

OS TIPOS DE SOLOS E SUAS INFLUÊNCIAS NO DESEMPENHO DE ANCORAGENS REINJETÁVEIS

Lucas de Araujo Estanqueiro ¹; Rubenei Novais Souza ²

Resumo – Os tirantes ancorados no terreno, representam uma das diversas soluções para sistemas de contenção de encostas e/ou taludes. Estes, representam uma solução de contenção ativa, onde um elemento resistente à tração é ancorado no maciço e protendido, de forma que o paramento seja empurrado contra o talude. Os tirantes já vêm sendo amplamente executados desde a metade do século XX, no entanto sua técnica de execução permite que verificações sejam feitas em campo a partir de seus ensaios (recebimento e qualificação), e por este motivo, não teve muito aprofundamento em sua base teórica, ficando a expertise da execução sob posse de projetistas e executores. Neste trabalho, será apresentado estudo sobre os tipos de solo e a influência de seus parâmetros no desempenho deste elemento de contenção.

Abstract – Ground anchors represent one of several solutions for slope containment systems. These represent an active containment solution, in which a traction-resistant element is anchored in the massif and prestressed in order to push the anchor head against the slope. Ground anchors have been widely used since the mid-twentieth century and their installation technique allows in field verifications based on tests. Consequently, the theoretical base of this containment technique has not been fully developed, thus the execution expertise is in the hands of designers and executors. In this work, a study will be presented on soil types and the influence of their parameters on the performance of this containment element.

Palavras-Chave – estabilidade de encosta; tipos de solos; estruturas de contenção.

¹ Universidade Federal Fluminense, (21) 99919-1707, lucasestanqueiro@gmail.com

² Eng., DSc, Universidade Federal Fluminense: Niterói - RJ, (21) 99603-7851, rubenei@petrobras.com.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os tirantes ancorados e protendidos em solos e rochas são executados largamente em diversos países. Comumente as técnicas de perfuração, injeção, tipo de tirante, proteção e montagem podem variar de local para local, mas sempre mantendo as características do elemento representadas pela Figura 1 abaixo.

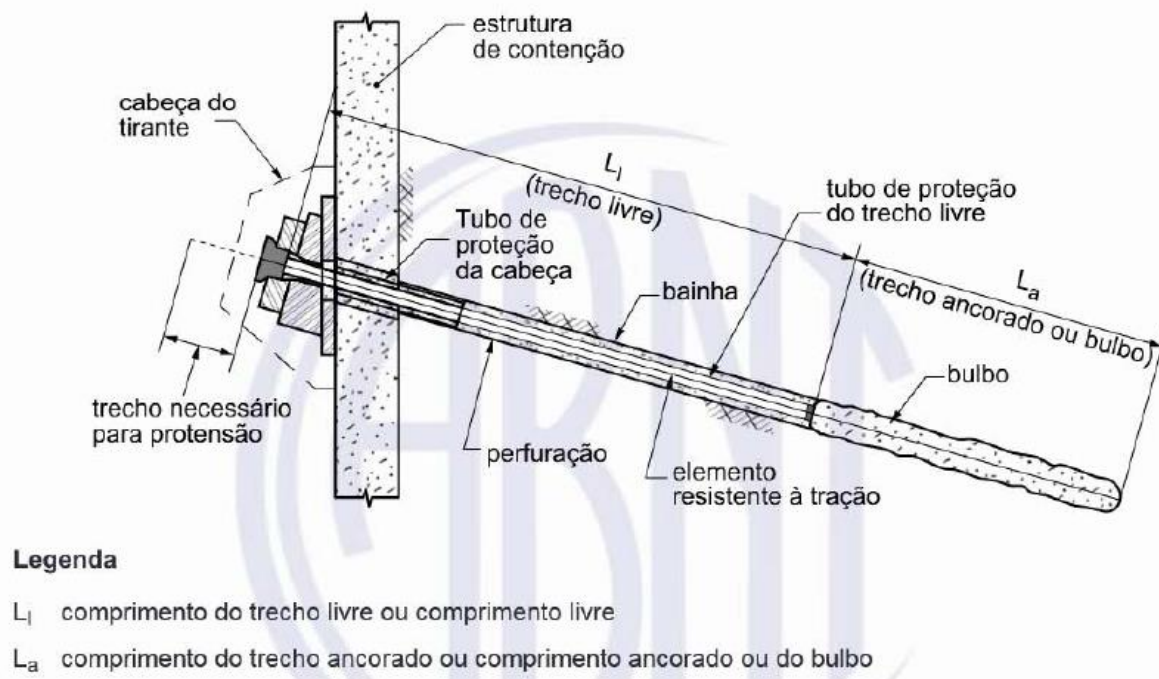


Figura 1 - Elementos básicos do tirante. Fonte: ABNT NBR 5629:2018 – Tirantes Ancorados no Terreno – Projeto e Execução

As cargas de trabalho dos tirantes variam muito, sendo esta variação de acordo com a aplicação do elemento. Para obras urbanas comuns, estas cargas geralmente não ultrapassam 1.500kN (Souza, 2001).

Atualmente no Brasil, os tirantes são executados em sistemas de monobarras de aço de alta resistência com proteção anticorrosiva de fábrica, mas também constituídos por cordoalhas de aço galvanizadas, que geralmente são projetadas para trabalhar sob cargas superiores às monobarras.

Como os tirantes permitem a realização de ensaios e testes durante a fase de execução da obra, os conhecimentos teóricos sobre o assunto não foram muito aprofundados até então, a despeito de outras áreas da Engenharia Geotécnica, estando a evolução da técnica muito atrelada ao empirismo dos construtores (Habib, 1989).

Por este motivo, é comum encontrar projetos de tirantes ancorados no terreno a nível básico, uma vez que o projetista ainda depende muito das informações do Acompanhamento Técnico de Obra e do próprio executante para revisar os parâmetros iniciais do projeto.

2. OBJETIVO

A motivação da pesquisa se deu a partir de experiências vividas no ambiente de trabalho, em diversas obras de contenção de encosta nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Pará,

despertando grande interesse sobre o tema. Após a passagem por algumas obras de tirante e consulta à ABNT NBR 5629:2018 – Tirantes Ancorados no Terreno, a abrangência de parâmetros executivos despertou o interesse em realizar uma pesquisa sobre a influência das características de projeto e destes parâmetros executivos no desempenho dos tirantes, baseada em uma revisão bibliográfica sucinta e na análise de dados coletados em campo e resultados de ensaios de recebimento de alguns tirantes, aliando desta forma fundamentações teóricas com aplicações práticas, buscando melhor conhecer e, possivelmente, contribuir para o aprimoramento da técnica.

O objetivo principal do trabalho é melhor esclarecer a influência dos parâmetros inerentes às etapas de execução e parâmetros de projeto no desempenho do tirante, a qual ainda não está plenamente consolidada na Engenharia Civil e Geotécnica, bem como complementar as informações das normas técnicas pertinentes, contribuindo desta forma para a melhor atuação de projetistas e executores de obras de contenção de encostas.

3. INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE SOLO

O tipo de solo como influência no comportamento de tirantes ancorados se dá pelas características naturais, como por exemplo resistência ao cisalhamento, ângulo de atrito, deformabilidade, mas também pelo que é definido como grau de injetabilidade. Isto é, o poder da influência de injeção do aglutinante na melhoria das propriedades naturais do solo, e de que forma isto corrobora para um bom comportamento dos tirantes. A Tabela 1 apresenta resumidamente os resultados obtidos nos ensaios geotécnicos de laboratório, em termos de índices físicos e parâmetros de resistência ao cisalhamento em condição indeformada. Já a Figura 6 mostra as curvas granulométricas dos materiais estudados.

Para Guimarães Filho (1984), a ação da calda de cimento injetada em altas pressões se mostra impreterível, superando a reação do solo, deformando-o, fissurando-o e preenchendo seus vazios. Nesta ação, que pode ser repetida em fases consecutivas, o solo ganha um tratamento que aumenta significativamente sua resistência junto ao trecho injetado.

O efeito benéfico das injeções de calda de cimento sob alta pressão, na execução dos bulbos ancorados dos tirantes, baseado em experiência de obras executadas e trabalhos de alguns pesquisadores, pode ser analisado sob os seguintes aspectos:

- Aumento quantitativo considerável da densidade do solo, com aumento do diâmetro médio do bulbo, ângulo de atrito interno do solo adjacente e a tensão normal na interface bulbo-solo;
- Melhora das características de resistência e deformabilidade do solo a partir da penetração de calda de cimento nos vazios e descontinuidades;
- Quando utilizado aditivo expansivo, expansão da calda de cimento, potencializando o efeito positivo do bulbo, no caso de solos muito resistentes

Estes três aspectos se manifestam de forma independente de acordo com as características do solo, e uma análise destas diferenças permite classificar os solos de acordo com o seu grau de injetabilidade. Considerando que, a técnica de utilização de aditivo expansivo na calda de cimento não tem sido aprofundada nem em obras, nem em estudos, o último aspecto não será considerado para esta análise de injetabilidade.

Para solos arenoso fofos, é de se esperar que a injeção de calda de cimento sob alta pressão aumente de maneira significativa o diâmetro médio do bulbo, além do ângulo de atrito interno do solo adjacente. Espera-se também que a tensão normal na interface bulbo-solo aumente apenas de maneira razoável, uma vez que em terrenos fofos arenosos o aumento da tensão confinante ocorre a partir de grande deformação. Por fim, a quantidade grande de vazios tende a diminuir a partir do preenchimento com calda de cimento.

Já em solos arenosos, mas compactos, espera-se que a injeção sob pressão não altere tanto o diâmetro médio do bulbo, por conta da compactidade elevada do material, mas aumente significativamente a tensão normal na interface bulbo-solo e o ângulo de atrito interno do solo adjacente a partir do preenchimento dos vazios criados pela injeção de calda.

Em argilas moles, é de se esperar um aumento do diâmetro médio do bulbo e da coesão do solo adjacente, mas a tensão normal na interface bulbo-solo não terá aumentos representativos.

Em argilas de alta consistência, o aumento do diâmetro médio do bulbo a partir da injeção em pressão será significativo, aumentando também a tensão normal na interface bulbo-solo. O ângulo de atrito interno, que inicialmente já é baixo, tende a não ter alterações representativas.

Intuitivamente, para solos siltosos, de características intermediárias entre areias e argilas, a ação da calda de cimento tem magnitude também intermediária entre as observadas acima, dependendo ainda mais da heterogeneidade do terreno.

Portanto, conforme supracitado, é adequado inferir que a estrutura dos tipos de solos é o principal fator para a determinação do grau de injetabilidade do mesmo. Como a estrutura detalhada dos solos é missão complexa devido às diversas dificuldades encontradas na Engenharia de Solos – determinação de índice de vazios, tamanho e forma de ocorrência dos vazios, determinação do tamanho, forma e aglutinação dos grãos, homogeneidade, índices de resistência e deformabilidade – muito por conta das informações superficiais retiradas das investigações geotécnicas, é recomendado utilizar dados relativos à granulometria do solo, combinados à sua compacidade para estabelecer a tabela abaixo, definindo de maneira qualitativa o grau de injetabilidade de cada grupo de solo, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Grau de injetabilidade dos vários grupos de solo. Fonte: Souza (2001)

Tipo de solo	Compacidade ou consistência	Grau de injetabilidade parcial			Grau de injetabilidade global
		Aumento do diâmetro do bulbo	Aumento da tensão normal	Tratamento do solo	
Areia média e grossa	Fofa	Alto	Baixo	Alto	Alto
Areia média e grossa	Compacta	Baixo	Alto	Médio	Médio
Areia fina	Fofa	Alto	Baixo	Médio	Médio
Areia fina	Compacta	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Silte	Fofa	Alto	Baixo	Médio	Médio
Silte	Compacto	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Argila	Mole e média	Alto	Baixo	Médio	Médio
Argila	Rija e dura	Baixo	Alto	Baixo	Baixo

A tabela 1 exposta acima mostra que, para um tirante executado em areia fofa, por exemplo, a injeção em alta pressão de calda de cimento tem a probabilidade grande de melhorar de forma considerável as características de resistência natural do solo, possibilitando para este caso, ser dimensionado um bulbo – trecho ancorado – de menor comprimento, e conseqüentemente aplicar menos recursos na injeção. De forma contrária, para um tirante executado em argila dura, a injeção em alta pressão de calda de cimento, não tende a melhorar de maneira tão considerável as características de resistência naturais do solo, levando a um dimensionamento de bulbos com maiores comprimentos.

Analisando o solo local como meio resistente às cargas transferidas pelo trecho ancorado, é verificado, conforme exposto acima, que determinadas características naturais do solo tem a capacidade de influenciar de maneira significativa no comportamento do tirante. A consistência ou compacidade dos solos tem influência significativa na capacidade de carga e na rigidez do tirante.

Pode-se dizer que a capacidade de carga deste elemento será maior quanto mais compacto ou consistente for o material, não considerando o efeito da perfuração e injeção. Adiante será visto que a técnica de perfuração em conjunto com a injeção de calda de cimento combinados com o tipo de solo, pode determinar o comportamento do tirante.

Analogamente ao já exposto, é de se esperar que a magnitude do deslocamento relativo do trecho ancorado-solo também é influenciada pelo solo vizinho, levando em consideração sua rigidez, esperando-se que em solos mais compactos ou resistentes, este trecho necessite de um menor deslocamento relativo para mobilizar a resistência do tirante.

Já a variação da tensão tangencial mobilizada no sistema trecho ancorado-solo, em função do deslocamento do bulbo, após atingir o valor limite, tem chamado a atenção de pesquisadores. Tal variação está diretamente associada com o estado de tensões, e nem tanto com o tipo de solo que é solicitado.

4. CONCLUSÕES

Em relação aos dados de entrada e elaboração do projeto desses elementos, verifica-se que a resistência média representativa e a granulometria do maciço são as informações mais relevantes, pois determinam o comprimento ancorado de projeto e o plano de injeção a ser recomendado para a obra.

Em solos arenosos verifica-se que, além da técnica de perfuração, que pode influenciar na capacidade de carga do tirante, alterando as características naturais do solo local devido à circulação de água e ausência de revestimento, por exemplo, o tipo de mistura injetada e o procedimento de injeção são muito importantes. Como o material tem alto grau de injetabilidade, a utilização da mistura apropriada, que deve ser pouco viscosa, mas coesa, e de um procedimento de injeção que contemple fases sucessivas com pressões crescentes, tende a resultar em bom desempenho do tirante.

Em solos argilosos, em linhas gerais, verifica-se que o diâmetro perfurado tem grande influência na capacidade de carga do tirante, uma vez que o grau de injetabilidade destes tipos de solo é pequeno, o que não permite um aumento considerável do diâmetro médio do bulbo, delegando à perfuração a necessidade de um furo com o diâmetro tanto maior quanto possível.

Finalmente, levando-se em consideração o estudo dos parâmetros, nota-se a importância de uma análise criteriosa destes parâmetros na fase de elaboração dos projetos de tirantes ancorados no terreno.

5. SUJESTÕES

Como sugestão para pesquisas futuras propõe-se uma coleta mais abrangente de dados de obra, que possibilitem comparar resultados de ensaios de tirantes associados a dados bem aferidos de obra, de maneira a detalhar e, eventualmente, quantificar as respectivas influências no comportamento carga-deslocamento do tirante.

Aos executantes e projetistas, que procurem utilizar as referências bibliográficas para além da norma técnica referida, para desta forma, aprimorar cada vez mais as técnicas de projeto e execução de tirantes ancorados.

Aos graduandos, que possivelmente terão contato com este trabalho, que busquem desenvolver pesquisas no âmbito da academia para consolidar os parâmetros executivos e de projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT NBT 5629:2018 – Tirantes Ancorados no Terreno – Projeto e Execução.

GUIMARÃES FILHO, J.D. (1984). “Consolidação de solos por injeções: discussão sobre uma prática bem-sucedida, mas que não está de acordo com as teorias clássicas existentes”. Revista Solos e Rochas, ABMS, v.7, pp. 99-107

HABIB, P. (1989). “Recommendations for the design, calculation, construction and monitoring of ground anchorages”. A.A. Balkema, Rotterdam;

SOUZA, R.N. (2001). “Ancoragens reinjetáveis e protendidas em solo: previsão do comportamento e controle de execução. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Estruturas e Fundações, São Paulo.