

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/163

Análise dos Métodos de Dimensionamento de Tirantes – Uma Revisão Sistemática da Literatura

Thayara Monteiro O. da Graça

Discente, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, thayaramonteiroog@gmail.com

Marcelo Heidemann

Professor Adjunto Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, marcelo.heidemann@gmail.com

Vitor Pereira Faro

Professor Colaborador, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vitorpereirafaro@gmail.com

Andrés Miguel González Acevedo

Professor Colaborador, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, andres.gonzalez@ufpr.br

RESUMO: Apesar do largo emprego da técnica de tirantes protendidos existe um escasso acervo de pesquisa nacional realizada sobre a resistência ao cisalhamento da interface solo-bulbo, além de uma larga dificuldade dos pesquisadores para sistematizar o dimensionamento do bulbo ancorado dos tirantes. A própria norma brasileira NBR 5629 (ABNT, 2018), Tirantes Ancorados no Terreno – Projeto e Execução, não apresenta uma formulação orientativa para o dimensionamento do bulbo ancorado. Nesse contexto este trabalho teve como objetivo sintetizar os parâmetros adotados em formulações consagradas para o conhecimento da capacidade de carga do bulbo ancorado de tirantes protendidos, a partir da revisão da literatura dos métodos de dimensionamento de tirantes. Para isto, foi realizada uma pesquisa sistemática considerando as palavras-chaves em português “bulbo ancorado”, “ancoragens protendidas”, “ancoragens reinjetáveis”, “ancoragens em solos”, “dimensionamento geotécnico de tirantes”, e em inglês “*ground anchors*”, “*capacity anchorages*” e “*anchored tie rods*”. No total, foram consultadas 22 referências das quais 12 atenderam à pesquisa. O resultado desta pesquisa mostrou que existe uma lacuna no tema referente a sistematização do dimensionamento do bulbo ancorado, sendo que apenas metade das formulações avaliadas levam em consideração fatores executivos. Das 5 normativas avaliadas apenas 1 apresenta orientação mais acurada, e 2 não propõe nenhuma formulação orientativas, deixando apenas a critério do projetista. Conclui-se que não se tem um consenso entre o mecanismo de transferência de carga no que diz respeito ao deslocamento do bulbo e a tensão cisalhante mobilizada. Apesar de todas as formulações considerarem que a capacidade de carga do bulbo é diretamente proporcional ao comprimento ancorado, algumas pesquisas experimentais do estado da arte comprovam não ser uma regra. Ademais percebe-se que não se tem um consenso de quais parâmetros e de que forma a técnica de execução implica na interação solo-bulbo e em seu comportamento sob aplicação da carga de protensão.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de carga do bulbo; Ancoragem; Tirantes protendidos; Interação solo-bulbo.

ABSTRACT: Despite the widespread use of the prestressed tie-rod technique, there is a scarce collection of national research carried out on the shear resistance of the soil-bulb interface, in addition to great difficulty for researchers to systematize the sizing of the anchored bulb of the tie-rods. The Brazilian standard NBR 5629 (ABNT, 2018), Anchored Bulbs in the Ground – Project and Execution, does not present a guiding formulation for the dimensioning of the anchored bulb. In this context, this work aimed to synthesize the parameters adopted in established formulations to understand the load capacity of the anchored bulb of prestressed ties, based on a literature review of tie sizing methods. For this, a systematic search was carried out considering the keywords in Portuguese “anchored bulb”, “prestressed anchorages”, “reinjectable anchorages”, “anchorages in soils”, “geotechnical dimensioning of ties”, and in English “*ground anchors*”, “*capacity anchorages*” and “*anchored tie rods*”. In total,

22 references were consulted, of which 12 met the search. The result of this research showed that there is a gap in the topic regarding the systematization of anchored bulb sizing, with only half of the formulations evaluated taking into account executive factors. Of the 5 regulations evaluated, only 1 presents more accurate guidance, and 2 do not propose any guiding formulation, leaving it solely to the designer's discretion. It is concluded that there is no consensus between the load transfer mechanism with regard to the displacement of the bulb and the mobilized shear stress. Although all formulations consider that the load capacity of the bulb is directly proportional to the anchored length, some state-of-the-art experimental research proves that this is not a rule. Furthermore, it is clear that there is no consensus on which parameters and how the execution technique involves the soil-bulb interaction and its behavior under the application of the prestressing load.

KEYWORDS: Anchor; Tie rods; Capacity or the ultimate skin friction; Soil-bulb interaction.

1 INTRODUÇÃO

O interesse de profissionais geotécnicos pela técnica de cortina atirantada justifica-se pela sua praticidade, rapidez de execução, versatilidade e, acima de tudo por garantir pequenas deformações em comparação com outras técnicas de estabilização (Porto, 2015). Entretanto ainda existe um escasso acervo de pesquisa nacional realizada sobre a resistência ao cisalhamento da interface solo-bulbo do tirante, sendo esse um parâmetro essencial no desempenho da estabilidade desse tipo de contenção. Ademais percebe-se a dificuldade que os pesquisadores tem para sistematizar o dimensionamento do bulbo ancorado, devido não somente às triviais incertezas do subsolo atirantado, como também a série de variáveis que parecem influenciar na resistência ao cisalhamento do bulbo. A própria NBR 5629 (ABNT, 2018), de Tirantes Ancorados no Terreno – Projeto e Execução, em sua última revisão, retirou a formulação orientativa no que tange o dimensionamento da ancoragem. Tal formulação não considerava uma série de fatores que parecem ter significativa relevância na interação solo-bulbo, como a influência executiva, sendo esses um dos prováveis motivos de exclusão da nova revisão de 2018. A última revisão da norma orienta por sua vez que o comprimento ancorado deve ser calculado por métodos teóricos ou semi-empírico constante em publicações técnicas que refletem o estado da arte na mecânica dos solos. Muito embora todas as metodologias sejam consagradas pela academia, sempre deve ser levado em consideração o solo em que estas foram fundamentadas, e os parâmetros executivos que possam destoar da técnica executiva do projeto. Contudo sem uma orientação normativa, as obras nacionais tem sido culturalmente dimensionadas por metodologias que podem não refletir muito bem a realidade de solos subtropicais. Nesse contexto este trabalho busca realizar uma revisão da literatura dos métodos de dimensionamento de tirantes, com o objetivo de sintetizar os parâmetros utilizados para o conhecimento da capacidade de carga do bulbo ancorado de tirantes protendidos. Para isso foi realizado uma pesquisa sistemática das referências nacionais que regem a boa-prática dos projetos, dimensionamento e execução de tirantes, e no intuito de comparar as considerações da prática nacional com a internacional, abordou-se também algumas referências e normativas internacionais.

2 MÉTODOS

2.1 Revisão Sistemática – Methodi Ordinatio

Para a revisão sistemática utilizou-se do Methodi Ordinatio o qual baseou-se em dois dos três fatores: ano de publicação e citações. Durante a busca empregaram-se os operadores “AND” e “OR” para as palavras-chaves em português “bulbo ancorado”, “ancoragens protendidas”, “ancoragens reinjetáveis”, “ancoragens em solos”, “dimensionamento geotécnico de tirantes”, e em inglês “*ground anchors*”, “*capacity anchorages*” e “*anchored tie roads*”. No total, foram consultadas 22 referências, e o critério de inclusão aplicado foi o de bibliografias de autores que propuseram um método de dimensionamento do bulbo ancorado de tirantes protendidos, além de normativas internacionais que regem a boa prática dos projetos de tirantes. Das referências avaliadas 12 atenderam à pesquisa por apresentar métodos de dimensionamento de ancoragem, sendo eles propostos por metodologia analítica ou semiempírica publicados desde 1975 por diversos autores em diferentes localidades do mundo. Foram avaliadas também algumas normativas internacionais. A Tabela 1 apresenta um resumo das referências avaliadas neste trabalho e a Tabela 2 a legenda dos símbolos e a definição dos parâmetros de adotados.

Tabela 1. Métodos de dimensionamento do bulbo ancorado.

Referência	Ano	Título	Estudo	Formulação	Nº
Ostermayer	1975	Construction, carrying behaviour and creep characteristics of ground anchors	Internacional (Alemanha)	Ábacos de correlação	(1)
Bustamante e Doix	1985	Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés, Bull.	Internacional (França)	$T_L = \pi \cdot D_p \cdot \beta \cdot L_b \cdot q_s$	(2)
Costa Nunes	1987	First Casagrande Lecture-Ground Prestressing	Nacional	$T_L = \pi \cdot D_p \cdot n_d \cdot L_b \cdot n_l \cdot q_s$ $q_s = c + (\gamma \cdot h \cdot n_h + \sigma'_r)$	(3)
BS 8081	1989	Code Of Practice for Ground Anchorages (British Standard) Recommendations for soil and rock anchorage systems of the grouted or mechanical type	Internacional (Reino Unido)	Tipo C $T_L = A \cdot \sigma'_v \cdot \pi D_p \cdot L_b \cdot \text{tg } \phi' + 0,25 \cdot B \cdot \gamma \cdot h \cdot \pi (D_p^2 - d^2)$	(4)
Eurocode 7	1997	Geotechnical design - NP EM 1997-1 2010	Internacional	-	(5)
FHWA-IF-99-015	1999	Ground anchors and anchored systems	Internacional	Tabela de resistência última	(6)
Souza	2001	Ancoragens reinjetáveis e protendidas em solo: previsão de comportamento e controle de execução	Nacional	$T_L = (6,4 \cdot N_{SPT}) \cdot L_b$ $T_L = (60 + 2 \cdot N_{SPT}) \cdot L_b$ $T_L = (4,5 \cdot N_{SPT}) \cdot L_b$	(7)
Joppert Jr., Mallmann e Iorio	2004	Método de Cálculo para Estimativa da Carga de Ruptura de Tirantes Auto-Perfurantes Tipo Tubular	Nacional	$T_L = 9,2 \cdot N_{SPT} \cdot D_p \cdot L_b \cdot k$	(8)
Falconi	2005	Capacidade Geotécnica de Ancoragens reinjetáveis	Nacional	$T_L = \pi \cdot D_p \cdot L_b \cdot q_s$ $q_s = 15 \left(\frac{N_{SPT}}{3} + 1 \right)$	(9)
Norma Canadense	2006	Foundation Engineering Manual 4th Edition	Internacional	$T_L = \sigma'_v \cdot A_s \cdot L_b \cdot \alpha_s$ $T_L = S_u \cdot A_s \cdot L_b \cdot \alpha_c$	(10)
Porto	2015	Ancoragens em solos - Comportamento Geotécnico e Metodologia Via Web para Previsão e Controle	Nacional	$T_L = \pi \cdot D_p \cdot \beta \cdot L_b \cdot q_s$ $q_s = 10k \left(\frac{N_{SPT}}{3} + 1 \right)$	(11)
NBR 5629	2018	Tirantes Ancorados no Terreno – Projeto e Execução	Nacional	-	(12)

Tabela 2. Legenda dos símbolos e a definição dos parâmetros de adotados.

Legenda dos símbolos Tabela 1	Métodos (nº)	Parâmetros de influência
T_L : Capacidade de carga do bulbo;	Todos	-
D_p : Diâmetro médio do bulbo;	(2), (3), (4), (8), (9), (10) e (11)	Diâmetro do bulbo
β : Coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção;	(2) e (11)	Influência da reinjeção

L_b : Comprimento do trecho ancorado;	(1), (2), (3), (4), (6), (7), (8), (9), (10) e (11)	Comprimento do bulbo
q_s : Resistência ao cisalhamento do bulbo	(1), (2), (3), (6), (9) e (11)	Resistência ao cisalhamento do bulbo
n_d : Fator de aumento do diâmetro pela pressão de injeção;	(3)	Pressão de Injeção
n_l : Fator de redução do comprimento do bulbo pela pressão não uniforme;	(3)	Pressão de Injeção
c : Aderência entre a calda e o solo;	(3)	Resistência ao cisalhamento do bulbo
γ : Peso específico do solo;	(3) e (4)	Fator de correção (tipo de solo)
h : Profundidade do centro do bulbo;	(3) e (4)	Outros fatores de influência
n_h : Fator de redução da profundidade;	(3)	Outros fatores de influência
σ'_r : Pressão residual efetiva de injeção (50 da pressão de injeção aplicada);	(3)	Pressão de Injeção
A : Razão entre a tensão de contato na interface calda-solo e a tensão efetiva média	(4)	Resistência ao cisalhamento do bulbo
σ'_v : Tensão vertical efetiva no ponto médio do bulbo;	(4) e (10)	Outros fatores de influência
ϕ' : Ângulo de atrito interno efetivo do solo;	(4)	Fator de correção (tipo de solo)
B : Capacidade de carga equivalente (Relação entre fator de capacidade de carga e ϕ)	(4)	Resistência ao cisalhamento do bulbo
d : Diâmetro da coluna de calda de cimento acima da ancoragem;	(4)	Diâmetro do bulbo
N_{SPT} : Índice de resistência à penetração do solo;	(7), (8), (9) e (11)	Resistência ao cisalhamento do bulbo
k : Coeficiente que depende do tipo do solo;	(8), (10) e (11)	Fator de correção (tipo de solo)
A_s : Área da superfície efetiva da zona de ancoragem	(10)	Diâmetro do bulbo
α_s : Coeficiente de ancoragem que depende com o tipo de solo;	(10)	Fator de correção (tipo de solo)
S_u : Resistência ao cisalhamento não drenado ao longo do bulbo ancorado;	(10)	Resistência ao cisalhamento do bulbo
α_c : Fator de redução relacionado à resistência ao cisalhamento não drenado;	(10)	Fator de correção (tipo de solo)

3 RESULTADOS

Foi realizada uma divisão dos parâmetros considerados para a capacidade de carga do bulbo ancorado das 12 formulações avaliadas. Os fatores que são considerados em boa parte das formulações foram o comprimento ancorado, o diâmetro do bulbo, influência da reinjeção, pressão e/ou volume da injeção, resistência ao cisalhamento do bulbo e fatores de correção para cada tipo de solo. E 3 métodos consideram outros fatores em sua formulação.

Dos métodos de dimensionamento de tirantes avaliados Ostermayer H., foi o pioneiro em 1975. O autor fez um amplo estudo em tirantes ancorados na Alemanha, avaliando o comportamento de aproximadamente 300 ensaios básicos realizados em solos argilosos e arenosos. Os tirantes avaliados tinham diâmetros de 10 cm a 20 cm. Com a solução ainda pouco avançada, o autor não menciona a técnica nem a pressão da magnitude da injeção adotada nas ancoragens. A proposta do autor para a carga máxima se baseia a partir de ábacos para correlação entre a capacidade de carga máxima do bulbo ($T_{m\acute{a}x}$) e o comprimento do trecho ancorado (L_b) diferentes para solos arenosos e solos argilosos. Na metodologia o autor considera o processo de reinjeção para a influência da resistência ao cisalhamento apenas no caso de solos argilosos.

Dez anos após o estudo de Ostermayer (1975) Bustamente e Doix (1985) apresentaram uma proposta analítica elaborada a partir do estudo de 120 tirantes ensaiados na França. Os autores correlacionaram com a

capacidade de carga do bulbo ancorado a técnica de injeção, a pressão de injeção e o volume da calda de cimento. Para valores de resistência ao cisalhamento (q_s) do bulbo ancorado, os autores apresentaram ábacos para solos não coesivos, coesivos e rochas alteradas e/ou fragmentadas com valores de resistência ao cisalhamento (q_s) que variaram de acordo com a compacidade e no caso de haver ou não reinjeção. Segundo os ábacos propostos por Ostermayer (1975) e por Bustamante e Doix (1985) apresentaram uma dispersão considerável o que segundo Souza (2001) está atrelado a não consideração dos fatores executivos.

Costa Nunes (1987) realizou sua pesquisa em solos nacionais, apresentando uma formulação analítica semelhante a de Bustamante e Doix (1985), tendo como diferença principal o fator de resistência ao cisalhamento (q_s). A metodologia nacional, utiliza a superfície de ruptura proposta por Mohr-Coulomb para definição desse parâmetro.

Souza (2001) avaliou ensaios de 154 tirantes reinjetáveis (injetados sob alta pressão). O autor fez uma correlação simplificada da capacidade de carga do bulbo diretamente proporcional com o comprimento de ancoragem e o número de golpes SPT. Assim como Souza (2001), Falconi (2005) e Porto (2015) também correlacionam a capacidade de carga do bulbo com o índice de resistência SPT, entretanto para estes autores, o SPT faz parte do parâmetro adotado como resistência ao cisalhamento (q_s). Porto (2015) acrescenta em sua metodologia um fator de correção (k) para cada tipo de solo

Dos métodos avaliados nesse trabalho, Joppert Jr., Mallmann e Iorio (2004) foram os únicos que estabeleceram uma metodologia para tirantes do tipo autoperfurantes. Nesse trabalho desconsiderou-se a adoção do parâmetro de resistência ao cisalhamento em Joppert Jr., Mallmann e Iorio (2004), visto esses métodos adotaram para essa esse parâmetro a resistência à penetração do solo, o que considerou-se não ser uma simplificação adequada em termos da análise ao cisalhamento da interação solo-bulbo.

Porto (2015) foi o que apresentou uma metodologia que parece ser mais acurada, visto que foi a formulação que considerou todos os parâmetros ponderados nesse trabalho. Para o autor os principais fatores que influenciam no comportamento de ancoragem são: tipo de solo, técnica de perfuração, diâmetro do furo, procedimento de injeção, características do fluido injetado e o uso de aditivos, fluência, volume e pressão de injeção, experiência do executor.

Além dos métodos propostos por diversos autores, avaliou-se sistematicamente algumas normativas utilizadas internacionalmente. O código de práticas do Reino Unido para ancoragens BS 8081 (1989) apresenta formulações específicas para quatro formas de bulbos: Tipo A – seção uniforme e injeção por gravidade; Tipo B – seção cilíndrica alargada e injeção sob pressão; Tipo C – multi-injeções e Tipo D – seções alargadas. Foi observado que, as ancoragens do Tipo D raramente são aplicadas e as do Tipo A somente se utilizam em terreno pré-tratado com materiais cimentícios. O Tipo B é recomendado para solos arenosos e o tipo C são as mais utilizadas na Europa ocidental.

O manual técnico americano FHWA-IF-99-015 (1999) propõe uma tabela para a estimativa da carga última transferida pelo bulbo de acordo com o tipo de solo, a compacidade e a tensão de corte.

A Norma Canadense “*Canadian Geotechnical Society*” (2006) propõe uma formulação orientativa para solos não coesivos e outra para solos coesivos, análogo ao que era considerado na penúltima revisão da norma brasileira. A metodologia canadense sugere que a resistência ao cisalhamento é estimada a partir de fatores como: diâmetro perfurado, comprimento do trecho ancorado (L_b), fator de correção de acordo com cada tipo de solo, tensão efetiva (solos não coesivos) ou resistência não drenada do solo (solos coesivos).

A Tabela 3 apresenta um resumo dos parâmetros considerados em cada método avaliado.

Tabela 3. Resumo dos parâmetros considerados em cada metodologia avaliada,

Referência	Ano	Comprimento do bulbo	Diâmetro do bulbo	Influência da reinjeção	Pressão de Injeção	Volume injetado	Resistência ao cisalhamento do bulbo	Fator de correção (tipo de solo)
Ostermayer	1975	(x)	-	(x)	-	-	(x)	-
Bustamante e Doix	1985	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	-
Costa Nunes	1987	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	-

BS 8081	1989	(x)	(x)	-	-	(x)	(x)	
Eurocode 7	1997	-	-	-	-	-	-	-
FHWA-IF-99-015	1999	(x)	-	-	-	-	(x)	-
Souza	2001	(x)	-	-	-	(x)	(x)	-
Joppert Jr., Mallmann e Iorio	2004	(x)	(x)	-	-	-	(x)	(x)
Falconi	2005	(x)	(x)	-	-	-	(x)	-
Norma Canadense	2006	(x)	(x)	-	-	-	(x)	(x)
Porto	2015	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)
NBR 5629	2018	-	-	-	-	-	-	-
Percentual (%)		100%	70%	40%	30%	50%	100%	30%

Haja vista que a norma brasileira (NBR 5629) e a europeia (Eurocode 7) não apresentam nenhuma formulação orientativa para o dimensionamento do bulbo ancorado, estabelecendo apenas que o cálculo do deve se adequar respectivamente ao estado da arte, e aos estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS), para a análise de resultados considerou-se apenas 10 das 12 formulações avaliadas.

4 DISCUSSÃO

É trivial que se entenda que o dimensionamento do bulbo ancorado exprima uma questão à luz da resistência ao cisalhamento da interface solo-bulbo, sendo consenso em todos os métodos que o comportamento de carga-deslocamento seja diretamente relacionado com a tensão tangencial mobilizada e o deslocamento do trecho ancorado do tirante, mesmo que em alguns dos métodos essa parcela esteja correlacionado ao índice de resistência a penetração. Entretanto a dificuldade de se sistematizar o dimensionamento do bulbo ancorado se dá pois ainda não existe senso comum de quais parâmetros e de que forma a técnica de execução implica na interação solo-bulbo e em seu comportamento sob aplicação da carga de protensão. Um exemplo disso é o parâmetro do comprimento do bulbo, embora 100% dos métodos de dimensionamento avaliados considerem que a capacidade de carga do bulbo está diretamente relacionado com o comprimento, não se tem uma consonância de evidências experimentais sob esta alegação. Autores como Ostermayer e Scheele, (1977) Li *et al.* (1988), Kim (2003), Puzrin (2010) e Sousa (2021) comprovam que o atrito se comporta de maneira não uniforme ao longo do tirante. A Figura 1 apresenta um exemplo dos resultados obtidos por Ostermayer e Scheele (1977) para solos não coesivos em diferentes compacidades.

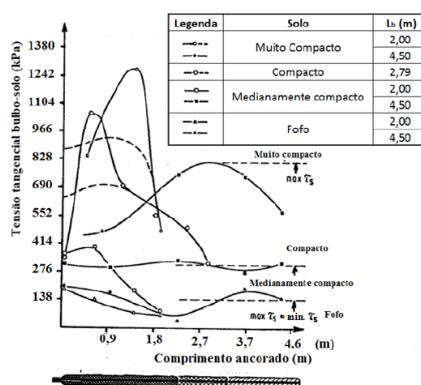


Figura 1. Diagrama de distribuição de tensão tangencial ao longo do bulbo ancorado para solos arenosos e diferentes compacidades (Adaptado de Ostermayer e Scheele, 1977).

No que tange os fatores executivos, o estudo de Ostermayer (1975) evidenciou que o método empregado na perfuração tem influência significativa para solos coesivos, visto que a perfuração com circulação de água mostrou resultados com menores capacidades de carga geotécnica, embora nenhum método avaliado faça menção a fatores de redução no caso de utilização dessa técnica, nem mesmo o do próprio autor. Outro fator executivo são os parâmetros atrelados à injeção. Das metodologias avaliadas 50% consideraram o volume injetado, 40% a influência da reinjeção e 30% levam em conta a pressão de injeção. Percebe-se que a pressão de injeção aparece como um dos parâmetros que menos foi considerado nos métodos avaliados, se igualando ao número de vezes ao fator de correção do tipo de solo. Entretanto o diâmetro do bulbo, se encontra entre os três parâmetros que mais métodos consideram.

Porto (2015) pondera em seu trabalho que as injeções no maciço geotécnico atuam na melhoria das propriedades de solo como ângulo de atrito, coesão e peso específico, além de que a capacidade de ancoragem está diretamente associada ao estado de tensões do solo.

5 CONCLUSÃO

Nas metodologias avaliadas pode-se perceber que todas consideram algum parâmetro de resistência ao cisalhamento do bulbo ancorado mas apenas 30% consideram parâmetros como correção do tipo do solo e pressão de injeção, os quais são fatores que parecem estar diretamente relacionada a resistência ao arrancamento.

O diâmetro do bulbo ancorado esteve entre os três parâmetros mais considerados na metodologia, mas a pressão de injeção que parece estar bastante atrelada ao diâmetro do bulbo, esteve empatado último lugar como a que menos foi considerada nas formulações.

Mostrando ser um parâmetro muito importante, 100% das metodologias consideram o comprimento do bulbo ancorado, embora algumas pesquisas experimentais do estado da arte, apresentem resultados que distoam dessa premissa.

Das 5 normativas avaliadas, apenas 1 apresentou uma formulação de orientação mais criteriosa referente ao dimensionamento do bulbo ancorado, e 2 não propuseram nenhuma formulação orientativas, deixando apenas a critério do projetista o que mostra a lacuna que existe referente a esse tema.

Entende-se que como se trata de um problema de resistência ao cisalhamento da interface bulbo-solo circundante, é intuitivo pensar que diversos fatores executivos alterem o comportamento de arrancamento do tirante, como a influência da perfuração e injeção na tensão vertical efetiva; o grau de injetabilidade do solo; e a ação da pressão de injeção, sendo a falta desses um dos prováveis motivos de exclusão da nova revisão da NBR 5629 (ABNT, 2018).

Além dos parâmetros considerados no estudo sistemático, outro parâmetro que parece ser importante sobretudo para tirantes permanentes é a perda de carga das ancoragens ao longo do tempo (fluência) percebendo outro ponto de estudo a ser explorado pela academia.

Conclui-se por fim que a abordagem do dimensionamento de tirantes se depara não somente com as incertezas do subsolo ancorado, como a influência da série de fatores executivos que parece ter relação no comportamento da resistência ao cisalhamento das ancoragens, expressando não ser trivial sistematizar uma proposta matemática para o comportamento da interação solo-tirante. Percebe-se por fim a necessidade de se aumentar a consistência teórica que permita o melhor entendimento do comportamento solo-bulbo sob as considerações das técnicas de execução nos mais variados tipos de solo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda força e resiliência. A minha rede de apoio. Aos meus colegas de trabalho. Aos professores Dr. Andrés Miguel González Acevedo, Dr. Marcelo Heidemann e Dr. Vitor Pereira Faro, que não medem esforços para me orientar a auxiliar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 5629 – *Execução de Tirantes Ancorados no Terreno*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5629 – *Tirantes ancorados no terreno – Projeto e execução*. Rio de Janeiro.
- AS 4678-2002 (2001). *Earth retaining structures. Australian Standard*. Standards Australia International. Sydney, Australia.
- BS 8081 (1989). *Code of practice for ground anchorages*. British Standards Institution (BSI), LONDON, UK.
- 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, n. 140, p. 75-92.
- CFEM (2006). *Canadian Foundation Engineering Manual*. Canadian Geotechnical Society.
- Costa Nunes, A. J. (1987). *Ground Prestressing – First Casagrande Lecture*. VIII CPAMSEF, Cartagena, Colombia.
- Driscoll, R.; Simpson, B. EN1997 (1977) *Eurocode 7: geotechnical design*. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering. Thomas Telford Ltd, 2001. p. 49-54.
- Falconi, F. (2005) Concurso: “*Capacidade Geotécnica de Ancoragens reinjetáveis*”; IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - Salvador-BA. 2005.
- FHWA-IF-99-015 (1999). *Ground anchors and anchored systems*. Federal Highway Administration. Geotechnical Engineering Circular N° 4. Washington, June.
- Joppert Jr, I. O.; Mallmann, W.; Iorio, W. R. (2004) *Método de Cálculo para Estimativa da Carga de Ruptura de Tirantes Auto-Perfurantes Tipo Tubular*. Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE V. São Paulo.
- Kim, N. K. (2003) "Performance of tension and compression anchors in weathered soil," J. Geotech. Geoenviron. Eng., vol.129, no. 12, p.1138–1150.
- Li, J. C. et al. (1988) *Behavior of ground anchors for Taipei sedimentary soils*. in Proc. 2nd International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering 9. San Louis.
- Ostermayer, H. (1975) *Construction, carrying behavior and creep characteristics of ground anchors*. Proceedings of the Conference on Diaphragm Walls and Anchorages. Institution of Civil Engineers of London, p. 141-151, London.
- Ostermayer, H.; Scheele F. (1977) *Research and Ground Anchors in Non-Cohesive Soils*. Géotechnique 3, p. 92-97.
- Porto, T. B. (2015) *Ancoragem em solos: 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*. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. COBRAMSEG. 2016.
- Puzrin A. M.; Iten M. (2010) *Monitoring of stress distribution along a ground anchor using BOTDA*, Sensors Smart Struct. Technol.Civil, Mech. Aerosp. Syst., vol. 7647, pp. 1–15.
- Souza, R. N. (2001) *Ancoragens reinjetáveis e protendidas em solo: previsão de comportamento e controle de execução*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 331p.
- Souza, A. M. D. et al. (2021) *Load transfer on instrumented prestressed ground anchors in sandy soil*. Vol. 14, nº 6. IBRACON.