

Ancoragens em Solo: Estudo de Caso, Proposta e Comparação entre Métodos Semi-Empíricos e Extrapolação de Van der Veen

Luma Alvarenga Carvalho

Núcleo de Geotecnia - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, luma-alvarenga@hotmail.com

Thiago Bomjardim Porto

Núcleo de Geotecnia - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, porto@pucminas.br

Romero Cesar Gomes

Núcleo de Geotecnia - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, romero@em.ufop.br

RESUMO: Em projetos de obras de contenção com a utilização de ancoragens protendidas e reinjetáveis se faz necessária a determinação da capacidade de carga dos tirantes. Para a obtenção desse valor são utilizadas metodologias semi-empíricas publicadas mundialmente. Entretanto, devido às condições específicas às quais elas foram elaboradas nem sempre o resultado representa a realidade para o tipo de solo da região trabalhada, tornando-se então imprecisos. Este estudo tem como objetivo analisar alguns dos principais métodos semi-empíricos utilizados para o cálculo da capacidade de carga em ancoragens protendidas e reinjetáveis para a cidade de Belo Horizonte, e compará-los com a estimativa da força de ruptura obtida pela extrapolação de Van der Veen (1953). Para o estudo foram utilizados dados provenientes de quatrocentos ensaios de recebimento em uma obra na cidade de Belo Horizonte. As metodologias semi-empíricas avaliadas foram Bustamante (1985), Costa Nunes (1987), Souza (2001), Joppert jr et al (2005), Falconi (2005), NBR 5629:2006 e Porto (2015). Como justificativa preponderante está o fato de serem os maciços de solo heterogêneos e serem as metodologias de cálculo divulgadas na atualidade restritas ao local onde foram elaboradas sendo então erroneamente empregadas a outras regiões. Os resultados obtidos se mostraram superestimados quando comparados a Van der Veen, atingindo uma diferença média de até 307,8% na metodologia proposta por Joppert et al. e chegando a apresentar valores bem próximos com diferenças médias de 22,2% na formulação proposta pela NBR 5629 (2006), ainda, avaliando-se os gráficos, pode se perceber uma semelhança no formato das curvas comparadas (Métodos semi-empíricos e extrapolação de Van der Veen (1953)).

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de Carga, Tirantes, Aplicativo Web.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e desenvolvimento dos centros urbanos e industriais brasileiros têm requisitado construções em taludes de grandes alturas e escavações cada vez mais profundas levando a necessidade de aplicação de técnicas de contenção e utilização de reforços de solo que proporcionem resistência a elevados carregamentos com pequena deslocabilidade e

altos fatores de segurança, tais como as cortinas ancoradas cuja fixação no terreno é garantida através das ancoragens.

Segundo Porto (2015) a estabilidade de uma contenção com utilização de ancoragens é estudada em seu estado limite último (ELU). Sendo assim, um parâmetro muito importante e responsável pelo mecanismo de transferência de carga e restrição do movimento do maciço de solo, é a resistência ao cisalhamento (q_s) e a

capacidade de carga.

A estimativa mais aproximada da resistência ao cisalhamento de ancoragens em solo é aquela obtida através de ensaios precedentes a execução da ancoragem, com a mesma mão de obra e tecnologia utilizadas na futura construção. Sabe-se, porém que na maioria das vezes esse parâmetro é obtido através de formulações semi-empíricas disponíveis na literatura.

Tendo em vista o fato de que as metodologias propostas foram elaboradas em condições específicas no que se refere a propriedades geotécnicas do solo, metodologia executiva, tipo de tirante, diâmetro do furo, reinjeções, etc. nem sempre o resultado representa a realidade da região trabalhada, tornando-se então imprecisos. Assim, deve-se compreender melhor o comportamento das ancoragens no que se refere a sua capacidade de carga para as metodologias de cálculo utilizadas.

Diante de tal situação, o presente trabalho objetiva realizar um estudo de dados de uma obra de contenção por cortinas atirantadas realizada em Belo Horizonte a fim de se avaliar, interpretar e comparar os métodos empíricos e teóricos amplamente utilizados na literatura e as extrapolações com base nos ensaios de recebimento.

2 METODOS SEMI-EMPÍRICOS

2.1 Método de Bustamante e Doix (1985)

Bustamante e Doix (1985) apresentam uma proposta segundo as Equações 1 e 2:

$$T_L = \pi \cdot D_S \cdot L_b \cdot q_s \quad (1)$$

$$D_S = \beta \cdot D_p \quad (2)$$

Onde:

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

D_S = diâmetro médio do bulbo (m);

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (m);

q_s = resistência ao cisalhamento (kN/m²);

D_p = diâmetro perfurado do furo (m);

β = coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção (valores tabelados).

2.2 Costa Nunes (1987)

A proposta recomendada por Costa Nunes (1987) é similar a de Bustamante e Doix (1985). Sendo a principal distinção entre ambos, o critério de determinação da resistência ao cisalhamento, já que este autor faz uso da superfície de ruptura proposta por Mohr-Coulomb. A capacidade de carga pode então ser definida conforme a Equação 3.

$$T_L = \pi D_p n_d L_b n_l q_s \quad (3)$$

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

D_p = diâmetro perfurado (m);

n_d = fator de aumento do diâmetro pela pressão de injeção;

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (m);

n_l = fator de redução do comprimento do bulbo devido à pressão sobre o mesmo não ser uniforme. Para comprimentos até 8 metros, $n_l = 1$;

$q_s = \tau$ = aderência na ruptura ou resistência ao cisalhamento na interface solo-bulbo (kN/m²).

2.3 Souza (2001)

Souza (2001) propõem formulações específicas a depender do tipo de solo. A capacidade limite da ancoragem é dada pelas Equações 4, 5 e 6:

Para argila silto-arenosa, cujo SPT esteja entre 5 e 60:

$$T_L = (60 + 2N_{SPT})L_b \quad (4)$$

Para argila arenosa, cujo SPT esteja entre 5 e 35:

$$T_L = 6,4N_{SPT}L_b \quad (5)$$

Para silte areno-argiloso, cujo SPT esteja entre 5 e 40:

$$T_L = 4,5 N_{SPT} L_b \quad (6)$$

Onde:

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

N_{SPT} = SPT;

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m).

2.4 Joppert jr et al (2004)

A formulação apresentada por Joppert Jr et al. (2004) é baseada em rupturas de tirantes auto-perfurantes tipo tubular, e pode ser obtida segundo a Equação 7:

$$T_L = 9,2 N_{SPT} D_p L_b k \quad (7)$$

Onde:

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante

D_p = diâmetro perfurado (m);

k = coeficiente que depende do tipo de solo, valores tabelados (kN/m²).

2.5 Falconi (2005)

O método de Falconi (2005) é considerado um método simplificado, determinado através da Equação 8, sendo a resistência ao cisalhamento (q_s) calculada pela Equação 9:

$$T_L = \pi D_s L_b q_s \quad (8)$$

$$q_s = 15 \left(\frac{SPT}{3} + 1 \right) \quad (9)$$

Onde:

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

D_s = diâmetro médio do bulbo (m);

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

q_s = resistência ao cisalhamento (kN/m²);

D_p = diâmetro perfurado do furo (m).

2.6 NBR 5629:2006

A Norma Brasileira NBR 5629:2006 (ABNT, 2006) apresenta como estimativa inicial da capacidade geotécnica de ancoragens as

Equações 10 e 11, para solos granulares e argilosos respectivamente:

$$T = \sigma'_v U L_b K_f \quad (10)$$

$$T = \alpha U L_b S_u \quad (11)$$

Onde:

T = capacidade de carga limite da ancoragem (kN);

σ'_v = tensão vertical efetiva no ponto médio do bulbo;

U = perímetro médio da seção transversal do bulbo de ancoragem (m);

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante;

K_f = coeficiente de ancoragem, valores tabelados;

α = coeficiente redutor da resistência ao cisalhamento;

S_u = resistência ao cisalhamento não drenado do solo argiloso (kPa).

2.7 Porto (2015)

Porto (2015) propõe uma metodologia baseada no arrancamento de tirantes ensaiados no IPT de São Paulo e na exumação de bulbos de tirantes em obras localizadas no interior de Minas Gerais. O modelo proposto está representado segundo a Equação 12.

$$T_L = \pi D_s L_b q_s \quad (12)$$

$$D_s = \beta D_p \quad (13)$$

$$q_s = 10k \left(\frac{SPT}{3} + 1 \right) \quad (14)$$

Onde:

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

D_s = diâmetro médio do bulbo (m);

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

q_s = resistência ao cisalhamento (kN/m²);

D_p = diâmetro perfurado do furo (m);

β = coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção;

k = coeficiente de ancoragem, valores tabelados (kN/m²).

3 EXTRAPOLAÇÃO DE VAN DER VEEN (1953)

A extrapolação de Van der Veen (1953) consiste em se extrapolar uma dada curva proveniente de um ensaio. Segundo Aoki (2013) para a sua aplicação parte-se do pressuposto de que a forma da curva se mantém igual à do trecho medido ou experimental, ou seja, nos pontos onde a carga aplicada for maior do que a carga máxima de ensaio a curva continua a apresentar o mesmo padrão. A extrapolação consiste basicamente em associar a curva *carga x deslocamento* por meio da Equação 13:

$$F = F_R (1 - e^{-ad}) \quad (13)$$

Onde:

F = carga aplicada no topo da ancoragem (kN);

F_R = carga última correspondente à assíntota vertical da curva (kN);

e = base dos logaritmos naturais;

a = coeficiente que define a forma da curva (mm⁻¹);

d = deslocamento correspondente à carga F (mm).

4 ESTUDO DE CASO PROPOSTO

O projeto da obra em estudo era composto por um total de 475 ancoragens. O solo predominante encontrado pelas sondagens SPT era constituído por silte arenoso.

Para o estudo proposto foram utilizados os boletins da protensão dos ensaios de recebimento executados nos tirantes segundo as recomendações da NBR 5629. Porém, devido a falhas e ausências nos boletins, o número de tirantes analisados passou a ser de 338.

O tipo de injeção adotado foi da boca do furo para o fundo do furo, portanto, sem controle de pressão de injeção por válvula manete, adotando-se para este trabalho um valor de 2000 kPa.

Ainda, a fim de se estabelecerem critérios para aceitação da extrapolação de Van der Veen, e aumentar a confiabilidade dos resultados deste trabalho, adotou-se o critério de confiabilidade de Aoki (2013). Segundo o autor são consideradas confiáveis as extrapolações que obedecem a seguinte condição:

$$\left[\left(\frac{T}{F_{m\acute{a}x}} \right) - 1 \right] * 100 \leq 25\% \quad (12)$$

Onde:

T = Valor obtido pela extrapolação de Van der Veen (kN);

F_{máx} = Carga máxima aplicada no ensaio (kN).

Assim, seguindo esse critério, de todas as 338 extrapolações realizadas apenas 59 foram utilizadas, ou seja, consideradas confiáveis.

Os dados preponderantes para o cálculo da capacidade de carga dos tirantes avaliados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Dados de projeto dos tirantes para cálculo da capacidade de carga.

Grupo	L _L (m)	N _{SPT}	D _p (mm)	F _{máx} (tf)	nº tirantes
1	7	40	100	525	1
2	7	40	125	600	6
3	8	40	150	980	1
4	8	45	150	960	2
5	7	30	100	525	2
6	7	30	125	600	19
7	8	31	150	1120	1
8	9	31	125	600	3
9	10	33	150	840	6
10	10	33	150	1050	1
11	10	34	150	840	2
12	12	45	125	700	2
14	6	45	100	490	1
15	8	45	125	700	2
16	8	45	150	980	2
17	7	45	150	1120	1
18	7	45	150	980	1
19	7	45	125	750	1
20	8	45	100	490	1
21	8	45	100	613	1
22	7	45	100	490	3

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos pelas fórmulações semiempíricas apresentam valores, na grande maioria dos casos, superiores aos obtidos pela extrapolação de Van der Veen, como exibido na Tabela 2 e nas Figuras 1 a 11.

Tabela 2. Resultado dos valores médios de capacidade de carga para os métodos apresentados.

Método	Capacidade Média (kN)	Erro médio*
Van der Veen (1953)	779	-
Bustamante (1985)	1114	39,6%
Costa Nunes (1987)	1071	37,48%
Joppert et al (2004)	2555	218,37%
Souza (2001)	951	22,2%
NBR 5629 (2006)	952	22,2%
Falconi (2004)	1092	33,35%
Porto (2015)	1257	58,17%

*comparação com os valores obtidos pela extrapolação de Van der Veen.

5.1 Bustamante (1985) x Van der Veen (1953)

Analisando o resultado encontrado percebem-se valores de capacidade de carga com um desvio mínimo de 2% e valor máximo de 85%, porém como valor médio tem-se um valor de 39,6%.

Avaliando-se a formulação genérica proposta pelo autor, observa-se que a capacidade de carga varia em função de parâmetros de projeto e da resistência ao cisalhamento q_s .

O valor de q_s é obtido através de gráficos que relacionam a pressão de injeção em estágio único ou estágios múltiplos com a resistência ao cisalhamento para solos argilosos, siltsos ou arenosos. Pelos gráficos propostos pelo autor, percebe-se que a influência da reinjeção em fases sucessivas (IER), em relação à injeção do tipo ascendente e única (IEU), é maior para solos argilosos e siltsos do que para as areais.

Ainda, analisando a Figura 1, nota-se que

embora existam dispersões entre os valores encontrados pelos dois métodos analisados, as curvas possuem formatos semelhantes.

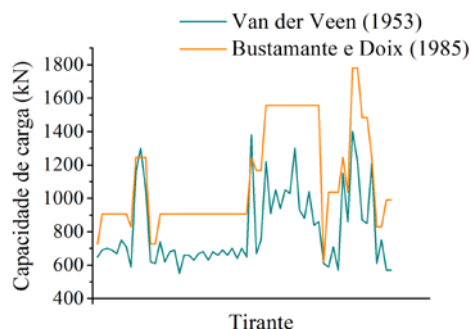


Figura 1. Gráfico comparativo entre a metodologia de Bustamante e Doix (1985) e a extrapolação de Van der Veen (1953).

5.2 Costa Nunes (1987) x Van der Veen (1953)

Os resultados obtidos por Costa Nunes estão entre os que mais se aproximaram dos valores extrapolados, obtendo uma margem de erro média da ordem de 37,48% quando comparados a Van der Veen.

Analisando-se a Figura 2, percebe-se para a maioria dos tirantes uma semelhança entre os formatos das curvas analisadas, apesar de serem os valores de Costa Nunes (1987) maiores que os obtidos pela extrapolação. Entretanto para os tirantes pertencentes aos últimos grupos há significativa variação entre os resultados comparados.

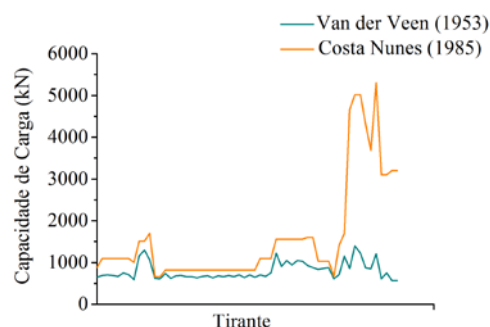


Figura 2. Gráfico comparativo entre a metodologia de Costa Nunes (1985) e a extrapolação de Van der Veen (1953).

5.3 Souza (2001) x Van der Veen (1953)

Assim como nas outras formulações, a curva

característica da capacidade de carga proposta por Souza (2001) apresenta semelhança com aquela obtida nos ensaios extrapolados (Figura 3). Ainda, a diferença média entre os valores encontrados é de 22,2%, o menor valor encontrado.

Ao analisar a formulação simplificada proposta pelo autor tem-se que a mesma é função exclusivamente do SPT e do comprimento do bulbo. São conhecidas inúmeras adversidades e variáveis envolvidas no processo de determinação do índice de resistência a penetração, tais fatos podem ser as causas do aumento na superestimação da capacidade de carga comparada aos ensaios extrapolados.

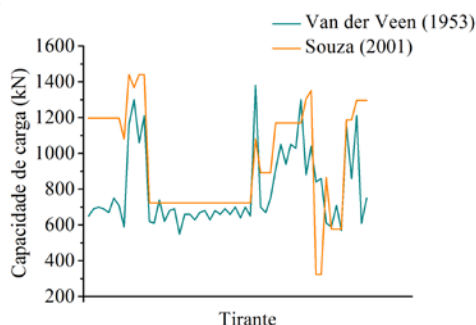


Figura 3. Gráfico comparativo entre a metodologia de Souza (2001) e a extrapolação de Van der Veen (1953).

5.4 Joppert Jr et al. (2004) x Van der Veen (1953)

A formulação proposta por Joppert Jr. et al foi a que mais apresentou divergência com relação à extrapolação de Van der Veen, com um valor médio da ordem de 218,37%. Esse resultado pode ser explicado pela restrição de aplicação do método a tirantes autoinjetáveis que não foram o objeto de estudo deste trabalho. Ainda assim, vale chamar a atenção para a semelhança entre as curvas observada na Figura 4.

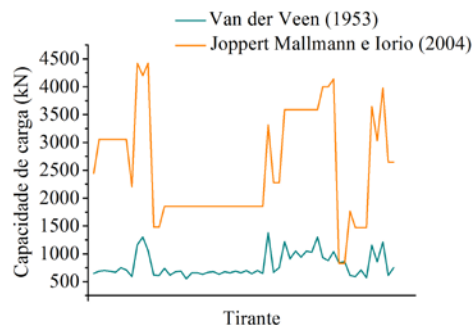


Figura 4. Gráfico comparativo entre a metodologia de Joppert et al. (2004) e a extrapolação de Van der Veen (1953).

5.5 Falconi (2005) x Van der Veen (1953)

O método de Falconi apresenta uma superestimação média comparada à extrapolação de Van der Veen de 33,35% (Figura 5).

Conclui-se, assim como nos outros métodos que empregam o valor do SPT, que as diferenças encontradas podem ser atribuídas a esse parâmetro, uma vez ser a sua determinação fonte de outras variáveis. Além disso, o autor utiliza como variável o diâmetro médio do bulbo, d_s , de difícil determinação em casos onde não houve a realização do ensaio básico, o que também pode ser causa da variação encontrada.

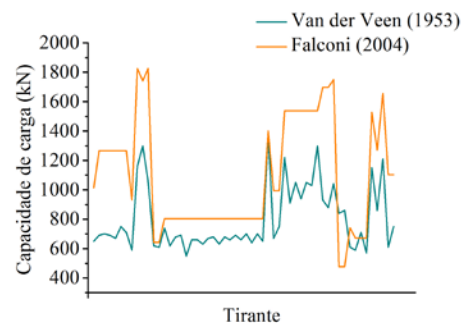


Figura 5. Gráfico comparativo entre a metodologia de Falconi (2004) e a extrapolação de Van der Veen (1953).

5.6 NBR 5629:2006 x Van der Veen (1953)

Os valores obtidos pela estimativa proposta pela NBR 5629:2006, foram os que mais se aproximaram dos valores extrapolados por Van der Veen, com um erro médio de 22,2%.

Atenta-se para o fato de que essa é a única metodologia que emprega no cálculo da capacidade de carga a tensão vertical efetiva no ponto médio do bulbo, no caso de solos

arenosos e a resistência ao cisalhamento não drenada, no caso dos solos argilosos. Observando-se a Figura 6, percebe-se que embora os valores tenham se aproximado para a maioria dos tirantes, em alguns grupos houve diferenças significativas.

Uma análise detalhada dos dados permitiu inferir que os pontos de maior diferença estão relacionados aos tirantes cujo SPT médio do bulbo possui valores maiores que 38, identificados na Tabela 1 pelos grupos de número 1 a 4 e de 12 a 22.

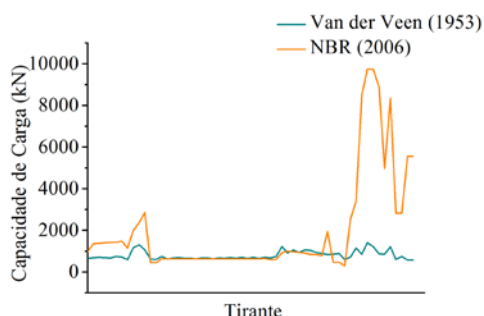


Figura 6. Gráfico comparativo entre a metodologia proposta pela NBR – 5629 (2006) e a extrapolação de Van der Veen (1953).

5.7 Porto (2015) x Van der Veen (1953)

O método de Porto (2015) apresentou uma superestimação média comparada a Van der Veen de 58,17%, porém apesar desse valor a tendência de amplitude do método se mostrou constante para os tirantes analisados (Figura 7).

Interpretando a equação proposta pelo autor para o cálculo da capacidade de carga, tem-se que o valor da resistência ao cisalhamento é também dependente do valor do SPT, e da constante “ k ” atribuída pelo autor, pode-se atribuir a variação nos valores encontrados a esses ambos os parâmetros.

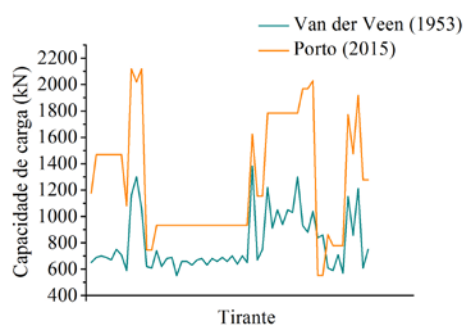


Figura 7. Gráfico comparativo entre a metodologia proposta por Porto (2015) e a extrapolação de Van der Veen (1953).

6 CONCLUSÃO

Considerando-se o solo um material cujas características de resistência e deformabilidade são variáveis de região para região, haja vista as diversidades envolvidas em seu processo de formação, de maneira geral todos os métodos estudados apresentaram capacidade de carga geotécnica aproximada, portanto, resultados satisfatórios.

A extrapolação de Van der Veen se apresenta como uma ferramenta bastante útil na determinação da carga de ruptura através dos ensaios de recebimento. Considerando-se então os ensaios extrapolados como os mais próximos da realidade, tem-se que os métodos de Souza (2001), Falconi (2004) e Porto (2015) possuem como parâmetro influente na capacidade de carga o valor do SPT médio do bulbo. Percebe-se ainda que o método de Souza (2001) possui a formulação mais simplificada entre os três, sendo a capacidade de carga dependente, além do SPT, apenas do comprimento do trecho ancorado, o que pode ser justificativa para a proximidade entre os valores encontrados pelo método e os valores extrapolados. Os métodos de Falconi (2004) e Porto (2015) dependem além do SPT de outras estimativas como o diâmetro médio do bulbo e do coeficiente de ancoragem k , tais valores por serem estimados podem ser os responsáveis pelo aumento da variação quando comparado a Van der Veen (1953) e a Souza (2001).

Uma segunda constatação é que o método de Joppert Jr. et al. não se ajusta muito bem para ancoragens reinjetáveis com SPT maior

que 22. Esse fato já era esperado, uma vez que essa formulação foi idealizada inicialmente para tirantes auto-injetáveis, portanto, sem possibilidade de reinjeção.

Bustamante (1985) obtém os valores de q_s através de gráficos que relacionam a pressão de injeção em estágio único ou estágios múltiplos com a resistência ao cisalhamento para solos argilosos, siltosos ou arenosos. Pelos gráficos propostos pelo autor, percebe-se que a influência da reinjeção em fases sucessivas (IER), em relação à injeção do tipo ascendente e única (IEU), é maior para solos argilosos e siltosos do que para as areais. Souza (2001) afirma que essa constatação contraria outras experiências, inclusive dos próprios autores, que indicam haver uma influência mais significativa da injeção com altas pressões e em fases sucessivas (IER) nos solos arenosos, uma vez que estes apresentam usualmente maior grau de injetabilidade. Tal fato, juntamente com a estimativa do diâmetro médio do bulbo por um coeficiente β , pode ser o responsável pela superestimação da capacidade de carga obtida pelo método do autor em comparação aos ensaios extrapolados pelo método de Van der Veen.

Os valores de capacidade de carga de Costa Nunes (1987) apresentaram margem média de variação quando comparados aos obtidos pela extrapolação. Ressalta-se, porém, a presença de grandes variações para os grupos 10 a 22 (Tabela 1) de tirantes, porém não se encontrou uma causa justificável para essa situação. Os parâmetros desses grupos são semelhantes aos outros analisados, o que não justifica tal desvio.

A formulação proposta pela NBR 5629 (2006) foi a que mais se aproximou dos valores extrapolados, exceto para grupos com valores de SPT elevados. A metodologia proposta, é também depende de coeficientes e parâmetros estimados, em ensaios ou tabelas. A discrepância obtida para os SPT's elevados chama a atenção para a necessidade de se estudar as variáveis presentes na formulação proposta para solos com alta resistência.

De maneira geral, pode-se perceber através das Figuras de 1 a 7 que todos os métodos obtiveram curvas aproximadas a de Van der Veen. Ainda, sugere-se serem os

valores obtidos de SPT uma das causas das diferenças observadas, pois se sabe que são muitas as variáveis envolvidas nesse processo que vão desde as condições do equipamento utilizado até a metodologia empregada na execução do ensaio, que varia de empreiteira para empreiteira, assunto esse que muito vem sendo discutido no Brasil. Além disso, justificam-se as superestimações encontradas também pelos coeficientes estimados e tabelados presentes na maioria das metodologias e que podem não ser aplicados a todos os casos, o que torna necessário um detalhamento maior dos mesmos para os variados tipos de solo existentes.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006). *NBR 5629 – Execução de Tirantes Acorados no Terreno*. Rio de Janeiro.
- Aoki N.; Cintra C. A.; Tsuha C. H. C.; Giacheti H. L. (2013). *Fundações, ensaios estáticos e dinâmicos*. Ed. Oficina de Textos.
- 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.
- Costa Nunes, A. J. (1987) “*Ground Prestressing – First Casagrande Lecture*”. VIII CPAMSEF, Cartagena, Colombia.
- Falconi, F. (2005). *Concurso: “Capacidade Geotécnica de Ancoragens reinjetáveis”*; IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - Salvador-BA.
- 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.
- 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.
- 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.
- Van der Veen. (1953). *The Bearing Capacity of a Pile*. Proceedings of the Third Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich, vol. 2, pp. 84-90.