

Avaliação da deformação em estacas de fundações profundas por meio do ensaio de prova de carga estática na cidade de Manaus.

Marcos Valério Mendonça Baia

Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, engebaia@gmail.com

Elias Santos Souza

Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, souza.elias13@gmail.com

Daniel Jardim Almeida

Doutorando, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, danieljardimalmeida@ime.eb.br

Washington Batista dos Reis

Especialista, Faculdade Mauricio de Nassau, Manaus, Brasil, wbreis7@gmail.com

Fernando Navarro Crespo Neto

Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, fnresponeto@yahoo.com.br

RESUMO: As estacas tipo escava tem sido, no Brasil, executadas com diâmetros estipulados pela NBR-6122 de Ø410mm, (ABNT, 2010). Em Manaus-AM devido as condições de solo tropical é necessário, em alguns casos, a utilização de estacas com diâmetros maiores ou menores para ajustar as condições necessárias. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo mostrar os resultados obtidos nos ensaios de prova de carga para dois tipos de estacada escavada com dois diâmetros diferentes, Ø400 e Ø500mm, em um mesmo canteiro de obras. Os resultados obtidos, mostram que as mesmas apresentaram resultados satisfatórios para carga de 106Tf e 140Tf necessárias ao projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Geotecnia; Deformação; Estaca escavada; Prova de carga estática; Fundação profunda.

1 Introdução

Determinar a capacidade de carga e recalques em estacas por meio do ensaio de prova de carga estática, é a técnica mais convencional. O procedimento instrumental é executado a aplicação de carga sobre uma estaca de reação, fazendo-se, portanto, o monitoramento do deslocamento ocasionado pelo carregamento. No Brasil, a técnica encontra-se normatizada sob a égide da NBR 12.131/2006. De acordo com a NB6122/2010 (Projeto e Execução de Fundações), a obrigatoriedade de execução das mesmas se faz necessário em grande número de obras, considerando o percentual de 1% em relação ao total por tipo de estaca. Com os resultados em mãos, é possível o engenheiro geotécnico fazer avaliações sobre o comportamento de suas deformações e resistência predita no projeto de fundações.

As estacas tipo escavada tem sido, no Brasil, executadas com diâmetros estipulados pela NBR-6122 de Ø410mm, (ABNT, 2010). Contudo, nos dias atuais há equipamentos que fornecem diâmetros maiores, de Ø450 e Ø500mm. Apesar disso, ainda há pouco registro na literatura técnica. Até o ano de 2019, uma nova revisão da NBR-6122 que contempla a atualização da norma foi ratificada (Schpun e Querelli, 2019). Os solos formados pelos processos geológicos e pedológicos comumente observados na faixa tropical do planeta, denominado solo tropical, possui características singulares no âmbito da engenharia geotécnica, como é o caso da cidade de Manaus-AM (Baia et. al, 2019). Desta forma, o trabalho se propõe a contribuir para a interpretação da capacidade de carga (carga de ruptura convencional) em provas de carga estática, em estacas na cidade de Manaus-AM

2 Metodologia

Os ensaios de Prova de Carga realizados, foram do tipo SML – Slow Mantained Load (carregamento lento) em uma obra de um condomínio residencial na cidade de Manaus (3°04'14.4"S 60°00'25.0"W). Trata-se de prova de carga em que o carregamento e o descarregamento são procedidos em estágios de 10 a 20% da carga de trabalho, mantidos em tempo pré-determinado ou o necessário para a estabilização dos recalques sob a ação da carga aplicada. As cargas foram aplicadas através de macaco hidráulico e célula de carga devidamente calibrada. As deformações foram lidas através de quatro extensômetros de elevada sensibilidade (0,01mm), posicionados de forma a permanecerem diametralmente opostos. Salienta-se que os quatro extensômetros (1, 2, 3 e 4) tiveram a função de registrar as deformações sofridas pelo sistema estaca e bloco de coroamento. As estacas ensaiadas na compressão e as estacas do sistema de reação são escavadas tipo Hélice Contínua (Ø 500mm), e, escavadas a seco com trado mecânico (perfuratriz sobre caminhão) com 400 mm de diâmetro. Foi executado bloco de coroamento nas estacas ensaiadas à compressão. O sistema de reação foi executado com a utilização de um perfil de reação, o qual ficou solidarizado nas barras de ancoragem das estacas R1, R2, R3 e R4. As vigas de referência utilizadas foram de madeira objetivando assim minimizar os efeitos de dilatação provocados pela variação da temperatura. O conjunto de provas em estacas escavadas e hélice contínua foi analisado.

2.1 Características das estacas do sistema de reação

O sistema de reação utilizado foi constituído por 4 (quatro) estacas tipo escavadas denominadas de R1, R2, R3 e R4, cujas características são definidas na Tabela 1 para uma das estacas.

Tabela 1. Resultados obtidos dos extensômetros para cada estágio da prova de carga da Torre

Torre A		Torre B	
Classe	Ø 400mm	Classe	Ø 500mm
Fck 20MPa		Fck 20MPa	
R1	13,25 m	R1	15,34 m
R2	13,25m	R2	15,34 m
R3	13,25m	R3	15,34 m
R4	13,25m	R4	15,34 m
Seção	Ø 400mm	Seção	Ø 500mm
Comprimento executado	13,25m	Comprimento executado	20,10m
Carga de Trabalho	53Tf	Carga de Trabalho	70Tf
Carga de ensaio	106Tf	Carga de ensaio	140Tf
Fck da estaca 20MPa		Fck da estaca 20MPa	

3 Resultados e discursões

Na tabela 2 são mostrados os valores referentes ao ensaio de prova de carga, tomando como principio o carregamento inicial de 8,5 Tf no marco zero do ensaio para Torre A.

Tabela 2. Resultados obtidos dos extensômetros para cada estágio da prova de carga da Torre A

	Extensômetro										
	Ex1		Ex2		Ex3		Ex4		Média Acum	SD	
Carga (tf)	Estágio	Acum	Estágio	Acum	Estágio	Acum	Estágio	Acum			
-	8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	10,6	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,0275	0,012

2	21,2	0,19	0,2	0,16	0,19	0,2	0,23	0,17	0,21	0,2075	0,017
3	31,8	0,42	0,62	0,64	0,83	0,43	0,66	0,37	0,58	0,6725	0,109
4	42,4	0,66	1,28	0,55	1,38	0,68	1,34	0,56	1,14	1,285	0,105
5	53	0,82	2,1	0,78	2,16	0,83	2,17	0,78	1,92	2,088	0,115
6	63,6	1,41	3,51	1,3	3,46	1,39	3,56	1,28	3,2	3,433	0,160
7	74,2	1,44	4,95	1,34	4,8	1,44	5	1,34	4,54	4,823	0,206
8	84,8	1,91	6,86	1,82	6,62	1,9	6,9	1,8	6,34	6,68	0,258
9	95,4	1,83	8,69	1,76	8,38	1,82	8,72	1,76	8,1	8,47	0,292
10+Rep	106	4,24	12,93	4,1	12,48	4,22	12,94	4,11	12,21	12,640	0,358
1	84,8	0,13	12,8	0,1	12,38	0,11	12,83	0,09	12,12	12,533	0,343
2	63,6	0,23	12,57	0,14	12,24	0,2	12,63	0,12	12	12,360	0,294
3	42,4	0,3	12,27	0,21	12,03	0,3	12,33	0,18	11,82	12,113	0,234
4	21,2	0,36	11,91	0,24	11,79	0,36	11,97	0,24	11,58	11,813	0,172
5	0	0,48	11,43	0,35	11,44	0,47	11,5	0,32	11,26	11,408	0,103

Na tabela 2, observa-se que após 10 estágios, atingiu-se o somatório de 106,00 Tf e deslocamento médio de 12,64mm. Na fase de descarregamento, quando comprado com o estágio 10, houve retorno de 1,12mm representando ~ 9% do deslocamento total. Sabendo-se que o solo amazonico é constituído por uma espessa camada de solo argiloso ou arenoso, devido a influencia de sua bacia hidrografica e sedimentos provenientes da regioao, o mesmo afeta diretamente na resistencia e adequação das fundacoes profundas utilizadas na cidade de Manaus (BAIA et. al, 2019; LOPES, et al., 2018). Esse fator pode ter acarretado o baixo índice (~9%) de retorno médio do ensaio de carregamento.

Apesar da deformação observada, para o carregamento estipulado em projeto, e segundo os parametros estipulados por norma tecnica, os valores obtidos serao satisfatorios tendo em vista a estrutura como um todo.

A Figura 1, mostra os valores acumulados obtidos na Tabela 2, na qual observa-se a carga (Tf) em função do deslocamento (mm) e a média entre os pontos obtidos pelos quatro extensômetros (Ex1, Ex2, Ex3, e Ex4).

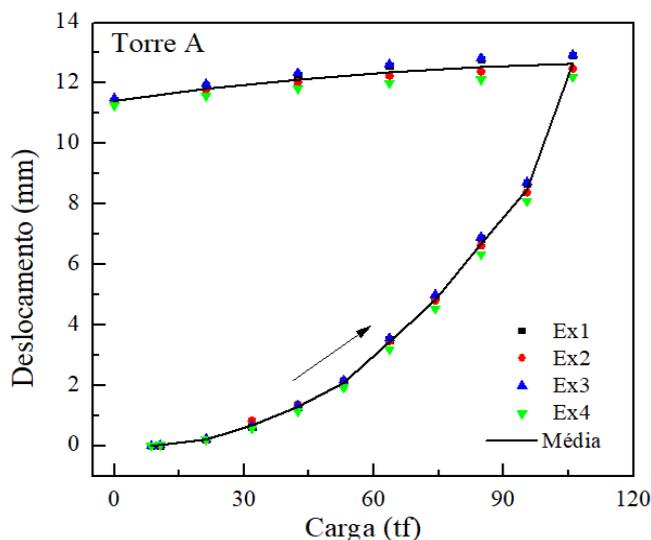


Figura 1. Curva carga em função do deslocamento para Torre A

Observa-se na Figura 1 que o deslocamento da curva é acentuada durante o carregamento, saindo de 0,00 mm e chegando ao acumulado de 12,64 mm. Já no descarregamento, o gráfico apresenta um retorno suave, tendo média de retorno de aproximadamente 0,012 mm por estágio. Isso confirma o provável recalque na estrutura apresentado da tabela, mas ainda se encontra dentro dos parâmetros aceitáveis por norma (NBR 6122:2010).

Assim como foi realizado os ensaios na Torre A, a Torre B apresentou resultados aceitáveis pela norma NBR 6122:2010. Os resultados da Torre B pode ser observados na Tabela 3, que apresenta os valores de carga, estágio e média com desvio padrão do ensaio.

Tabela 3. Resultados obtidos dos extensômetros para cada estágio da prova de carga da Torre B

Estágio	Carga (Tf)	Extensômetro								Média Acum	SD
		Ex1		Ex2		Ex3		Ex4			
		Estágio	Acum	Estágio	Acum	Estágio	Acum	Estágio	Acum		
-	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
1	14	0,11	0,11	0,1	0,1	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,01826
2	28	0,1	0,21	0,07	0,17	0,09	0,16	0,1	0,18	0,18	0,0216
3	42	0,12	0,33	0,1	0,27	0,13	0,29	0,08	0,26	0,2875	0,03096
4	56	0,14	0,47	0,17	0,44	0,11	0,4	0,14	0,4	0,428	0,03403
5	70	0,15	0,62	0,13	0,57	0,19	0,59	0,12	0,52	0,575	0,04203
6	84	0,16	0,78	0,19	0,76	0,14	0,73	0,12	0,64	0,728	0,06185
7	98	0,18	0,96	0,17	0,93	0,1	0,83	0,17	0,81	0,883	0,07365
8	112	0,10	1,06	0,22	1,15	0,19	1,02	0,19	1	1,0575	0,06652
9	126	0,19	1,25	0,2	1,35	0,21	1,23	0,22	1,22	1,26	0,05965
10+Rep	140	0,29	1,54	0,32	1,67	0,19	1,42	0,26	1,48	1,528	0,10689
1	112	0,14	1,40	0,16	1,51	0,11	1,31	0,12	1,36	1,395	0,08505
2	84	0,18	1,22	0,2	1,31	0,14	1,17	0,17	1,19	1,223	0,06185
3	56	0,25	0,97	0,26	1,05	0,21	0,96	0,28	0,91	0,973	0,05795
4	28	0,24	0,73	0,33	0,72	0,19	0,77	0,28	0,63	0,713	0,05909
5	0	0,24	0,49	0,31	0,41	0,12	0,65	0,19	0,44	0,498	0,10689

Na Tabela 3, pode-se visualizar que os valores obtidos das médias acumuladas foram mais precisos, quando comparados com a Tabela 2 referente ao ensaio realizado na Torre A, uma vez que o desvio padrão (SD) foi menor. O somatório de deslocamento após o estágio 10 de carregamento atingiu o valor da média acumulada de 1,528mm, obtendo retorno após o término do ensaio de 1,030mm isto corresponde a um retorno de ~60,4% do valor total de deslocamento. O valor de 0,498mm após o carregamento da estrutura pelo macaco hidráulico é aceito por norma. Entretanto, este valor ainda apresenta alta porcentagem levando em consideração o deslocamento total durante o experimento. Ademais, os valores acumulados quando apresentados em curvas de carga em função do deslocamento, pode-se observar que a inclinação da mesma é reduzida se comparada com a Torre A (ver Figura 2).

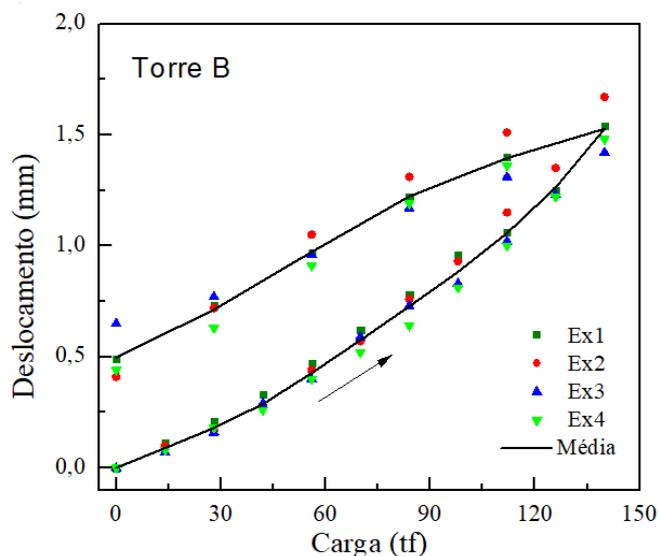


Figura 2. Curva carga em função do deslocamento para Torre B

Na Figura 2, mostra-se os valores de carga em função do deslocamento, bem como a média dos valores obtida pelos extensômetros (Ex1, Ex2, Ex3, e Ex4). A seta indicativa na figura mostra o seguimento de carregamento que ao atingir o estágio 10, ou seja, após 140Tf de carga inicia-se o sequência do descarregamento do ensaio. Observa-se, ainda, que ao contrário da Figura 1 a inclinação da curva é bem menor, indicando que é considerado mais estável.

Desse modo, apesar da diferença no solo entre as duas estacadas escavada ambas obtiveram resultados satisfatório, levando em consideração as especificações solicitadas para o projeto.

4 Conclusão

Avaliando os resultados da Torre A acredita-se que a estaca ensaiada a compressão apresenta-se íntegra em sua totalidade (fuste), não apresentando, portanto, problema de falhas em sua concretagem, apresentando deformação média acumulada de 12,64 mm quando submetida a um carregamento de 106 tf. Após o descarregamento a estaca passou a apresentar uma deformação média de 11,41 mm. A Torre B, também, apresenta integridade em sua totalidade (fuste), apresentando deformação média acumulada de 1,53 mm quando submetida a um carregamento de 140 tf. Após o descarregamento a estaca passou a apresentar uma deformação média de 0,47 mm.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos a empresa Geofort Fundações por ter apoiado a realização do ensaio e disponibilização de dados a este estudo, bem como à Controladoria Geral da União por conceder recursos financeiros para possibilitar a apresentação do trabalho.

Referências Bibliográficas

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto de execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto de execução de fundações*. Rio de Janeiro.



- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 8681. *Ações e segurança nas estruturas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 12131. *Estacas – Prova de carga estática*. Rio de Janeiro.
- Baia, M.V.M. ; Almeida, D.J. ; Souza, E.S. ; Barbosa, E.P. ; Araújo, F.A.S. ; Lima, A.O.P. ; Campelo, N.S. . *Análise comparativa de metodologias para classificação geotécnica de dois solos oriundos da margem de corpos hídricos na zona central da cidade Manaus AM*. Engenharia no Século XXI Volume 8. 1ed. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2019, v. 8, p. 98-106.
- Lopes, M. O. ; Almeida, D. J. ; Baia, M. V. M. ; Rebelo, F. H. S.. *Propriedades Geotécnicas de Três Solos Típicos do Estado do Amazonas: Um estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas*. Revista Pavimentação, v. XIII, p. 22-45, 2018.
- Schpun, B.; Querelli, A. *Estaca Raiz Ø500 mm: Procedimentos Executivos, Detalhamento e Prova de Carga Estática até 5050 kN*. 9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. 3ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia, 2019, São Paulo, SP, BRASIL.