

Prova de Carga Horizontal em Estacas Injetadas Autoperfurantes em Solos Arenosos

Rodrigo Rogerio Cerqueira da Silva

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

Geise Aparecida Pereira

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

RESUMO: Apresenta-se neste trabalho o comportamento das estacas injetadas autoperfurantes, submetidas a esforços horizontais executadas em presença de solos arenosos, solução adotada como fundações de um Parque de Usina Eólica. As fundações para estas estruturas podem estar sujeitas a elevadas cargas horizontais, provenientes de diversas causas sendo as principais solicitações por empuxo e os ventos. Este tipo de estaca consiste em perfurar o solo com altíssima velocidade por rotação e “pull down”, através da injeção simultânea de nata de cimento com médias pressões. Ocasionalmente na estaca um diâmetro final que pode obter o dobro do bit de perfuração, de acordo com o tipo de solo, gerado pelo efeito do jato da nata de cimento. Visando fornecer subsídios a futuros projetos geotécnicos através do desempenho deste novo tipo de fundação profunda, foram realizadas provas de carga horizontais em um perfil estratigráfico de solos arenosos (Dunas), para melhor avaliação sobre capacidade de carga. Percebe-se uma falta de conhecimento de parâmetros a serem utilizados para o projeto de fundações com este tipo de carregamento, avaliando os padrões de execução e capacidade de carga por esforços horizontais das estacas injetadas para a comunidade geotécnica.

PALAVRAS-CHAVE: Carregamento horizontal, estacas injetadas autoperfurantes, solos arenosos.

1 INTRODUÇÃO

A construção de um grande Parque Eólico na Região Nordeste do Brasil, na cidade de Ceará, é composto por 70 aerogeradores com capacidade de 2,1 megawatts, o que corresponderá a uma geração de 138,5 MW suficientes para abastecer uma cidade de 500 mil habitantes.

Geralmente a construção de um Parque Eólico tende a se concentrar em atividades de montagem mais mecânicas dos aerogeradores do que na execução em obras de infra-estrutura civil.

Para a instalação das torres faz-se necessário a execução de bases de apoio, que receberão e transmitirão cargas provenientes dos aerogeradores para as fundações. Estes tipos de estrutura recebem cargas verticais e horizontais,

além de momentos fletores na sua base, garantindo papel importante em seu funcionamento eletromecânico.

A construção de um grande Parque Eólico na Região Nordeste do Brasil, promove situações de cargas horizontais em fundações, porém a comunidade geotécnica sente falta de conhecimento das propriedades dos solos arenosos (dunas) quando se trata do dimensionamento de estacas injetadas autoperfurantes submetidas a este esforço.

Nos últimos anos apesar de serem ainda reduzidos os estudos relacionados às estacas injetadas sob pressão se comparado com a utilização da técnica, o artigo apresentado tem o intuito de execução no terreno de corpos cilíndricos de argamassa ou calda, em geral fortemente armados, nos quais o aglutinante é injetado sob pressão.



Figura 1. Vista geral das torres de usinas eólicas.

2 CARREGAMENTO HORIZONTAL

A evolução das técnicas construtivas na engenharia civil propiciou o aumento da magnitude das cargas nas edificações, que em muitos dos casos transferiram a engenharia de fundações a tarefa de solucionar os problemas de fundações em estacas solicitados por cargas verticais conjugadas com esforços transversais (horizontais, inclinados e momentos fletores), que podem ser aplicados ao topo da estaca ou em profundidade.

Segundo ALONSO (1996), a ruptura brusca de uma estaca injetada de pequeno diâmetro associa-se a ocorrência de flambagem. O mesmo cita que antes desta conclusão, deve-se verificar o nível da carga de ruptura, comparando este valor com a carga de ruptura estrutural da estaca, além de analisar o detalhe da emenda da armadura longitudinal tal como (solda, luva ou transpasse com ou sem fretagem) empregada no processo executivo da estaca.

Geralmente o cálculo da carga crítica de flambagem costuma ser desconsiderado diante da avaliação da carga de ruptura do sistema solo-estaca, sendo que o problema de flambagem é minimizado pela contenção lateral formado pelo solo radial a estaca, mesmo que este seja de baixa resistência.

“O caso mais desfavorável para a flambagem de estaca totalmente imersas é aquele em que a camada de baixa resistência ocorre na superfície, de tal forma que não exista camada superior pouco deformável que iniba o processo

de instabilidade” (ALONSO, 1996).

Para as estacas com topo livre, se forem longas (Figura 2a), a ruptura ocorre com a plastificação do material que a compõe, na seção de momento fletor máximo; já, para o caso de estacas curtas (Figura 2b), ocorre a rotação da estaca em relação a alguma seção transversal, em profundidade, com ruptura apenas do solo.

Nas estacas com topo engastado, se forem longas (Figura 2c), a ruptura ocorre com a plastificação do material que a compõe em duas seções (uma na base do bloco de coroamento e outra onde ocorre o momento fletor máximo positivo).

Caso as estacas forem intermediárias (Figura 2d), ocorrem simultaneamente, a rotação da mesma em relação a alguma seção transversal, em profundidade, e a plastificação do material que a compõe se dá na seção transversal do fundo do bloco. Se forem curtas (Figura 2e), ocorre à translação da estaca.

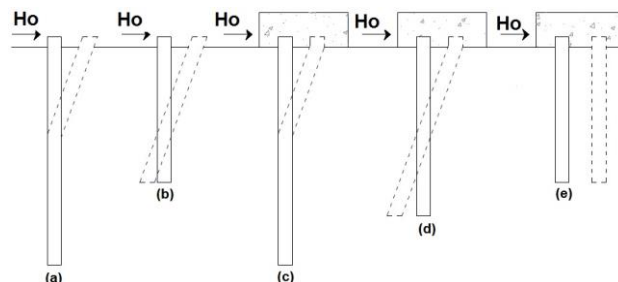


Figura 2. Formas de ruptura de estacas por carregamento horizontal

3 ESCOLHA DAS ESTACAS INJETADAS AUTOPERFURANTES

O projeto inicial da construção do Parque Eólico localizado na região nordeste, previa fundações profundas do tipo hélice contínua monitorada, sendo inviável para o local da obra formado por dunas.

Levando ao adiamento da construção do parque devido a metodologia de execução deste tipo de estaca, conforme o exposto a seguir: a perfuratriz não tem estabilidade devido às condições do solo de apoio das esteiras (solo arenoso), aumento do número de maquinário, como guindaste auxiliar para introduzir a armação, dependência de usina de concreto,

distâncias com mais de 3 horas até o local da obra, o que comprometeria a resistência e o vencimento do concreto, durante a concretagem o risco do concreto iniciar repentinamente a pega, levando a substituir o seu traço e usar aditivos retardadores, entupimento da tubulação de injeção devido à pega ou segregação dos materiais do concreto.

Os aspectos acima citados além de outros, fez com que as estacas injetadas autoperfurantes fossem a solução, pelo fato de não apresentarem os inconvenientes deste outro tipo de estaca, tendo como grande vantagem a central de injeção in loco.

4 ESTACAS INJETADAS

De acordo com SILVA (2011) as estacas injetadas autoperfurantes são estacas de pequeno diâmetro moldada in loco, no qual consiste em perfurar o solo com altíssima velocidade por rotação e pull down, com injeção simultânea, com tubo de alta resistência, de aço sem costura, com ponta cortante este que é a própria armação principal da estaca (Figura 3).

A perfuração com injeção simultânea de nata de cimento com pressões medidas (da ordem de 5 a 10 Kg/cm²) ocasiona um furo com diâmetro aumentado pelo efeito do jato da nata de cimento, sendo que a parte excedente ao furo serve de suporte para auxiliar as operações de injeção, e como bloco de coroamento.



Figura 3: Detalhe da ponteira cortante com passagem para calda de cimento.

Os diversos fatores que influenciam a transferência de carga deste tipo de estaca, esta relacionado à influência da pressão e o método de instalação da estaca, que se constitui na principal diferença entre as estacas injetadas convencionais.

Usando com base a idéia central de CORRÊA (1988) a utilização da aplicação de injeções constantes com pressões médias (5 á 10 kg/cm²) nas estacas injetadas autoperfurantes sem a possibilidade de refluxo, é um fator de destaque no aumento de sua capacidade de carga 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 N_{SPT} obtido inicialmente.

A autoperfuração com nata de alta resistência gera um diâmetro de no máximo o dobro do bit de perfuração, além do aumento da capacidade de carga da estaca tubular, o corpo de calda de cimento garante uma interação radial da barra de ancoragem no solo e também fornece grande proteção anticorrosiva.



Figura 4: Seção típica de uma estaca injetada autoperfurante exumada.

No caso de se usar um tubo perdido envolvendo o núcleo das estacas injetadas, esse tubo é, por si, uma proteção de segunda linha muito adequada para tais estacas, à pintura da armação é outra linha conveniente para essa proteção (COSTA NUNES, 1985). Em princípio, este tipo de estaca foi projetado com a finalidade de facilitar a perfuração em terrenos mais difíceis de avançar, estes são os terrenos desagregados, tipo areia e cascalho e em solos moles tipos as argilas marinhas e orgânicas.

SILVA (2011) após realizar estacas em

diferentes tipos de solo, ressalta que obtém-se o diâmetro em: 2,0 x diâmetro do bit de perfuração, em solos com presença de cascalhos de tamanho grande a médio, 1,5 x diâmetro do bit de perfuração, em solos arenosos com ou sem presença de cascalhos e 1,4 x diâmetro do bit de perfuração, em solos argilosos e siltosos (Figura 5).

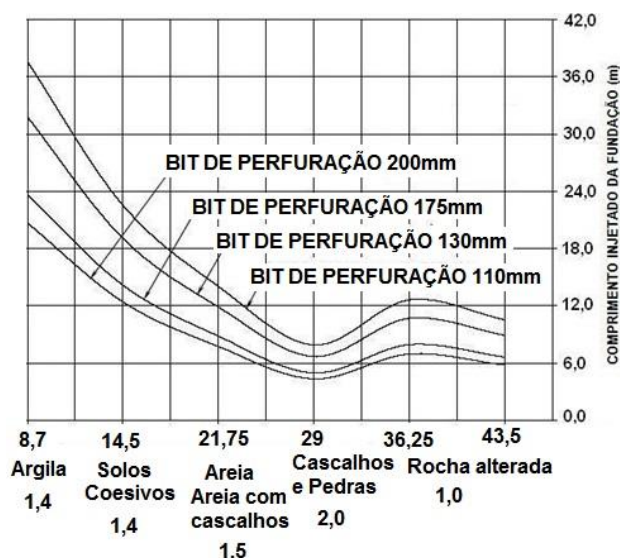


Figura 5: Fator de multiplicação em relação ao bit de perfuração e tipo de solo.

5 CARACTERÍSTICA GEOLOGICA GEOTECNICA

De acordo com as campanhas de sondagens, verificou-se que o subsolo local do Parque de Usina Eólica, pertencem ao plano costeiro do estado do Ceará, representado por depósitos sedimentares da costa brasileira ocasionados pelas flutuações do nível do mar. A área de estudo (Figura 6) é formada basicamente por depósitos litorâneos cenozóicos, ao qual constituem grandes depósitos eólicos formados a partir da remoção da face de praia pela deflação eólica originando as paleodunas e dunas.

As paleodunas de acordo FONTELES (2003), ocorrem em uma faixa mais ou menos contínua ao longo da costa cearense, repousando sobre os sedimentos da Formação Barreiras, compostos por sedimentos areno-argilosos, consolidados a inconsolidados, com coloração avermelhada, creme ou amarelada,

mal selecionados, de granulação variando de fina a média, com níveis conglomeráticos e lateríticos) e, em grande parte coberta pelas dunas móveis ou recentes.

São compostas por areias bem selecionadas de granulometria fina a média, por vezes siltosa com tons amarelados, alaranjados e acinzentados, de composição quartzosa e/ou quartzo-feldspática.



Figura 6: Perfil geológico local, da construção das torres de usinas eólicas.

“As dunas distribuem-se como um cordão contínuo, disposto paralelamente a linha da costa, com uma largura média de 2-3 Km e espessuras atingindo 30 m. São compostas por areias de cor branca, bem selecionadas de granulometria fina a média, quartzosas, com grão foscas e arredondados” (FONTELES, 2003).

Dessa forma em linhas gerais, o perfil geotécnico na área de implantação do Parque Eólico é caracterizado por mais de 30 metros de solos arenosos, com compacidade crescente

com a profundidade os quais fazem parte destes sistemas geológicos.

A Figura 07 apresenta um perfil típico da região de implantação da obra, sendo representada por uma sondagem a percussão, realizada em umas das bases dos aerogeradores.

SPT		PROCESSO EXECUTIVO	
MARTELO 65 Kg		A TRADO ATÉ 3.00 m	LAVAGEM - 3.00 m À 12.00 m
QUEDA 75 cm		REVESTIDO DE 3.00 m À 35.00 m	
PERFIL GEOLÓGICO			
SPT	T TORQUE (kf.m)	AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
20	20	1	Areia fina, fofa a muito compacta, cinza.
20	24	2	
25	40	3	
34	40	4	
48	40	5	
23	30	6	
25	30	7	
4	10	8	
5	8	9	
5	10	10	
6	14	11	
6	12	12	
7	14	13	
6	14	14	
8	14	15	
7	12	16	
8	14	17	
8	16	18	
8	14	19	
9	16	20	

Figura 7: Caracterização geotécnica típica da obra.

6 ENSAIOS DE CAMPO REALIZADOS

Para analisar o comportamento da curva x carga recalque dos elementos de fundação foram realizadas duas provas de carga estáticas com carregamento horizontal.

Estes ensaios foram executados sobre cavaletes compostos por estacas injetadas

autoperfurante com 18,70 m de comprimento e 300 mm de diâmetro. A aplicação de carga no cavelete foi feita por intermédio de um conjunto de bomba manual e macaco hidráulico com capacidade para 400 toneladas, com um sistema de atirantamento utilizando-se as próprias estacas autoperfurantes (Figura 8 a).

O carregamento horizontal foi feito com o auxílio de um trator no sentido de maior inércia do cavelete (Figura 8 b).



Figura 8: (a) cavalete para ensaio, (b) prova de carga horizontal.

Os ensaios de todas as estacas foram realizados junto as suas respectivas bases para demonstrar o melhor comportamento junto às características geológicas e geotécnicas do solo local. Foram realizadas duas provas de cargas do tipo lenta com aplicação de esforços horizontais.

Na Base da Torre eólica 01 a carga máxima horizontal aplicada no ensaio foi de 30 t, sendo que a carga de trabalho determinada era de 7,5 t,

demonstrando que a estaca sofreu pequenos deslocamentos horizontais (Figura 9).

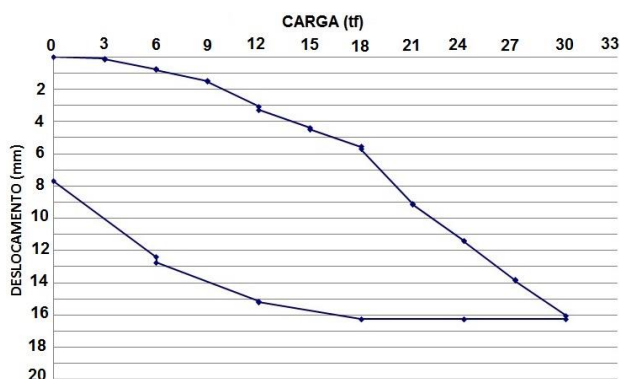


Figura 9. Curva carga x recalque da estaca teste EH-01.

Junto a Base 02 a estaca teste submetida a carregamento horizontal, apresentou comportamento da curva carga x recalque com características similares a curva da base 01. Não apresentou ruptura bem definida conservando a mesma tendência de evolução para uma carga de ensaio de 30 tf com deslocamentos junto ao topo da estaca de 45 mm (Figura 10).

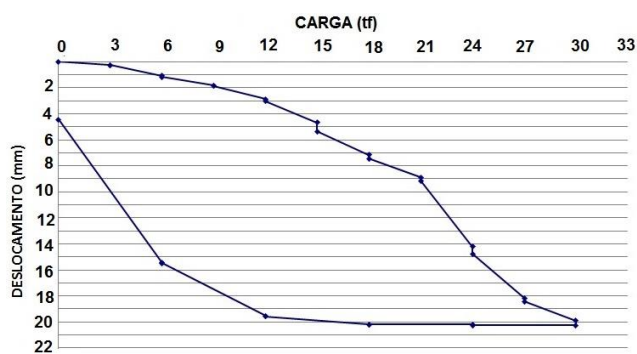


Figura 10. Curva carga x recalque da estaca teste EH-02.

Cabe ressaltar que durante os carregamentos horizontais alguns aspectos devem ser verificados, como a ruptura do solo pelo fato da capacidade de suporte do solo, em relação às tensões que lhe são transmitidas pelas estacas durante a execução da prova de carga. Os deslocamentos através da verificação da compatibilidade do deslocamento (e rotação) do topo da estaca sob a carga de trabalho.

6.1 Análise dos Resultados a partir da Curva Carga x Recalque

Contudo nota-se que a curva carga x recalque,

não apresentou ruptura bem definida, sendo que após o carregamento equivalente a 15 tf a estaca apresentou comportamento retilíneo em termos de incrementos de carga aplicada e deslocamento vertical sofrido. Este tipo de comportamento é característico para estacas injetadas executadas em solos de baixa resistência como as argilas moles e areias fofas.

Através da curva carga x recalque da prova de carga, foi utilizado o método para extrapolação das cargas por Mazurkiewicz (Figura 11 e 12) para determinar a carga de ruptura.

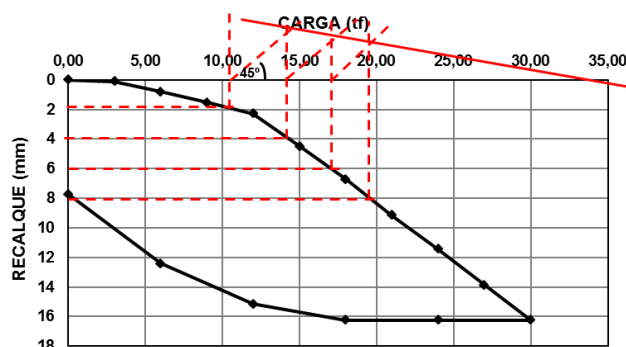


Figura 11. Curva carga x recalque da estaca teste EH-01 interpretada por Mazurkiewicz.

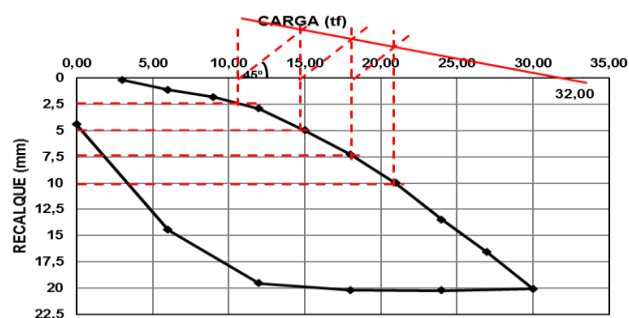


Figura 12. Curva carga x recalque da estaca teste EH-02 interpretada por Mazurkiewicz.

Tabela 1: Resumo dos resultados das provas de carga

ESTACA	RECALQUE TOTAL (mm)	RECALQUE RESIDUAL (mm)	CARGA DE RUPTURA Mazurkiewicz (tf)	CARGA DE TRABALHO (tf)	FATOR DE SEGURANÇA
EH-1	75	16	35	7,5	4,6
EH-2	45	20	32	7,5	4,2

Todas as estacas ensaiadas com carregamento horizontal, apresentaram desempenho satisfatório conforme o indicado pela norma NBR 6122, devendo o fator de

segurança ser no mínimo ou igual a 2,0 em relação a carga de ruptura obtida na prova de carga ou por sua extrapolação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

AZEVEDO JR. et. al. (1990), ressalta que de acordo com a análise feita, podemos considerar a execução de estacas injetadas em solos arenosos com dimensão transversal superior a 20 cm, o fenômeno da flambagem adquire importância secundária. Pois existe uma relação exponencial entre a carga crítica e o diâmetro, sendo que nestes casos a ruptura ocorre na interação solo-estaca, antes que por instabilidade estrutural.

Estudos realizados por SILVA (2011) demonstram que a avaliação da carga crítica de flambagem pode ser empregada em casos de estacas que trabalham principalmente por resistência de ponta, como estacas de pequeno diâmetro instaladas em camadas de solos de baixa resistência.

Não fica claro que as provas de carga em estacas injetadas autoperfurantes a ruptura ocorre por flambagem, devido o aumento do diâmetro da estaca ocasionado em solos arenosos, influenciado pela pressão de injeção e o método de instalação da estaca, que se constitui na principal diferença entre as estacas injetadas convencionais.

A utilização da aplicação de injeções constantes com pressões médias (5 á 10 kg/cm²) nas estacas injetadas autoperfurantes, com pouca possibilidade de refluxo é um fator de destaque no aumento de sua capacidade de carga horizontal, indicando ser esta uma maneira barata e eficiente de aumentar a capacidade de carga a esforços horizontais de estacas implantadas em solos de alta porosidade.

A transferência de carga das estacas injetadas autoperfurantes para o solo através do atrito lateral estaca-solo do corpo de calda de cimento, garante uma interação radial da barra de ancoragem no solo, criando um conglomerado com o solo adquirindo uma resistência à ruptura na seção do fuste, principalmente no topo da estaca.

REFERÊNCIAS

- Alonso, U. R. (1996) *Ruptura por flambagem de estacas injetadas* In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais – SEFE – SEFE, 3. São Paulo. Anais. São Paulo : ABMS, 1996. v.2, p.255-263.
- Azevedo Jr, Nelcio et al. (1990) *Provas de carga em estacas de pequeno diâmetro – casos de ruptura por flambagem*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 6. Salvador/BA. Anais. Salvador, p.513-517.
- 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, 1985. v.1, p.103-118.
- Fonteles, H. R, da, N. (2003) *Caracterização geotécnica do subsolo da porção nordeste do município de Fortaleza (CE) com base em geoestatística*. 146p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Estadual de São Paulo. São Carlos.
- 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.