

Análise geotécnico-estrutural de resultados de prova de carga estática em estacas

Sistemas de Fundações, compostos por estaqueamentos, caracterizam-se por serem elementos que podem suportar cargas elevadas, em virtude de atingirem camadas mais profundas do solo, uma vez que a resistência de uma estaca isolada é composta pelas capacidades de carga lateral e de ponta. Em especial, as estacas cravadas de concreto armado e estacas do tipo hélice contínua monitorada, apresentam maior aplicabilidade devido às altas capacidades de cargas (estrutural e geotécnica) e facilidade de execução. No que se refere à concepção de um bom projeto de fundação, é necessário que preliminarmente sejam feitos ensaios de campo e laboratório para reconhecimento do solo, especialmente o ensaio SPT, pois a partir dos resultados deste ensaio, torna-se possível realizar os cálculos de capacidade de carga e previsão de recalques para estacas isoladas. A eficácia dos métodos de estimativa de capacidade de carga pode ser aferida ao fazer uso de ensaios de provas de carga estática, verificando, então, qual método se aproxima da capacidade de carga real. Tudo isso pode ser realizado à luz das normas vigentes, sempre levando em consideração a segurança e economia. Os resultados das provas de carga dependem da capacidade de carga do equipamento usado e da análise de profissional de engenharia na interpretação dos resultados. Sobre estes conceitos, o presente trabalho consiste na análise de provas de carga já realizadas em diversas regiões do Brasil extrapoladas pelo método de Van Der Veen, analisando esses resultados de forma qualitativa e explicativa no que diz respeito à forma de ruptura das estacas. Para este trabalho, foram usadas provas de carga em estacas do tipo pré-moldada de concreto armado e hélice contínua. A estimativa da capacidade de carga foi realizada com os métodos semiempíricos de Aoki-Velloso e Decourt-Quaresma, visando medir a acurácia destes. O conservadorismo praticado pelos métodos de capacidade de carga semiempíricos acaba induzindo o projetista na concepção de projetos de fundações mais robustos que o necessário, acarretando em desperdício de material e mão de obra, onerando excessivamente esta etapa da obra.

Palavras-chave: Provas de carga; Fundações; Ensaios; Capacidade de carga; Recalque.

Geotechnical-structural analysis of static load test results in piles

Foundation systems, made up of piles, are characterized by being able to withstand high loads because they reach deeper layers of the ground, since the strength of an isolated pile is composed of the lateral and tip loading capacities. In particular, reinforced concrete spiked piles and monitored continuous propeller piles have greater applicability due to the high load capacities (structural and geotechnical) and ease of execution. Regarding the conception of a good foundation project, it is necessary that preliminary field and laboratory tests for soil recognition, especially the SPT test, must be made, because from the results of this test, it is possible to perform the calculations of load capacity and prediction of strikes for single piles. The effectiveness of load capacity estimation methods can be gauged by making use of static load test tests and then verifying which method approximates actual load capacity. All this can be done in accordance with current regulations, always taking into consideration safety and economy. Load test results depend on the load capacity of the equipment used and the engineering professional's analysis in interpreting the results. Regarding these concepts, the present work consists of the analysis of load tests already carried out in several regions of Brazil extrapolated by the Van Der Veen method, analyzing these results in a qualitative and explanatory way regarding the form of pile rupture. For this work, load tests were used on precast reinforced concrete and continuous propeller piles. The load capacity was estimated using the semi-empirical methods of Aoki-Velloso and Decourt-Quaresma, aiming to measure their accuracy. The conservatism practiced by the semi-empirical load-carrying methods eventually induces the designer to design foundation designs that are more robust than necessary, resulting in waste of material and labor, placing an excessive burden on this stage of the work.

Keywords: Proofs of load; Foundations; Essay; Battery capacity; Repression.

Topic: **Engenharia Geotécnica**

Received: **15/01/2019**

Approved: **15/03/2019**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Cleide Alves de Carvalho

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3819331993797020>
keu_carvalho1@hotmail.com

Douglas Augusto Freitas dos Santos

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6181125172616043>
eng_prof.santos@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2019.001.0007

Referencing this:

CARVALHO, C. A.; SANTOS, D. A. F.. Análise geotécnico-estrutural de resultados de prova de carga estática em estacas. **Engineering Sciences**, v.7, n.1, p.61-72, 2019. DOI:
<http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2019.001.0007>

INTRODUÇÃO

O bom andamento de uma obra começa a ser pensado bem antes da sua concepção, pois a investigação do solo é um dos passos preliminares para iniciar um do projeto, onde serão analisadas e classificadas as diversas camadas do solo e suas propriedades geotécnicas (GONÇALVES, 2008). Busca-se constantemente a redução de custos nos projetos de engenharia em geral, em especial nos projetos de fundações, onde muitos estudos são realizados, buscando obter redução de custos sempre aliada a segurança das edificações.

Para que os projetos de fundações se tornem mais econômicos, torna-se necessário o domínio da técnica de dimensionamento de fundações. Então, o emprego de prova de carga estática é altamente considerável, uma vez que a própria NBR 6122 (2010) autoriza a redução do fator de segurança, o que implica em redução de custos e maior segurança do projetista em relação à capacidade de carga do solo.

Apesar de existirem vários tipos de provas de carga, o emprego de provas de carga estática com carregamento lento é o mais aplicado, visto que é o ensaio que mais se assemelha no quesito carregamento de estacas. Entretanto os resultados destes ensaios devem ser analisados por um profissional capacitado, o qual possa identificar se os resultados são consistentes ou se há erros de execução. Muitas obras no Brasil são executadas sem a realização de provas de carga ou até mesmo sem a realização de ensaios para reconhecimento do solo onde será implantada a obra, gerando com isso um alto custo de implantação das fundações ou ainda abrindo mão da segurança que a obra requer. Para prever o comportamento solo-estrutura é necessário o conhecimento de diversas variáveis, como a composição do solo onde a estrutura será implantada, o cálculo das capacidades resistivas e solicitantes e recalques.

Visando mostrar que as diferenças e particularidade de ensaio de provas de cargas estática em estacas cravadas de concreto armado e hélice continuam monitoradas, este trabalho tem como objetivo analisar provas de carga estática que foram executadas *in loco* próximo aos pontos onde foram realizados os ensaios de SPT em diversas regiões do Brasil, fazendo um comparativo com os métodos empíricos de Aoki e Decourt, de cálculo de capacidade de carga, através do método de extrapolação de Van Der Velloso e Lopes, com intuito de determinar a curva carga-recalque. Pretende-se, com isso, verificar a acurácia dos métodos de cálculo de capacidade de carga correntes e possíveis erros que o processo de instrumentação pode afetar os resultados. Estes métodos de previsão de capacidade de carga foram escolhidos por serem os mais utilizados no Brasil.

REVISÃO TEÓRICA

Tipos de estacas: Estacas pré-moldadas de concreto

Segundo Joppert (2007), as estacas pré-moldadas de concreto podem ser fabricadas em concreto protendido ou concreto armado, podendo apresentar seções cheias ou vazadas, onde a seção pode ser quadrada ou circular, dependendo do fabricante, sendo uma boa opção de escolha para o tipo de estaca a ser utilizada na fundação, pois apresenta rigoroso controle de qualidade em sua fabricação.

Velloso et al. (2010) cita que existem vantagens das estacas pré-moldadas sobre as moldadas no terreno, pois as pré-moldadas não estarão em contato com agentes agressivos que porventura existam no solo durante os processos de pega e cura, tampouco solos muito moles poderão interferir no processo de concretagem, trazendo assim uma maior segurança na execução da fundação. De acordo com Gonçalves (2008), estas estacas são consideradas estacas de deslocamento, pois para sua execução não há retirada de solo, sendo este deslocado para as laterais, aumentando a compactação ao redor da estaca, aumentando as tensões laterais e favorecendo as condições de atrito.

Estacas tipo hélice contínua monitorada

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), a estaca tipo hélice contínua é considerada como estaca de concreto moldada *in loco*, executada através da introdução no terreno de um trado helicoidal até o comprimento de projeto, onde a injeção de concreto é executada através da própria haste central do trado utilizado e posteriormente é inserida a armadura de aço.

Segundo Anjos (2006), as estacas tipo hélice contínua começaram a ser executadas no Brasil no final da década de 80, alcançando uma expansão a partir da década de 90, vêm sendo muito empregadas em fundações, principalmente por apresentarem características de controle de execução pelo monitoramento e por poderem ser executadas em diversos tipos de solo. Velloso et al. (2010) classifica as estacas tipo hélice contínua como estacas sem deslocamento, pois parte do solo escavado é removida na extração do trado. Os equipamentos utilizados possibilitam a execução de estacas com até 30m e com diâmetros entre 30cm a 100cm.

Dimensionamento de fundações indiretas

Para o dimensionamento de fundações existem diversos autores, cada um com seus métodos, podendo ser Métodos Teóricos, Empíricos, Semiempíricos e Prova de Carga. Abordaremos os métodos Semiempíricos por serem os mais usuais no Brasil e Prova de Carga Estática de carregamento lento, por ser considerado como o que mais se assemelha ao quesito de carregamento de estacas. As provas de carga estática serão usadas como comparativos na proposta de análise das estacas cravadas de concreto e estacas tipo hélice contínua monitorada.

Métodos semiempíricos

De acordo com Marchezini (2013), o emprego de ensaios CPT e SPT, tem sido largamente utilizado para previsão de capacidade de cargas em estacas. Aoki et al. (1975) tomou por base resultados de ensaios de SPT ou CPT, fazendo correlações entre os solos encontrados no Brasil, incluindo coeficientes K e α (relacionados ao tipo de solo), N (relacionado ao N_{SPT}) e $F1$ e $F2$ (relacionados ao tipo de estaca), resultando algumas equações para uso de índices de SPT.

Carga admissível

Conforme Mascarenha (2003), carga admissível de uma estaca é a carga aplicada sobre esta, provocando somente recalques que a construção pode tolerar sem inconvenientes e oferecendo, ao mesmo tempo, segurança suficiente contra a ruína ou o escoamento do solo ou do elemento estrutural de fundação. É obtida dividindo-se a capacidade de carga encontrada por um fator de segurança. Aoki et al. (2010) descreve que Aoki et al. (1975) adota um fator de segurança global igual a 2, enquanto Decort et al. (1978) adota fatores de segurança distinguidos para parcela de resistência de ponta e para parcela de resistência de atrito lateral, sendo eles respectivamente 4 e 1,3, sendo feita uma verificação final e caso o FS total seja inferior a 2 usa-se 2 que é o permitido pela NBR 6122 (ABNT, 2010).

Prova de carga

Segundo Gonçalves (2008), o ensaio de prova de carga mostra-se bem eficiente para análise do comportamento das fundações indiretas em relação à capacidade de carga e recalque. Souza (2001) relata que as dificuldades de se conhecer o solo onde será instalada uma fundação e as alterações que esta irá trazer ao terreno, por ser de difícil modelagem numérica ou analítica, se faz necessário a realização de prova de carga, pois trata-se de um ensaio no local onde será executada a fundação, retratando a interação solo-estrutura.

Anjos (2006) diz que os principais objetivos da realização de provas de carga estática são: averiguar o comportamento previsto em projeto através da interação solo estrutura (capacidade de carga e recalque), determinar a carga de serviço em casos onde não seja possível prever o comportamento, bem como constatar a repartição das parcelas de carga lateral e de ponta.

A prova de carga estática, de acordo com Marchezine (2013), é um relevante ensaio de campo, devido à eficiência na averiguação do desempenho da estrutura. As cargas são aplicadas em níveis crescentes, visando atingir a carga limite ou a completa ruptura do conjunto solo-estaca, permitindo, assim, conhecer o comportamento da fundação com a aplicação das cargas. No Brasil, o ensaio de prova de carga estática está normatizado pela NBR 12131 (ABNT, 2006). De acordo com Avelino (2006), a prova de carga lenta pode ser considerada como a que mais chega próximo da carga que a maiorias das fundações estarão submetidas.

Método de Van Der Veen

Para os resultados das provas de carga que não chegaram à ruptura, deve-se utilizar o método de extrapolação da curva carga-recalque. Este procedimento é legitimado pela NBR 6122 (ABNT, 2010), onde faz referência que os resultados da prova de carga podem conduzir a uma curva de carga por deslocamento, onde não é possível verificar visivelmente a carga de ruptura do elemento de ensaiado. Devendo então fazer uma extrapolação da curva, com o objetivo de se estimar este valor.

METODOLOGIA

Para atingir os objetivos deste projeto, foram analisados e confrontados métodos semiempíricos existentes de previsão de capacidade de carga em estacas de hélice contínua monitorada e estacas cravadas de concreto *versus* dados experimentais de ensaios de prova de carga estática já realizados *in loco*, visando determinar a carga de ruptura, os recalques a resistência lateral e de ponta das estacas estudadas.

Para os cálculos de capacidade de carga, tanto para estacas tipo hélice contínua, quanto para estacas cravadas de concreto, foram utilizados os métodos semiempíricos de Aoki et al. (1975) Décout et al. (1978), por serem uns dos mais utilizados no Brasil, juntamente com o método de extrapolação da curva carga-recalque dos resultados de prova de carga pela metodologia de Veen (1953). São usadas como carga de ruptura as curvas cargas recalque obtidas a partir da prova de carga extrapolada.

Os dados experimentais fazem parte de um banco de dados da autora, que conta com provas de carga estática em estacas cravadas de concreto armado e em estacas hélices contínuas realizadas em várias cidades do Brasil. Neste banco, encontram-se dados como as sondagens do tipo SPT de pontos próximos ao local do ensaio, curvas carga recalque e as cargas últimas extrapoladas.

Trata-se de uma verificação da acurácia dos principais métodos de dimensionamento de estacas no Brasil e ao comparar os dados obtidos com a análise feita pela autora espera-se mostrar de forma gráfica ao usar plotagem de uma nuvem de pontos que relacionam os valores medidos (provas de carga) com os valores calculados (resultados dos métodos semiempíricos). Sendo o método mais eficaz, o que gerar pontos mais próximos da linha reta a 45° (linha de dispersão) como descrito na figura 1.

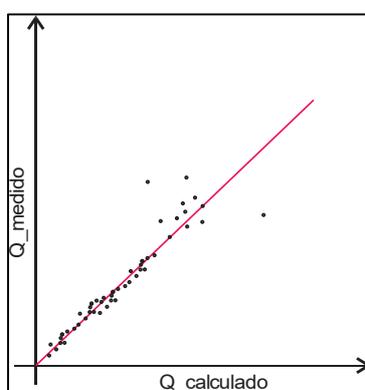


Figura 1: Gráfico de nuvem de pontos.

Foram avaliadas todas as provas de carga qualitativamente, a respeito do formato da curva carga recalque, em que serão classificadas em ruptura dos tipos nítidas, física ou convencional e anomalias no resultado que podem ter alguma consequência devido a problemas durante a montagem da prova de carga. Ao final da pesquisa e análise deseja-se constatar os quão conservadores são os métodos de previsão de capacidade de carga e o quanto seria possível evitar com custo com materiais utilizados em excesso, bem como determinar a segurança das fundações analisadas.

O método de A&V se baseia na resistência lateral e de ponta, de acordo com a equação

$$R_t = \left(\frac{K \cdot N_p}{F_1} \right) \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum (\alpha \cdot K \cdot Nl) \cdot \Delta l, \text{ onde: } R_t: \text{ Capacidade de carga; } K: \text{ Coeficiente relacionado ao}$$

tipo de solo; N_p : Índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca; Nl – Valor médio do índice de resistência à penetração na camada de solo; α : Razão de atrito relacionado ao tipo de solo; Δl = espessura da camada de solo; e U : Perímetro da estaca.

O método de D&Q segue os mesmos princípios de A&V, representado na equação $R_t =$

$$\beta \cdot 10 \cdot \left[\left(\frac{Nl}{3} \right) + 1 \right] + U \cdot \Delta_l + \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p, \text{ na qual } \beta, \alpha = \text{ fatores relacionados ao tipo de estaca e tipo}$$

de solo; Nl = Valor médio do NSPT ao longo fuste; Δ_l = comprimento da estaca; N_p = Valor médio de índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca, obtidos da seguinte forma: o NSPT da ponta, o imediatamente anterior e posterior; e C = Coeficiente característico do solo.

RESULTADOS

Estacas cravadas de concreto

Analisando os resultados dos cálculos dos cálculos pela metodologia de A&V e D&C em (tf), apresentaram os resultados mostrados nos gráficos 1 e 2, em comparação com os cálculos efetuados a partir da metodologia de V.D.V.. As características das provas de carga analisados, quanto às estacas cravadas de concreto, encontram-se organizadas na tabela 1, levando em consideração suas características como diâmetro (D), comprimento (C), índice de esbeltez (L/D) e os valores calculados pela metodologia de V.D.V..

Tabela 1: Dados das Provas de Carga.

P.C	D (m)	L (m)	L/D	V.d.V (tf)
1	0,26	18,9	72,7	119
2	0,26	21,1	81,2	105
3	0,26	10,5	40,4	111
4	0,26	9,3	35,6	123
5	0,33	21,1	63,9	190
6	0,33	39,9	120,9	115
7	0,33	9,9	30,0	90
8	0,33	11,5	34,8	112
9	0,33	23,0	69,7	126
10	0,42	12,0	28,6	265
11	0,42	9,7	23,1	262
12	0,42	21,1	50,2	589
13	0,42	15,0	35,6	203
14	0,42	23,2	55,1	192
15	0,50	23,0	46,0	321
16	0,50	21,8	43,6	503
17	0,50	18,0	36,0	295
18	0,50	15,4	30,8	280
19	0,50	13,1	26,2	317
20	0,50	15,8	31,6	244
21	0,50	26,5	53,0	269
22	0,50	34,0	68,0	273
23	0,50	34,0	68,0	278
24	0,50	14,0	28,0	331

25	0,50	29,5	59,0	510
26	0,50	27,4	54,8	327
27	0,50	28,8	57,5	670
28	0,50	26,4	52,8	293
29	0,50	19,9	39,8	395
30	0,50	16,5	33,0	308
31	0,50	9,4	18,8	326
32	0,50	18,7	37,4	431
33	0,50	28,4	56,8	273
34	0,50	11,7	23,4	358
35	0,50	13,0	25,9	237
36	0,60	9,3	15,5	765
37	0,60	21,4	35,7	410
38	0,60	29,8	49,7	718
39	0,60	27,1	45,2	411
40	0,60	28,7	47,8	722
41	0,60	29,0	48,3	322
42	0,60	35,5	59,2	388
43	0,60	21,3	35,4	327
44	0,70	30,1	43,0	440
45	0,15	14,0	93,3	23,8
46	0,25	10,0	40,0	37,2
47	0,15	10,0	66,7	14,7
48	0,16	8,6	53,8	78,4
49	0,18	8,8	48,9	64,3
50	0,20	12,0	60,0	30,5
51	0,20	11,5	57,5	27,8
52	0,15	8,8	58,3	33,6
53	0,30	14,0	46,7	61,1
54	0,26	9,6	36,9	132
55	0,23	8,4	36,5	112
56	0,50	13,5	27,0	61,1
57	0,25	12,4	49,6	45,9
58	0,25	14,4	57,6	65,2
59	0,23	12,0	52,2	41,7
60	0,20	9,0	45,0	80,5

Nestes gráficos é possível ver que o método de D&Q e apresenta menor dispersão, visto que os pontos estão mais próximos da reta a 45°. Confirmando que em geral o método é menos conservador em relação ao de A&V, no que diz respeito a previsão de capacidade de carga última. Os valores resultantes dos cálculos de capacidade de carga última (tf) efetuadas pelos métodos semiempíricos e de V.D.V, foram representados graficamente separados 1 a 1 como pode observar o gráfico 1.

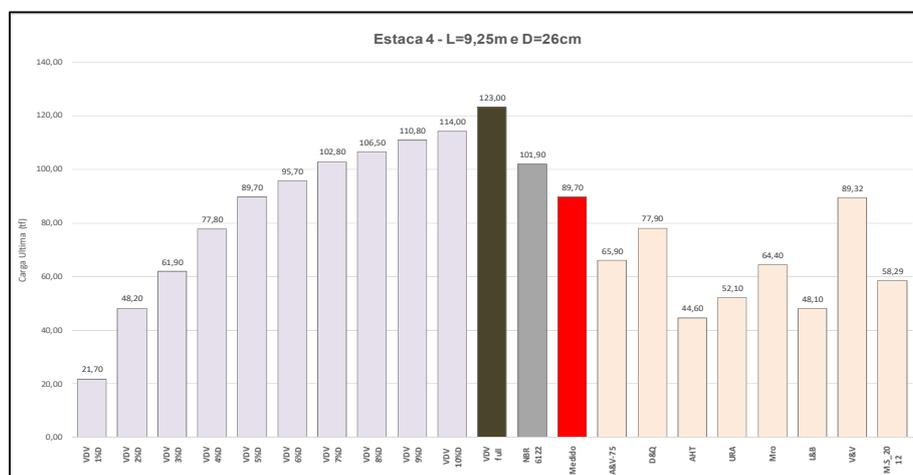


Gráfico 1: Dados da estaca 4.

No Gráfico , é possível visualizar as cargas últimas dos diversos métodos calculados. Todas apresentaram estimativa de capacidade de carga menor que os valores de ruptura estimados com o VDV e a NBR 6122:2010. Para estes casos, os métodos de Aoki & Velloso e Decourt & Quaresma mostraram se conservadores ficando 46% e 37% abaixo da carga de ruptura obtida pelo VDV, respectivamente. Os valores de VDV seguidos de porcentagens referem-se ao valor do carregamento referente a um recalque proporcional ao diâmetro da estaca. Isto é, VDV 3% corresponde a uma carga atribuída a um deslocamento do topo da estaca igual a 3% do diâmetro dessa.

Estacas tipo Hélice contínua

Efetuada os cálculos e a comparação entre os valores calculados pelos métodos de A&C e D&Q com os valores medidos através da metodologia de V.D.V., foi feita a plotagem no gráfico de nuvem que podem ser visualizados nos gráficos 2 e 3. Também, nestes gráficos, verifica-se que método de D&Q apresenta menor dispersão, tendo em vista que os pontos estão mais próximos da reta a 45°. Ratificando assim de uma maneira geral que o método é menos conservador comparado ao de A&V, no que diz respeito a previsão de capacidade de carga última. Foram analisadas 80 (oitenta) provas de carga. Estas provas de carga estão apresentadas na Tabela de acordo com suas características como diâmetro (D), comprimento (C), índice de esbeltez (L/D), bem como a carga de ruptura, calculada pela metodologia de V.D.V (tf) para um deslocamento de 10% do diâmetro.

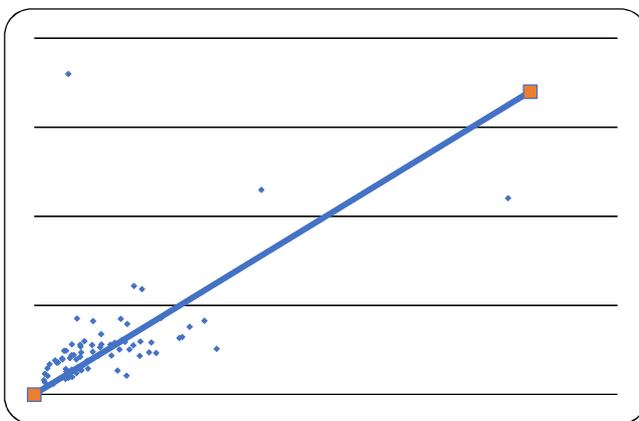


Gráfico 2: Valores V.D.V versus medido A&V.

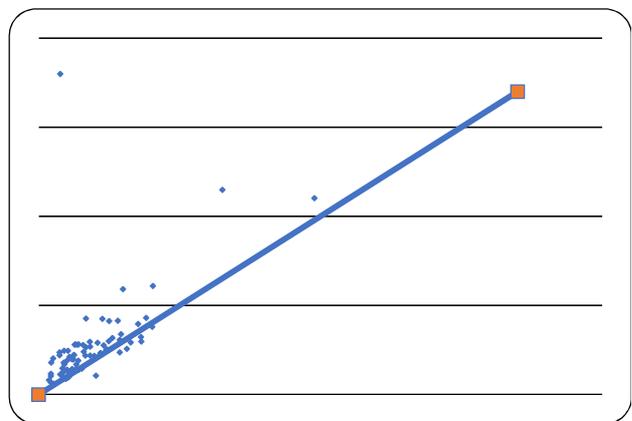


Gráfico 3: Valores V.D.V versus medidos D&Q.

Efetuaram-se os cálculos de capacidade de carga última (tf) pelos métodos semi-empíricos de acordo com cada autor e os valores encontrados foram comparados com os valores medidos nas prova de carga de cada estaca, valores referente a NBR e valores calculados pelo método de V. D.V. (tf). As comparações foram efetuadas através do Gráfico . Efetuada análise dos gráficos de extrapolação da curva carga recalque pela metodologia de V.D.V. foi possível classificar as estacas de acordo com o modo de ruptura, sendo classificadas de acordo com a Tabela 2.

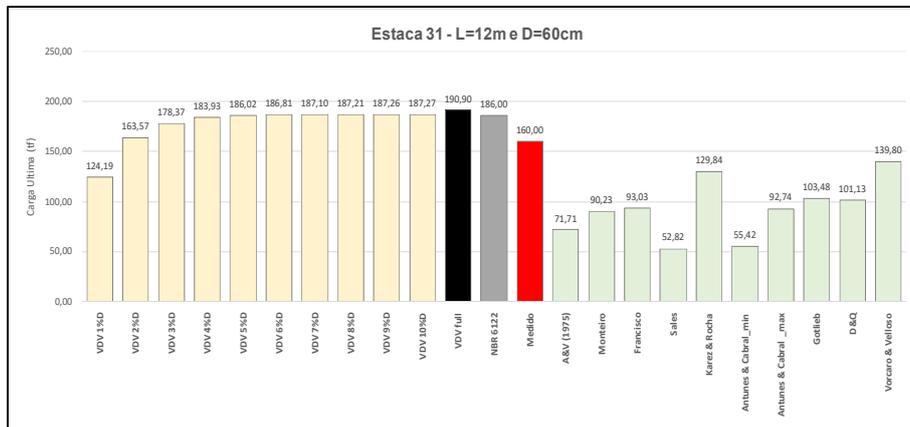


Gráfico 4: Dados da estaca 31.

Tabela 2: Dados das provas de carga.

P.C	D (m)	L (m)	L/D	V.d.V (tf)
1	0,50	13,8	27,5	246
2	0,50	12,0	24,0	427
3	0,40	12,0	30,0	237
4	0,80	14,6	18,3	414
5	0,40	19,5	48,8	246
6	0,25	11,0	44,0	81
7	0,40	15,4	38,6	425
8	0,40	11,5	28,8	282
9	0,50	8,5	17,0	179
10	0,60	22,0	36,7	380
11	0,35	20,2	57,7	142
12	0,50	14,5	29,0	237
13	1,00	14,7	14,7	1103
14	0,50	21,0	42,0	219
15	0,50	17,0	34,0	280
16	0,50	15,8	31,6	412
17	0,60	17,3	28,8	253
18	0,40	12,5	31,3	132
19	0,60	16,0	26,7	290
20	0,40	16,0	40,0	198
21	0,70	19,0	27,1	323
22	0,70	18,0	25,7	338
23	0,60	15,0	25,0	317
24	0,50	12,0	24,0	234
25	0,70	19,5	27,9	256
26	0,50	9,0	18,0	277
27	1,00	21,5	21,5	1148
28	0,25	10,0	40,0	61
29	0,35	11,0	31,4	88
30	0,60	16,0	26,7	170
31	0,60	12,0	20,0	191
32	0,50	17,0	34,0	275
33	0,50	17,0	34,0	252
34	0,50	17,0	34,0	270
35	0,50	13,5	27,0	169
36	0,40	14,5	36,3	204
37	0,30	14,0	46,7	1800
38	0,30	14,0	46,7	116
39	0,30	14,0	46,7	93
40	0,30	14,0	46,7	120
41	0,30	14,0	46,7	139
42	0,40	13,0	32,5	196
43	0,90	16,5	18,3	591
44	0,30	12,0	40,0	202
45	0,40	12,0	30,0	221
46	0,50	16,0	32,0	266

47	0,25	12,0	48,0	69
48	0,60	23,0	38,3	298
49	0,60	23,0	38,3	306
50	0,60	8,0	13,3	219
51	0,40	8,5	21,3	100
52	0,60	10,5	17,5	281
53	0,40	11,0	27,5	150
54	0,50	25,0	50,0	299
55	0,70	22,0	31,4	293
56	0,50	19,0	38,0	296
57	0,50	15,0	30,0	240
58	0,60	22,7	37,8	396
59	0,40	12,0	30,0	179
60	0,50	10,0	20,0	220
61	0,35	11,55	33,0	212
62	0,6	16,0	26,7	280
63	0,4	19,0	54,3	145
64	0,7	23	32,9	430
65	0,4	17	42,5	106
66	0,5	21	42,0	217
67	0,4	20	50,0	136
68	0,7	14,7	21,0	609
69	0,4	16	40,0	135
70	0,4	15	37,5	144
71	0,5	13	26,0	129
72	0,4	11	27,5	104
73	0,5	10	20,0	112
74	0,35	8,6	24,6	147
75	0,4	18,5	46,3	120
76	0,4	17	42,5	190
77	0,3	20	66,7	129
78	0,3	16,5	55,0	99
79	0,4	15	37,5	139
80	0,4	17,1	42,8	223

Tabela 2: Tipos de ruptura e quantidades de estacas.

Tipo de Ruptura	Nítida	Física	Convencionada
Quantidade de estacas	58	13	09

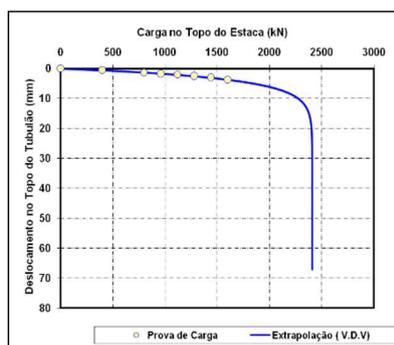


Gráfico 5: Ruptura nítida.

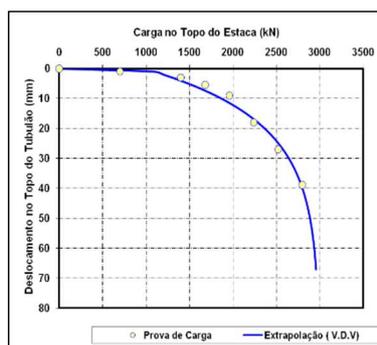


Gráfico 6: Ruptura física.

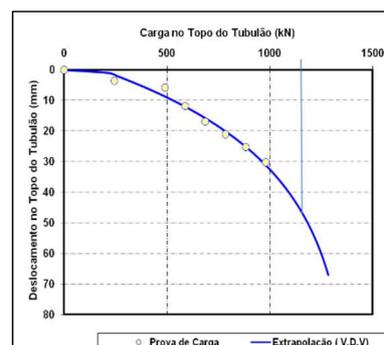


Gráfico 8: Ruptura convencionada.

Exemplificando, apresenta-se o **Erro! Fonte de referência não encontrada.**: ruptura nítida representada pela verticalização da curva carga recalque, apresentando deformação incessante, mesmo sem o acréscimo de carga, onde a capacidade de carga é dada pelo valor do trecho verticalizado. Já o **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a ruptura física que é marcada pela formação de uma curva assintota, ainda na fase de carregamento, apresentando recalques elevados, sem que haja uma completa verticalização da curva como na ruptura nítida, necessitando da extrapolação da curva carga recalque para encontrar a capacidade de carga. Por fim, o **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, no qual há proposta ruptura

convencionada, onde é necessário arbitrar um ponto na curva, pois não é possível identificar uma ruptura nítida dada pela verticalização da curva, considerando que o conjunto suporte cargas maiores que as arbitradas.

DISCUSSÃO

Estacas tipo cravada de concreto

Na avaliação dos resultados apresentados referente às provas de carga, cálculos efetuados pelos métodos semiempírico e metodologia de V.D.V, pode-se notar que o método semiempírico de A&V mostrou-se mais conservador em 50,00% dos cálculos comparado ao método de D&Q que apresentou-se como mais conservador em 15,00% dos cálculos, aproximando-se dos resultados de V.D.V em 21,67%.

Estacas tipo hélice contínua

Dentro de uma análise efetuada entre as provas de carga, os métodos semiempíricos e o método de Van Der Veen, foi verificado que pode ter ocorrido falha no resultado de SPT, referente à estaca 37, pois os valores ficaram muito divergentes; já nas estacas 38 a 41, possivelmente houve falha na montagem ou limitação dos equipamentos utilizados para realização da prova de carga, pois estes foram muito inferiores aos valores calculados tanto pelos métodos semiempíricos, como pela metodologia de Van Der Veen.

Analisando os gráficos, pode-se verificar que nas estacas tipo hélice contínua o modo de ruptura mais constante é o modo de ruptura nítida que representou 72,5% do total. Numa análise geral, os métodos que mais se aproximaram da carga de ruptura calculada pela metodologia de V.D.V foram A&V (34%), enquanto D&Q ficou com percentual de (25,86%). Neste caso das estacas tipo hélice contínua D&Q em (29,31%), mostrou-se mais conservador comparado ao método do A&V.

O método utilizado para extrapolação da curva carga recalque estabelecido na NBR 6122 (2010) mostrou-se, nos casos estudados de estacas do tipo hélice contínua, ser um bom método para cálculo da capacidade de carga, pois foi o método que mais se aproximou dos dados apresentados pelo método de Van der Veen.

CONCLUSÕES

Para as estacas do tipo hélice contínua que foram analisadas, pode-se concluir que a maioria dos métodos semiempíricos são factíveis para cálculo da capacidade de carga, tendo em vista que apresentaram valores próximos, porém, com viés conservador, levando em consideração que estes métodos utilizam o ensaio de SPT como base para o cálculo da capacidade de carga.

Nas análises das estacas cravadas de concreto, pode-se verificar o quão conservadores são os métodos de cálculo de capacidade de carga semiempíricos, pois em sua grande maioria, os resultados se mostraram muito inferior aos cálculos efetuados a partir das provas de carga. Os métodos de cálculo de capacidade de carga semiempíricos estudados apresentam uma variabilidade muito grande, e isto reforça a

necessidade de ensaios de provas de carga estática para dimensionamento de estacas de fundações, ampliando as possibilidades do projetista para conceber projetos menos robustos e conseqüentemente desonerar o custo desta etapa da obra.

A NBR 6122/2010, que trata sobre projeto e execução de fundações, preconiza que, para obras executadas com estaqueamento do tipo hélice contínua e estacas cravadas de concreto, a quantidade mínima de prova de carga a ser executada é de 1% do total das estacas, com arredondamento sempre para cima. Também define que será necessário efetuar os ensaios de provas de carga, independentemente da quantidade de estacas, caso sejam empregadas tensões médias (admissíveis) superiores a 7,0MPa para estacas cravadas e superiores a 5,0MPa para estacas tipo hélice contínua monitorada.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Análise geotécnico-estrutural de resultados de prova de carga estática em estacas. **NBR 6122**: Solo: Projeto e execução de fundações. São Paulo: ABNT, 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12131**: Estacas: Prova de carga estática: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ANJOS, G. J. M.. **Estudo do comportamento de fundações escavadas em solos tropicais**. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

AOKI, N.; CINTRA, J. C. A.. **Fundações por estacas**: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

AOKI, N.; VELLOSO, D. A.. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: CONGRESSO PANAMERICANO, 5. **Anais**. Buenos Aires: 1975.

AVELINO, J. D.. **Análise de Desempenho de Estacas de Fundação em um Terreno com Presença de Solos Moles** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2006.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R.; QUARESMA FILHO, A. R.; ALMEIDA, M. S. S.. **Fundações**: Teoria e Prática. São Paulo: Pini, 1978.

GONCALVES, S. F.. **Estudo do comportamento à compressão de estacas metálicas curtas em solo sedimentar**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

JOPPERT JUNIOR, I.. **Fundações e contenções em edifícios**: qualidade total na gestão do projeto e execução. São Paulo: Pini, 2007.

MARCHEZINI, S. F.. **Comparação entre os métodos estáticos e dinâmico de previsão de capacidade de carga em estacas assentes em solo tropical**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MASCARENHA, M. M. A.. **Influência do Recarregamento e da Sucção na Capacidade de Carga de Estacas Escavadas em Solos Porosos Colapsíveis**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SOUZA, A.. **Estaca Piloto Instrumentada**: uma Ferramenta para o Estudo da Capacidade de Carga de Estacas quando Submetidas a Esforços Axiais de Compressão. Tese de (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

VEEN, C. The bearing capacity of a pile. **Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Zurique, v.2, p.125-151, 1953.

VELLOSO, D. A.; LOPES F. R.. **Fundações Profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R.. **Fundações**: Critérios de Projeto, Investigação de Subsolo, Fundações Superficiais e Fundações Profundas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustener Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.