

COMPORTAMENTO DE ESTACAS PRÉ-MOLDADAS CRAVADAS POR PERCUSSÃO EM AREIA COMPACTA

Bruna Ferronato

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande
bruna_ferronato@live.com

Daniel Dalla Vecchia

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande
racer.daniel@gmail.com

Evandro Max Rockenbach Spaniol

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande
evandro.rockenbach@hotmail.com

Fernanda Bettin

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande
fehbettin@hotmail.com

Gustavo Gregório da Silva

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande
gsgregorio@hotmail.com

Jones Munari Vilchez Palomino

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande
jonespalomino@gmail.com

Marcelo Saraiva Peres

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande
marcelosvperes@gmail.com

Cesar Alberto Ruver

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande
cesar.ruver@gmail.com

Resumo. O objetivo deste trabalho consiste em mostrar o resultado de uma prova de carga estática, feitos no Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG, em escala reduzida, realizadas conforme a NBR 12.131 (ABNT, 1992), cravadas pela técnica de cravação por percussão. A cravação foi feita em areia fina sedimentar de origem eólica, típica da cidade de Rio Grande/RS, no estado compactado ($D_r \sim 75\%$), compactada manualmente em um tanque metálico cilíndrico. Após a cravação da estaca, foi feita a prova de carga, cujas respostas de carga e recalque foram registradas de forma automatizada. Antes e após a cravação das estacas foram realizados ensaios de DPL para avaliar uma possível mudança de compacidade da areia com o processo de cravação. Durante a

cravação das estacas também foi feito o registro da nega e repique. A partir dos resultados do DPL e nega/repique, foi estimada a capacidade de carga por diferentes métodos, sendo essa comparada com o resultado da prova de carga.

Palavras-chave: Estacas pré-moldadas. Cravação por Percussão. Capacidade de carga.

1. INTRODUÇÃO

Na região de Rio Grande/RS normalmente são empregadas estacas pré-moldadas como solução para fundações, devido ao tipo de subsolo e nível de lençol freático alto. Estas soluções são adotadas em obras de pequeno porte até grandes obras

portuárias. Dias *et al.* (2010) citam que o subsolo de Rio Grande/RS é formado por camadas de areia (intercaladas por camadas e lentes de argila) de compactidade média a compacta, até uma profundidade de 20 m. As estacas pré-moldadas são normalmente cravadas a percussão pela queda de um martelo. As dimensões das estacas (diâmetro e profundidade) e o porte dos bate-estacas (peso do martelo e altura de queda) dependem do porte da obra.

Neste sentido o objetivo deste trabalho é mostrar parte do trabalho que está sendo desenvolvido no Laboratório de Geotecnia e Concreto, envolvendo provas de carga em modelos reduzidos de estacas pré-moldada.

2. MONTAGEM DA PROVA DE CARGA

2.1 Efeito escala e equipamento utilizado

Inicialmente montou-se um aparato de laboratório para a realização de provas de carga em modelo reduzido. Antes da montagem do aparato, realizou-se um estudo escalar, pois se pretende manter a mesma energia potencial utilizada em campo. Como as provas de carga são realizadas em um tanque metálico com 0,90 m de diâmetro (~12x maior que a estaca) de 1,20m de altura, definiu-se a utilização de estacas com seção 8 cm x 8 cm e comprimento máximo de 0,70 m, para não haver considerável influência das paredes do tanque, sendo seu real efeito estudado a *posteriore*, assim como um eventual da granulometria.

Considerando que em obras convencionais, são utilizadas estacas com dimensões de 26 cm x 26 cm, percebe-se uma redução da seção da ordem de 3,25 vezes. Conforme Alves *et al.* (2008), para manter uma mesma energia pontencial, a redução escalar da seção de uma estaca, permite reduzir a massa do peso do martelo, mantida a mesma altura de queda, em um fator ao quadrado. Neste sentido, a redução da seção em 3,25 vezes (26 cm para 8 cm), permite reduzir a massa do martelo em 10,56

vezes. Agora considerando que os martelos convencionais tem massa entre 1.500 kg e 2.000 kg (média de 1.750 kg), pode-se empregar a utilização de um martelo com 165,68 kg (sendo utilizado de fato 164 kg com altura de queda de 50 cm). A figura 1 apresenta a montagem do aparato utilizado para a cravação da estaca.



Figura 1: Aparato utilizado para a cravação da estaca

2.2 Cravação da estaca

Para a cravação da estaca executou-se a compactação da areia no interior do tanque através de um soquete manual em camadas de 10 cm. A homogeneização da areia (fina de duna) foi realizada em uma betoneira, com adição de água (umidade média de 8,3%). A tabela 1 apresenta as características de cada camada após sua compactação. Atingiu-se uma compactidade média de 76,7%, que corresponde a uma areia compacta.

Após a compactação da areia, fez-se a cravação da estaca por percussão, pela queda do martelo com massa de 164 kg. O içamento do martelo era realizado de forma manual por meio de uma talha. Uma vez atingida a altura de 50 cm, a corda era solta e martelo caía em queda livre.

Para a cravação da estaca foram necessários 22 golpes, cuja penetração por golpe foi decrescente (51 mm no início e 8

mm no final). A nega e o repique foram registrados ao longo de toda a cravação. Para o registro, colou-se uma fita crepe ao longo de toda a estaca, e fixou-se um lápis nas paredes do tanque, o qual era pressionado contra a estaca por meio de um elástico (figura 2). A nega nos últimos golpes foi da ordem de 8 mm e não houve precisão para registro do repique.

Tabela 1: Controle de compactação por camada após a cravação

Camada	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	e	D_r
1	1,808	1,670	0,580	90,3%
2	1,755	1,621	0,628	71,1%
3	1,762	1,627	0,622	73,6%
4	1,779	1,643	0,606	79,8%
5	1,732	1,600	0,649	62,6%
6	1,730	1,598	0,651	61,8%
7	1,767	1,632	0,617	75,5%
8	1,759	1,625	0,624	72,7%
9	1,747	1,614	0,635	68,3%
10	1,792	1,655	0,595	84,5%
11	1,821	1,682	0,569	94,6%
12	1,793	1,656	0,593	85,0%
Média	1,770	1,635	0,614	76,6%



Figura 2: Registro da nega e repique

2.3 Ensaio de DPL

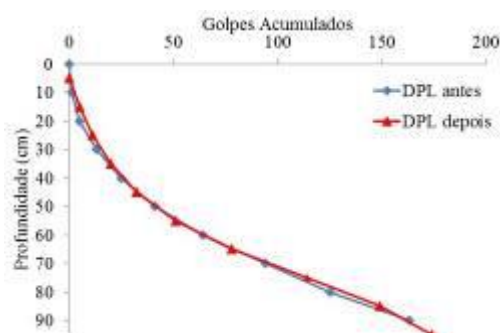


Figura 3: Resultado dos ensaios DPL

Antes e após a cravação da estaca foi realizado o ensaio de DPL (*dynamic penetration light*) na areia. A figura 3

apresenta os resultados dos ensaios. Pode-se verificar que os resultados antes e após são idênticos, mostrando que a cravação não alterou a compacidade da areia. Por meio do DPL é possível verificar que houve uma maior compactação das primeiras camadas, devido a transmissão de energia das posteriores, embora a D_r tenha sido a mesma para cada camada durante a compactação.

3. EXECUÇÃO DA PROVA DE CARGA

A prova de carga foi realizada conforme NBR 12.131 (ABNT, 1992), de forma estática e com carga incremental. Aplicou-se 10 incrementos de carga de 500 kgf (total de 5 ton.). Para cada incremento de carga, liam-se os recalques em duas posições. As leituras dos recalques eram realizadas em tempos dobrados (30 seg., 1 min, 2 min, 4 min., ...) até a estabilização (zero de variação), que ocorria entre 4 e 8 minutos.

Para a aplicação da carga utilizou-se um macaco hidráulico com capacidade de 20 ton. Para registro e controle das cargas era realizado por meio de uma célula de carga com capacidade de 5 ton. Os recalques eram lidos através de transdutores de deslocamento com curso máximo de 50 mm. Todos os instrumentos foram ligados a um *data logger*, que transmitia as informações a um computador, sendo os dados posteriormente armazenados em planilha eletrônica.

4. RESULTADOS DAS PROVAS DE CARGA

O resultado da prova de carga pode ser expresso pela curva de carga x recalque, mostrado na figura 4.

Como a ruptura não foi nítida, adotou-se o critério estabelecido pela norma de fundações, NBR 6122 (ABNT, 2010). Desta forma, a carga de ruptura obtida pela prova de carga corresponde a um valor de aproximadamente 60 kN, para um recalque limite de 19,5 mm (indicado na figura 4).

Além da realização da prova de carga para obtenção da carga de ruptura, estimou-se essa pelos métodos semi-empíricos que utilizam os valores de ensaios de campo e pelas equações dinâmicas que consideram a nega e/ou repique.

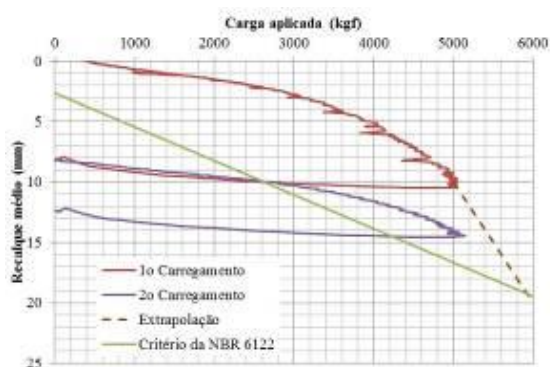


Figura 4: Resultado da prova de carga

O melhor resultado pelo método semi-empírico foi o método de Aoki-Velloso (1975, apud VELLOSO e LOPES, 2002), determinado pela equação 1. Vale lembrar que o N do ensaio de SPT, usado na equação, foi determinado a partir do ensaio de DPL, sendo $N_{SPT} = N_{DPL}/2$ (BADILLO e RODRIGUEZ, 1976). Já o método dinâmico que apresentou o melhor desempenho foi a Fórmula dos Holandeses (VELLOSO e LOPES, 2002), determinado pela equação 2.

$$Q_{ult} = A \cdot \frac{k \cdot N}{F_1} + U \sum \frac{\alpha \cdot k \cdot N}{F_2} \cdot \Delta l \quad (1)$$

$$R = \frac{W^2 \cdot h}{(W + P) \cdot s} \quad (2)$$

Onde: Q_{ult} = carga última (kgf), A = área da fundação (64 cm^2), k = constante (10 kgf/cm^2 para areia), N = N_{SPT} médio da ponta (13,3) e $\Sigma N = \Sigma N_{SPT}$ do fuste (47), U = perímetro da estaca (32 cm), Δl = intervalo de fuste (10 cm); α = constante em função do solo (1,4%); F_1 e F_2 = constantes em função da estaca (1,75 e 3,5 – para estacas pré-moldadas); R (= Q_{ult}) = resistência a cravação (kN); s = nega média (12 mm); W = peso do martelo (1640 kN), h = altura de queda (0,50 m); P = peso da estaca (95,3 kN)

Os valores para a carga de ruptura foram de 54,47 kN pelo método de Aoki e Velloso (90,8% da Q_{rup} ensaio) e 64,58 kN pela

Fórmula Dinamarquesa (107,6% da Q_{rup} ensaio). Verifica-se que as estimativas se aproximam bastante do valor obtido pela prova de carga.

5. CONCLUSÕES

Verificou-se a eficiente e praticidade em realizar ensaios em modelo reduzido, uma vez mantido o fator escala, para a análise do comportamento de estacas. Também, viu-se que as estimativas se aproximaram do valor de carga de ruptura obtido na prova de carga.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, Edital Universal nº 14/2011, pelo financiamento do projeto, e a PRAE/FURG pelas bolsas de permanência e pesquisa destinadas aos bolsistas envolvidas no projeto.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. M. L.; LOPES, F. R.; DANZIGER, B. R. Dimensional analysis of the wave equation applied to pile driving. **Science, Technology and Practice**. IOS Press, 2008, p. 115-121
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12131: Estacas – Prova de Carga Estática**. p. 4, Rio de Janeiro, 1992;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações**. p. 103, Rio de Janeiro, 2010;
- BADILLO, E. J.; RODRIGUEZ, A. R. **Mecânica del Suelos**. Tomo I, 3ª Edição, México: Editorial Lumisa, 1976
- DIAS, C. R. R.; BASTOS, C. A. B.; PEDREIRA, C. L. S. Variações no comportamento geotécnico da camada argilosa profunda ao longo do Porto de Rio Grande: Influência de energia durante o processo de sedimentação. XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010, **Anais...**, ABMS: Gramado/RS;
- VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. Vol. 2. COPPE: Rio de Janeiro/RJ, 2002, 471p.