

ANÁLISE DE MÉTODOS DE PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS ESCAVADAS EQUIPADAS COM A TECNOLOGIA EXPANDER BODY A PARTIR DE ENSAIOS CPT

BEARING CAPACITY ASSESSMENT OF BORED PILES EQUIPPED WITH EXPANDER BODY TECHNOLOGY USING METHODS BASED ON THE CPT

Feitosa Monteiro, Fernando, *UNICHRISTUS/ Universidade de Brasília, Fortaleza, Brasil, fernando.monteiro@unichristus.edu.br**

Macedo, Caio, *UNICHRISTUS, Fortaleza, Brasil, caiomacedo679@gmail.com*

Pinto da Cunha, Renato, *Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, rpcunha@unb.br*

Fábio Porto de Aguiar, Marcos, *Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br*

Medeiros Silva, Carlos, *EMBRE Engenharia, Brasília, Brasil, carlos@embre.com.br*

José Rocha de Albuquerque, Paulo, *Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, pjra@unicamp.br*

RESUMO

A estimativa de capacidade de carga de fundações profundas por estacas pode ser realizada por distintas metodologias com base em ensaios de campo, apresentando assim, valores específicos de capacidade de carga do sistema estaca-solo. Contudo, com o desenvolvimento de tecnologias como o Expander Body (EB), verifica-se a necessidade de avaliar quais as metodologias mais adequadas para estimativa da capacidade de carga em diferentes perfis estratigráficos. Este trabalho tem como objetivo principal analisar a precisão e a acurácia de diferentes metodologias semiempíricas de capacidade de carga baseadas no ensaio CPT a partir do Ranking Distance Index (RD). O estudo foi desenvolvido a partir da realização de provas de carga estáticas em duas estacas escavadas mecanicamente com diâmetro de 0,3 m e comprimento de 10 m assentes em um perfil estratigráfico composto por solos lateríticos na cidade de Brasília/DF, Brasil. Sendo uma delas equipada com a tecnologia Expander Body. A partir dos resultados experimentais e dos resultados de capacidade de carga, verifica-se que as estimativas de capacidade de carga baseadas em metodologias que utilizam o ensaio CPT, apresentam-se como ferramentas adequadas para a estimativa da capacidade de carga de estacas escavadas equipadas com a tecnologia Expander Body em solos lateríticos.

ABSTRACT

The bearing capacity of pile foundations can be estimated by different methodologies based on in-situ tests, thus presenting specific bearing capacity values for the pile-soil system. However, with the development of technologies such as the Expander Body (EB), there is a need to evaluate which methodologies are more appropriate for estimating the bearing capacity in different stratigraphic profiles. The main objective of this paper is to analyze the precision and accuracy of different semi-empirical load capacity methodologies based on the CPT test from the Ranking Distance Index (RD). The study was developed from static load tests in two cast in-situ piles with 10 m length and 0.3 m diameter placed in a stratigraphic profile composed of lateritic soils in Brasilia, Brazil. One of them was equipped with the Expander Body technology. From the experimental results and the load capacity calculations performed, it can be verified that the load capacity estimates based on methodologies that use the CPT test, present themselves as adequate tools for estimating the load capacity of bored piles equipped with the Expander Body technology in lateritic soils.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da construção civil acarreta em edificações cada vez mais complexas com esforços gradualmente maiores nas fundações, visando isto, são desenvolvidas ou aperfeiçoadas técnicas que possibilitem tais construções. A exemplo disso, observa-se a tecnologia Expander Body (EB) que é um equipamento instalado na ponta da estaca, possibilitando o acréscimo de capacidade carga da mesma. Segundo Terceros Herrera e Terceros Arce (2016), a técnica foi criada na década de 1980 pelo sueco Bo Skoberg, sendo aperfeiçoada na Bolívia, para melhorias no processo executivo e do monitoramento do solo adjacente a base da estaca (Fellenius e Terceros Herrera, 2014; Terceros Herrera e Massarsch, 2014; Fellenius et al. 2018).

Na escolha do tipo de fundação se faz necessário ensaios que informem previamente as características do solo estudado, em especial a sua resistência, como o Cone Penetration Test (CPT) e diversos outros ensaios de campo. Segundo Albuquerque e Garcia (2020), o ensaio do Cone Penetration Test (CPT) foi desenvolvido na Holanda, com o intuito de simular a cravação de uma estaca, e assim obter parâmetros de resistência de ponta e de atrito lateral, parâmetros esses, essenciais para esse tipo de fundação.

Diversas metodologias semiempíricas são empregadas para estimativa da capacidade de carga do solo, como as de Price e Wardle (1982), Massarsch e Wetterling (1993) e Alsamman (1995). Contudo, essas metodologias acabam apresentando valores distintos. Com isso, cabe ao profissional realizar a escolha do método que melhor se adequa para o cálculo da capacidade de carga do sistema estaca-solo avaliado. A utilização de critérios de aceitabilidade como o *Ranking Distance Index* (RD), auxiliam na tomada de decisão quanto a metodologia mais precisa quando comparada com valores obtidos a partir de prova de carga em estacas.

Orr e Cherubini (2003) propuseram o uso de um índice estatístico (RD – Ranking Distance), que avalia tanto a acurácia, por meio da média, quanto à precisão, por meio do desvio padrão da relação (valores calculados/medidos) de grandezas quaisquer, como descrito na equação a seguir:

$$RD = \sqrt{\left\{1 - \left[\mu\left(\frac{Q_{cal}}{Q_{med}}\right)\right]\right\}^2 + \left[s\left(\frac{Q_{cal}}{Q_{med}}\right)\right]^2} \quad [1]$$

De modo que $\mu(Q_{cal}/Q_{med})$ e $s(Q_{cal}/Q_{med})$ representam a média e o desvio padrão dos valores (Q_{cal}/Q_{med}) , respectivamente. O ponto de ótimo ocorre quando $(Q_{cal}/Q_{med}) = 1$ e $s = 0$.

Tendo isso em vista, esse artigo analisa a precisão e a acurácia de três metodologias usadas para estimativa de capacidade de carga de estacas escavadas mecanicamente equipadas com a tecnologia Expander Body (EB) e de estacas escavadas mecanicamente convencionais, a partir de resultados de ensaios CPT realizados no solo do Distrito Federal, no Brasil. A precisão das metodologias de estimativa de capacidade de carga é avaliada a partir da comparação com resultados de provas de carga em estacas mecanicamente escavadas equipadas com EB no Campo Experimental de Fundações e Ensaios de Campo da Universidade de Brasília.

2. TECNOLOGIA EXPANDER BODY

A tecnologia Expander Body (EB) é desenvolvida a partir de chapas de aço dobrados, sanfonadas, em forma de um corpo cilíndrico, sendo estes instalados na ponta da estaca ou dos tirantes no solo. Ela foi estabelecida pelo engenheiro sueco Bo Skogberg, recebendo modificações nos últimos anos na Bolívia (Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016), essas alterações afetam diretamente o processo executivo e nos equipamentos usados no processo.

Segundo Terceros Herrera e Terceros Arce (2017), a primeira etapa de injeção da tecnologia EB possui determinada semelhança com o ensaio do pressiométrico de Ménard. Atualmente, o processo executivo de instalação da tecnologia EB consiste em um procedimento de duas etapas, onde na primeira um tubo sanfonado é inflado com uma calda de cimento e na segunda ocorre a liberação da calda no solo ao redor da ponta da estaca, aprimorando as características mecânicas do solo adjacente a base da estaca. A Figura 1 apresenta o processo executivo de uma estaca escavada equipada com a tecnologia EB.

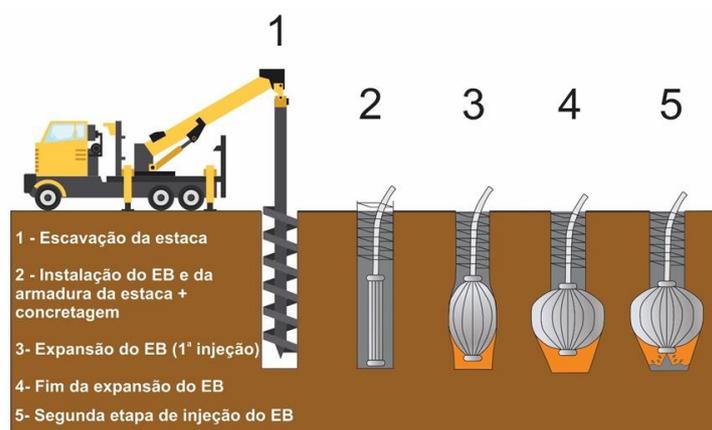


Figura 1 – Processo executivo estaca escavada mecanicamente equipada com o EB

De acordo com Silva et al. (2018), aproximadamente 20.000 EBs já foram instalados nas Américas (Bolívia, Argentina, Paraguai, Peru, México, EUA e Canadá). Este sistema modificado e aprimorado já foi instalado em uma ampla gama de solos, desde argilas moles a muito rijas, solos sedimentais e areias, bem como rochas brandas. Os autores ainda indicam que o sistema pode ser disponibilizar com diferentes dimensões em função dos requisitos de projeto. O Quadro 1 apresenta as diferentes geometrias dos EBs, verifica-se também os diferentes diâmetros dos EBs, antes e depois da expansão total. De modo que L_i é o comprimento do EB anterior a expansão, L_f é o comprimento do EB após a expansão, ϕ_{EB} é o diâmetro do EB após a expansão, V é o volume do EB após a expansão, A_p e A_l são as áreas de ponta e lateral do EB após a expansão, respectivamente.

Quadro 1 – Modelos da tecnologia Expander Body (Terceros Arce e Terceros Herrera, 2017)

| Modelo | L_i (m) | L_f (m) | ϕ_{EB} (m) | A_p (m ²) | A_l (m ²) | V (m ³) |
|--------|-----------|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| EB 310 | 1,0 | 0,91 | 0,3 | 0,07 | 0,86 | 0,07 |
| EB 410 | 1,0 | 0,86 | 0,4 | 0,13 | 1,08 | 0,12 |
| EB 610 | 1,0 | 0,76 | 0,6 | 0,28 | 1,43 | 0,21 |
| EB 612 | 1,2 | 0,96 | 0,6 | 0,28 | 1,83 | 0,27 |
| EB 615 | 1,5 | 1,26 | 0,6 | 0,28 | 2,38 | 0,36 |
| EB 815 | 1,5 | 1,26 | 0,6 | 0,50 | 3,17 | 0,63 |
| EB 820 | 2,0 | 1,76 | 0,8 | 0,50 | 4,42 | 0,88 |

3. ESTUDO DE CASO

O Campo Experimental de Fundações e Ensaios de Campo do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, localiza-se no Campus Darcy Ribeiro, Brasília, Brasil. A localização geográfica é determinada pelas coordenadas 15°45'56" de latitude sul e 47°52'20" de longitude oeste (Figura 2), numa área de aproximadamente 1000 m². As estacas avaliadas neste estudo estão localizadas em um anexo do Campo Experimental e os ensaios de campo realizados estão localizados a cerca 20 m do local. Detalhes mais abrangentes relativos ao Campo Experimental podem ser encontrados em Cunha (2011).



Figura 2 – Localização do Campo Experimental de Fundações da UnB

A Figura 3 apresenta um perfil estratigráfico sintetizado do local. O subsolo é inicialmente caracterizado por uma camada laterítica superficial, seguida por um horizonte de transição e por fim, uma camada composta por um saprólito formado pela rocha nativa da região. Adicionalmente, exibe-se os resultados médios de índice de resistência a penetração (N_{SPT}), resistência de ponta (q_c) e resistência lateral (f_s) para cada profundidade do campo experimental.

| Profundidade (m) | Estatigrafia do solo | N_{SPT} | q_c (MPa) | f_s (MPa) |
|------------------|----------------------------------|-----------|----------------|----------------|
| 0.0 | Areia Siltosa Solo laterítico | 2 | 0.66 | 0.02 |
| | | 2 | 0.47 | 0.02 |
| | | 3 | 0.65 | 0.04 |
| | | 3 | 0.86 | 0.05 |
| | | 6 | 1.13 | 0.07 |
| | | 5 | 1.46 | 0.09 |
| 6.0 | Silte Arenoso | 10 | 2.42 | 0.14 |
| 8.0 | | 22 | 3.69 | 0.21 |
| 10.0 | Camada de transição | 23 | 3.89 | 0.21 |
| | | 28 | 4.54 | 0.23 |
| 12.0 | Argila Siltosa Saprólito | 25 | 4.64 | 0.23 |
| | | 33 | 4.40 | 0.23 |

Figura 3 – Perfil estratigráfico do Campo Experimental de Fundações da UnB

Para o desenvolvimento da pesquisa foram conduzidas duas provas de carga estática à compressão em estacas testes com diâmetro de 0,30 m e 10 m de comprimento, sendo uma equipada com a tecnologia EB e a outra não. Nesta pesquisa, o modelo EB 612 ($\phi_{EB} = 0,6$ m) foi instalado em uma das estacas conforme o processo executivo

indicado na Figura 1. A armadura longitudinal das estacas é composta por seis barras com 3 m de comprimento e com 16 mm de diâmetro, bem como estribos de 6,4 mm de diâmetro, a cada 20 cm (Aço CA-50). Adicionalmente, uma monobarra DW 47 mm foi anexada ao centro do EB, bem como tubulações para a injeção do EB (1ª injeção) e para a injeção de fundo do EB (2ª injeção), conforme apresentado na Figura 4.



Figura 4 – Instalação da tecnologia EB em estaca escavada convencional

As etapas de injeção foram executadas mediante a utilização de uma bomba de argamassa de cimento com capacidade de 8 MPa (Figura 5). A argamassa foi preparada em um misturador e transportada por uma tubulação para um cavalete, onde era possível controlar a pressão por meio da utilização de manômetro com capacidade máxima de 30 MPa. O volume de injeção foi controlado por meio de medidor de vazão instalado no misturador de alta turbulência. A segunda etapa de injeção foi realizada após 48 h da execução da primeira etapa de injeção. A Figura 6 apresenta as curvas pressão vs volume obtidas a partir da expansão do EB e da segunda etapa de injeção (preenchimento dos vazios adjacentes a base devido ao encurtamento do comprimento do EB na etapa de expansão).



Figura 5 – Conjunto bomba de argamassa de cimento e misturador

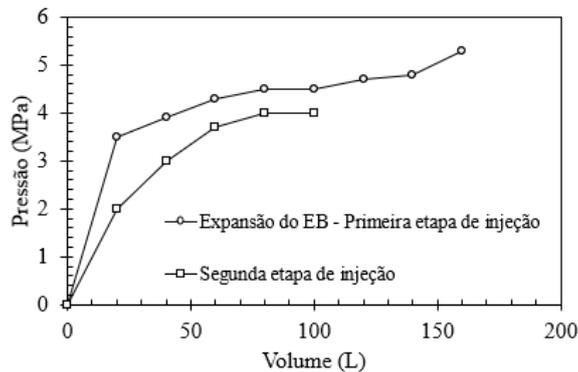


Figura 6 – Curvas pressão versus volume da tecnologia Expander Body

O sistema de reação foi composto de viga de reação, sistema de atirantamento Dywidag e estacas de reação. Para as estacas teste submetidas à compressão, utilizou-se quatro estacas de reação alinhadas e espaçadas a 2,80m ($\approx 9\phi$) da estaca teste (Figura 7). Estas estacas são do tipo escavadas mecanicamente, com 0,60m de diâmetro e 12m de comprimento.

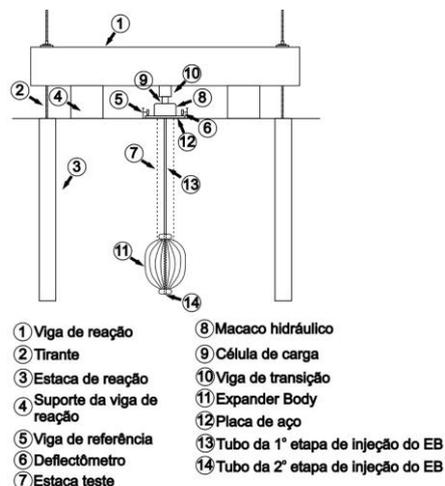


Figura 7 – Vista transversal do sistema de reação das provas de carga à compressão

As provas de carga estática à compressão, do tipo lenta, foram realizadas de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 12131 (2006). Os incrementos de carga foram conduzidos em dez estágios de carga correspondente, cada um, a 20% da carga de trabalho das estacas analisadas na pesquisa. Nas provas de carga realizadas, observou-se que o deslocamento das estacas variou entre 48,03 e 52,21 mm, atingindo recalques próximos ao limite do defletometro (70 mm), notando-se assim deslocamentos superiores a 10% do diâmetro do fuste das estacas. Neste trabalho, foram estudados métodos semiempíricos de previsão da capacidade de carga com base nas medidas de resistência de ponta (q_c) e atrito lateral (f_s), proveniente do ensaio CPT, executado no Brasil. Os métodos utilizados foram: Price e Wardle (1982), Massarsch e Wetterling (1993) e Alsamman (1995).

4. RESULTADOS

A Figura 8 exibe as curvas carga vs deslocamento das estacas analisadas. Observa-se que a estaca equipada com a tecnologia EB foi carregada até 1200 kN, ao passo que a estaca escavada convencional de mesma característica geométrica (diâmetro e

comprimento) sem tecnologia alcançou uma carga máxima da ordem de 700 kN. Conforme verificado por Silva et al. (2018), o sistema Expander Body confere um ganho significativo em termos de capacidade de carga ao se avaliar a capacidade de carga do sistema estaca-solo para um mesmo nível de deslocamento.

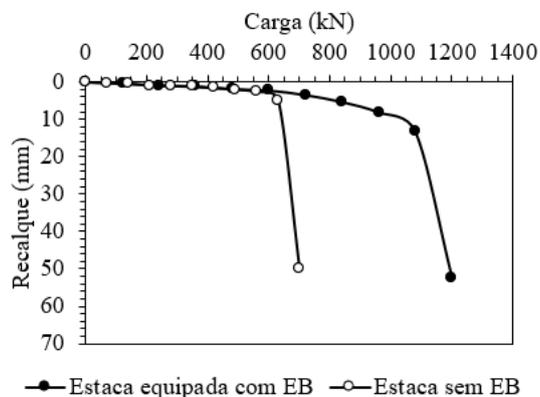


Figura 8 – Curvas carga versus recalque das estacas com e sem EB

Devido aos níveis de deslocamento obtidos nas provas de carga, torna-se possível determinar a carga de ruptura convencional de cada estaca segundo o critério de 10% do diâmetro da estaca. Este critério é usualmente adotado em países europeus devido a recomendação do Eurocode 7 (CEN, 2004), deste modo, a capacidade de carga convencional da estaca escavada equipada com e sem EB são determinadas como 1120 e 670 kN, respectivamente. Três metodologias semiempíricas de estimativa de capacidade de carga baseadas no ensaio CPT foram utilizadas neste trabalho: Price e Wardle (1982), Massarsch e Wetterling (1993) e Alsamman (1995). As Figuras 9 e 10 apresentam razões entre valores de capacidade de carga previstos e medidos (Q_p/Q_m). Comparando as estimativas de capacidade de carga pelos métodos semiempíricos com a carga de ruptura a partir da carga convencional para um recalque equivalente a 10% do diâmetro da estaca, nota-se que os métodos propostos por Price e Wardle (1982) e Alsamman (1995) apresentaram valores de razão (Q_p/Q_m) dentro da faixa de $\pm 20\%$ para as estacas escavadas com e sem a tecnologia Expander Body. Ao passo que a metodologia de capacidade de carga desenvolvida por Massarsch e Wetterling (1993) superestima a previsão de capacidade de carga relativa a estaca equipada com a tecnologia EB. No entanto, para a estaca escavada convencional, ou seja, sem a tecnologia EB, o método de Massarsch e Wetterling (1993) apresenta uma estimativa conservadora, porém situada fora da faixa de $\pm 20\%$.

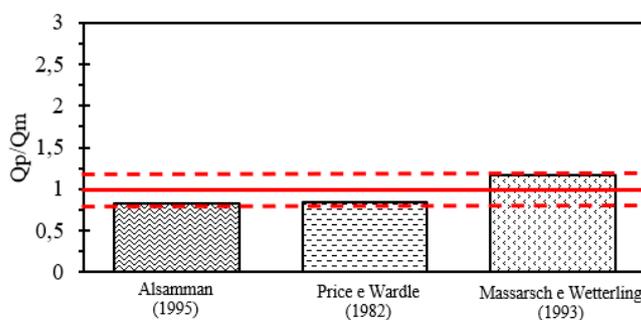


Figura 9 – Razão entre valores previstos e medidos de capacidade de carga para a estaca equipada com EB

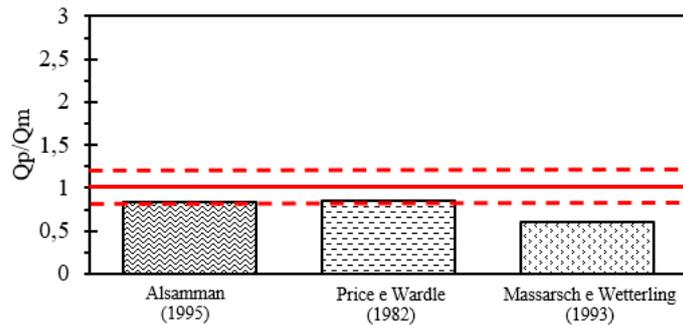


Figura 10 – Razão entre valores previstos e medidos de capacidade de carga para a estaca equipada sem EB

Tal discrepância pode ser explicada pelo fato da resistência por atrito lateral do método de Massarsch e Wetterling (1993) ser determinada a partir de uma porcentagem da resistência de ponta da estaca, deste modo, quando a estaca apresenta um diâmetro da base equivalente a 0,6 m (estaca com EB), a estimativa será maior quando comparada ao caso da estaca escavada convencional (estaca sem EB), cujo diâmetro da base é de 0,3 m para este estudo de caso.

O Quadro 2 apresenta os valores médios e de desvio padrão para as razões entre valores de capacidade de carga previstos e medidos (Q_p/Q_m) das estacas analisadas neste estudo. A partir desses valores, o Ranking Distance Index (RD) é determinado. Valores baixos de RD representam um método estimativo com alta acurácia e alta precisão. Ao passo que os valores de RD aumentam, este índice estatístico caracteriza a metodologia estimativa como menos acurada e precisa. Nota-se assim, que os métodos estimativos com menores valores de RD, reproduzem resultados mais acurados e precisos.

Quadro 2 – Análise estatística das razões Q_p/Q_m para os métodos avaliados

| Método | Média (Q_p/Q_m) | Desvio padrão (Q_p/Q_m) | RD |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|------|
| Price e Wardle (1982) | 0,8 | 0,0 | 0,85 |
| Massarsch e Wetterling (1993) | 0,9 | 0,4 | 0,98 |
| Alsamman (1995) | 0,8 | 0,0 | 0,83 |

Dentre as metodologias de estimativa de capacidade de carga com base no ensaio CPT analisadas neste trabalho, observa-se que o método de Alsamman (1995) apresenta o menor valor de RD, sendo esta a metodologia mais acurada e precisa. Por outro lado, o método proposto por Massarsch e Wetterling (1993) denota o maior valor de RD, sendo este o método menos acurado e preciso em relação aos dados analisados neste estudo. Desta forma, é possível inferir de modo preliminar que a estimativa de capacidade de carga a partir do uso de metodologias semiempíricas baseadas em resultados de ensaios do tipo CPT para estacas escavadas equipadas ou não com a tecnologia Expander Body assentes em solos lateríticos são satisfatórias a nível de projeto.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho enfatizou resultados obtidos a partir de provas de carga em estacas mecanicamente escavadas convencionais e equipadas com a tecnologia Expander Body, realizadas no Anexo do Campo Experimental de Geotecnia da Universidade de Brasília. As fundações analisadas foram carregadas axialmente à compressão,

produzindo curvas cargas vs deslocamento, que foram interpretadas de modo a averiguar a precisão e acurácia de metodologias de previsão de capacidade de carga em estacas escavadas equipadas com o sistema Expander Body assentes em solo tropical do Distrito Federal, a partir resultados de ensaios CPT.

Dados experimentais adquiridos a partir de provas de carga e estimativas de estimativas de capacidade de carga a partir das metodologias de Price e Wardle (1982), Massarsch e Wetterling (1993) e Alsamman (1995) foram comparadas para estacas escavadas equipadas com e sem a tecnologia EB, sendo estas apresentadas e discutidas. Embora os resultados sejam restritos às condições das análises, com base em um conjunto limitado de dados, eles permitem generalizações preliminares do comportamento geral. Além disso, eles destacam o fato de que os fenômenos envolvidos em tais processos são consideravelmente complexos. A este respeito, esta pesquisa proporcionou uma melhor compreensão de algumas das características envolvidas pelos mecanismos de carregamento de estacas isoladas equipadas com a tecnologia EB em solos lateríticos. Deve-se notar, no entanto, que algumas análises foram formuladas como hipóteses para explicar os resultados, e precisam de mais pesquisas para uma apreciação mais fundamentada no futuro. Portanto, a partir das tendências observadas com os dados e análises, algumas conclusões gerais podem ser tiradas:

- O sistema Expander Body confere um ganho significativo (da ordem de 90%) a capacidade de carga do sistema estaca-solo para um mesmo nível de deslocamento quando comparada a valores obtidos em provas de carga em estacas escavadas convencionais de geometria e perfil stratigráfico similares;
- O método de Alsamman (1995) denota o menor valor de RD, sendo esta a metodologia mais acurada e precisa analisada no presente estudo;
- O método proposto por Massarsch e Wetterling (1993) indica o maior valor de RD, sendo este o método menos acurado e preciso em relação aos dados analisados neste estudo.
- A partir dos resultados experimentais e dos cálculos de capacidade de carga realizados, verifica-se que as estimativas de capacidade de carga baseadas em metodologias que utilizam o ensaio CPT, apresentam-se como ferramentas adequadas para a estimativa da capacidade de carga de estacas escavadas equipadas com a tecnologia Expander Body em solos lateríticos.

Portanto, deve ser enfatizado que as conclusões descritas têm de ser consideradas de alcance e aplicabilidade limitadas. No entanto, estes resultados, juntamente com a experiência adquirida durante a pesquisa, podem ser de grande interesse para pesquisadores e projetistas de fundações desta região e no exterior.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi conduzida com a participação do Grupo de Pesquisa de Fundações e Ensaios de Campo (GPFees) do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília e do do Grupo de Pesquisa em Fundações Especiais e Geotecnia (GPFEG) do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Unichristus. O primeiro autor gostaria de agradecer pela assistência de campo à empresa de engenharia EMBRE e pela bolsa de estudos concedida (GM/GD-140423/2017-6) pela

organização governamental de patrocínio CNPq (Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, P. J. R. e Garcia, J. R. (2020). Engenharia de Fundações, 1st ed., LTC, São Paulo, SP, Brasil, 356 p.
- Alsamman, O.M. (1995). *The use of CPT for calculating axial capacity of drilled shafts*. PhD Thesis, UIUC, IL, USA, 299 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006). *Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio NBR 12131*. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 16.
- Comité Européen de Normalização. (2004). *EN 1997-1:2004: Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1: General rules*. Brussels, Belgium, pp. 171.
- Cunha, R. P. (2011) *Acquired knowledge on the behavior of deep foundations vertically and horizontally loaded in the soil of Brasília*. Soils and Rocks, Volume 34, issue 3: pp. 1200-1207.
- Fellenius, B. H. e Terceros, M. H. (2014). Response to load for four different bored piles. *Proceedings of International Conference on Piling and Deep Foundations.*, Stockholm, Sweden, pp. 99–120.
- Fellenius, B. H., Massarsch, K. R., Terceros Herrera, M. A. e Terceros Arce, M. (2018). A study of the augmenting effect of equipping piles with an Expander Body. *Proceedings of International Conference on Deep Foundations and Ground Improvement: Urbanization and Infrastructure Development Future Challenges*, Rome, Italy, pp. 114–123.
- Massarsch, K. R. e Wetterling, S. (1993). Improvement of augercast pile performance by Expander Body System. *Proceedings of 2nd International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*, Ghent, Belgium, pp. 417–428.
- Orr, T.L. e Cherubini, C. (2003). *Use of the Ranking Distance as an Index for Assessing the Accuracy and Precision of Equations for the Bearing Capacity of Piles and At-Rest Earth Pressure Coefficient*. Canadian Geotec. Journal, Volume 40, issue 6: pp. 1200-1207.
- Price G e Wardle I.F. (1982). A comparison between cone penetration test results and the performance of small diameter instrumented piles in stiff clay. *Proceedings of 2nd European symposium on penetration testing*, Amsterdam, Netherlands, pp. 775–780.
- Silva, C.M., Terceros H.M.A., Terceros M., Esposito, C., Fernández, D.H. e Cunha, R.P. (2018). Uso da Tecnologia Expander Body em estacas solicitadas a tração e a compressão assentes em solo tropical do Brasil. *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Salvador, Brasil, pp.16-28.
- Terceros Herrera, M.A. e Terceros Arce, M. (2016). Recent Advances In The Expander Body Technology. *Proceedings of XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Belo Horizonte, Brasil, pp. 31-38.
- Terceros Arce, M. e Terceros Herrera, M. A. (2017). Expander Body and Toe-Box: Expansion Devices for Deep Foundations Enhancement. *Proceedings of 3rd Bolivian International Conference on Deep Foundations*, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, pp. 209–227.
- Terceros, H. M. e Massarsch, K. M. (2014). The use of the expander body with cast in-situ piles in sandy soils. *Proceedings of International Conference on Piling and Deep Foundations.*, Stockholm, Sweden, pp. 347-358.