

Influência na Capacidade de Carga em Estaca Tipo Raiz Através da Aplicação de Golpe de Ar

Rodrigo Rogerio Cerqueira da Silva

Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil, rodrigorogerio@uninove.br

Geise Aparecida Pereira

Universidade Santa Rita, São Paulo, Brasil, eng.geisepereira@gmail.com

RESUMO: Apresenta-se neste trabalho o comportamento de estacas tipos raiz, através de ensaio a compressão, avaliando a importância do golpe de ar após a conclusão da injeção com argamassa, visando demonstrar a importância deste evento através da capacidade de cargas nas estacas. O objetivo é demonstrar que a verdadeira metodologia da execução da estaca tipo raiz, vem perdendo a sua essência desde sua criação por Fernando Lizzi, fator esse ligado a preocupação somente com a produção, prejudicando o desempenho das estacas injetadas. Esta técnica tem sido utilizada no Brasil quando tempo é fator mais importante, podendo ser utilizada como reforço de fundação ou como estaca normal em qualquer condição como elemento estrutural, porém gerando dúvidas na sua capacidade de carga em relação a sua metodologia de execução. A preocupação da verificação da capacidade de carga deste tipo de estaca está relacionada à sua variação de metodologia, que obra após obra vem sendo deixada de lado em relação a original. Objetiva-se com este trabalho o estudo do comportamento a compressão de quatro estacas tipo raiz, sendo duas executadas com aplicação de golpe de ar outras duas utilizando injeção de argamassa simples, demonstrando as vantagens técnicas através da aplicação do golpe de ar após as injeções. As estacas foram realizadas em um perfil geológico típico da região de Osasco, região formada pelos solos residuais típicos da ação do intemperismo em migmatitos. Para verificação de sua capacidade de carga, foram executadas provas de carga a compressão, realizando comparações entre os valores de capacidade de carga, observando que o fator da injeção com aplicação de golpe de ar se mostra decisivo tanto no que diz respeito ao aumento da seção da estaca, quanto também na modificação do estado de tensões do solo adjacente variando para cada tipo de solo. Assim apresenta-se uma avaliação crítica dos padrões de execução e capacidade de carga das estacas tipo raiz para comunidade geotécnica.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca raiz, golpe de ar, ensaio de compressão, injeção de argmassa.

1 INTRODUÇÃO

Hoje não é raro observamos dentro de uma empresa a função da produção ser colocada num papel reativo e principal, em relação a técnica e qualidade. Com o acirramento competitivo do mercado de fundações especiais, a definição de que preços cobrar, que prazos prometer e com qual qualidade executar, foge ao controle puro e simples de qualquer área técnica de uma empresa, tornando-se a produção um fator externo à empresa determinado pelo mercado.

Exemplo disto na área de fundações especiais é a execução e aplicabilidade da técnica da estaca tipo raiz, que vêm tornando-se distante da criada pelo professor Fernando Lizzi.

De acordo com LIZZI (1985) o conceito inicial era produzir um sistema de fundação que consistia na formação de uma massa de solo reforçado, como o sistema de raízes de uma árvore, de modo a induzir a consolidação do solo e transformá-lo em um solo armado (Figura 1).

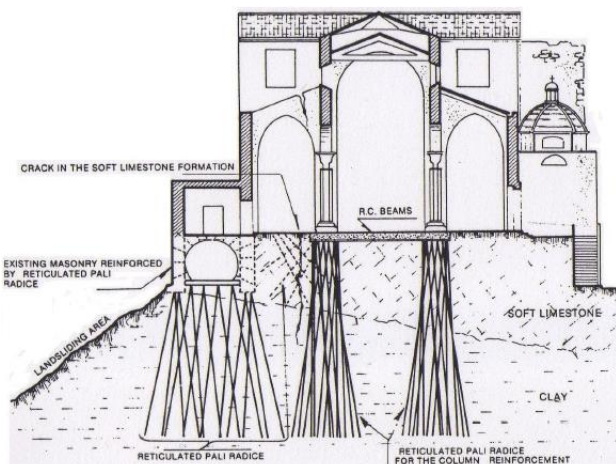


Figura 1. Cathedral, Agrigento (Itália), reforçada na base com estaca raiz (LIZZI, 1985).

O aumento da produção deste tipo de estaca vem mudando a sua metodologia de execução, desde a perfuração em solo por meio da descida de tubo revestimento, que nos dias atuais o fuste é encamisado somente nos primeiros metros, em razão da ocorrência de solos tipo superficial com presença de entulhos ou matéria orgânica, ou muito duros e plásticos.

A perfuração tem sido realizada através de brocas triconica até a profundidade prevista em projeto, pois o revestimento total da estaca diminui a produtividade devido à retirada os tubos, gerando duvidas em sua integridade, devido o estrangulamento do fuste da estaca.

A injeção de argamassa vem sendo realizada com rápida extração dos poucos revestimentos, complementando-se o volume da argamassa por gravidade após o abatimento da mesma.

A falta de importância da aplicação de golpes de ar comprimido durante a extração do revestimento e o complemento de argamassa à medida que os tubos vão sendo extraídos, vem sendo esquecido em pró da produção tornado o conceito da execução de estaca raiz em uma simples estaca escavada.

A metodologia da aplicação de golpes de ar contribuirá para que a estaca tenha uma resistência estrutural adequada, e uma excelente aderência ao solo, garantindo uma capacidade de carga elevada, sendo extinta nas obras atuais.

2 CARACTERÍSTICA DA PRESSÃO DE INJEÇÃO EM ESTACA RAIZ

As estacas do tipo raiz caracterizam-se pela execução no terreno de corpos irregulares de argamassa, fortemente armados, no qual a injeção é realizada sobre pressão. Esta pressão resulta na estaca a característica de terreno armado contribuindo para aumento de sua capacidade de carga, que se obtém através da injeção sem retorno da argamassa.

Os diversos fatores que influenciam na transferência de carga deste tipo de estaca estão relacionados a influência da pressão de injeção e o método de instalação, que se constitui na principal diferença entre as estacas injetadas convencionais. A utilização da aplicação de injeções constantes com pressões médias da ordem de (5 a 10 kg/cm²) com pouca possibilidade de refluxo, é um fator de destaque no aumento de sua capacidade de carga.

SILVA (2011) relata que devido a elevada compactação do solo, realizada pela pressão de injeção, favorece o aumento do ângulo de atrito interno. Usando como base a ideia central de CAMBEFORT (1975), este fator esta relacionado pelo aumento da pressão de confinamento no fuste da estaca e/ou pelo aumento do ângulo de atrito do terreno, estimando experimentalmente em 30% o aumento do valor SPT como demonstra a Figura 2, o crescimento do atrito lateral com a pressão de injeção em diversas formações aluvionares, sedimentares e metamórficas.

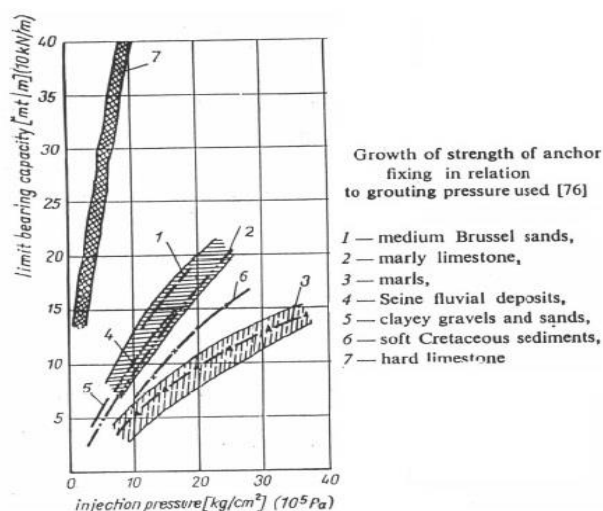


Figura 2. Pressão de injeção x atrito lateral em formações geológicas.

COSTA NUNES (1985), ressalta que na realidade o efeito de melhoria da capacidade de carga realizado pela pressão de injeção é um fenômeno geral que ocorre nos solos de alto módulo de deformação, os quais são também de alta resistência à compressão e ao cisalhamento, sejam eles predominantemente arenosos ou argilosos.

De acordo com SILVA (2011) analogamente para as estacas raiz deverá ocorrer aumento do atrito lateral através da compactação do terreno, devido o aumento do diâmetro da perfuração ocasionado pela pressão da argamassa, aumentando consequentemente a capacidade de carga da estaca. Desta maneira seu fuste apresentará protuberâncias e irregularidades que aumentam sua rugosidade contribuindo com o atrito lateral.

Dependendo do tipo de solo, como nas argilas pouco permeável possa existir o refluxo da argamassa, ao contrário das areias, nesse caso para evitar uma diminuição da capacidade de carga deve-se prever a utilização de armadura complementar na estaca.

De acordo com COSTA NUNES (1985), pode-se considerar que caso a estaca em estudo, durante sua execução tenha pouco refluxo de argamassa, fator este relacionado ao tipo de solo, pode apresentar alta capacidade de carga e pequenos recalques em comparação às estacas convencionais ou até mesmo escavada de mesmo diâmetro, fato este que estaria ligado à aplicação da injeção.

3 TRANSFERÊNCIA DE CARGA AO LONGO DO FUSTE

A maior transferência de carga da estaca tipo raiz para o solo está através do atrito lateral (estaca-solo do corpo de argamassa), garantindo uma interação radial fuste no solo, criando um conglomerado com o solo e uma resistência a ruptura na seção do fuste (Figura 3).

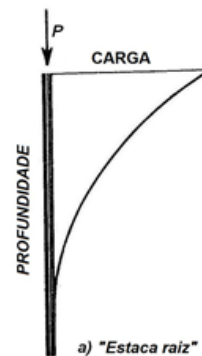


Figura 3. Esquema típico da curva de transferência de carga em solo da estaca raiz.

CORRÊA (1988) relata que estacas injetadas com relação (comprimento/diâmetro) elevados sofrem deslocamentos maiores próximos a seu topo e mobilizam progressivamente o máximo atrito lateral do topo para a ponta. Além deste fator a relação entre a área lateral e a área de ponta é bastante elevada, o que reforça a hipótese de transferência de carga principalmente por atrito.

COSTA NUNES (1985) levantou algumas explicações como o aumento confinante do fuste da estaca, efeito este denominado de “protensão do terreno”, imposta pela pressão de injeção, esta pressão residual aumenta o atrito na interface estaca-solo, sendo esta explicação a mais abrangente considerando os diversos tipos de solo.

Assim consideramos que a resistência de uma estaca raiz é essencialmente por atrito lateral, que mesmo num terreno de baixa resistência possa proporcionar capacidade de carga, podendo não contar com a contribuição da ponta para a característica de carga total, podendo ressaltar que devido à pressão de injeção qualquer terreno é adequado para as estacas tipo raiz.

4 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS

As estacas testes ensaiadas a compressão foram realizados no empreendimento habitacional situado na região de Osasco, formada por solos residuais típicos da ação do intemperismo em migmatitos oriundo de rochas metámorficas.

A área da execução das estacas foi previamente selecionada após inspeção de fatores geológicos do terreno, favoráveis a execução de quatro estaca teste tipo raiz, comprovados a partir de sondagens a percussão.

O substrato geológico é formado por uma camada de 10 metros de silte arenoso, pouco argiloso, com mica e fragmentos finos e médio de rocha, pouco a medianamente compacta de cor cinza (solo residual) com N_{SPT} variando de 6 nas camadas iniciais e 28 nos últimos 6 metros. Sotoposto por uma camada de 7 metros de rocha alterada de magmatito de paleossoma xistoso, alterado pouco coerente, cinza e róseo. Durante os ensaios foram detectados presença de nível d' água a 6 metros de profundidade.

5 ESTACAS TESTES

Foram executadas 4 estacas testes, a diferença básica entre as estacas estão na aplicação de ar comprimido, sendo duas estacas executadas com golpes de ar e outras duas executadas com injeção de argamassa sem pressão.

5.1 Característica da Estaca Raiz

Com diâmetro nominal de 410 mm e comprimento de 18 metros, ferragem composta por 6 Ø 16 mm CA 50 e estribos de Ø 6,3 mm a cada 20 cm. As estacas foram revestidas até a profundidade de 16 metros, sendo o dois últimos metros livres de tubos devido a estaca ser engastada em rocha.

Para injeção de argamassa foram considerados um traço, o equivalente á (1 saco de cimento, 65 litros de areia e 25 litros de água), considerando 23 e 25 traços para a injeção das estacas E01 e E02, consumo este aumentado devido a aplicação de golpe de ar em 10 kgf/cm², aplicado a cada retirada de 2 metros de revestimento. Utilizados 19 e 17 traços para estaca E03 e E04 para deixar o fuste completo da estaca sem aplicação de golpe de ar, metodologia esta aplicada atualmente em obras de estaca raiz.



Figura 4. Vista geral das execução das estacas testes.

6 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Para aplicação do carregamento foram executadas quatro estacas de reação, sendo que em cada estaca de reação foi ancorado um tirante.

A carga de ensaio foi aplicada simetricamente com a utilização de macaco hidráulico com capacidade para 500 tf de tal maneira que o centro de gravidade dos perfis metálicos utilizados coincidissem com o eixo longitudinal do bloco de coroamento, sendo considerada reação estável. Na execução do ensaio foram obedecidas as instruções preconizadas pela norma NBR-12131/2006, que trata da execução de prova de carga estática em estacas.

O sistema de medição foi obtido através da instalação de duas vigas metálicas de referência, com os apoios localizados a uma distância média aproximada de 3,00m do eixo da estaca ensaiada.

Nas vigas de referência, por intermédio de bases magnéticas, foram fixados quatro deflectômetros digitais, com curso 50 mm e sensibilidade 0,01mm, diametralmente opostos, apoiados em pequenas lâminas de vidro, fixadas na superfície do bloco de concreto executado na cabeça da estaca.

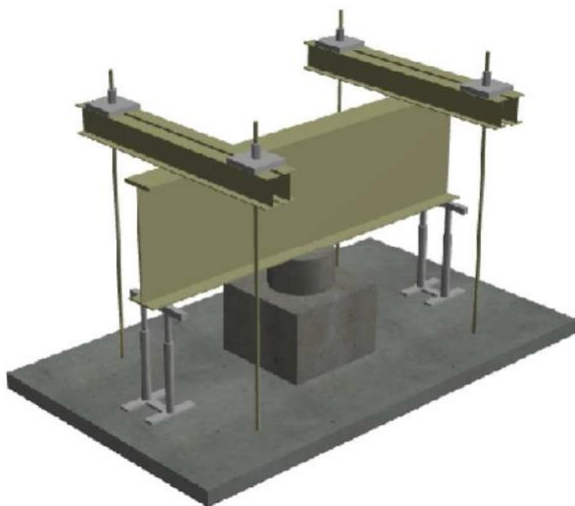


Figura 5. Croqui esquemático da prova de carga.

6.1 Plano de carga ensaio

De acordo com a NBR-12131/2006, apresentamos abaixo os estágios de carregamento e descarregamento da prova de carga, calculados em função da carga de trabalho da estaca e considerados para carregamento lento conforme solicitação da obra. Para o cálculo da carga de ensaio, foi considerado fator de segurança igual a 2,0.

Tabela 1. Estágios de carregamento

Estágio	Carga (tf)	Pressão (Kgf/cm ²)
1	26,0	27,0
2	52,0	54,0
3	78,0	81,0
4	104,0	108,0
5	130,0	135,0
6	156,0	162,0
7	182,0	189,0
8	208,0	216,0
9	234,0	243,0
10	260,0	270,0

Tabela 2. Estágios de descarregamento

Estágio	Carga (tf)	Pressão (Kgf/cm ²)
1	195,0	202,6
2	130,0	135,1
3	65,0	67,5
4	0,0	0,0





Figura 6. Vista geral do sistema de reação das estacas.

7 RESULTADOS OBTIDOS

7.1 Estacas executadas com aplicação e ar comprimido

A carga máxima de ensaio 260 tf, foi alcançada com êxito no último estágio de carregamento estabilizada por aproximadamente 17 horas, verificando-se um deslocamento acumulado de 7,96 mm, para estaca E01 e para estaca E02 de 6,51 mm.

O descarregamento foi realizado normalmente em quatro estágios, obtendo-se no final um recalque residual para estaca E01 de 4,63 mm e 1,62 mm para E02. Vale ressaltar que não foram observadas qualquer anormalidade no sistema de reação (tirantes) durante a execução do ensaio.

As estacas de reação foram monitoradas durante o ensaio e apresentaram um deslocamento máximo de 2,66 mm para E01 e 2,46 mm, para E02.

Apresentamos a seguir o gráfico da carga (tf) x deslocamento (mm) obtido para a estaca ensaiada com aplicação e golpes de ar.

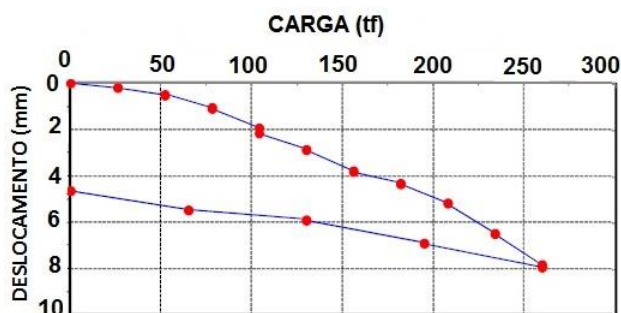


Figura 7. Gráfico de Carga x Deslocamento estaca E01.

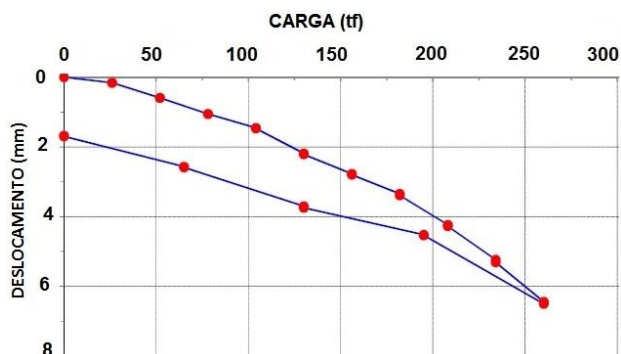


Figura 8. Gráfico de Carga x Deslocamento estaca E02.

7.2 Estacas executadas sem aplicação de golpe de ar

Para as estacas executadas com injeção simples sem aplicação de golpe de ar, verificamos que carga máxima de ensaio 260 tf, não foram alcançada com êxito no último estágio de carregamento.

Obtendo cargas máximas para as estacas E03 de 240 tf e 220 tf para E04, estabilizando por aproximadamente 18 horas, com deslocamento acumulado de 15,20 mm, para estaca E03 e para estaca E04 de 13,00 mm.

O descarregamento foi realizado normalmente em quatro estágios, obtendo-se no final um recalque residual para estaca E01 de 6,50 mm e 6,00 mm para E02.

Não foram observada qualquer anormalidade no sistema de reação realizados com tirantes durante a execução do ensaio. As estacas de reação apresentaram um deslocamento máximo próximos de 2,90 mm para E03 e 2,88 mm, para E04.

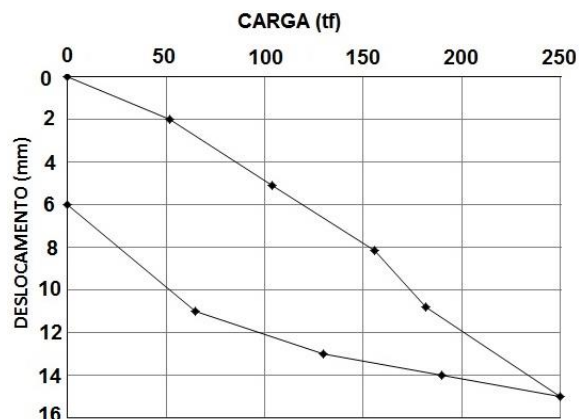


Figura 9. Gráfico de Carga x Deslocamento estaca E03.

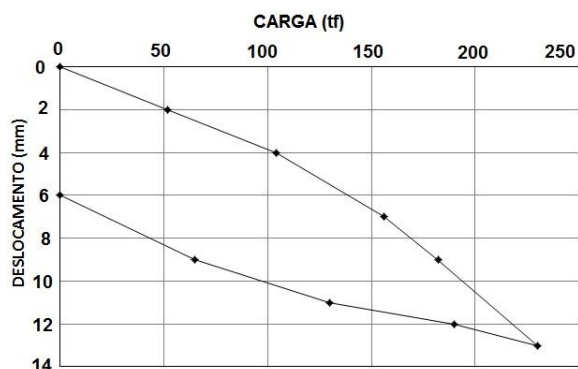


Figura 10. Gráfico de Carga x Deslocamento estaca E04.

Assim podemos considerar que as estacas ensaiadas E03 e E04, não atingiram o seu desempenho satisfatório conforme o indicado pela norma NBR 6122/2010, devido ao aspecto do seu fuste ser íntegro como de uma simples estaca escavada, demonstrando a contribuição do golpe de ar em aumentar o diâmetro da estaca e a irregularidade do seu fuste contribuir com a resistência lateral, conforme a apresentação dos ensaios das estacas E01 e E02.

7.3 Avaliação da capacidade de carga

Os resultados apresentados acima considera-se indispensável que durante a execução atenda-se as premissas do projeto, o que pode ser feito através de um controle de execução com intervenção.

De acordo com AOKI e CINTRA (2000), intervenção é o fato de analisar se o valor medido corresponde o atendimento à carga prevista no projeto e, imediatamente, decidir pelo prosseguimento ou não das operações de execução ou instalação da estaca.

Podemos considerar que a adoção de um controle de execução, com simultânea intervenção, conduz a uma redução da dispersão dos valores de capacidade de carga *in situ*.

Considerando que a existência de qualquer intervenção no processo executivo da estaca tipo raiz, conservando a sua metodologia através da aplicação de golpe de ar, é que permite a comprovação ao atendimento satisfatório da carga admissível determinada em projeto.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foram realizados comparações entre os valores de capacidade de carga medidas *in loco*, observando que o fator da injeção com aplicação de golpe de ar se mostra decisivo tanto no que diz respeito ao aumento da seção da estaca, quanto também na modificação do estado de tensões do solo adjacente variando para cada tipo de solo.

A capacidade de carga das estacas é influenciada pelo volume de argamassa injetado e pela pressão de injeção, podendo admitir que a cada tipo de solo, exista uma pressão limite de injeção, influenciando no aumento da capacidade de carga em virtude da ocorrência do fraturamento ou cisalhamento do terreno, além do seu fuste apresentará protuberâncias e irregularidades que aumentam sua rugosidade contribuindo com o atrito lateral.

A visão clássica de determinada carga admissível de fundação para estaca raiz compreende o aspecto estrutural (verificação da segurança e ruína) e o geotécnico (verificação da segurança à ruptura do maciço de solo e aos recalques excessivos).

REFERÊNCIAS

- Aoki, N.; Cintra, J. C. A. (2000) *Carga Admissível e Carga Característica de Fundações por Estacas*. Revista Solos e Rochas, São Paulo, V. 23, n. 2, p. 137-142, agosto.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010) *Projeto e execução de fundações: NBR 6122/2010*. Rio de Janeiro: ABNT. 33p.
- Cambefort, H. (1975) *Geotechnique de L' Ingenieur. Et reconnaissance de sols*. Paris Editions Eyrolles, 424p.
- Corrêa, R.S. (1988) *Previsão da carga de ruptura de estacas raiz a partir de sondagens de simples reconhecimento*. 131p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Fundações) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Costa Nunes, A.J. (1985) *Estacas injetadas - relato geral*. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais – SEFE, 1., São Paulo. Anais. São Paulo : ABMS, v.1, p.103-118.
- Lizzi, F. (1985) *The pali radice (root piles)- a state-of-the-art report*. In: Symposium on recent developments in ground improvement techniques, Bangkok, Proceedings... Rotterdam: A. A. Balkema, p.417-450.

Silva, R. R. C. da. (2011) *Estacas injetadas autoperfurantes: metodologia de execução e determinação da sua capacidade de carga através de métodos semi-empíricos*. 216p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo..