

CLEIDE ALVES DE CARVALHO

ANÁLISE GEOTÉCNICO-ESTRUTURAL DE RESULTADOS DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA EM ESTACAS

GEOTECHNICAL-STRUCTURAL ANALYSIS OF STATIC LOAD TEST RESULTS IN STAKES

RESUMO: Sistemas de Fundações composto 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 semi-empíricos de Aoki-Velloso e Decourt-Quaresma, visando medir a acurácia destes. O conservadorismo praticado pelos métodos de capacidade de carga semi-empíricos acabam induzindo o projetista na concepção de projetos de fundações mais robustos que o necessário, acarretando desperdício de material e mão de obra, onerando excessivamente esta etapa da obra.

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

ABSTRACT: A foundation done by piling is characterized by supporting high loads, since it can reach deeper on the soil layers, since the resistance of a isolated pile is made by the lateral and point load capacities. Especially, the round concrete piles and continuous auger piles can present better applicability because of high load capacities (structural and geotechnical) and by being easier to execute. To concept a good foundation project, field and lab tests for soil reconnaissance have to done first, highlighting the SPT test, since the load capacity calculations and consolidation previsions for isolated piles become possible with the results of this test. The load capacity estimation methods' efficiency can be confirmed by testing static load tests, then verifying with method gets more towards the real load capacity. All following the present norms, considering safety and financial points. The results of the load tests depend on the used equipment's load capacity and the analysis of an engineering professional on results' interpretation. The present work consists of an analysis of load tests already performed in several regions of Brazil extrapolated by Van Der Veen's method, analyzing these results on quantitative and explanatory form regarding the piles' rupture form. The load tests of preformed round concrete and Continuous augur piles were used in this work. The load capacity estimation was done with the Aoki-Velloso and Decourt-Quaresma semi-empirical methods to measure its accuracy. The conservatism done by load capacity semi-empirical methods ends up inducing the designer on concocting over-robust foundation projects, wasting material and manpower, overcharging this state of the construction.

Keywords: Load tests. Foundations. Tests. Load capacity. Consolidation.

1 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 existir 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 as diferenças e particularidade de ensaio de provas de cargas estática em estacas cravadas de concreto armado e hélice contínua monitorada, 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 (Aoki -Velloso e Decourt-Quaresma) de cálculo de capacidade de carga, através do método de extrapolação de Van Der Veen 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.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 TIPOS DE ESTACAS

2.1.1 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.

Veloso e Lopes (2010), citam 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.

2.1.2 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.

Veloso e Lopes (2010) classificam 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 30 m e com diâmetros entre 30 cm a 100 cm.

2.2 DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES INDIRETAS

Para o dimensionamento de fundações existem diversos autores, cada um com seus métodos, podendo ser métodos Teóricos, Empíricos, Semi-Empíricos e Prova de Carga.

Abordaremos os métodos Semi-Empíricos 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.

2.1.1 Métodos semi-empíricos

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-Veloso (1975), tomaram 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.

2.2 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 e Cintra (2010), descrevem que Aoki-Veloso (1975) adotam um fator de segurança global igual a 2 enquanto Decort-Quaresma (1978), adotam 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).

2.3 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 a 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.

2.3.1 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.

3. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos deste projeto, foram analisados e confrontados métodos semi-empíricos 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.

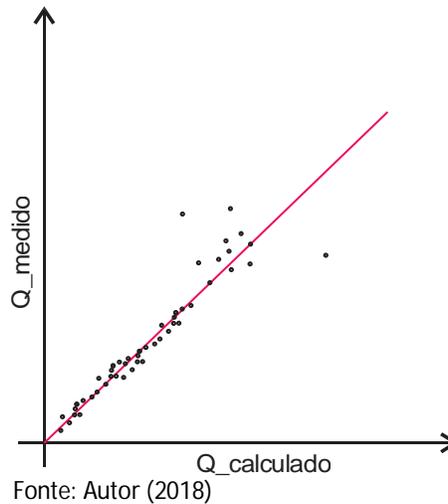
Para os cálculos de capacidade de carga, tanto para estacas tipo hélice contínua, quanto para estacas cravadas de concreto, foram utilizados os métodos semi-empíricos dos autores Aoki-Veloso (1975) [A&V] e Décout & Quaresma (1978) [D&Q], por serem uns dos mais utilizados no Brasil, juntamente com o método de extrapolação da curva carga-recalque dos resultados de prova de carga pela metodologia de Van Der Veen (1953) [V.D.V]. 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 dos Brasil. Neste banco de dados encontram-se dados como as sondagens do tipo SPT de pontos próximos ao local do ensaio, curvas carga recalque e as cargas ultimas extrapoladas.

Trata-se de uma verificação da acurácia dos principais métodos de dimensionamento de estacas nos 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 semi-empíricos).

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 1.

$$R_t = \left(\frac{K \cdot N_p}{F_1} \right) \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum (\alpha \cdot K \cdot Nl) \cdot \Delta l \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

R_t – Capacidade de carga

K – Coeficiente relacionado ao tipo de solo.

N_p – Índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca.

NI – 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

U – Perímetro da estaca

O método de D&Q segue os mesmos princípios de A&V, representado na Equação 2.

$$R_t = \beta \cdot 10 \cdot \left[\left(\frac{NI}{3} \right) + 1 \right] + U \cdot \Delta l + \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

β , α = fatores relacionados ao tipo de estaca e tipo de solo.

NI = Valor médio do NSPT ao longo fuste.

Δl = 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.

C = Coeficiente característico do solo.

4 RESULTADOS

4.1 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 no Gráfico 1 e Gráfico 2, em comparação com os cálculos efetuados a partir da metodologia de V.D.V.

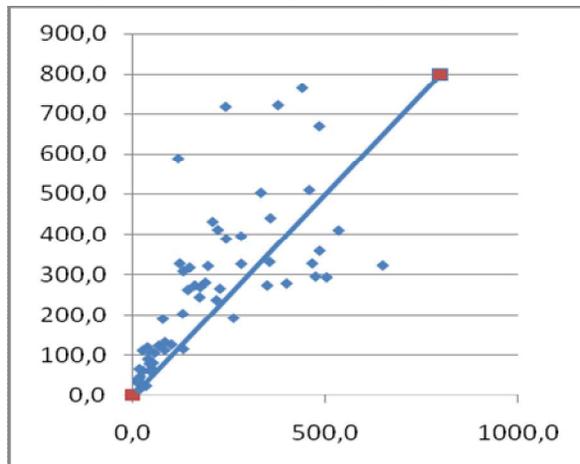
As características das provas de carga analisados quanto às estacas cravadas de concreto encontram-se organizadas na Tabela 1, levando em consideração suas características como diâmetro (D), comprimento (C), índice de esbeltez (L/D) e os valores calculados pela metodologia de V.D.V.

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
59	0,23	12,0	52,2	41,7
60	0,20	9,0	45,0	80,5

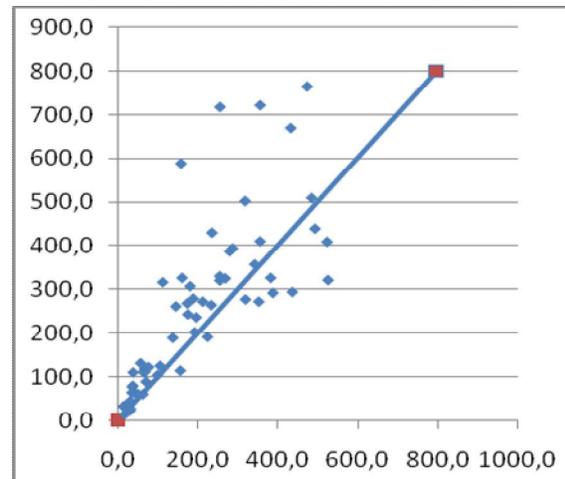
Fonte: Autor (2019)

Gráfico 1 – Valores V.D.V versus medido A&V



Fonte: Autor (2018)

Gráfico 2 – Valores V.D.V versus medido D&Q

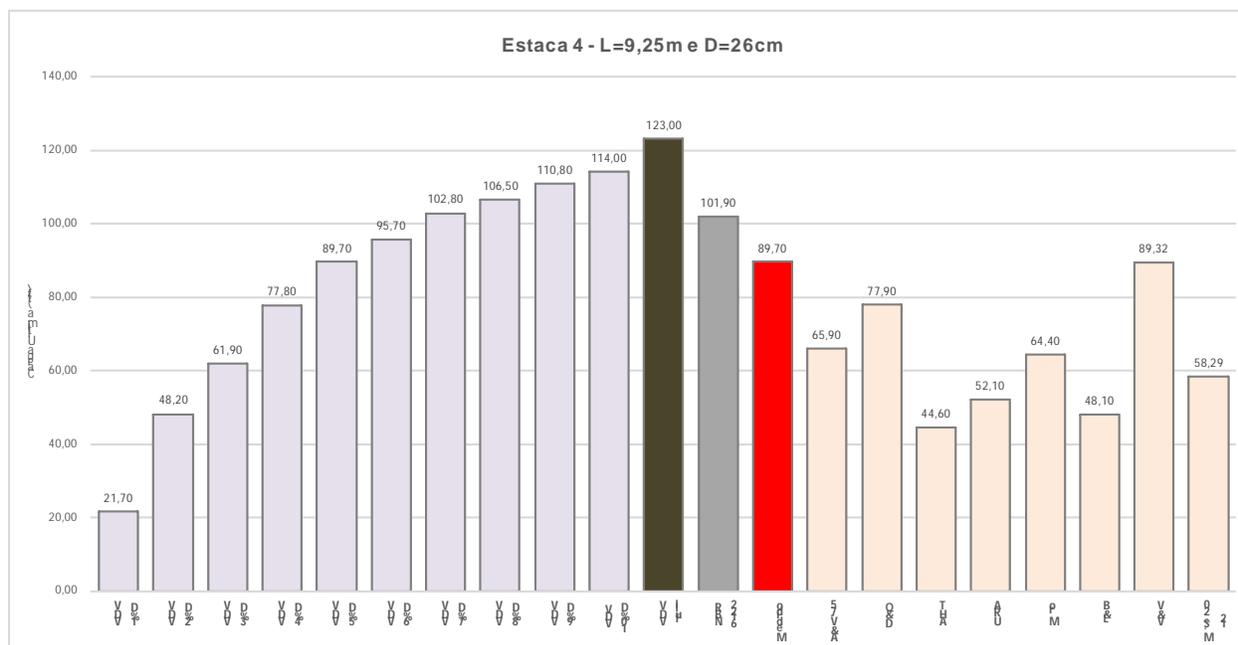


Fonte: Autor (2018)

Nestes gráficos é possível ver que o método de D&Q 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 semi-empíricos e de V.D.V, fora representados graficamente separados 1 a 1 como pode observar o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Dados da estaca 4



Fonte: Autor (2018)

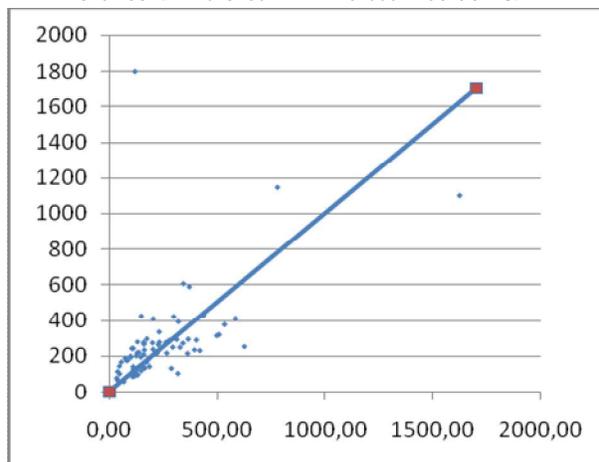
No Gráfico 3 é possível as carga ultimas dos diversos métodos calculados, todo apresentaram estimativa de capacidade de carga menor que os valores de ruptura estimados com O VDV e a NBR 6122:2010. Para estes casos os métodos de Aoki & Velloso e Decourt & Quaresma mostraram se conservadores ficando 46% 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.

4.2 Estacas tipo Hélice contínua

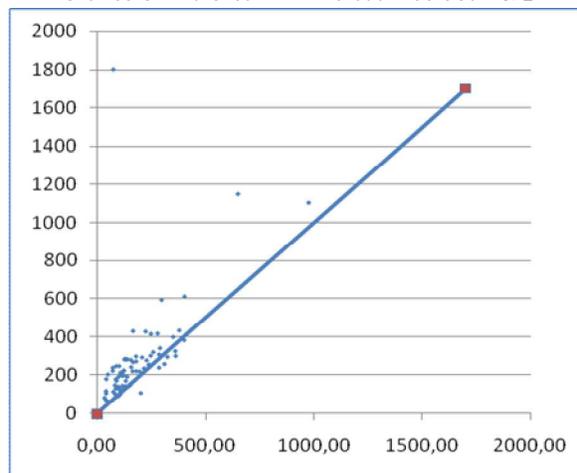
Efetuada os cálculos e a comparação entre os valores calculados pelos métodos de A&C e D&Q com os valores medidos através da metodologia de V.D.V., foi feita a plotagem no gráfico de nuvem que podem ser visualizados no Gráfico 4 e Gráfico 5.

Gráfico 4 – Valores V.D.V versus medido A&V



Fonte: Autor (2018)

Gráfico 5 – Valores V.D.V versus medidos D&Q

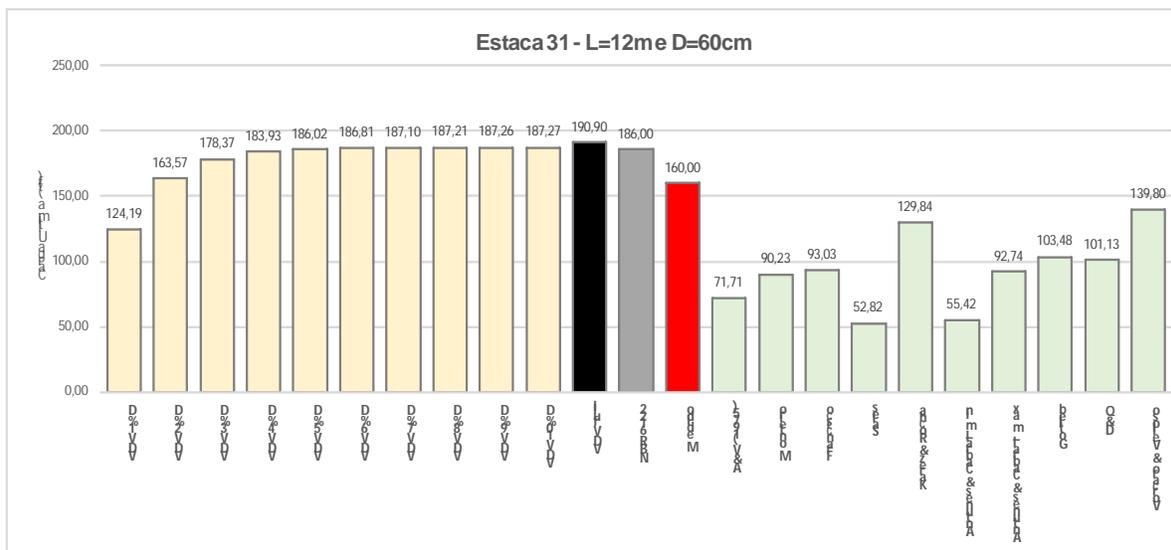


Fonte: Autor (2018)

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 2 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.

Efetou-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 6.

Gráfico 6 – Dados da estaca 31



Fonte: Autor (2018)

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	40	0,30	14,0	46,7	120
2	0,50	12,0	24,0	427	41	0,30	14,0	46,7	139
3	0,40	12,0	30,0	237	42	0,40	13,0	32,5	196
4	0,80	14,6	18,3	414	43	0,90	16,5	18,3	591
5	0,40	19,5	48,8	246	44	0,30	12,0	40,0	202
6	0,25	11,0	44,0	81	45	0,40	12,0	30,0	221
7	0,40	15,4	38,6	425	46	0,50	16,0	32,0	266
8	0,40	11,5	28,8	282	47	0,25	12,0	48,0	69
9	0,50	8,5	17,0	179	48	0,60	23,0	38,3	298
10	0,60	22,0	36,7	380	49	0,60	23,0	38,3	306
11	0,35	20,2	57,7	142	50	0,60	8,0	13,3	219
12	0,50	14,5	29,0	237	51	0,40	8,5	21,3	100
13	1,00	14,7	14,7	1103	52	0,60	10,5	17,5	281
14	0,50	21,0	42,0	219	53	0,40	11,0	27,5	150
15	0,50	17,0	34,0	280	54	0,50	25,0	50,0	299
16	0,50	15,8	31,6	412	55	0,70	22,0	31,4	293
17	0,60	17,3	28,8	253	56	0,50	19,0	38,0	296
18	0,40	12,5	31,3	132	57	0,50	15,0	30,0	240
19	0,60	16,0	26,7	290	58	0,60	22,7	37,8	396
20	0,40	16,0	40,0	198	59	0,40	12,0	30,0	179
21	0,70	19,0	27,1	323	60	0,50	10,0	20,0	220
22	0,70	18,0	25,7	338	61	0,35	11,55	33,0	212
23	0,60	15,0	25,0	317	62	0,6	16,0	26,7	280
24	0,50	12,0	24,0	234	63	0,4	19,0	54,3	145
25	0,70	19,5	27,9	256	64	0,7	23	32,9	430
26	0,50	9,0	18,0	277	65	0,4	17	42,5	106
27	1,00	21,5	21,5	1148	66	0,5	21	42,0	217
28	0,25	10,0	40,0	61	67	0,4	20	50,0	136
29	0,35	11,0	31,4	88	68	0,7	14,7	21,0	609
30	0,60	16,0	26,7	170	69	0,4	16	40,0	135
31	0,60	12,0	20,0	191	70	0,4	15	37,5	144
32	0,50	17,0	34,0	275	71	0,5	13	26,0	129
33	0,50	17,0	34,0	252	72	0,4	11	27,5	104
34	0,50	17,0	34,0	270	73	0,5	10	20,0	112
35	0,50	13,5	27,0	169	74	0,35	8,6	24,6	147
36	0,40	14,5	36,3	204	75	0,4	18,5	46,3	120
37	0,30	14,0	46,7	1800	76	0,4	17	42,5	190
38	0,30	14,0	46,7	116	77	0,3	20	66,7	129
39	0,30	14,0	46,7	93	78	0,3	16,5	55,0	99
					79	0,4	15	37,5	139
					80	0,4	17,1	42,8	223

Fonte: Autor (2018)

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 3.

Tabela 3 – Tipos de ruptura e quantidades de estacas

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

Fonte: Autor (2018)

Exemplificando, apresenta-se o Gráfico 7, 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 Gráfico 8 mostra a ruptura física que é marcada pela formação de uma curva assíntota, 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 e por fim o Gráfico 9, ruptura convencional, 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.

Gráfico 7 – Ruptura nítida

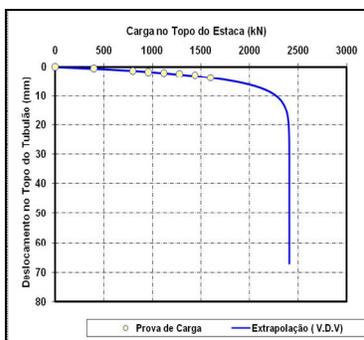


Gráfico 8 – Ruptura física

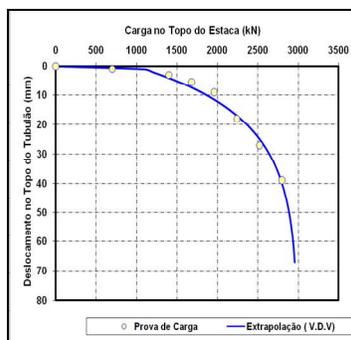
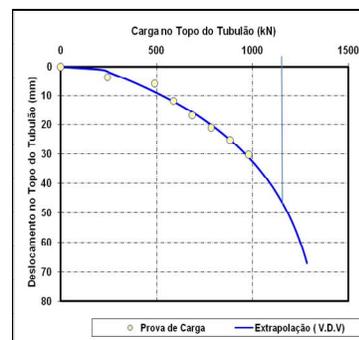


Gráfico 9 – Ruptura Convencionada



Fonte: Autor (2018)

5 DISCUSSÃO

5.1 ESTACAS TIPO CRAVADA DE CONCRETO

Na avaliação dos resultados apresentados referente às provas de carga, cálculos efetuados pelos métodos semi-empírico e metodologia de V.D.V, pode-se notar que o método semi-empírico 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%.

5.2 ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA

Dentro de uma análise efetuada entre as provas de carga, os métodos semi-empíricos e o método de Van Der Veen, foi verificado que pode ter ocorrido falha no resultado de SPT referente a 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 semi-empíricos, 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.

6 CONCLUSÃO

Para as estacas do tipo hélice contínua que foram analisadas pode-se concluir que a maioria dos métodos semi-empíricos 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 semi-empíricos, 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 semi-empíricos estudados apresentam uma variabilidade muito grande, 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 consequentemente 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 independente da quantidade de estacas, caso sejam empregadas tensões médias (admissíveis) superiores a 7,0 MPa para estacas cravadas e superiores a 5,0 MPa para estacas tipo hélice contínua monitorada.

7 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12131: **Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio**, Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Solo – **Projeto e execução de fundações**. São Paulo, 2010.

ANJOS, G.J.M. (**Estudo do comportamento de fundações escavadas em solos tropicais**. 2006. 341f. Tese (Doutorado em geotecnia). Faculdade de tecnologia, departamento de engenharia civil e ambiental. UNB, 2006.

AOKI, N. e VELLOSO, D.A. (1975) – An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. – 5º Congresso Panamericano (PAMCSMFE) – Buenos Aires – p. 367 – 376.

AOKI, N.; CINTRA, J. C. A.; **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. Editora Oficina de Texto, São Paulo, 96p. 2010.

AVELINO, J.D., **Análise de Desempenho de Estacas de Fundação em um Terreno com Presença de Solos Moles** Dissertação de Mestrado (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil– Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006, 119f.

DÉCOURT, L., QUARESMA, A.R., QUARESMA FILHO, A.R., ALMEIDA, M.S.S.; **Fundações Teoria e Prática**. São Paulo: Pini, 1978. 11ª tiragem, 2012 p.119-125.

GONCALVES, Sergio Fernandes. **Estudo do comportamento à compressão de estacas metálicas curtas em solo sedimentar**. 2008. 133f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Programa de pós graduação em engenharia civil. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

JOPIERT JUNIOR, I. **Fundações e contenções em edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: PINI, p. 126-128, 136, 164-167, 2007.

MARCHEZINI, Silvana Fava. **Comparação entre os métodos estáticos e dinâmico de previsão de capacidade de carga em estacas assentes em solo tropical**. 234f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Faculdade de tecnologia, departamento de engenharia civil e ambiental. UNB, 2013.

MASCARENHA, M. M. A. (2003). **Influência do Recarregamento e da Sucção na Capacidade de Carga de Estacas Escavadas em Solos Porosos Colapsíveis**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNB, Brasília, DF, 141 p.

SOUZA, A., 2001, **Estaca Piloto Instrumentada: uma Ferramenta para o Estudo da Capacidade de Carga de Estacas quando Submetidas a Esforços Axiais de Compressão**. Tese de D.Sc., Poli/USP, São Paulo, SP, Brasil.

VAN DER VEEN, C (1953) – “The bearing capacity of a pile” III int. Conf. on soil Mech. And Found. Eng., Zurich, v. 2, p. 125 -151.

VELLOSO, D. A.; LOPES F. R. **Fundações - Fundações Profundas**. São Paulo: Oficina de Textos. Rio de Janeiro. 2010. 569 p.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R.; **Fundações: Critérios de Projeto – Investigação de subsolo – Fundações superficiais – Fundações Profundas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.