

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TALUDES EM SOLOS REFORÇADOS COM *JET GROUTING* E CONTENÇÕES¹

Carolina de Oliveira Costa – carol.oli.costa@gmail.com

Guilherme Calsavara Reimberg – guilherme.calsavara.reimberg@gmail.com

Ligia Varanda Jarandilha Santos – ligia_vjs@hotmail.com

Prof^ª. Dra. Kamila Rodrigues Cassares Seko (Orientadora) – kamila.seko@mackenzie.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnico econômica de taludes em solos reforçados com *jet grouting* e contenções sem ancoragens, sendo perfis metálicos com pranchamento em madeira e estacas hélice contínua justapostas as soluções consideradas a título de comparação. Para isso, foi realizado um estudo de caso sobre uma obra que apresenta uma grande proximidade em relação a um túnel do metrô do Município de São Paulo. A solução adotada e executada para a obra foi colunas de solo-cimento *jet grouting* com o objetivo de melhoria das propriedades do solo para assim escavá-lo, haja visto que seria inviável uma metodologia que emprega ancoragem ativa, como o uso de tirantes, sem gerar interferência ou possíveis danos à estrutura do túnel. Baseado nas informações do relatório da sondagem, foram determinados os parâmetros geotécnicos do solo e compreendido o perfil do subsolo para prosseguir com os dimensionamentos geotécnicos por meio da Teoria de Rankine e estruturais conforme procedimentos clássicos da literatura. Os cálculos foram realizados manualmente com o auxílio da ferramenta da *Microsoft Excel® da Microsoft Office®* e a obtenção dos momentos fletores, forças cortantes e deslocamentos a partir do *software Ftool®*. Após a etapa de dimensionamento, foi possível analisar comparativamente as metodologias em estudo baseadas em parâmetros de custo e prazo de execução. Por meio desta análise, entendeu-se que a solução em perfis metálicos com pranchamento em madeira seria a mais viável, inclusive ao considerar a utilização do equipamento “saca-perfil”.

Palavras-chave: *Jet grouting*. Contenção. Taludes.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN SLOPES IN REINFORCED SOILS WITH JET GROUTING AND RETAINING WALLS

ABSTRACT

The aim of this work is to study the economic technical feasibility of reinforced soils slopes with jet grouting and retaining walls without anchorages, like soldier-pile and wood lagging wall and

¹ Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, EE, UPM, São Paulo, 2021.

tangent continuous flight auger piles it are solutions considered for comparison. Because of this, the case was carried out on a project that is near to a subway tunnel in São Paulo city. The solution adopted and implemented for the work was jet grouting soil-cement columns with the purpose of improving the properties of the soil in order to dig it, considering that a methodology that employs active anchoring, such as the use of anchors, would be unfeasible generating interference or possible damage to the tunnel structure. Based on information from the partial geotechnical site investigation report, the soil geotechnical parameters were determined and the subsoil profile was understood in order to proceed with the geotechnical dimensioning using Rankine's Theory and follow classical procedures in the literature. Calculations were performed manually with the aid of the Microsoft Excel® of Microsoft Office® tool and the bending moments, shear force and displacements were obtained from the Ftool® software. After a computational step, it was possible to comparatively analyze the methodologies under study based on cost and time parameters. Through this analysis, the results shows that the solution in soldier-pile and wood lagging wall would be the most feasible, even when considered using the machine to remove the soldier-pile out of the ground.

Keywords: Jet grouting. Retaining walls. Soils slopes.

1 INTRODUÇÃO

A definição do tipo de solução a ser adotada para contenção do solo de um empreendimento depende da investigação dos subsolos por abranger características do solo e/ou rochas, como características físicas e mecânicas. Então, é necessário estudar a estabilidade das encostas e/ou taludes bem como das contenções, levando em consideração a anulação dos efeitos de instabilidade, além de considerar a proximidade às edificações vizinhas e as restrições de emissão de ruído. Santos Júnior (2018) baseou suas análises no reforço de subsolos com características geotécnicas de baixa resistência e concluiu que a execução de colunas de *jet grouting* foi uma solução viável, uma vez que melhorou as propriedades mecânicas do solo e isto conferiu não apenas uma maior estabilidade ao maciço terroso, como também resistência ao carregamento proveniente da estrutura.

Em seguida, além de identificar as tecnologias disponíveis no mercado que atendam todos os critérios técnicos, pôde-se realizar um estudo comparativo de custo visando a escolha da técnica executiva mais econômica capaz de melhorar as propriedades físicas do solo ou contê-lo propriamente; e prazo, de forma que atenda o cronograma da obra. À vista disso, conforme a ABNT (2009), por meio da NBR 11682, os projetos de contenções visam a construção de estruturas que suportem os esforços estáticos provenientes do maciço terroso e de sobrecargas acidentais e/ou permanentes.

Existem diversas metodologias disponíveis para utilização nos projetos de contenção de taludes. De acordo com Hachich *et al.* (1998), as obras de contenções de taludes buscam a estabilização de solos naturais em situações de desmoronamento iminente; ou visam modificar a geometria de um talude estável no intuito de permitir a implantação de uma obra. A função da contenção é suportar o empuxo, ou seja, a ação produzida pelo maciço de solo sobre as estruturas com ele em contato. Destacam-se como métodos não ancorados, ou seja, que não empregam ancoragem ativa como o uso de tirantes ou passiva como o solo grampeado, a execução de colunas de *jet grouting*, perfis metálicos com pranchamento em madeira e estacas hélice contínua justapostas. Segundo Koshima *et al.* (2019), o *jet grouting* apresentou a diversidade de usos desta tecnologia e concluiu que a mistura de solo-cimento garante ao solo resistências à compressão que chegam a ultrapassar 2 MPa; esta característica viabilizou a execução de diversas obras no Brasil.

Independente das diferenças entre as metodologias executivas e custos financeiros, todas buscam o mesmo objetivo: a contenção do solo. Sendo assim, este estudo de caso visa analisar a viabilidade técnico-econômica da solução *jet grouting* para reforço de solos de taludes em corte por meio da comparação com a execução de dois métodos não ancorados para a contenção do talude.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A capacidade de suporte dos solos é uma característica intrínseca que impacta diretamente no resultado de execução e custo de uma obra. Analisar sua textura, densidade, permeabilidade e porosidade são fatores determinantes para possibilitar um estudo comparativo e especificar os tipos de técnicas ou tratamentos pertinentes para cada categoria de solo.

Conforme Santos Júnior (2018), a necessidade de viabilizar a execução de obras em áreas com solos moles ou instáveis ocorreu devido ao processo de crescimento demográfico das cidades. A concentração ocupacional nas zonas superficiais dos espaços urbanos ocorre em consequência ao ganho populacional. Esta situação impulsionou o aprimoramento dos métodos executivos existentes e o desenvolvimento de novas técnicas que buscam fornecer reforço ao maciço terroso.

Os taludes em solos de baixa capacidade de suporte podem ser tratados por meio de algumas técnicas que possibilitam estabilizar a estrutura e melhorar características específicas, como o *jet grouting*. Outras metodologias que garantem apenas a contenção de solos são os perfis metálicos com pranchamento em madeira ou estacas hélice contínua justapostas. Dessa forma, para este estudo de caso, a análise acontece justamente pela viabilidade das técnicas disponíveis no mercado.

2.1 EMPUXOS DE TERRA

A consideração dos empuxos de terra de maneira adequada é imprescindível ao realizar o dimensionamento de uma estrutura de contenção. Conforme Barros (2017), empuxo de terra é a ação resultante das pressões laterais exercidas pelo maciço de solo sobre a estrutura de contenção

ou fundação, ou seja, ocorre como consequência do peso próprio do solo e das sobrecargas aplicadas sobre ele. Somado a isso, Hachich *et al.* (1998) ressaltam que a compactação do solo atrás de uma estrutura de contenção é uma importante causa à ocorrência de empuxos laterais.

Ainda vale ressaltar que esse esforço pode ser classificado como de repouso, passivo ou ativo. A identificação da sua natureza é resultado do sentido dos deslocamentos na estrutura. Conforme Gerscovich *et al.* (2016), a situação de repouso é caracterizada pelo próprio peso do maciço, não apresentando mudanças nas tensões cisalhantes atuantes nos planos verticais e horizontais. O caso passivo acontece quando a estrutura de contenção atua empurrando o maciço de solo, gerando aumento das tensões efetivas horizontais e conservando as tensões efetivas verticais. Em contrapartida, caracteriza-se o empuxo ativo quando a contenção tende a se afastar do solo devido à ação horizontal exercida pelo maciço, gerando uma redução das tensões efetivas horizontais e preservando as tensões efetivas verticais.

Vale salientar que ao se tratar de empuxo passivo, não se deve considerar as cargas acidentais, independente dos fatores que as ocasionem. Pois, dessa forma estaria favorecendo o estado de equilíbrio da parede de contenção, acarretando a perda da estabilidade da obra quando o carregamento deixasse de atuar (HACHICH *et al.*, 1998). Consequentemente, é sabido que ao não realizar essa consideração, o fator de segurança obtido é inferior e, portanto, trata-se de um cenário mais desfavorável.

Determinar o valor do empuxo é indispensável para a análise em projetos de obras de terra, uma vez que este valor está associado à distribuição de tensões ao longo da contenção. A metodologia aplicada para a determinação de tais empuxos emprega o método de equilíbrio limite, com destaque à importante teoria de Rankine de 1857, de acordo com Gerscovich *et al.* (2016). Esta teoria está apresentada na seção 3 deste artigo.

2.2 TECNOLOGIA *JET GROUTING*

A tecnologia *jet grouting* consiste em utilizar jatos de calda de cimento em alta pressão, constituídos por combinações de colunas justapostas ou secantes, permitindo maior proveito de compressão, sem solicitação de tração na flexão. Segundo Hachich *et al.* (1998), o resultado de abrangência do jato no solo quando aplicado de forma unidirecional, é um aspecto importante da tecnologia, formando um painel (também denominado por cortina esbelta), conhecido como “painel *jet grouting*”. Além do mais, a utilização do ar comprimido para envolvimento do jato de calda de cimento permite um maior alcance do jato e, assim, diminui as perdas de energia do processo e proporciona aumento no volume de solo tratado.

Esta metodologia em questão é vista como uma técnica com grande versatilidade uma vez que sua aplicação é possível em solos com diversas composições granulométricas, mesmo abaixo

do nível freático. Segundo Roberto (2012), a tecnologia *jet grouting* pode ser aplicada tanto em solos com baixa resistência ao cisalhamento e não coesivos (areia) quanto em solos coesivos (argila). Os jatos são lançados com brevidade e, devido a este fato, possibilita-se a mistura e desagregação de parte dos maciços originais. “As soluções de obra com uso do *jet grouting* seguem basicamente o conceito de melhorar/transformar as propriedades do solo “*in situ*” em um novo material, de solo-cimento.” (KOSHIMA *et al.*, 2019, p. 4).

Apesar de não terem uma metodologia com embasamento normativo brasileiro, há uma norma europeia que define as particularidades para qualidade e execução da técnica, onde trata o dimensionamento apenas de modo informativo. De acordo com a norma europeia BS (2001), por meio da EN 12716, podem ser adotados dois tipos de sequências para as colunas de *jet grouting*: contínuas, na qual a sequência de trabalho é feita em curtos períodos, construídas sucessivamente e sem esperar que a calda endureça nas colunas próximas; ou alternadas, na qual só pode ser gerado uma coluna quando os elementos adjacentes previamente construídos já tenham adquirido a resistência predefinida ou após um determinado tempo de endurecimento.

A coluna de solo-cimento é formada pela subida da haste e tem sua velocidade de acordo com as características e propriedades geotécnicas do maciço, além das limitações de projeto. Conforme Barbosa (2017), os jatos com maiores eficiências hidrodinâmicas são aqueles com densidade maximizada e viscosidade minimizada.

A sequência executiva do *jet grouting*, segundo Rodrigues (2009), está associada ao corte, mistura solo-cimento e a cimentação. Na fase do corte, a velocidade dos jatos de ar/água no sentido horizontal em altas pressões acarreta a desagregação das partículas de solo; na mistura solo-cimento, a mistura fica mais resistente devido à aglutinação da calda de cimento com o solo, através da rotação da haste; e a cimentação acontece quando a aglutinação entre o solo e a calda de cimento ganha consistência, e desta forma a combinação será fortalecida.

O processo construtivo é dividido entre perfuração e injeção, na qual a perfuração do terreno ocorre por processo rotativo, geralmente acompanhado por um tricone (ferramenta de corte comumente reforçada com carboneto de tungstênio) e ao empregar injeção de água sob baixa pressão, apenas para efeito de lavagem. A calda de injeção, usualmente composta apenas de água e cimento, é preparada no conjunto misturador-agitador. Conforme Solotrat (2018), posteriormente à perfuração até a profundidade descrita no projeto e à vedação da saída de água, inicia-se a fase de injeção. É uma fase de extração da haste, seguida da injeção do fluido através dos bicos injetores, que necessita de equipamentos que suportem as altas pressões.

Dessa forma, o *jet grouting* tem como um dos seus objetivos a contenção e estabilização de solos para corte em taludes. Uma das propriedades a serem exploradas pelos engenheiros, em suas análises, é a resistência à compressão simples.

2.3 CONTENÇÃO POR PERFIL METÁLICO

Segundo Cardoso (2002), esse método é formado pelo conjunto dos perfis metálicos com a montagem de pranchões de madeira, assim forma-se uma contenção flexível. O autor ainda explica que esse tipo de contenção se inicia a partir da cravação dos perfis de aço com o uso de bate-estacas, suas seções transversais podem ser em forma de “I” ou “H” e sua localização normalmente se encontra nos limites da escavação com espaçamento entre os perfis. A escavação do solo acontece por níveis, portanto, à medida que o solo é retirado se deve colocar entre dois perfis consecutivos pranchas de madeira encunhadas contra eles. A colocação das pranchas pode ser também por trás dos perfis. Dessa forma, é possível prosseguir gradativamente a escavação até chegar à profundidade necessária.

O comprimento dos perfis deve ser maior que a profundidade da escavação para o talude e a extensão do perfil que fica abaixo da cota de escavação é chamada de “ficha”. Esta recebe tanto os esforços do solo à direita e à esquerda, como as influências do peso do maciço, ou seja, o próprio peso do talude. Cardoso (2002, p. 8) explica que “nesse tipo de contenção o “peso do terreno” age horizontalmente sobre os pranchões, que por sua vez transferem a carga para os perfis, que acabam funcionando como vigas em balanço engastadas no solo [...]”. Entretanto, o estado de engastamento não é uma concepção única, em vista disso foi possível adotar outra consideração quanto à vinculação estrutural conforme apresentado nos dimensionamentos na seção 4.1.

É importante pontuar que existe a tendência de o perfil romper o solo, por mais que a ficha seja grande, uma vez que as tensões de contato entre a face enterrada do perfil e o solo podem ser muito elevadas. Sendo assim, escavações com grandes e médias profundidades – acima de 2,5 m – devem ter seus perfis escorados, podendo ser empregados estroncas e/ou tirantes.

Cardoso (2002) afirma que dentre as vantagens compreendidas nesse método estão o baixo custo, médio a elevado reaproveitamento e boa funcionalidade em meio a interferências com redes preexistentes, além disso a contenção de taludes por perfil metálico pode ser do tipo provisória, pois pode ser removida quando sua necessidade for cessada. Hachich *et al.* (1998) ainda ressaltam que se trata de um sistema de contenção provisório, portanto, é necessária a execução da estrutura definitiva posteriormente. Desta forma os perfis podem ficar perdidos ou então são recuperados e utilizados em outro trecho da obra ou em empreendimentos futuros.

Caso a construtora escolha recuperar o material aplicado, há um sistema desenvolvido inicialmente pela empresa Solofix Engenharia e denominado de “Saca-Perfil”. Conforme Solofix (2017), nesta técnica a extração está diretamente vinculada ao atrito entre a estaca e o solo, por isso é recomendado que a estaca permaneça cravada o menor tempo possível devido à cicatrização do solo. Além de evitar a compra de novos materiais, de acordo com Comercial Solofix (2021), é conveniente o fato de a extração média diária ficar em torno de 50 m a 60 m de perfis.

2.4 CONTENÇÃO POR ESTACAS JUSTAPOSTAS

Cortinas de estacas justapostas servem como fundação e/ou contenção provisória ou permanente da obra. A execução desse tipo de contenção pode ocorrer tanto ao longo do perímetro do terreno ou limites de subsolos e permite a escavação em fase provisória da obra. Em alguns casos é necessária a execução de vigas de coroamento sobre as estacas no intuito de garantir a estabilidade estrutural da contenção e possibilitar a sequência da escavação. As estacas são executadas alternadamente e posteriormente, os intervalos serão fechados por novas estacas. Conforme Hachich *et al.* (1998), sua aplicação pode ser em estacas escavadas com trados mecanizados, tipo raiz, tipo hélice contínua e strauss.

A metodologia executiva de uma estaca hélice contínua desenvolve-se inicialmente pela perfuração. Para que atinja a profundidade desejada, por meio de uma mesa rotativa colocada em seu topo, é aplicado um torque que vença a resistência do solo em questão. Segundo Hachich *et al.* (1998), a haste de perfuração é composta por uma hélice espiral, que contém dentes na extremidade inferior para melhor penetração no solo, em torno de um tubo central. Ainda de acordo com estes autores, o processo de perfuração acontece devido à uma única força vertical aplicada, ou seja, o peso próprio da hélice; além disso, é uma ação que ocorre de forma contínua, o que permite a execução tanto em solos coesivos como arenosos e com ou sem a presença de lençol freático. Portanto, o equipamento empregado é constituído de uma torre metálica de altura apropriada para a execução das estacas previstas em projeto, juntamente com duas guias nas extremidades, mesa rotativa de acionamento hidráulico e guincho compatível com os esforços de arrancamento de projeto.

Conforme a ABNT (2019), por meio da NBR 6122, normalmente é utilizado concreto com resistência característica f_{ck} 30 MPa ou 40 MPa - dependendo da classe de agressividade ambiental - e ensaio de abatimento entre 220mm e 260mm. Então, após a perfuração até a cota de apoio prevista, o concreto é injetado através do tubo central do trado de forma que, simultaneamente à entrada do concreto, o trado helicoidal é extraído do terreno com giro no sentido da perfuração. A velocidade de extração está ligada diretamente à pressão e sobre-consumo de concreto para que não fiquem vazios. A limpeza do solo das lâminas é feita manualmente e depois removido por uma pá carregadeira.

Após a concretagem até a superfície e limpeza do terreno ao redor da estaca recém concretada, a armação em forma de gaiola é introduzida na estaca por gravidade, quando possui até 12 metros, ou vibrador, até 19 metros (HACHICH *et al.*, 1998). A gaiola deve ser rígida para que permita sua inserção no concreto fresco de forma centralizada por meio de roletes para garantir seu cobrimento mínimo.

A produção com o equipamento depende de diversos fatores como o diâmetro da hélice, profundidade da estaca, grau de agressividade e resistência do solo, além do torque do equipamento utilizado. Sua notável produtividade permite uma equipe reduzida na obra, maior economia de tempo, minimização de custos e, além de se adaptar a diferentes solos - exceto na presença de matacões e rochas - não produz ruído, vibrações elevadas e detritos poluidores por não empregar fluido estabilizante (por exemplo, lama bentonítica) (HACHICH *et al.*, 1998).

3 METODOLOGIA

Inicialmente o grupo realizou uma visita técnica a uma obra localizada perto da estação do metrô no Município de São Paulo, no intuito de conhecer a técnica executiva do *jet grouting*. No local foi dado um grande suporte por parte do engenheiro residente e pelos funcionários da empresa responsável pela execução da estrutura de contenção no empreendimento, no caso colunas de *jet grouting*.

O trabalho é norteado pela comparação entre a solução de talude em solo reforçado por *jet grouting*, como executado na obra visitada, em relação a outras duas técnicas baseadas em métodos sem ancoragem, ou seja, metodologias que não empreguem tirantes, por exemplo. Como o projeto de *jet grouting* é oriundo de uma obra em execução, seu dimensionamento não será contemplado.

As duas possíveis soluções estudadas a título de comparação são perfis metálicos com pranchamento em madeira e estacas hélice contínua justapostas, cujos dimensionamentos dos esforços atuantes e resistentes seguiram o método de Rankine de 1857. No intuito de estimar os parâmetros do solo como pesos específicos natural e saturado, coesão, ângulo de atrito, valores médios de índices de resistência à penetração (N_{SPT}) foram determinados com base na sondagem mais próxima da região em estudo e as correlações apresentadas por Joppert Júnior (2007) foram empregadas.

William John Macquorn Rankine, engenheiro e físico, desenvolveu a teoria resultante do equilíbrio interno do maciço, onde contribuiu para as condições de equilíbrio-limite dos maciços. As formulações encontradas nesta teoria estão de acordo com o apresentado por Gerscovich *et al.* (2016), sendo:

a) Tensão horizontal ativa (σ'_{ha}), expressa pela Equação (1).

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v \cdot k_a - 2c' \cdot k_{ac} \quad (1)$$

onde:

σ'_v – tensão vertical efetiva;

k_a – coeficiente de empuxo no estado ativo;

c' – coesão do solo.

Tem-se pela Teoria proposta por Rankine que:

$$k_a = \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi} = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2)$$

$$k_{ac} = \sqrt{k_a} \quad (3)$$

onde:

ϕ' – ângulo de atrito efetivo.

b) Tensão horizontal quanto empuxo passivo (σ'_{hp}), está apresentada na Equação (4) a seguir.

$$\sigma'_{hp} = \sigma'_v \cdot k_p + 2c' \cdot k_{pc} \quad (4)$$

onde:

σ'_v – tensão vertical efetiva;

k_p – coeficiente de empuxo no estado passivo;

c' – coesão do solo.

Tem-se que:

$$k_p = \frac{1 + \text{sen}\phi}{1 - \text{sen}\phi} = \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (5)$$

$$k_{pc} = \sqrt{k_p} \quad (6)$$

onde:

ϕ' – ângulo de atrito efetivo.

Após a determinação dos parâmetros do solo para elaboração do projeto, foram compreendidas as diferentes alturas “h” devido ao desnível encontrado no terreno existente no projeto e a serem vencidos com o objetivo de possibilitar a escavação da obra. Ao levar em conta a distância entre o topo do paramento até a cota de escavação, tem-se alturas de contenção entre 4,54 m e 0,00 m. Observou-se que a solução em *jet grouting* foi empregada em desníveis a serem vencidos com a escavação em taludes entre 4,54 m e 2,50 m, para possibilitar que a mesma não necessitasse o uso de tirantes; e para valores inferiores a 2,50 m, o solo do talude não recebeu reforço.

Para ambas as soluções propostas neste trabalho, foram calculados empuxos ativo e passivo e o ponto resultante nulo no diagrama dos empuxos para aplicação no programa *Ftool*® para as alturas totais de 4,54 m, 3,50 m e 2,50 m (valores que atendem as necessidades do projeto como explicado anteriormente). De acordo com Alonso (2019), o ponto resultante nulo é calculado a partir da primeira inversão de sinal quando comparada a tensão horizontal ativa com a passiva. A partir desta consideração, pode-se determinar um valor de profundidade “z” que corresponde à distância entre o topo do talude e o ponto em que o diferencial de tensão é nulo; e adotou-se neste ponto de diferencial nulo um apoio fixo para a estrutura no *Ftool*®. Também se considerou um

apoio móvel na extremidade inferior de forma que se torne uma contenção isostática. Os empuxos ativos são aplicados no *software* como carga distribuída e molas serão consideradas no lugar do empuxo passivo calculado, conforme posicionamento previamente estipulado pelo grupo, para que o programa calcule a estabilidade da estrutura. No intuito de obter os valores de rigidez das molas, considerou-se o coeficiente de recalque horizontal estimado conforme TENG (1962 *apud* Alexandre Júnior, 2017, p. 5) e este é multiplicado pelo incremento da largura da aba lateral dos perfis ou do próprio diâmetro, no caso das estacas hélice contínua, e pela distância de influência para cada nó. Desta forma, para os perfis metálicos com pranchamento foram obtidos valores máximos de momentos fletores para análise comparativa com a resistência limite do aço de 300 MPa – considerado a favor da segurança o fator de minoração do aço de 1,15. E, para as estacas hélice contínua justapostas, foi considerado um concreto com resistência característica f_{ck} 30 MPa, conforme ABNT (2019), por meio da NBR 6122, que combinada a tensão admissível com o máximo valor de momento fletor pode-se calcular a área de aço necessária; além das máximas forças cortantes, para a comparação da tensão na estaca com a tensão do concreto.

O dimensionamento da armação das estacas foi baseado a partir do ábaco de interação, onde as formulações seguem de acordo com Costa [entre 2014 e 2021], sendo:

a) Parâmetro adimensional (v), expresso pela Equação (7).

$$v = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (7)$$

onde:

N_d – força normal de cálculo;

A_c – área da seção transversal da estaca;

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto à compressão.

b) Parâmetro adimensional (μ), expresso pela Equação (8).

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} \quad (8)$$

onde:

M_d – momento fletor de cálculo majorado;

A_c – área da seção transversal da estaca;

h – diâmetro da estaca;

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto à compressão.

c) Taxa mecânica (ω), expresso pela Equação (9).

$$\omega = \frac{A_{tot} \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (9)$$

onde:

A_{tot} – área de aço necessária/ a ser determinada;

f_{yd} – resistência característica do aço;

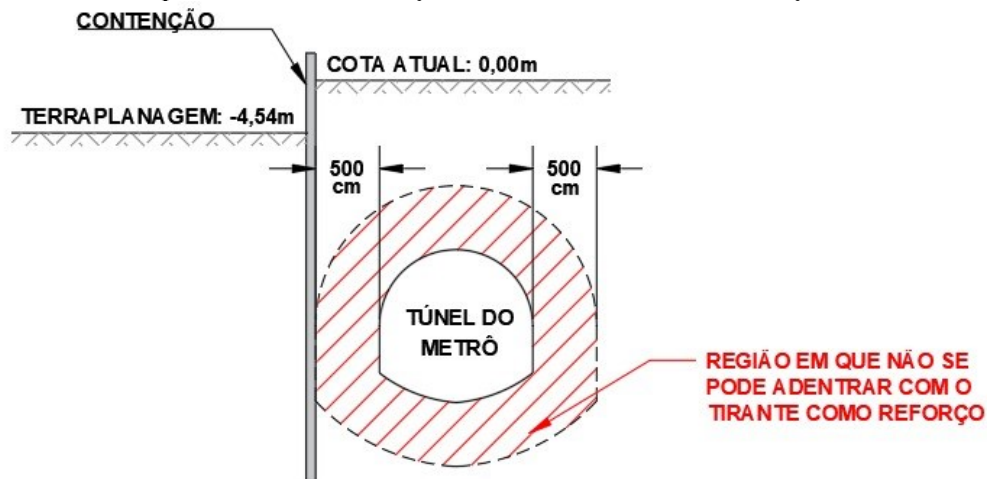
A_c – área da seção transversal da estaca;

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto à compressão.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é referente a uma obra na cidade de São Paulo, na qual apresenta um túnel do metrô como construção limítrofe. Além disso, a diferença entre cota natural do terreno e a cota do pavimento denominado por subsolo apresenta a necessidade de escavação que gera contenções entre 0,00 m e 4,54 m; dessa forma, para suprir essa condição desfavorável, a metodologia executiva empregada foi o *jet grouting* como reforço de solo a ser escavado em talude, por ser uma técnica que não utiliza tirantes. O projeto contempla a execução de 115 colunas de solo-cimento *jet grouting* com diâmetro de 120 cm distribuídos em duas linhas e um comprimento de 8 m. A obra optou por este método executivo devido à limitação oriunda da proximidade de uma estação do metrô e, como não há nenhuma norma de referência, foi considerado como premissa de projeto que a estrutura de contenção deveria respeitar uma distância mínima de 5 m em relação ao túnel do metrô, conforme pode ser visualizado na Figura 1.

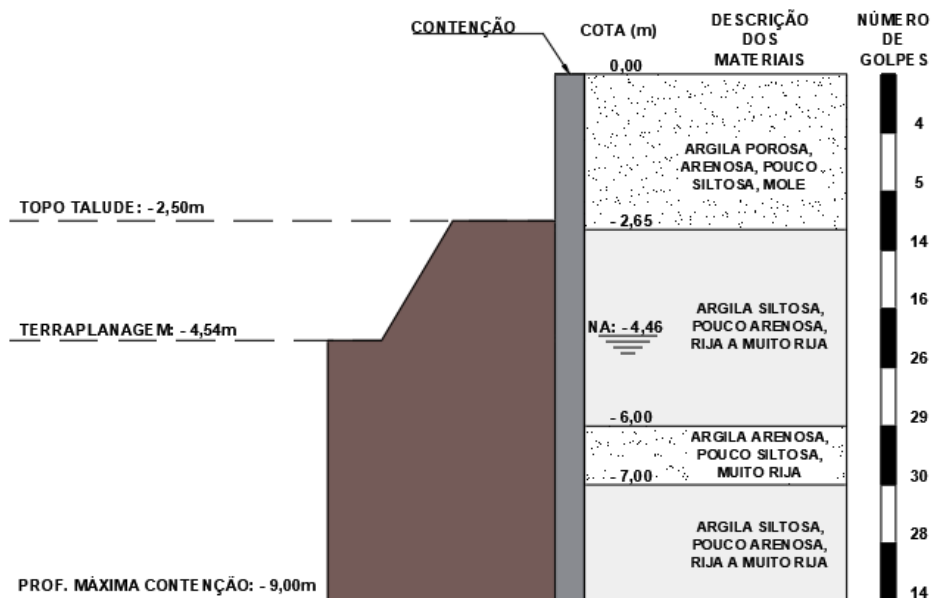
Figura 1 – Corte esquemático com indicação da distância mínima em relação ao túnel do metrô.



Fonte: Autoria própria (2021).

A análise geotécnica do subsolo deste estudo de caso foi realizada com base na sondagem mais próxima da região de estudo, na qual apresenta cota da boca de furo em 0,63 m, conforme consta na Figura 2. No desenho esquemático apresentado a seguir, além das informações da sondagem, é possível analisar a profundidade e cota da contenção, seja para os perfis metálicos ou para as estacas justapostas.

Figura 2 – Desenho esquemático corte da contenção e perfil do subsolo.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.1 DIMENSIONAMENTO DAS SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

Foram consideradas contenções em perfis metálicos W 310 x 44,5 com pranchamento em madeira e em estacas hélice contínua justapostas com diâmetro de 60 cm, onde foram determinadas três alturas distintas de cortes – 4,54 m, 3,50 m e 2,50 m – para o dimensionamento.

A partir da análise da Figura 2, os parâmetros geotécnicos dos solos foram determinados através das correlações com o N_{SPT} apresentadas por Joppert Júnior (2007), conforme demonstra a Tabela 1. Para os cálculos do empuxo ativo e passivo, houve a consideração da coesão com valor nulo, uma vez que atua na resistência ao deslocamento do solo, resultando no aumento do valor do empuxo ativo e na diminuição do valor do empuxo passivo. Desta forma, o dimensionamento buscou atuar no cenário mais favorável à segurança.

Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos dos solos.

Parâmetros geotécnicos	Tipos de solo			
	Argila arenosa (1ª camada)	Argila siltsosa, (2ª camada)	Argila arenosa (3ª camada)	Argila siltsosa (4ª camada)
Peso específico natural (kN/m^3)	17	19	20	20
Peso específico saturado (kN/m^3)	18	19	20	20
Ângulo de atrito ($^\circ$)	15	24	25	25

Fonte: Adaptado de Joppert Junior (2007).

Como dito anteriormente na seção 3, seções de corte típicas foram definidas para realização do dimensionamento. Assim, as considerações tanto para os perfis metálicos como as estacas hélice estão apresentadas na Tabela 2. Foi especificado um balanço de no máximo 2,50 m, ou seja, uma condição mínima para tornar viável as contenções, sem necessidade de uma ancoragem ativa. Além

disso, foi adotado que a ficha possui o mesmo valor da altura da contenção, sendo o comprimento total do perfil ou da estaca arredondado para um número inteiro.

Tabela 2 – Dados de entrada para perfis metálicos e estacas justapostas.

Dados de entrada	Cortes		
	4,54 m	3,50 m	2,50 m
Comprimento (m)	9,00	7,00	5,00
Ficha (m)	4,46	3,50	2,50
Altura do talude (m)	2,04	1,00	0,00
Sobrecarga (kN/m ²)	25,00	25,00	25,00
Sobrecarga do talude (kN/m ²)	38,76	19,00	0,00

Fonte: A autoria própria (2021).

Para prosseguir com os cálculos, foram determinadas duas condições. O nível d'água em relação à cota da boca de furo era de 3,83 m, mas foi considerado um acréscimo de espessura da primeira camada de solo referente à diferença entre a cota atual do terreno e a cota da boca de furo, portanto, o valor resultante para o nível d'água foi de 4,46 m. Além disso, o espaçamento adotado entre os perfis metálicos foi 1,50 m para os cortes 4,54 m e 3,50 m, e apenas 1,00 m para o corte 2,50 m. Em contrapartida, nas estacas justapostas, o espaçamento adotado foi o próprio diâmetro das mesmas de 60 cm. A partir disso, foi possível dimensionar de forma manual e obter os empuxos ativos e passivos (Tabela 3) e os valores de rigidez das molas (Tabela 4). O detalhamento será apresentado apenas para o corte 4,54 m, ou seja, para o caso mais crítico. Nas demais situações, o processo de cálculo segue o mesmo padrão.

Tabela 3 – Corte de 4,54 m de altura: valores de empuxos ativos (Ea) e passivos (Ep) para dimensionamento da contenção em perfis metálicos e em estacas justapostas.

Profundidade (m)	Perfil metálico		Estacas justapostas	
	Ea (kN/m)	Ep (kN/m)	Ea (kN/m)	Ep (kN/m)
0,00	22,08	-	8,83	-
2,65	61,87	-	24,75	-
2,65	44,31	-	17,73	-
4,46	66,07	-	26,43	-
4,54	66,52	83,17	26,61	36,76
6,00	74,33	109,65	29,73	48,47
6,00	71,53	118,67	28,61	50,36
7,00	77,62	141,90	31,05	60,22
7,00	77,62	141,90	31,05	60,22
9,00	89,80	188,35	35,92	79,93

Fonte: A autoria própria (2021).

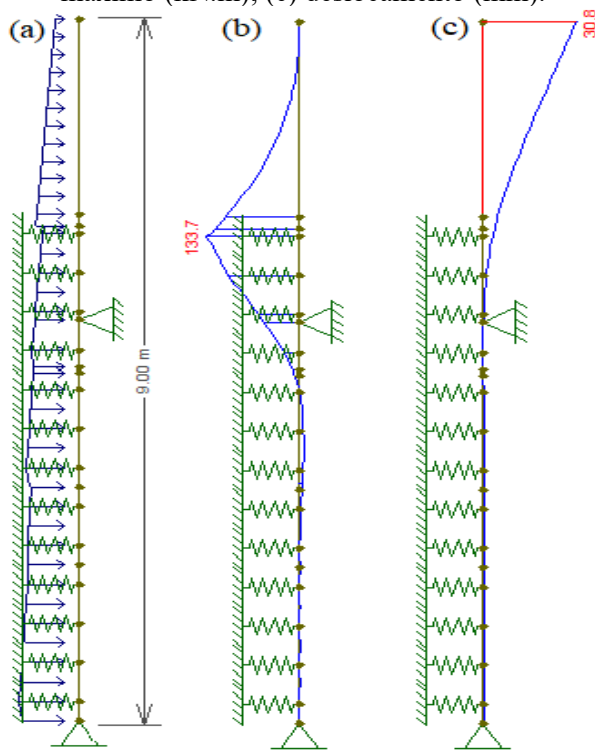
Tabela 4 – Corte de 4,54 m de altura: valores de rigidez das molas (Kmola) para perfis metálicos e estacas justapostas.

Profundidade (m)	Kmola (kN/m)	
	Perfis metálicos	Estacas justapostas
2,50	0	0
2,75	59.623	5.884
3,25	59.623	5.884
3,75	59.623	5.884
4,25	59.623	5.884
4,75	59.623	5.884
5,25	119.247	11.768
5,75	119.247	11.768
6,25	124.202	11.768
6,75	124.202	11.768
7,25	124.202	11.768
7,75	124.202	11.768
8,25	124.202	11.768
8,75	124.202	11.768
9,00	0	0

Fonte: Autoria própria (2021).

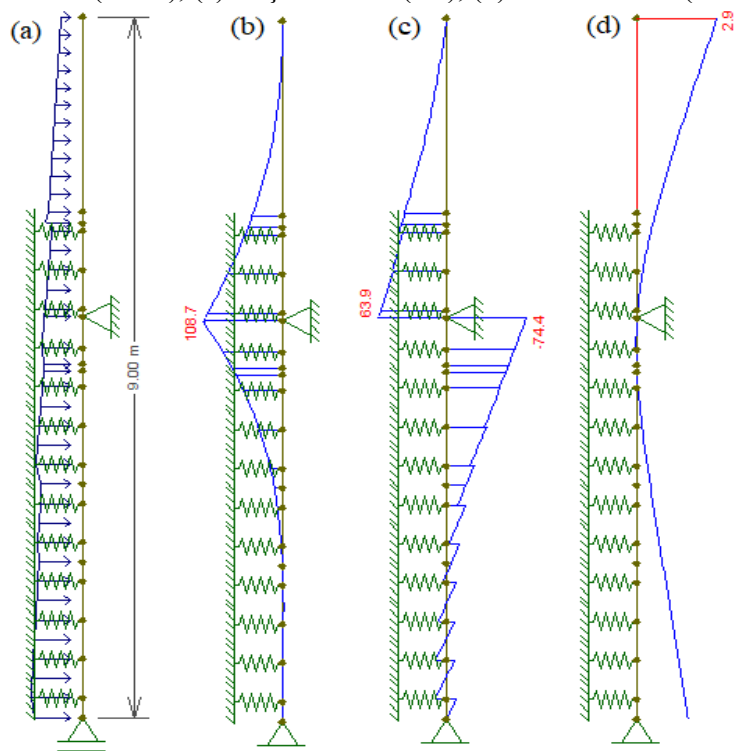
Os carregamentos aplicados no *Ftool*® foram considerados a partir das informações obtidas na Tabela 3, onde foi necessário interpolar valores para as profundidades de interesse. Os diagramas para o corte estudado são apresentados na Figura 3 para os perfis metálicos e na Figura 4 para as estacas justapostas.

Figura 3 – Corte de 4,54 m de altura: (a) Modelo adotado para os perfis metálicos; (b) momento fletor máximo (kN.m); (c) deslocamento (mm).



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 4 – Corte de 4,54 m de altura: (a) Modelo adotado para as estacas justapostas; (b) momento fletor máximo (kN.m); (c) força cortante (kN); (d) deslocamento (mm).



Fonte: Autoria própria (2021).

Desta forma, os resultados provenientes do cálculo de estabilidade no *Ftool*® para perfis metálicos estão apresentados na Tabela 5. De acordo com a ABNT (2014), por meio da NBR 6118, o momento do *Ftool*® foi majorado a favor da segurança pelo coeficiente de ponderação da resistência do concreto de 1,40 e o limite de escoamento para o aço ASTM A572 grau 50 – 345 MPa conforme catálogo da Gerdau [entre 2011 e 2021] - foi minorado pelo coeficiente de ponderação da resistência do aço de 1,15. O mesmo catálogo ainda determina para o perfil W 310 x 44,5 o momento de inércia de 9.997 cm⁴ e módulo de resistência de 638,80 cm³. Em todos os cortes, foi possível avaliar que as tensões solicitantes dos perfis foram inferiores ao limite de escoamento minorado. Além disso, os deslocamentos não ultrapassaram o limite de 37,50 mm – 1,50% da altura do trecho em balanço. Essas observações podem ser constatadas por meio da análise dos valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados para os perfis metálicos com pranchamento em madeira.

Resultados	Cortes de altura		
	4,54 m	3,50 m	2,50 m
Momento do <i>Ftool</i> ® (kN.m)	133,70	133,70	90,30
Momento do <i>Ftool</i> ® majorado (kN.m)	187,18	187,18	126,42
Tensão do perfil (MPa)	293,00	293,00	198,00
Limite de escoamento minorado (MPa)	300,00	300,00	300,00
Deslocamento (mm)	30,80	35,60	30,90

Fonte: Autoria própria (2021).

Já os resultados encontrados ao empregar o programa *Ftool*® para o dimensionamento das estacas justapostas estão apresentados na Tabela 6. De acordo com a ABNT (2014), por meio da NBR 6118, a força cortante do *Ftool*® foi majorada a favor da segurança pelo coeficiente de ponderação da resistência do concreto de 1,40. Nas alturas em estudo, concluiu-se que as tensões solicitantes nas estacas foram inferiores à tensão admissível no concreto. Assim, os deslocamentos não atingiram o limite adotado de 37,50 mm, equivalente a 1,50% da altura do trecho em balanço.

No caso da solução em questão, foi necessário dimensionar as armações principais e transversais, ou seja, as barras longitudinais e os estribos, respectivamente. A partir dos resultados apresentados na Tabela 7, foi determinado que nos três cortes seria possível empregar a área mínima de aço, onde, de acordo com a ABNT (2019), por meio da NBR 6122, esta deve ser 0,4% da área da seção transversal da estaca. Porém, há a necessidade de respeitar um espaçamento máximo entre barras de 20 cm e, portanto, a área mínima de aço adotada será de 16 cm² que equivale a 8 barras com diâmetro de 16 mm. Além disso, o comprimento longitudinal foi calculado até o ponto onde o momento fletor resultou nulo, conforme diagrama obtido com *Ftool*® e apresentado na Figura 4. Em relação ao comprimento dos estribos, foi considerada a armação de forma helicoidal com cobrimento de 7 cm.

Tabela 6 – Resultados para as estacas hélice contínuas justapostas.

Resultados	Cortes de altura		
	4,54 m	3,50 m	2,50 m
Momento do <i>Ftool</i> ® (kN.m)	108,70	106,20	65,30
Força cortante do <i>Ftool</i> ® (kN)	74,40	73,90	87,00
Força cortante do <i>Ftool</i> ® majorada (kN)	104,16	103,46	121,80
Tensão na estaca (kN/m ²)	368,39	365,91	430,78
Resistência de cálculo do concreto (kN/m ²)	11.111,11	11.111,11	11.111,11
Tensão do concreto (kN/m ²)	9.444,44	9.444,44	9.444,44
Deslocamento (mm)	2,90	2,90	34,80

Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 7 – Resultados para a armação das estacas justapostas.

Resultados	Cortes de altura		
	4,54 m	3,50 m	2,50 m
Área de aço calculada (cm ²)	15,90	15,90	9,39
Área de aço mínima (cm ²)	16,00	16,00	16,00
Quantidade de barras longitudinais (un.)	8	8	8
Diâmetro das barras longitudinais (mm)	16	16	16
Comprimento das barras longitudinais (cm)	700	700	500
Quantidade de estribos (un.)	1	1	1
Diâmetro dos estribos (mm)	6,30	6,30	6,30
Comprimento dos estribos (cm)	2939	2939	2099
Quantidade de espaçadores (un.)	20	20	16

Fonte: Autoria própria (2021).

4.2 CUSTOS E PLANEJAMENTO

As colunas de solo-cimento *jet grouting* foram executadas pela empresa Geosonda Engenharia, que forneceu os custos descritos na Tabela 8, onde mostra-se um valor total de R\$ 1.090.824,00. Foi estimado um prazo aproximado de 35 dias referente a esta atividade, onde, de acordo com a empresa, foram considerados 14 dias para mobilização, 5 dias para desmobilização e 14 dias para execução das colunas. E, por fim, o grupo estimou 2 dias para a escavação.

Tabela 8 – Orçamento colunas de solo-cimento tipo *jet grouting*.

Item	Descrição do item	Unid.	Qtde.	Preço Unit.	Custo orçado
1	Mobilização + Desmobilização de equipamento	evento	1,00	R\$ 8,90	R\$ 65.000,00
2	Perfuração em solo	metro	3.960	R\$ 11.000,00	R\$ 198.000,00
3	Injeção a alta pressão	metro	3.960	R\$ 3.000,00	R\$ 732.600,00
4	Seguro de responsabilidade civil	verba	1,00	R\$ 60,00	R\$ 19.912,00
5	Escavação	m ³	836,80	R\$ 90,00	R\$ 75.312,00
Total					R\$ 1.090.824,00

Fonte: Adaptado de Geosonda Engenharia (2021).

Uma parte dos custos referente à contenção por meio da cravação de 47 perfis metálicos do tipo W 310 x 44,5 laminados padrão Gerdau Açominas com pranchamento em madeira foi fornecida pela empresa Solofix Engenharia e a outra parte foi estimada pelo grupo, totalizando em R\$ 317.177,90, conforme detalhamento na Tabela 9. Além disso, com prazo de execução previsto de 19 dias, considerado meio dia para mobilização e meio dia para desmobilização de equipamento, 4 dias para a cravação do perfil, 12 dias para a escavação em talude e pranchamento em madeira, 1 dia para mobilização de equipamento “saca perfil” e 1 dia para a retirada dos perfis.

Tabela 9 – Orçamento para os perfis metálicos.

(continua)

Item	Descrição do item	Unid.	Qtde.	Preço Unit.	Custo orçado
1	Perfil Metálico W 310 X 44,50	kg	15397	R\$ 8,90	R\$ 37.033,30
2	Mobilização + Desmobilização de equipamento	evento	1	R\$ 11.000,00	R\$ 11.000,00
3	Frete Entrega de Material	viagem	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
4	Cravação de Perfil Metálico I	metro	346	R\$ 60,00	R\$ 20.760,00
5	Corte de Perfil Metálico I	unidade	35	R\$ 120,00	R\$ 4.200,00
6	Emenda de Perfil Metálico I	unidade	17	R\$ 360,00	R\$ 6.120,00
7	Pranchas de Pinus 300 cm x 20 cm x 5 cm (frete incluso)	unidade	434	R\$ 78,90	R\$ 34.242,60
8	M.D.O para execução de pranchamento em madeira	m ²	260	R\$ 25,00	R\$ 6.510,00
9	Locação + mobilização da PC escavadeira	verba	1	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
10	Escavação	m ³	837	R\$ 90,00	R\$ 75.312,00
Sub-total – itens 1 a 10					R\$ 300.177,90

Fonte: Modificado com base em Solofix (2021).

Tabela 10 – Orçamento para os perfis metálicos.

(conclusão)

Item	Descrição do item	Unid.	Qtde.	Preço Unit.	Custo orçado
11	Mobilização + Desmobilização de equipamento "saca perfil"	verba	1	R\$ 11.000,00	R\$ 11.000,00
12	Diária "saca perfil" + equipe	diária	1	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00
Sub-total – itens 11 e 12					R\$ 17.000,00
Total					R\$ 317.177,90

Em contrapartida, a mesma empresa também concedeu uma parte dos custos referente à execução de 107 estacas hélice contínua com diâmetro de 60 cm, onde o grupo estimou os demais custos e ficou avaliado em R\$ 264.212,56, conforme detalhamento na Tabela 11. Com o prazo para realização das atividades aproximado de 37 dias, foi considerado 1 dia para a mobilização dos equipamentos, 5 dias para a produção e posicionamento da armação (atividades de corte e dobra) – tratam-se de atividades que ocorrem de forma simultânea – 7 dias para a execução das estacas, 1 dia para desmobilização dos equipamentos, 28 dias para a cura do concreto e, por fim, 2 dias para a escavação.

Tabela 11 – Orçamento para as estacas justapostas.

Item	Descrição do item	Unid.	Qtde.	Preço Unit.	Custo orçado
1	Estaca Hélice Contínua Ø60 cm	metro	873,00	R\$ 80,00	R\$ 69.840,00
2	Mobilização + Desmobilização de equipamento	evento	1,00	R\$ 25.000,00	R\$ 25.000,00
3	Concreto MPa 30,0 CNSmin. 400kg/m ³	m ³	246,83	R\$ 330,00	R\$ 81.455,53
4	Moldador	diária	7,00	R\$ 270,00	R\$ 1.890,00
5	Ensaio a compressão de corpos de prova cilíndricos + relatórios	CP	440,00	R\$ 9,50	R\$ 4.180,00
6	Aço CA-50 bitola 16,00mm	kg	239,86	R\$ 8,31	R\$ 1.993,20
7	Aço CA-50 bitola 6,30mm	kg	19,54	R\$ 9,14	R\$ 178,63
8	M.D.O armação para corte e dobra	verba	1,00	R\$ 1.723,20	R\$ 1.723,20
9	Espaçador tipo rolete bipartido JR 75	pacote	2,00	R\$ 320,00	R\$ 640,00
Item	Descrição do item	Unid.	Qtde.	Preço Unit.	Custo orçado
10	Locação + mobilização da PC escavadeira	verba	1	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
11	Escavação	m ³	836,80	R\$ 90,00	R\$ 75.312,00
Total					R\$ 264.212,56

Fonte: Modificado com base em Solofix (2021).

5 DISCUSSÃO

A Tabela 12 apresenta um resumo dos resultados para os orçamentos e planejamentos das atividades a serem comparadas. Vale pontuar que as três soluções terão um custo adicional (não contemplado) devido a necessidade de reaterrar para atingir a cota de implantação.

Tabela 12 – Estudo comparativo.

Item	Descrição do item	<i>Jet Grouting</i>	Perfis Metálicos	Estacas Justapostas
1	Planejamento	35 dias	19 dias	37 dias
2	Custos	R\$1.090.824,00	R\$317.177,90	R\$264.212,56

Fonte: Autoria própria (2021).

Uma vantagem observada tanto no *jet grouting* como nas estacas hélice contínua é a possibilidade de realizar o controle tecnológico do solo-cimento ou concreto conforme ABNT (2018) por meio da NBR 5739. Em contrapartida, sem considerar os testes realizados durante sua fabricação e baseado nas bibliografias básicas da literatura, os perfis metálicos não possuem um controle tecnológico quanto ao material que o constitui a ser realizado em obra.

Ao realizar uma análise apenas referente aos custos, tem-se que a solução em *jet grouting* apresenta o maior orçamento dentre as três tecnologias em estudo. Os perfis metálicos possuem um benefício ao considerar a extração por meio da utilização do equipamento “saca perfil”, desta forma é possível utilizar o material em outra fase executiva da obra (quando necessário) ou em outro empreendimento futuro, a fim de evitar a compra de novos materiais; e até mesmo vender para uma empresa terceirizada.

A execução das colunas de *jet grouting* são impactadas em relação ao prazo, uma vez que a mobilização e desmobilização dos equipamentos demandam um tempo considerável. Já no processo executivo da estaca hélice, há a necessidade de aguardar o tempo de cura do concreto de 28 dias que resulta na postergação do prazo da escavação e, conseqüentemente, o planejamento da obra é diretamente impactado. Por fim, o tempo estimado para execução da cravação dos perfis metálicos com pranchamento de madeira apresenta-se como a metodologia mais favorável ao cronograma da obra, apresentando-se 45,71% menor em relação ao *jet grouting* e 48,65% menor do que o estimado para as estacas justapostas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de estruturas de contenção busca a estabilidade de maciços de terra ou rocha no intuito de evitar ou conter um processo de ruptura. As técnicas disponíveis no mercado brasileiro podem ser baseadas nas metodologias com a utilização ou ausência de ancoragens. Porém, ao tratar de um empreendimento com necessidade de vencer desníveis dos solos e com restrições devido à proximidade as construções vizinhas, a técnica de contenção ou estabilização do solo deve atingir distâncias limitadas para não afetar as outras obras lindeiras. Desta forma, ressalta-se a importância de estudar um ou mais métodos que atendam às limitações do projeto, além da viabilidade técnico econômica e em relação aos prazos de execução no cronograma geral da obra.

A equipe de engenharia da obra em estudo executou as colunas em solo-cimento *jet grouting* uma vez que a intenção era melhorar a resistência à compressão e diminuir a compressibilidade do

solo. Este método é vantajoso devido à possibilidade de executar colunas de diâmetros maiores e de comprimentos que atinjam cotas profundas a partir da injeção vertical, deste modo, não é necessário o uso de ancoragens ativas como a utilização de tirantes.

A análise comparativa foi entre talude em solo reforçado com *jet grouting* e contenção em perfis metálicos com pranchamento de madeira ou em estacas hélice contínua justapostas, ou seja, tecnologias disponíveis no mercado que empregam métodos não ancorados para contenção. As duas metodologias de contenção apresentaram custos inferiores em relação ao estimado para o *jet grouting*. E, mesmo as estacas justapostas terem um prazo de execução superior em apenas dois dias a tal técnica, ainda assim tornam-se economicamente viáveis por representarem 24,22% do custo total previsto para a solução em *jet grouting*. Adicionalmente, os custos da solução em perfil metálico correspondem a 29,08% do valor previsto para a solução executada. Portanto, todas as soluções técnicas comparadas são adequadas para as especificidades do estudo de caso, entretanto, observou-se que dentre os valores obtidos a partir dos orçamentos e planejamento físico para execução das atividades, a alternativa de contenção em perfis metálicos com pranchamento em madeira apresenta o melhor custo-benefício. Uma vez que, mesmo ao apresentar um orçamento superior em relação à alternativa em estacas hélice contínua justapostas, atende os requisitos técnicos com um prazo de execução menor.

Acerca dos desenvolvimentos futuros no âmbito deste tema, entende-se que estes futuros trabalhos poderão ocorrer no intuito de: verificar a viabilidade técnico econômica do reaproveitamento do refluxo de solo-cimento das colunas de *jet grouting* - uma vez que a quantidade de material gerado é grande – com foco em analisar se tornaria a solução mais barata e competitiva; estudar a influência gerada pela execução de técnicas de contenção com ancoragem na estrutura do túnel do metrô ou em obras limítrofes por meio de métodos numéricos.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE JÚNIOR, Mário César. **Inserindo as fundações: Coeficientes de recalque horizontal e vertical do solo**. 2017. Disponível em: <https://faq.altoqi.com.br/content/174/1045/pt-br/coeficientes-de-recalque-horizontal-e-vertical-do-solo.html>. Acesso em: 25 out. 2021.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercícios de Fundações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2019. 214 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 3 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.

BARBOSA, M.G.T. (2017). **Estudo do efeito de injeções cimentícias no comportamento de túneis rasos em solos metaestáveis**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-296/2018, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139 p. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/32282>. Acesso em: 05 nov. 2021.

BARROS, Pêrsio Leister de Almeida *et al.* **Obras de Contenção**: Manual Técnico. Jundiaí: Maccaferri, 2017. 219 p.

BRITISH STANDARD. BS EN 12716:2001: Execution of special geotechnical works — Jet grouting. British, 2001.

CARDOSO, Francisco Ferreira. **Sistemas de Contenção** [Material de sala de aula]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

COMERCIAL SOLOFIX. **Obras de fundação** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por ligia_vjs@hotmail.com em 19 nov. 2021.

COSTA, Professor Msc João Bosco da. **ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO II**. Goiás: Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Entre 2014 e 2021. 132 p. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/Apostila%20de%20CA%20II%20-%20JBC.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

GEOSONDA. **Planilha de serviços, quantidades e preços**. São Paulo: Geosonda, 2021.

GERDAU. **Perfis Estruturados Gerdau: Informações Técnicas**. São Paulo. entre 2011 e 2021. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais>. Acesso em: 02 nov. 2021.

GERSCOVICH, Denise; DANZIGER, Bernadete Ragoni; SARAMAGO, Robson. **Contenções**: teoria e aplicações em obras. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 180 p.

HACHICH, Waldemar; FALCONI, Frederico F.; SAES, José Luiz; FROTA, Régis G. Q.; CARVALHO, Celso S.; NIYAMA, Sussumu. **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 762 p.

JOPPERT JUNIOR, Ivan. **Fundações e contenções em edifícios**: qualidade total na gestão do projeto e execução. São Paulo: Pini, 2007. 220 p.

KOSHIMA, Akira; PIERONI, Miriano R.; LOPES, José Ricardo; GARCES, José Enrique; MOREIRA, Luis Augusto S.. **O uso do jet grouting em solos moles**: obras no sul. In: SIMPÓSIO DE PRÁTICAS DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 12., 2019, Santa Catarina (Joinville). Simpósio. Santa Catarina (Joinville): ABMS, 2019. p. 1-10.

ROBERTO, Inês Maranga. **Colunas de jet grouting na construção de túneis**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012. Dissertação de mestrado. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/47131541.pdf>. Acesso em: 09 Mai 2021.

RODRIGUES, Daniel Filipe Neves. **JET GROUTING**: controlo de qualidade em terrenos do miocénico de Lisboa. 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica – Geotecnia). Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia, Monte Caparica, 2009.

SANTOS JÚNIOR, Antonio Porto dos. **JET-GROUTING: REFORÇO DA FUNDAÇÃO DE UM EDIFÍCIO ASSENTE SOBRE SOLOS MOLES**. 2018. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2018. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/14276/1/DM_AntonioSantosJunior_2018_MEC.pdf. Acesso em: 11 maio 2021.

SOLOFIX. **Extração de perfis metálicos**. São Paulo: Solofix, 2017. Disponível em: <http://www.solofix.com.br/extracao-de-perfis-metalicos/>. Acesso em: 16 nov. 2021.

SOLOFIX. **Preços e prazos estimados**. São Paulo: Solofix, 2021.

SOLOTRAT. **Manual de serviços geotécnicos**. Solotrat. 6. ed. São Paulo, SP, 2018.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos sentimentos de gratidão à empresa Geosonda Engenharia, em especial ao Engenheiro Carlos Peão, superintendente comercial, e à Engenheira Joseanne Freitas (*in memoriam*), coordenadora técnica comercial, por nos proporcionar a experiência de acompanhar a execução das colunas de *jet grouting*, além da assistência no desenvolvimento do trabalho.

Gostaríamos de retribuir a atenção fornecida pela empresa Solofix Engenharia, em especial ao Engenheiro Raphael Navarro, coordenador comercial, que se mostrou solícito em nos ajudar com os custos e prazos.