

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TIRANTES ANCORADOS EM SOLOS COESIVOS, ATRÁVES DO NÚMERO DE FASES DE INJEÇÃO

Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva ¹; Bruno Pereira Casanova ².

Resumo – Uma das grandes dificuldades relacionadas a projetos de obras de contenção através da utilização de ancoragens protendidas está na determinação da capacidade de carga dos tirantes relacionados aos critérios de reinjeção. As propriedades geotécnicas utilizadas em projeto nem sempre representam a realidade para o tipo de solo da região trabalhada, tornando-se imprecisas as previsões de quantidade de calda de cimento injetada. A transferência de carga solo-bulbo, em obras de contenções são dimensionadas por metodologias que não se enquadram na realidade dos parâmetros do solo *in loco*, tornando-se imprescindível a realização de ensaios em tirantes para comprovação de seu desempenho e quanto ao atendimento das especificações de projeto. Este estudo tem como objetivo analisar a capacidade de carga em ancoragens protendidas de uma cortina atirantada através do número de fases de injeção, localizadas em uma obra de estabilidade de encosta no município de São Miguel Arcanjo sudoeste de São Paulo. Em função das características do maciço, as ancoragens feitas através de cordoalhas de aço, foram avaliadas através das pressões de injeções de acordo com a resistência do solo e do número de reinjeções, verificando seu desempenho de acordo com ensaios de recebimento conforme a norma NBR 5629 (2006). Avaliando que para cada tipo de solo e para cada tipo de trabalho a ser efetuado existe um limite de injetabilidade, sendo que o melhor limite deverá ser compatível com as resistências mecânicas do solo ao qual o tirante será executado, demonstrando que a injeção em única fase pode ser adotada para maciços com alta capacidade de suporte, viabilizando através dos números de injeções a relação técnica-econômica da obra.

Abstract – One of the great difficulties related to the design of containment works through the use of prestressed anchors is in the determination of the load capacity of the rods related to the reinjection criteria. The geotechnical properties used in the project do not always represent the reality for the soil type of the region worked, making the amount of cement injected imprecise. The transfer of soil-bulb cargo in containment works are dimensioned by methodologies that do not fit the reality of the parameters of the soil *in loco*, making essential the realization of tests in the rods to prove its performance and as to the fulfillment of the project specifications. The objective of this study was to analyze the load capacity at a prestressed anchorage of a reinforced curtain through the number of injection phases, located in a slope stability project in the São Miguel Arcanjo municipality of southwest São Paulo. According to the characteristics of the massif, the anchors made through steel struts were evaluated through the injection pressures according to the soil strength and the number of re-injections, verifying their performance according to the acceptance tests according to norm NBR 5629 (2006). Evaluating that for each type of soil and for each type of work to be performed there is a limit of injectability, and the best limit must be compatible with the mechanical resistance of the soil to which the rod will be executed, demonstrating that single-phase injection can be adopted for masses with high capacity of support, making feasible through the numbers of injections the technical-economic relation of the work.

Palavras-Chave – Tirantes, injeção de calda, estabilização de encostas, ensaio qualificação.

¹ Msc, Universidade Nove de Julho, (11) 3428-0543, rodrigorogério@uni9.pro.br

² Eng, Universidade Nove de Julho, (11) 9-4869-8879, brunopcasanova@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores dificuldades para o emprego de técnicas de contenção para garantir a estabilização de taludes e escavações é apresentar uma alternativa técnico-econômica viável, entretanto, devido às condições específicas às quais elas foram elaboradas nem sempre os resultados representam a realidade para o tipo de solo da região analisada, tornando os custos elevados. A escolha da contenção a ser executada em uma encosta deve levar em conta os aspectos geotécnicos, dimensões da encosta, eficácia da técnica escolhida e principalmente os custos. Obras envolvidas por grandes movimentações de solo, muitas vezes utilizam métodos de contenção que envolvem a aplicação de ancoragens através da utilização de tirantes.

Apesar do largo emprego desta técnica no Brasil, existe um número restrito de pesquisas realizadas sobre o método de execução para estabelecer a quantidade injetada de calda de cimento por fase em cada válvula manchete. É claro que fica difícil para um Engenheiro Projetista projetar um serviço artesanal, porém, uma vez estabelecido o método de trabalho, pode-se estabelecer parâmetros básicos de projeto, tendo em vista experiências anteriores, fica fácil estimar a zona tratada, o espaçamento entre os furos, as distâncias entre as válvulas e as quantidades e pressões por vez ou fase (GUIMARÃES FILHO, 1984).

Estudos realizados por Porto (2015) e Silva e Pereira (2016) demonstraram que a estabilidade de uma contenção com utilização de ancoragens é estudada em seu estado limite, sendo o mecanismo responsável pela transferência de carga e restrição do movimento do maciço de solo, governados pela resistência ao cisalhamento (qs) e capacidade de carga do próprio elemento de aço. A estimativa mais aproximada da resistência ao cisalhamento de tirantes em solo é obtido através de formulações semi-empíricas disponíveis na literatura como pode ser verificado por Ostermayer e Scheele (1977), Bustamante e Doix (1985), Costa Nunes (1987), Souza (2001), NBR 5629 (2006) e Porto (2015). Percebe-se que as obras de contenções especiais no Brasil são dimensionadas muitas vezes por metodologias que não se adequam satisfatoriamente com a realidade do solo nacional, ocasionando projetos que não cumprem o paradigma básico da engenharia que é: “possibilitar a execução de obras econômicas e seguras” (PORTO e GOMES 2016).

O verdadeiro comportamento reológico das ancoragens é obtido através de ensaios precedentes a execução dos tirantes, a partir de ensaios de recebimento, qualificação e/ou básico estabelecidos pela NBR 5629 (2006). A metodologia de execução, tipo de tirante, diâmetro do furo, fator água/cimento, tempo de execução, metodologia de injeção e volume injetado, interferem no comportamento das ancoragens no que se refere a sua capacidade de carga. De acordo com Xanthakos (1991) a protensão deste elemento quando ancorado em uma parte adequada do solo mobiliza uma reação de resistência, cuja carga é transmitida à estrutura de contenção pela parte conhecida como cabeça do tirante, sendo o trecho livre responsável pela transmissão direta da carga do bulbo até a cabeça do tirante.

O presente trabalho objetiva realizar através de uma obra de estabilização de encostas por cortina atirantada, a contribuição da verificação do desempenho de tirantes através do volume de injeção de calda de cimento para criar condições de resistência que permitam a sua ancoragem, desconsiderando a necessidade de varias fases de reinjeção, comprovando o seu comportamento mecânico através da interação entre tirante e solo com base nos ensaios de recebimento estabelecidos pela NBR 5629 (2006). Considerando a experiência do executor, o acompanhamento da execução e a análise de instrumentação, elementos condicionantes na definição do número de fases de injeção a serem previstos no projeto, viabilizando a uma relação técnica-econômica da obra.

2. CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

A obra está localizada no município de São Miguel Arcanjo sudoeste de São Paulo, estendendo-se por 930,34 km², com altitude média de 660 metros acima do nível do mar, e a

cortina estudada situa-se nas coordenadas geográficas de 24°02'22" latitude sul e de 48°00'45" longitude oeste, realizada dentro do parque ecológico Carlos Botelho (Figura 1).



Figura 1: Localização da área de estudo.
Fonte: Google maps.

Com uma extensão de 35 km foi construída junto ao parque ecológico a estrada Parque, com o intuito de assegurar a preservação ambiental e a sustentabilidade da região, porém devido a vários trechos com ocorrência de escorregamentos o ecoturismo da região foi prejudicado (Figura 2a), sendo a obra considerada de caráter emergencial. A estabilização de encostas foi realizada ao longo da reserva ambiental nos trechos avaliados como de risco, através da técnica de cortina atirantada (Figura 2b) associado a sistema de drenagem.



Figura 2. (a) Vista geral do escorregamento, (b) Vista geral recuperação de encosta com cortina atirantada.

2.1. Caracterização geológica

A região de São Miguel Arcanjo envolve por completa a área do município a Bacia do Alto do Paranapanema, sendo representado por rochas do Grupo Suíte Granítica Sintectônica, Açungui e Pós-Tectônica, Grupo Itararé e Depósitos Cenozóicos. As rochas do Complexo Pilar do Grupo Açungui acontecem no Sul do município e são representadas por filitos, quartzos filitos e metassiltitos com intercalações subordinadas de micaxistos (P_{SpF}) e quartzitos e por mármore dolomíticos e calcíticos (P_{SpC}) (IPT, 1981).

A Suíte Granítica Sintectônica é representada por rochas da Fácies Cantareira (P_{Syc}) e acontece limitada a uma menor porção no município, em contato e à oeste das rochas do Complexo Pilar. Conforme IPT (1981), expõe corpos para-autóctones e foliados, alóctones,

granulação fina a média, textura porfirítica frequente, contatos parcialmente concordantes e composição granodiorítica a granítica. A Suíte Granítica Pós-tectônica surge reservada a uma área no centro-sul do município, exibindo rochas da Fácies Itu (€Oyi) que são corpos graníticos a granodioríticos alóctones, isotropos, granulação fina a grossa, com textura sub-hipidiomórfica e hipidiomórfica granular (IPT, 1981). As rochas do Grupo Itararé são dominantes na área do município e constituem-se, sobretudo de arenitos com granulação variável, desde fina a conglomerática, argilosos, ocorrendo também pacotes significativos de diamictitos e sedimentos pelíticos, apresentados por siltitos cinza, folhelhos e ritmitos (SAAD, 1977). Têm, ainda, armazéns coluviais que foram colocados entre o Plioceno e o Pleistoceno, que são constituídos por areias com matriz argilosa; cascalhos de limonita e quartzo no alicerce (CBH-SMG, 2000).

2.2. Caracterização geotécnica

O subsolo da área do talude aonde será executado a cortina atirantada está inserido em uma região de colúvio, constituído basicamente de duas unidades do ponto de vista estratigráfico, seguindo um perfil com camada pouco espessa de solo sobreposta a material rochoso.

De acordo com os resultados das sondagens executadas na crista da cortina atirantada, as camadas de solo são constituídas por sucessão alternadas de argila com presença de areia fina e média além de silte pouco arenoso, apresentando espessura média de 2 a 4 metros com N_{SPT} variando entre 15 a 25 golpes. Seguido de uma camada de solo de alteração com característica argilo-arenosa com presença de pedregulhos e matacões, variando entre 4 a 6 metros de espessura com N_{SPT} de 25 a 30 golpes, indicando presença de material impenetrável a partir de 6 metros.

A camada pouco espessa de solo residual de São Miguel Arcanjo, em geral é rica em areia fina e média siltosa muito compacta com presença de mica, ou silte argilo-arenoso de consistência duro a muito duro com pedregulhos, a Figura 3 indica as características geológicas locais.



Figura 3: Características geológicas da área de execução da cortina atirantada.

2.3. Execução Cortina atirantada

Após os escorregamentos foi removida toda massa de detritos até a camada de solo estável, os tirantes foram executados de forma descendente em duas linhas com inclinação de 15 graus em relação ao leiaute final do corte do talude em 90°, e comprimento de 16 m (Figura 4a), sendo 8 m ancorado e 8 m livre com 4 cordoalhas de 12,7 mm, com 16 válvulas manchetes no trecho ancorado espaçadas a cada 50 cm (Figura 4b).

A perfuração foi realizada com máquinas apoiadas sobre bermas com 4 m (Figura 4c), com limpeza do furo através de ar comprimido para evitar seu fechamento e danos ambientais (Figura 4d), pois através da perfuração teste inicial com água ocorreu fechamento do furo contribuindo com o aumento da saturação existente do maciço promovendo escorregamento do talude, impossibilitando a inserção dos tirantes, além da lama gerada durante a perfuração prejudicar o meio ambiente através das nascentes e vegetação nativa.



Figura 4. (a) Linha de tirantes, (b) vista geral detalhe da linha de tirantes, (c) detalhe de máquina apoiada em bermas, (d) perfuração com ar comprimido.

Após a execução dos tirantes foram executadas estacas do tipo raiz como fundação da cortina atirantada (Figura 5a), sendo a geometria original dos taludes foi mantidas deixando cerca de 3 m de trecho livre dos tirantes, incorporados durante a concretagem dos painéis (Figura 5b), o sistema de drenagem realizado atrás da cortina foi interligado aos barbacãs (Figura 5c), possibilitando a retirada de água do aterro realizado através do lançamento e vibração de areia média grossa para a reconstrução da pista da estrada (Figura 5d), metodologia adotada devido a velocidade na execução do aterro e pela dificuldade para conseguir área de empréstimo de solo na região.



Figura 5. (a) execução estaca raiz, (b) vista geral dos tirantes incorporados a cortina, (c) detalhe sistema drenagem, (d) geometria da pista reconstituída com areia.

As caldas comumente usadas para execução de tirantes são constituídas basicamente de cimento e água, onde eventualmente para melhorar as suas características de estabilidade e injeção, pode-se adicionar algum tipo de aditivo (acelerador ou retardador) em função das condições climáticas. Ensaios realizados por Silva (2011) demonstram que as caldas de cimento podem variar sua resistência ligeiramente em decorrência das diversas marcas de cimento e tipos de aditivos. A principal condicionante que afeta as propriedades das injeções é a relação a/c (água/cimento), pois o excesso de água causa exsudação a qual reduz a resistência, aumenta a retração, porosidade e diminui a adesão das ancoragens ao solo. A análise do desempenho da injeção de calda de cimento dos tirantes foi realizada de acordo com as recomendações de Azevedo et al. (1978) e Silva e Pereira (2016), o qual baseia-se no comportamento geotécnico do maciço, e através dos procedimentos técnicos como: linhas de injeção, espaçamento entre os furos, pressões de injeção, tipos de calda e critério de recusa da calda de cimento. Para cada tipo de calda e para cada tipo de trabalho a ser efetuado existe um limite de injetabilidade, capacidade da calda penetrar no meio a ser injetado, sendo que a melhor injetabilidade deverá ser compatível com as resistências mecânicas que a calda deverá oferecer. Conforme Cambefort (1975) a pressão de injeção depende da permeabilidade do terreno, abertura das fissuras, viscosidade da calda e do número de fases que geram um gradiente de pressão. Este gradiente pode ser chamado de “gradiente de melhoria do solo”, ou seja, incrementos de capacidade do terreno reagir à pressão com o transcorrer das diversas fases de injeção, em cada ponto.

O bulbo de ancoragem é responsável por interagir com o solo transmitindo o esforço de tração, formado por injeção de calda de cimento sob pressão e fixado ou ancorado na região estável do maciço. De acordo com Porto (2015) a capacidade de carga da ancoragem está

intimamente relacionada à geometria, configuração e dimensão do bulbo de ancoragem, elementos com ligação direta a metodologia executiva. O tipo de obturador utilizado e a pressão de injeção podem gerar bulbos uniformes através de única fase de injeção com baixa pressão ou em formato de raiz com pressão de injeção elevada e através de reinjeções. As irregularidades e fraturas dos solos faz com que a nata de cimento penetre resultando em alargamento e enraizamento do bulbo, com possível geração de fratura hidráulica em pontos de maior fragilidade. Segundo Yassuda e Dias (1998) a aplicação da pressão da calda para o preenchimento dos vazios, comprime o terreno que circunda o tirante até que haja a ruptura hidráulica do solo, gerando fissuras pelas quais a calda de cimento se infiltrará, no momento que se inicia a infiltração da calda pelas fissuras, há uma queda na pressão devida ao afastamento da calda no solo, tornando desnecessário o prosseguimento do estágio de injeção.

Para a execução das injeções o esquema de preparo da calda de cimento foi realizado através de uma central próxima a área teste, através de misturador de alta turbulência provido de turbina, com rotação mínima de 1.700 rpm, capaz de preparar calda de cimento em quantidades suficiente para suprir a bomba injetora fornecendo a homogeneidade adequada à mistura. A avaliação do número de fases de injeção foi realizada em 21 tirantes, submetidos a injeção de bainha e diferentes fases conforme Tabela (1), com calda fator a/c 0,5 e resistência mecânica a 28 dias com valores entre 25 a 28 Mpa. As pressões de injeção e o volume de calda absorvida para todas as válvulas machetes foram acompanhados através de estabilizador de pressão instalados junto à central de injeção, em função do comportamento da calda quanto à injetabilidade no maciço as pressões de abertura (PA) variaram de 25 a 45 kgf/cm², e pressões de injeção (PI) média de 30 kgf/cm², assim o número de fases de injeção foi realizado conforme a injetabilidade do terreno ao redor das ancoragens, realizadas após um período de 24 horas (Figura 6a). A interrupção da etapa de injeção para cada válvula manchete foi realizada quando os valores da pressão final (PF) superaram os valores de pressão de injeção (PI), possibilitando o desenvolvimento do bulbo de ancoragem (Figura 6b).

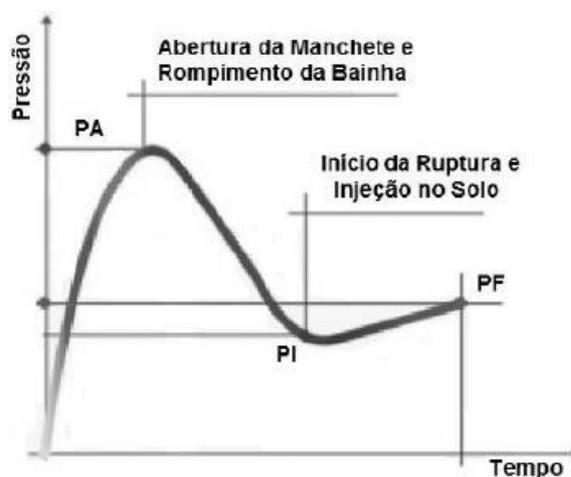


Figura 6. (a) Vista geral injeção dos tirantes, (b) Detalhe da pressão de injeção dos tirantes (Silva 2011).

A tabela 1 indica os parâmetros de consumo e pressão verificados *in loco* durante as injeções.

Tabela 1. Detalhe dos tirantes executados

Fases de injeção	Quantidade de tirantes	Consumo de cimento (kg)	Pressão de abertura (Pa) (Kgf/cm ²)	Pressão de injeção (Pi) (Kgf/cm ²)
Bainha	21	500 a 600	0	0 á 5
1ª Fase	7	1200 a 2400	25	20
2ª Fase	7	600 a 1200	35	25
3ª Fase	7	600 a 800	45	40

3. ENSAIOS DE CAMPO REALIZADO

Depois de realizada a última etapa de injeção dos tirantes, aguardado o período de sete dias conforme estipulado pela norma NBR 5629 (2006), foram realizados ensaios de protensão com finalidade de verificar a eficiência na execução do tirante e testar sua aptidão para receber a carga de trabalho (Ft) prevista em projeto. A finalidade dos ensaios é comprovar seu desempenho quanto ao atendimento das especificações de projeto evitando possíveis situações de riscos na estabilidade de encostas. De acordo com a NBR 5629 (2006), para avaliar a capacidade de carga e comportamento dos tirantes foram realizados ensaios de recebimento com carga máxima de 1,40 (Ft), em uma cortina com 21 tirantes conforme Figura (8 a), com carga de trabalho de 40 tf, avaliados em lotes com diferentes fases de injeções conforme indicado na Tabela 1. O ensaio de recebimento é feito a partir da aplicação de um ciclo de cargas pré-definidas e das leituras dos deslocamentos da cabeça do tirante durante carregamentos e um descarregamento no último estágio do ciclo. A apresentação e a análise dos ensaios são realizadas após a plotagem de dois gráficos. O primeiro referente às cargas aplicadas e aos deslocamentos totais e o segundo aos deslocamentos divididos em elásticos e permanentes, sendo a aceitação dos tirantes verificados principalmente através dos resultados referentes à carga máxima estabilizada e ao atrito mobilizado no trecho ancorado. Através dos dados do ensaio de qualificação foram plotados gráficos de cargas x deslocamentos, o deslocamento máximo da cabeça deve estar situado entre as linhas superior e inferior conforme prescreve a norma NBR 5629 (2006) indicado na Figura 8 (b, c, d). Para que os tirantes sejam aceitos os ensaios devem indicar que os deslocamentos da cabeça devem ser menores do que 1 mm em intervalos de 5 minutos para solos arenosos e 10 minutos para solos argilosos, quando aplicada a carga máxima.

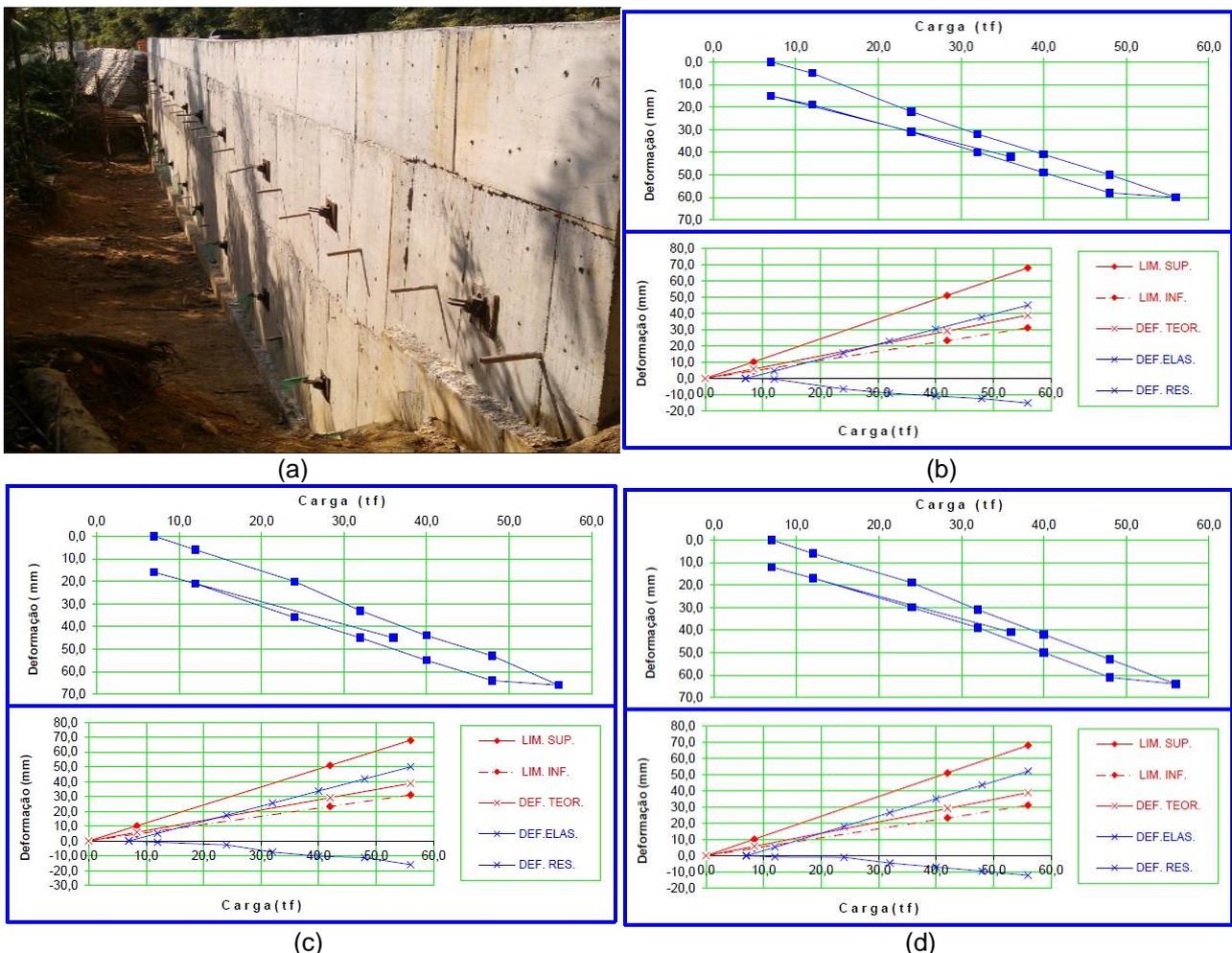


Figura 8: (a) Vista geral da cortina de tirantes ensaiados, Ensaios de recebimento tirante: (b) 1ª fase de injeção, (c) 2ª fase de injeção, (d) 3ª fase de injeção.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com os gráficos obtidos dos ensaios de recebimento, percebe-se que a influência da reinjeção em fases sucessivas para solos de características argilosos e siltosos, indica haver uma influência menos significativa no desempenho dos tirantes executados, com altas pressões e fases sucessivas para solos residuais e/ou alteração com índice de resistência N_{SPT} maiores que 20. De acordo com estudos realizados por More (2003) para solos de consistência ou compacidade mediana são necessários apenas os estágios primários e/ou secundários.

Todos os tirantes injetados com diferentes fases de injeção e consumo de cimento executados na cortina atenderam as recomendações da Norma NBR 5629 (2006), dentro dos limites superior e inferior.

Estudos realizados por Souza (2001) e Porto (2015) alertam que dependendo do tipo de solo, as reinjeções não caracterizam necessariamente aumento da capacidade de carga. De acordo com Silva e Pereira (2016) a melhoria da capacidade de carga através da técnica do incremento do número de injeções, esta relacionada diretamente a solos de baixa resistência como aterro, solos moles e de alta permeabilidade, contribuindo na mudança de seus parâmetros como coesão e atrito.

A determinação do volume de cimento injetado depende das características local o qual baseia-se no comportamento geotécnico do maciço, e através dos procedimentos técnicos como linhas de injeção, espaçamento entre os furos, pressões de injeção, tipo de traço e critério de recusa da calda de cimento no maciço.

Tratando-se da questão técnico-econômica que envolve o uso de tirantes, este serviço por ser uma atividade especializada necessita que a execução seja feita com materiais, equipes, equipamentos e controle especializados, aumentando os custos das ancoragens. Sendo que através do controle da metodologia de injeção em fases é possível conseguir uma análise da relação custo-benefício, representando uma economia na quantidade de cimento nas obras em cerca 60%, não realizando a 2ª ou 3ª fase de injeção para solos de consistência ou compacidade mediana, além de reduzir o tempo de execução contribuindo com o cronograma de obra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios de qualificação permitem verificar a confiabilidade do desempenho dos tirantes após sua execução, além de permitir ajustes de projeto durante a execução. Em função das condições verificadas durante os ensaios e do comportamento da calda quanto à injetabilidade no maciço, as pressões poderão ser reduzidas assim como as fases de injeção conforme a permeabilidade do terreno ao redor da ancoragem.

Para manter a contribuição da técnica de tirantes em taludes de corte, garantindo o seu baixo custo, necessita-se manter as diretrizes executivas de acordo com as características do local, o qual baseia-se no comportamento geotécnico do maciço e através dos procedimentos técnicos como linhas de injeção, espaçamento entre os furos, pressões de injeção, volumes injetados, tipos de traço de calda e critério de recusa da calda de cimento.

Os grupos de ensaios realizados possuem uma boa representatividade principalmente para tirantes de cordalhas executados em solos coesivos com valores de índice de resistência a penetração N_{SPT} maior que 20, com controle de injeção com válvulas manchetes espaçadas a cada 50 cm e injeção com obturador duplo (do fundo do furo para a cabeça do tirante). Demonstrando que para solos de consistência média a rija, as reinjeções não caracterizam necessariamente aumento da capacidade de carga dos tirantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Geosoluções Engenharia Geotécnica e Ambiental pela oportunidade do acompanhamento da execução e monitoramento técnico da obra pesquisada.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006). NBR 5629 – *Execução de Tirantes Ancorados no Terreno*. Rio de Janeiro.
- AZEVEDO, A. A. et al. (1978). *Injeção de vedação em fundações basálticas de barragens de gravidade*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1978, São Paulo/SP. Anais. São Paulo, v.1, p.17-33.
- BUSTAMANTE, M.; DOIX, B. (1985). *Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés*. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Paris, n. 140, p. 75-92.
- CBH-SMG - Comitê da Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande 2000.
- CAMBEFORT, H. (1975) *Geotechnique de L' Ingenieur. Et reconnaissance de sols*. Paris Editions Eyrolles.
- COSTA NUNES, A. J. (1976). *Aplicações geotécnicas da protensão*. In: Seminário Nacional do Concreto Protendido, 2. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: IBS/ABPE.
- GUIMARÃES FILHO, J. D. (1984) *Consolidação de solos por injeção: Discussão sobre uma prática bem sucedida mas que não está de acordo com as teorias clássicas existentes*. Revista Solos e Rochas, São Paulo, V. 7, p. 99-107, abril.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (1981). *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo.
- MORE, J. Z. P. (2003). *Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos*. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil-Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.
- OSTERMAYER, H.; SCHEELE, F. (1977). *Research on ground anchors in non-cohesive soils*. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 9. Tokyo. Proceedings... Tokyo: The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1977. 1 CD-ROM.
- PORTO, T. B. (2015). *Comportamento geotécnico e metodologia via web para previsão e controle*. Tese (Doutorado em Geotecnia). Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- PORTO, T. B., GOMES, R. C. (2016). *Proposta de uma formulação simplificada para o cálculo de capacidade de carga de ancoragens*. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. COBRAMSEG 2016, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- SAAD, A. R., (1977). *Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo*. Dissertação. Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SILVA, R.R.; PEREIRA, G. A. (2016). *Verificação do Desempenho de Chumbadores Realizados com Injeção de Bainha..* IN. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- SILVA, R. R. (2011). *Contribuição para escavação em solo aluvionar através da técnica de injeção de consolidação*. In: VI Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul - GEORS, Passo Fundo – RS.
- SOUZA, R. N. (2001). *Ancoragens reinjetáveis e protendidas em solo: previsão de comportamento e controle de execução*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- XANTHAKOS, P. P. (1991). *Ground Anchors and Anchored Structures*. Hoboken, USA: John Wiley & Sons.
- YASSUDA, C.T.; DIAS, P. H. V. (1998). *Tirantes*. In: HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. (Ed.). *Fundações: teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: Pini, p. 603-640.