determined. These parameters were used to establish the lateral efforts in the wall. The Joppert Júnior method consists in a dependency analysis between moments to determine the safety factor against rotation and translation. In the method, the adopted safety factor was 1,5 and the results were satisfactory. The real locking condition of wall met the proposed minimum requirements for security. In addition to the linear excavation machines, to the wall building, the soil stabilizer agents are important to give support to the wall during the excavations. There are two kinds of agents, the bentonite and the polymer, the newer which has gained space for the easier discard. A comparative study of direct costs was realized and showed that the polymer has a consumption index 15 times smaller and 3 times cheaper than bentonite, becoming the best choice.

Key-words: retaining wall; Joppert; fluid; polymer; bentonite; civil engineering.

Introdução

Levando em consideração o crescimento populacional e a migração da grande massa de pessoas para os centros urbanos em busca de oportunidade de emprego e melhor qualidade de vida, a verticalização das cidades é um fator inevitável. A constante evolução, além da própria verticalização, impacta em edificações cada vez mais altas e, também, na melhoria das obras viárias, possibilitando, com isso, a facilidade de locomoção e escoamento da produção industrial.

Uma das dificuldades encontradas para iniciar a obra de uma edificação após a confecção dos projetos é a maneira de conter os diferentes tipos de solos existentes, dependendo da região onde se opta em construir (RATTICHERI, 2015). Existem diversos métodos fundamentados em conceitos técnicos de engenharia para obras de contenção. Cada condição resulta no procedimento mais adequado para as características local, levando em consideração o tipo de solo, estanqueidade e rigidez da estrutura, condições de construção, profundidade de escavação, tempo de construção e custo. Segundo Massad (2005), na Figura 1 são mostrados os tipos de estruturas de contenção mais utilizadas no perímetro urbano.

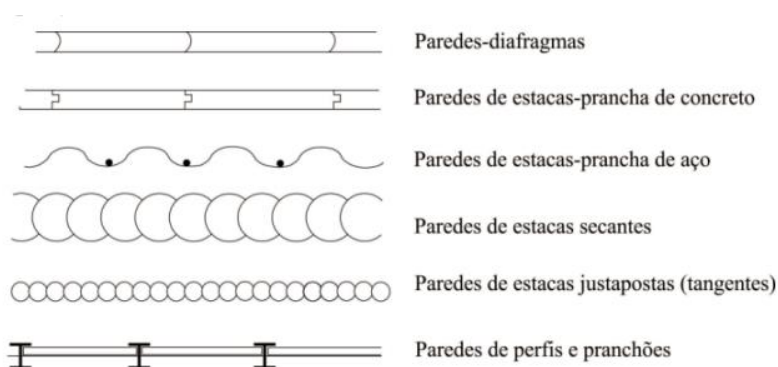


Figura 1: Sistemas de contenção de escavações profundas com paredes verticais. (Fonte: Massad, 2005)

O enfoque deste estudo acontece sobre a parede diafragma. Concebida para contenção empuxos de terra, água e sobrecargas em escavações verticais profundas, as paredes diafragmas se tornam uma solução recorrente nos centros urbanos, onde a falta de área livre dificulta a execução de outros processos (NAKAMURA, 2013). O diferencial do método é a construção da estrutura antes da escavação do maciço de solo, sendo executada em partes, através de uma mureta guia com auxílio de maquinário pesado de escavação linear e fluido estabilizante. Estes elementos estruturais em concreto armado, se solicitados, podem chegar a grandes profundidades.

Os agentes estabilizantes utilizados na atualidade são a lama bentonítica e o polímero sintético, também conhecido como geopolímero. Estes fluidos promovem um estado de sustentação, impedindo qualquer sedimentação, graças ao seu comportamento tixotrópico em relação ao solo (RATTICHERI, 2015). A tixotropia é característica que um fluido possui de sofrer transformação isotérmica e reversível de sua viscosidade. São utilizados na cavidade durante a execução das paredes diafragma e, também, em processos como estacas escavadas, estacas barretes e poços de petróleo, entre outros. A lama bentonítica é constituída de água e bentonita, argilomineral originado de alterações de cinzas vulcânicas cujo mineral predominante é a montimorilonita (SILVA, 2011). No Brasil, grande parte das jazidas de bentonita fica na região Nordeste.

A crescente restrição ao uso de lamas bentoníticas por órgãos ambientais gerou uma demanda por novas tecnologias de estabilização em escavações. A utilização dos polímeros está intimamente associada ao fato de ser um produto biodegradável, característica que facilita sua destinação final (MOTA, 2010).

Para que obras de contenção venham a suportar taludes terrosos é necessário conhecer os esforços laterais que agem nessas estruturas. A magnitude e distribuição do empuxo lateral de terra dependem de fatores como parâmetros resistência ao cisalhamento do solo, inclinação da superfície de aterro, altura e inclinação da contenção. (DAS; KHALED, 2014).

Em relação ao empuxo lateral de terra, na geotecnia existem três casos possíveis que podem surgir com relação a obras de contenção. Na condição de repouso, a massa de solo apresentará um estado de equilíbrio estático. Já no estado ativo e passivo a massa de solo alcançará um estado de equilíbrio plástico. O termo se refere a condição na qual cada ponto na massa de solo está no limite de ruptura, logo, o maciço de solo romperá deslizando para baixo (DAS; KHALED, 2014).

Com objetivo de verificar a estabilidade das contenções, Joppert Jr. (2007) analisa os esforços laterais atuantes, de modo a definir a magnitude e condições geotécnicas de projeto para o dimensionamento dessas estruturas.

Para o método de Joppert Jr. (2007), na parede diafragma os empuxos ativos atuam no escoramento em balanço com ficha engastada no solo, gerando a rotação da contenção. Estes esforços tendem a serem combatidos pelos empuxos passivos que agem no engastamento (ficha) da cortina no solo.

Para o dimensionamento de obras de contenção é de suma importância a realização de estudos, análise e investigação geotécnica. Deste modo é realizado o ensaio de sondagem SPT

– “*Standard Penetration Test*”, regido pela ABNT NBR 6484:2001. O ensaio determina o índice de resistência a penetração (N) e através dele é gerado um perfil de sondagem, onde, de modo empírico, são obtidas as informações necessárias para determinação dos parâmetros de projetos conforme as características físicas do solo.

Deste modo o presente estudo tem como objetivo principal realizar a análise de estabilidade geotécnica de uma contenção tipo parede diafragma pelo método de Joppert Jr. (2007), tendo os parâmetros de resistência do solo extraído a partir dos perfis de sondagem. Como objetivo secundário, realizar uma análise de mercado para fins de aferir os custos diretos voltados para a aquisição e descarte dos agentes estabilizantes de solo.

Materiais e métodos

Para melhor compreensão do trabalho, a pesquisa toma dois caminhos. A Figura 2 apresenta o fluxo de processos onde separa a análise e investigação geotécnica levando a obtenção das condições de projetos para um futuro dimensionamento estrutural. Em paralelo com a geotecnia é criada uma condição comparativa entre os agentes estabilizantes de solo.

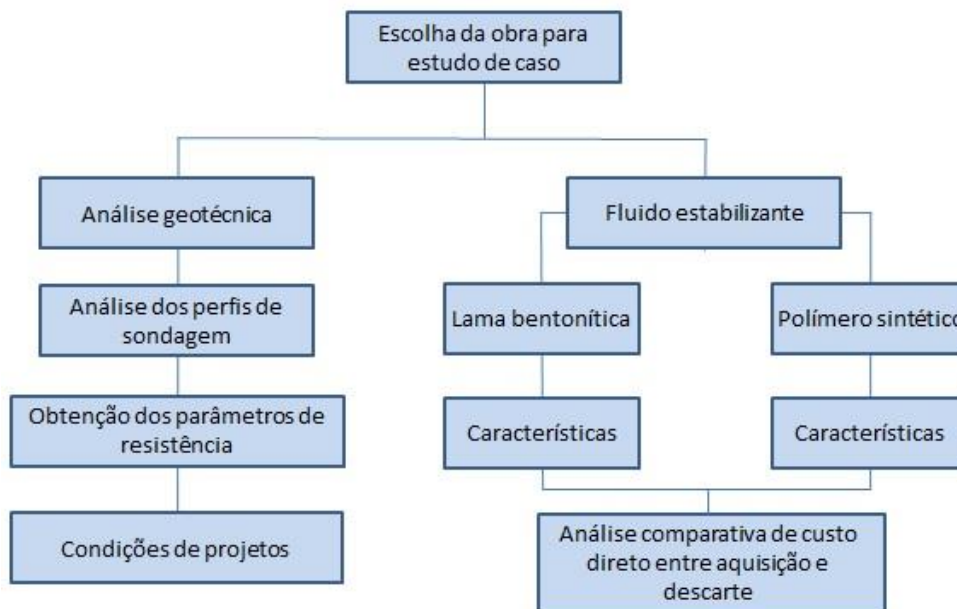


Figura 2. Fluxo de processos

Para atender o objetivo proposto, foi definida uma obra na cidade de São José, Santa Catarina, região da grande Florianópolis, localizada nas coordenadas $27^{\circ}34'28,5''$ S e $48^{\circ}36'12,3''$ W, datum SIRGAS2000.

O empreendimento relacionado ao estudo apresentado, contempla 1 pavimento subsolo de garagem, térreo e 11 pavimentos tipo, com 4 apartamentos por pavimento. Levando em consideração a existência de casas no entorno do terreno, foi necessário fazer a contenção do solo para dar início às escavações e sequentemente a execução da fundação.

Como o espaço disponível para a construção era limitado, não foi possível fazer um estaqueamento entre os terrenos. No entanto, esse tipo de contenção perderia espaço destinado às vagas de garagens no subsolo devido ao diâmetro das estacas e tornaria inviável a liberação do auto de conclusão de obra do empreendimento, certidão expedida pela prefeitura atestando que o imóvel está pronto para ser habitado e foi construído conforme as exigências legais estabelecidas pelo código de obras do município. Deste modo, a parede diafragma, opção com menor espessura, foi definida como solução de contenção, visto que não causará transtornos futuros relacionados a espaço. Projetada nos cantos sul e sudoeste do terreno como mostra a Figura 3, a contenção foi executada por uma empresa especializada, com diversas obras já executadas na região.

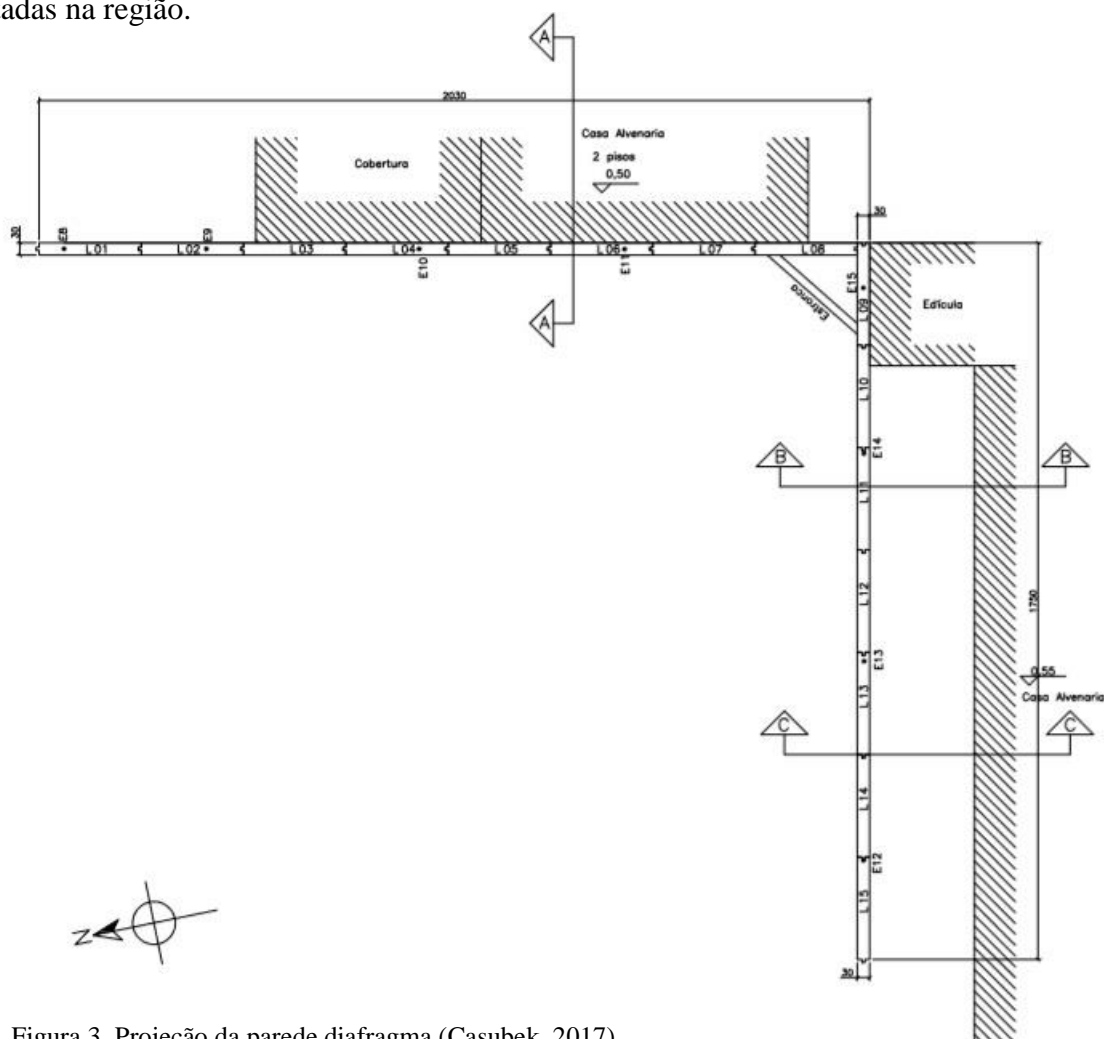


Figura 3. Projeção da parede diafragma (Casubek, 2017)

De posse do croqui de localização como mostra a Figura 4, fica definido, (a) onde foram executados os ensaios SPT, gerando um perfil de sondagem para cada furo. Os laudos seguem a ABNT NBR 6484:2001, que prescreve os procedimentos para este ensaio. Também fica definido na Figura 4 (b) o perfil de sondagem para o furo SP-02, que quando comparado com os demais, apresentou valores de N_{SPT} inferior.

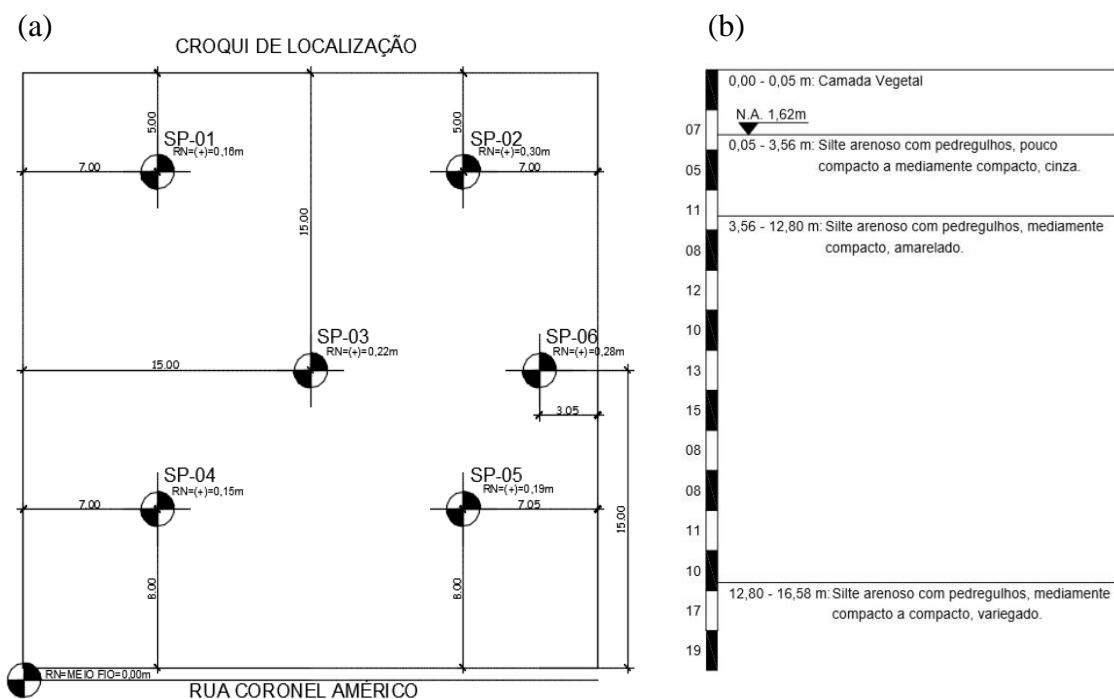


Figura 4. (a) Mapeamento de sondagem (Fonte: Gluz, 2017), (b) perfil de sondagem SP-02

Através da correlação com o N_{SPT} , ficaram definidos os parâmetros de resistência do solo, ângulo de atrito interno e coesão. De posse dos parâmetros foi possível estimar o peso específico das camadas de solo em função do estado de consistência e compactidade das argilas e areias respectivamente, conforme a ABNT NBR 6484:2001. A Tabela 1 apresenta os parâmetros geotécnicos constituintes do perfil em estudo classificados.

Tabela 1. Parâmetros geotécnicos dos solos (Fonte: Godoy, 1972 *apud* Cintra; Aoki; Albiero, 2011)

	Silte arenoso pouco compacto	Silte arenoso mediamente compacto
γ_{nat} (kN/m ³)	16	17
γ_{umd} (kN/m ³)	18	19
γ_{sat} (kN/m ³)	19	20
Coesão (kN/m ²)	0	0
Ângulo de atrito interno (°)	30	33

De posse dos dados, o cálculo dos empuxos laterais de terra seguiram a teoria de Rankine. A partir das Eqs. 1 e 2, foi determinado o coeficiente e a magnitude dos esforços de empuxo ativo respectivamente, e, também, pelas Eqs. 3 e 4, os valores referente aos esforços de empuxo passivo (JUNIOR, 2007)

$$ka = \tan(45 - \phi/2)^2 \quad (1)$$

em que:

ka = coeficiente de empuxo ativo;

\tan = razão (divisão, proporção) entre o cateto oposto e o cateto adjacente a um dos ângulos agudos de um triângulo retângulo;

ϕ = ângulo de atrito interno.

$$Ea = q \cdot ka - 2 \cdot c \cdot \sqrt{ka} + \sigma_e \cdot ka + \gamma_w \cdot hw \quad (2)$$

em que:

Ea = empuxo ativo;

q = sobre carga externa;

ka = coeficiente de empuxo ativo;

c = coesão do solo;

σ_e = pressão efetiva do solo;

γ_w = peso específico da água;

hw = altura hidráulica.

$$kp = \tan(45 + \phi/2)^2 \quad (3)$$

em que:

kp = coeficiente de empuxo passivo;

\tan = razão (divisão, proporção) entre o cateto oposto e o cateto adjacente a um dos ângulos agudos de um triângulo retângulo;

ϕ = ângulo de atrito interno.

$$Ep = q \cdot kp + 2 \cdot c \cdot \sqrt{kp} + \sigma_e \cdot kp + \gamma_w \cdot hw \quad (4)$$

em que:

Ea = empuxo passivo;

q = sobre carga externa;

ka = coeficiente de empuxo passivo;

c = coesão do solo;

σ_e = pressão efetiva do solo;

γ_w = peso específico da água;

hw = altura hidráulica.

Pelo método de Joppert Jr., foi analisado o fator de segurança quanto à rotação e translação da contenção em estudo conforme as Eqs. 5, 6 e 7 (JUNIOR, 2007).

$$FS_{\text{rotação pelo ponto de travamento}} = \frac{R_2 \cdot d'_2}{R_1 \cdot d'_1} \geq 1,5 \text{ ou } 2,00 \quad (5)$$

$$FS_{\text{translação}} = \frac{F + R_2}{R_1} \geq 1,5 \text{ ou } 2,00 \quad (6)$$

$$FS_{\text{rotação pela base}} = \frac{R_2 \cdot d_2 + x \cdot F}{R_1 \cdot d_1} \geq 1,5 \text{ ou } 2,00 \quad (7)$$

onde:

FS = fator de segurança;

R_1 = resultante dos empuxos ativos (área do diagrama de empuxo ativo);

d_1 = distância da base da cortina até o centro de gravidade do diagrama de empuxo ativo;

d'_1 = distância do ponto de giro “O” até o centro de gravidade do diagrama de empuxo ativo;

x = distância do ponto de giro “O” até a base da cortina;

R_2 = resultante dos empuxos passivos (área do diagrama de empuxos passivos);

d_2 = distância da base da cortina até o centro de gravidade do diagrama de empuxo passivo;

d'_2 = distância do ponto de giro “O” até o centro de gravidade do diagrama de empuxos passivos;

F = reação por metro linear do travamento;

Como o objetivo foi a verificação da estabilidade da contenção, Joppert Jr. (2007) aconselha que para obras provisórias o fator de segurança seja maior que 1,5 e para obras definitivas ele seja maior que 2,0. Em função da parede de contenção neste caso ficar em

balanço temporariamente e ser escorada posteriormente pela laje do edifício, foi utilizado um fator de segurança de 1,5.

Quanto aos agentes estabilizantes de solos em comparação, ambos possuem o mesmo comportamento tixotrópico. Eles se comportam como um fluido quando agitado, porém formam um gel quando em repouso. Para a lama bentonítica, o gel formado é chamado de *cake* e funciona como uma película, tendo propriedades semelhantes o polímero sintético. Ambos atuam contra a passagem de água proveniente do lençol freático e agem nos vazios do solo dando sustentação a vala de escavação.

A partir da década de 90 os polímeros surgiram como uma alternativa ao uso da lama bentonítica no Brasil como fluido estabilizante devido a restrições ao seu descarte. A lama possui uma densidade de 1,025 a 1,10 g/cm³, conforme especificado na ABNT NBR 6122:1996. Devido ao fato da densidade da lama ser maior que a da água, ela sedimenta numa maior velocidade no fundo dos rios impedindo a oxigenação e prejudicando a fauna e flora existente. Apesar de serem materiais distintos, porém para a mesma finalidade, a vantagem do polímero é que após o uso, se tratado corretamente, pode ser descartado como água residual, diferente da lama que necessita de um descarte específico podendo aumentar o custo de sua utilização.

Segundo a ABNT NBR 10004:2004, ambos os materiais são classificados como Resíduos Classe II B – inertes não perigosos. Quando misturados com solo da escavação devem ser descartados em aterros sanitários e/ou industriais que recebam o material Classe II.

Na obra em estudo foi utilizado o polímero sintético como fluido estabilizante nas valas de escavação. A proposta da análise comparativa dos custos diretos é justamente quanto à aquisição e descarte residual dos agentes estabilizantes do solo. Bancos de dados como SINAPI, TCPO e SICRO – DNIT mostram ausência de informações necessárias para tais composições e insumos. Para isso foram definidos valores levantados a partir de uma pesquisa de mercado.

Resultados e discussões

Diante da análise geotécnica onde foi executada a parede diafragma, foi tomado como parâmetro o furo SP-02, pois, quando comparado com os demais, apresentou valores de N_{SPT} inferior, adotando assim a pior situação do solo para cálculo.

O ponto de análise deste estudo está localizado no canto sul do terreno levando em consideração para cálculo à profundidade da escavação, esforços atuantes e as cotas de escavação na região do corte B.B como mostra a Figura 5.

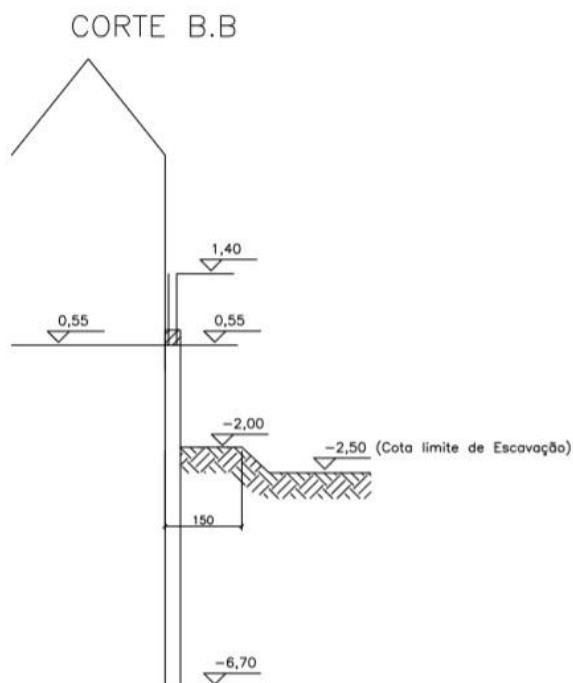


Figura 5. Corte B.B (Casubek, 2017)

Foram propostas duas condições de travamento diferentes. A primeira em balanço com ficha engastada no solo, e a segunda, com uma linha de travamento (neste caso a laje térrea do edifício) e com ficha engastada em solo. A Figura 6 mostra a magnitude dos esforços laterais atuantes na contenção para o primeiro caso.

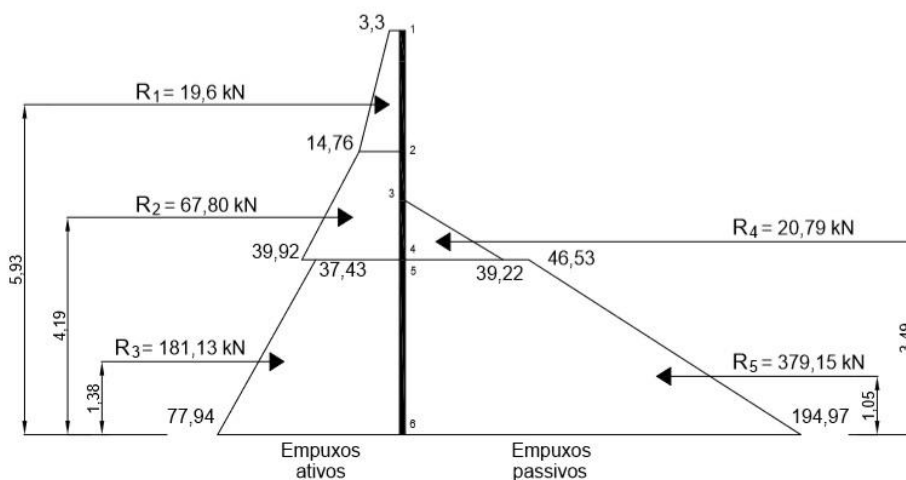


Figura 6. Diagrama de empuxos atuantes na contenção com relação à base

Aplicando os valores dos empuxos resultantes com relação translação e a rotação no ponto 6, foram obtidos os seguintes valores mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Fator de segurança com relação à base da contenção

	Valores parâmetros	Valores calculados
FS rotação	1,50	0,83
FS translação	1,50	1,50

Pela metodologia de Joppert Jr. (2007), quando os valores calculados não atingem o mínimo recomendado, é aconselhado aumentar a ficha na fase de projeto. O autor indica que a ficha seja de 1,5 a 2 vezes o tamanho do balanço. Aplicando relação do fator de segurança de combate a rotação proposta pelo autor, agora no ponto 1 (ponto de escoramento feito pela laje térrea do edifício), mostrado na Figura 7, foi obtido o valor mostrado na Tabela 3.

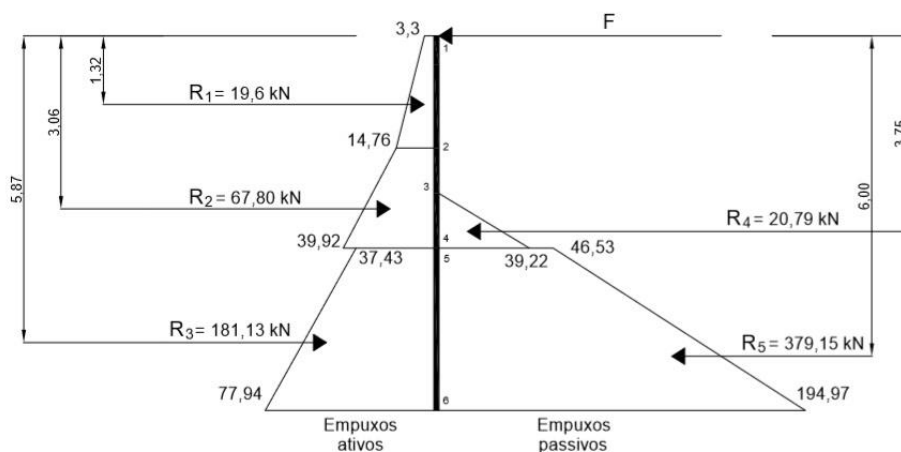


Figura 7. Diagrama de empuxos atuantes na contenção com relação ao escoramento

Tabela 3. Fator de segurança com relação ao ponto de escoramento

	Valor parâmetro	Valor calculado
FS rotação	1,50	1,81

Para cálculo de reação na laje foram verificadas duas condições de fatores de segurança igual a 1,50, (a) fator de segurança ao tombamento em relação à base da parede diafragma, (b) fator de segurança à translação, desta forma obtida os seguintes valores para F mostrado na Tabela 4. Neste procedimento a maior carga das duas condições como reação horizontal para dimensionamento da laje foi adotada.

Tabela 4. Reação horizontal para dimensionamento da laje

	Reação por metro linear ao travamento (F)	Unidade
FS tombamento	59,14	kN/m
FS translação	2,82	kN/m

A obra conta com 300 m² de contenção executada, somando os custos diretos de R\$ 72.000,00, conforme discriminado em projeto, englobando mobilização de equipamentos, execução de mureta guia e parede diafragma. Neste custo foram eliminados os custos relacionados aos agentes estabilizantes de solo.

Foi realizada uma pesquisa de mercado em junho de 2019 a fim de aferir e comparar os custos diretos de aquisição e descarte residual entre a lama bentonítica e o polímero sintético para aproximadamente 100 m³ de escavação e uma área de 300 m² de contenção construída. Foram feitos três orçamentos com fornecedores e empresas ambientais especializadas no descarte do material. A partir dos dados obtidos foi adotado o menor valor de mercado oriundo da análise apresentada na Tabela 5 e 6.

Tabela 5. Custos diretos para aquisição e descarte do lama bentonítica

Descrição dos Serviços	Un	Quantidade	Custos R\$	
			Preço Unt.	Preço total
1 Parede diafragma				
1.1 Lama bentonítica	kg	4.000,00	1,00	4.000,00
1.2 Descarte de resíduos sólidos – Material + transporte	m ³	100,00	126,67	12.666,67
1.3 Descarte de resíduos líquidos – Material + transporte	m ³	30,00	1.320,00	39.600,00
			Total	56.266,67

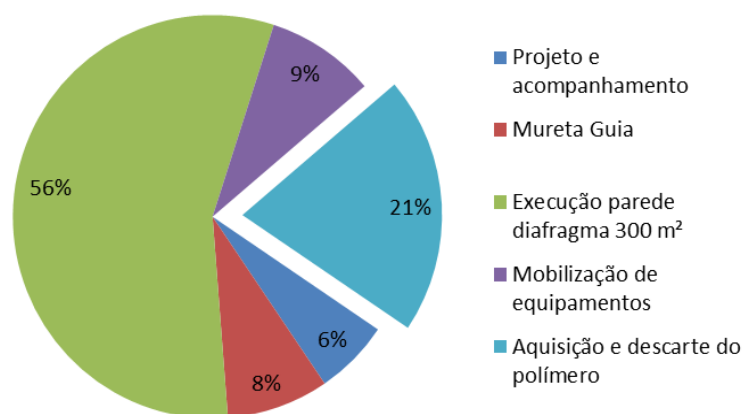
Tabela 6. Custos diretos par aquisição e descarte do polímero sintético

Descrição dos Serviços	Un	Quantidade	Custos R\$	
			Preço Unt.	Preço total
1 Parede diafragma				
1.1 Polímero sintético	kg	270,00	19,92	5.378,40
1.2 Descarte de resíduos sólidos – Material + transporte	m ³	100,00	126,67	12.666,67
1.3 Descarte de resíduos líquidos – Material + transporte	m ³	10,00	70,00	700,00
			Total	18.745,07

Comparando o índice de consumo dos materiais, a lama bentonítica teve um rendimento de 40 kg/m³, muito inferior ao polímero que foi de 2,7 kg/m³, aproximadamente

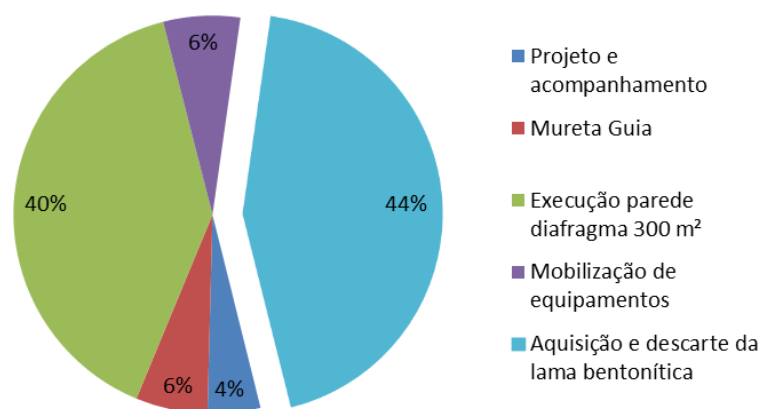
15 vezes maior que a quantidade de polímero utilizada. Na geração de resíduos a bentonita teria uma quantidade de rejeito também superior. Segundo Mota. (2010) a montmorilonita absorve água de 6 a 7 o seu peso específico e aumenta consideravelmente seu volume podendo gerar de 3 a 15 mais resíduos se comparado ao polímero.

A resolução nº 307/2002 do CONAMA classifica o resíduo como Classe D, indicando o transporte e descarte conforme a norma técnica específica nesse caso a ABNT NBR 10004:2004. As exigências ambientais sobre estes procedimentos com a lama bentonítica acaba tornando a mobilização e o custo do descarte desse material mais caro. As Figuras 8 e 9 demonstram a influência discriminando a aquisição e descarte dos do polímero e da lama bentonítica respectivamente no valor global da contenção.



TOTAL R\$ 90.745,07

Figura 8. Influência do custo direto entre aquisição e descarte do polímero no valor global da contenção.



TOTAL R\$ 128.266,67

Figura 9. Influência do custo direto entre aquisição e descarte da lama bentonítica no valor global da contenção.

Mesmo fazendo o tratamento do polímero e podendo descartar o fluido na rede pluvial a empresa responsável decidiu fazer o descarte em um “bota fora” através de um caminhão com tanque de bombeamento a vácuo. Apesar de gerar mais um custo, o mesmo foi relativamente pequeno quando comparado com o valor global.

Conclusões

Projetos inovadores, solos profundos, edificações imponentes e esbeltas, são cada vez mais comuns nos centros urbanos. Para que estes projetos saiam do papel a investigação geotécnica é uma etapa imprescindível para reconhecimento do solo a ser trabalhado. A partir dessa fase que é possível fazer definições e dimensionamento da infraestrutura mais adequada, podendo exercer o real conceito de engenharia obtendo o melhor custo/benéfico e desempenho para cada caso.

Para este estudo a investigação geotécnica feita através da sondagem SPT foi de suma importância para obtenção dos parâmetros de resistência dos solos. Na primeira condição de travamento proposta por Joppert Jr., sendo a base engastada e superfície livre, foram feitas duas correlações entre os momentos atuantes para verificar os fatores de segurança contra rotação e translação. A análise contra a rotação não atingiu o valor mínimo proposto pelo autor, ou seja, neste caso a estrutura entraria em colapso podendo ocorrer o tombamento da mesma. Na segunda condição de travamento, condição definitiva de projeto onde há o engaste da base no solo e apoio da superfície pela laje térrea do edifício, o resultado obtido atendeu o fator de segurança proposto pelo método, apresentando segurança total contra os esforços atuantes solicitados. Deste modo, com base nos resultados obtidos, a estabilidade geotécnica foi satisfatória, ou seja, a parede foi tida estável para as condições de projeto propostas, considerando que a contenção seja executada sobre as condições de travamento analisadas.

É reconhecido que a lama bentonítica possui bom desempenho técnico como agente estabilizante de solo, sendo muito utilizada ao longo da história em fundações na construção civil, apesar de seu descarte inadequado trazer graves problemas ao meio ambiente. A legislação ambiental tem se tornado cada vez mais restritiva e, por isso, o custo do descarte da lama está mais elevado, podendo chegar ao ponto de inviabilizar projetos. A demanda por novas tecnologias com intuito de amenizar o impacto ambiental causado por estes agentes proporcionou o surgimento do polímero sintético no mercado da construção civil. Este geopolímero, quando tratado corretamente, proporciona a quebra das longas cadeias

poliméricas e pode ser descartado como água residual, diferente da lama que necessita de um descarte específico que inviabiliza sua utilização.

Na primeira análise feita entre os agentes estabilizantes de solo, foi observado que a lama bentonítica demanda maior espaço no canteiro de obras devido a grande quantidade de insumo a ser estocada. Para o caso em estudo foi 4.000,00 kg de bentonita contra 270 kg de polímero.

O custo inicial de aquisição do polímero foi superior ao da lama, porém seu custo/benefício se mostrou mais eficiente, já que seu índice de consumo foi de 2,7 kg/m³ enquanto o da lama de 40 kg/m³. Isto, além do gasto superior na questão do descarte da lama, que tornaria o processo aquisição/descarte da lama três vezes mais cara do que o polímero. A utilização do polímero biodegradável também teve seu fator de consciência ambiental, gerando menos rejeito e conseqüentemente uma obra mais limpa onde muitas empresas optam pelo material em busca de selos verdes e outras certificações ambientais.

A experiência com o estudo de caso permitiu uma ideia clara do conceito do “tripé da produtividade da obra”, que visa um equilíbrio entre o custo, o tempo e a qualidade. Ficou claro que a empresa optou pela melhor alternativa analisando estes três fatores.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2010**. Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro: Copyright, 2010. 91 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484:2001**. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: Copyright, 2001. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:2004**. Classificação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; ALBIERO, J.H. Fundações diretas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 140p.

DAS, B.; KHALED, S. (2014). **Fundamentos de Engenharia Geotécnica** (8ª ed.). São Paulo: Cengage Learning Ltda.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA n° 307 de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e

procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Publicado no D.O.U N° 136, Poder Executivo, Brasília, de 17/07/2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

CASUBEK, C. (2017). Corte B.B. Florianópolis.

CASUBEK, C. (2017). Projeção da parede diafragma. Florianópolis.

GLUZ, J. (2017). Croqui de Localização. Florianópolis.

JUNIOR, I. J. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução.** São Paulo: Pini Ltda., 2007.

MASSAD, F. **Escavações a céu aberto em solos tropicais: região centro-sul do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MOTA, C. B. N. **Estudo comparativo do impacto ambiental produzido pelo uso de lama bentonítica e de polímero em obra.** 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia Ambiental. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.

NAKAMURA, J. (2013). **Fundações e contenções.** *Téchne* (200).

RATTICHERI, M. M. **Metodologia construtiva de paredes diafragma.** 2015. 65 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

SILVA, T. H. C. **Sumário Mineral DNPM de 2011.** Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6358>. Acesso em: 14 mai. 2019.