

Cravação de Estacas em Solos com Concreções de Limonita

Murakami, D. K.

Fountest Engenharia, Engº Civil M. Sc., São Paulo, Brasil, daniel.murakami@gmail.com

Cabette, J. F.

Benaton Fundações, Engº Civil M. Sc., São Paulo, Brasil, cabettejean@gmail.com

Rodriguez, T. G.

Geoprova, Engº Civil, M. Sc., Campinas, Brasil, tiago@geoprova.com.br

Miranda Junior, G.

Gebase, Engº Civil, D. Sc., Campinas, Brasil, gentil@gebase.com.br

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar um caso de obra onde se verificou a ocorrência de concreções de limonita durante a fase de execução de escavações e execução das fundações através de estacas pré-moldadas de concreto. Inicialmente, na fase de projeto, este material não foi encontrado durante a execução das sondagens de simples reconhecimento (SPT). Foram executadas estacas pré-moldadas próximas aos furos de sondagem. Posteriormente foram executadas provas de carga estática e ensaios de carregamento dinâmico, obtendo bons resultados. O projeto foi revisado em função destes bons resultados, permitindo a redução de uma seção transversal das estacas em relação ao projeto inicial, calculado com base nos métodos semi-empíricos. Entretanto, durante a execução da obra ocorreram problemas durante a cravação das estacas pré-moldadas de concreto, em função da ocorrência destas concreções, causando quebras de estacas. O problema foi solucionado através da substituição das estacas pré-moldadas vazadas por estacas maciças de mesma seção transversal (geometria). Apesar do aumento do volume de concreto utilizado na substituição de estacas vazadas por maciças, o projeto final tornou-se técnica e economicamente viável, reduzindo drasticamente a ocorrência de quebras.

PALAVRAS-CHAVE: estaca pré-moldada, concreções de limonita, sedimento Cenozoico, ensaio de carregamento dinâmico, avaliação de danos em estacas pré-moldadas.

1 INTRODUÇÃO

Durante a cravação de estacas pré-moldadas de uma obra, composta por 3 torres residenciais de 17 pavimentos, com periferia / subsolo em lajes, na cidade de Rio Claro, interior do estado de São Paulo, ocorreram problemas de difícil previsão na fase de projeto: quebras e/ou danos nas estacas durante a execução, em alguns casos de forma quase “imperceptível”.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma breve descrição das características do subsolo local, indicando a ocorrência de concreções de limonita e sua influência na

cravação de estacas. Mesmo com um índice de quebras de estacas acima do normal no início da obra, os envolvidos no projeto (executor, projetista e cliente) investigaram as causas das quebras e solucionaram o problema, viabilizando a execução da obra através de estacas pré-moldadas maciças.

Apesar de nenhuma sondagem executada na obra detectar a presença de concreções de limonita, Giacheti *et al* (1993) citam a possibilidade desta ocorrência. Durante a execução da obra foi verificada a ocorrência deste material em profundidades diversas, inclusive superficialmente na região onde houve

corte no terreno.

2 METODOLOGIA

Para a avaliação dos impactos negativos gerados pelas concreções de limonita foram utilizados: a medição do embuchamento de solo no interior do fuste das estacas vazadas (na ponta), filmagens em HD do interior das estacas vazadas e ensaios de carregamento dinâmico.

Em campo, o ensaio de carregamento dinâmico permite a avaliação do dano em estacas através do fator Beta (BTA) no Método CASE (Pile Dynamics, Inc; 2009). Posteriormente, os sinais coletados são analisados através do Método CAPWAP (Pile Dynamics, Inc; 2006) que permite a modelagem do sistema solo-estaca. Este último Método, mais sofisticado, permite uma melhor avaliação do dano da estaca através da quantificação da redução de impedância da estaca e de fissuras (*slacks*) de compressão e tração.

3 CARACTERÍSTICAS DO SUBSOLO E SUA INFLUENCIA NA CRAVAÇÃO DAS ESTACAS

Na obra em questão foram executadas duas campanhas de sondagem, a primeira pela Empresa A e a segunda pela Empresa B.

Com base nas sondagens executadas pela Empresa A, primeira campanha, percebe-se que, de um modo geral, as sondagens apresentam superficialmente uma camada de argila siltosa, muito mole, marrom avermelhado, até cerca de 6m de profundidade, seguida de uma camada de argila siltosa, mole a média, marrom alaranjado até cerca de 11m de profundidade. Subjacente a esta camada as sondagens detectaram a presença de argila siltosa, rija a dura, marrom. O nível d'água foi detectado aos 13m de profundidade.

A segunda campanha, executada pela Empresa B, as sondagens indicaram a presença de uma camada de argila silto arenosa, muito mole a média, marrom clara, até cerca de 6m de profundidade. Subjacente a esta camada as sondagens detectaram a presença de silte argiloso, rijo a duro, marrom claro, vermelho

escuro/claro, amarelo escuro, com valores de N_{SPT} entre 18 e 39 golpes, entre 7 e 9m de profundidade, apresentando uma diminuição nos valores de N_{SPT} nos 3m seguintes (N_{SPT} médio de 17 golpes). A partir dos 13m de profundidade os valores de N_{SPT} apresentaram entre 30 e 50 golpes.

Segundo Bjornberg e Fúlvaro (1993), a região de Rio Claro apresenta unidade residual da formação Serra Geral, conforme indicada na figura 1, apresentando coberturas Cenozóicas conforme indicado na figura 2.

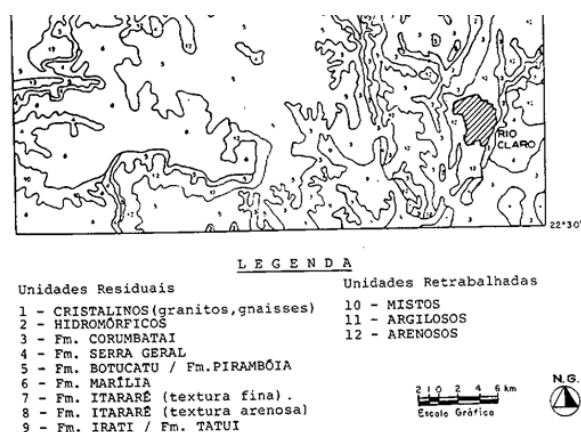


Figura 1. Unidades residuais (Bjornberg e Fúlvaro, 1993)

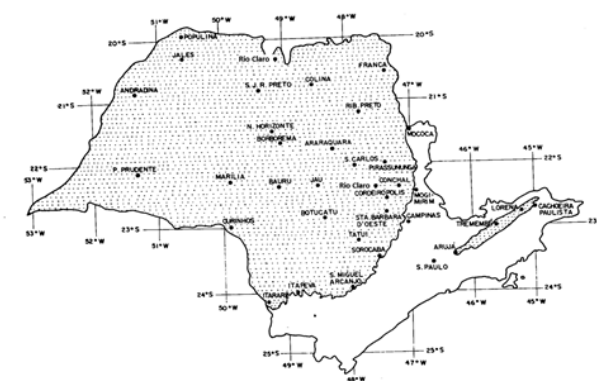


Figura 2. Sedimentos Cenozóicos (Bjornberg e Fúlvaro, 1993)

Segundo Giacheti *et al* (1993), o Sedimento Cenozóico recobre uma grande área do Estado de São Paulo, é produto do retrabalhamento dos materiais do Grupo Bauru e das formações Serra Geral e Botucatu, através de um pequeno transporte em meio aquoso de “razoável competência” (Bortolucci, 1983), e depositados em formas de aluviões e coluviões (Bjornberg, 1965). Os solos do Sedimento Cenozóico mostram-se com texturas arenosa ou argilosa, dependendo das características dos materiais

que lhes deram origem. A ação do intemperismo sob condições climáticas típicas de região tropical, onde tem-se elevada temperatura, intensa pluviosidade e situações de boa drenagem, provocou neste material o processo de laterização.

Giacheti *et al* (1993) ainda cita que nas frações areia e pedregulho podem ocorrer quantidades variadas de concreções ferruginosas ou aluminosas (lateritas). A fração argila constitui-se de argilominerais da família da caulinita e óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio (Nogami e Villibor, 1983). Estes óxidos aglomeram os argilominerais gerando uma microestrutura esponjosa ou de “pipoca”, peculiar destes solos (Brandr Neto e Bareli, 1981; Nogami e Villibor, 1983).

As figuras 3 a 6 indicam a ocorrência destas concreções na região onde foi executado um corte no terreno.

As camadas de concreções de limonita apresentavam fragmentos da ordem de 1 cm (figura 7) até fragmentos da ordem de 30 cm (figuras 4 e 8).



Figura 3. Ocorrência de concreções de limonita na região de corte



Figura 4. Ocorrência de concreções de limonita na região de corte



Figura 5. Camada de concreção de limonita no pé do talude



Figura 6. Ampliação da figura 5, indicando concreção de limonita



Figura 7. Dimensões dos fragmentos de concreção de limonita



Figura 8. Dimensões dos fragmentos de concreção de limonita

A solução de fundações, adotada após a realização das provas de carga estática e ensaios de carregamento dinâmico, com redução de seções transversais, foi de estacas pré-moldadas de concreto com seções maciças (20x20 e 26x26) na periferia das torres e vazadas (42_{20,4} e 50_{25,6}) para as torres, os comprimentos variavam de 10 a 15 metros.

Durante a execução de uma das estacas foi verificada uma dificuldade de cravação aos 2m de profundidade (excessivo número de golpes no diagrama de cravação) não conseguindo transpassar esta camada. A estaca quebrou e apresentou desvio de prumo. Outras estacas da mesma região apresentaram comportamento semelhante. Foi realizada uma escavação manual ao redor de uma destas estacas, verificando uma camada de concreção de limonita, a partir de 20 cm de profundidade, com espessura de cerca de 30 cm, conforme

indicado nas figuras 9 a 11. Foi necessário utilizar um martelete para transpassar a camada de concreção de limonita, uma vez que a escavação manual deste material é inviável.



Figura 9. Utilização de martelete para transpassar a camada de concreção de limonita



Figura 10. Utilização de martelete para transpassar a camada de concreção de limonita.



Figura 11. Detalhe do fragmento de concreção de limonita encontrado.

Na ocasião da escavação, para execução dos blocos de coroamento, foi verificado em diversas regiões da obra a ocorrência de concreções de limonita, conforme indicado nas figuras 12 e 13. Nota-se na figura 12 que o registro de nega e repique elástico coletado manualmente nas estacas não apresentavam nenhum indício de danos e/ou quebras, apesar de diversas destas estacas necessitarem transpassar camadas com essas concreções.

Em uma das estacas da obra houve uma suspeita de quebra em função da ocorrência de “repique negativo”. Foi realizada uma escavação na região desta estaca de cerca de 5m de profundidade., verificando a presença de camadas de concreção de limonita em diversas profundidades, conforme indicada nas figuras 14 a 17.



Figura 12. Ocorrência de concreção de limonita durante a escavação do bloco de coroamento



Figura 13. Ampliação da figura 12



Figura 14. Ocorrência de camada de concreção de limonita durante a escavação na região de uma das estacas cravadas



Figura 15. Detalhe da camada de concreção de limonita, ampliação da figura 14



Figura 16. Detalhe da camada de concreção de limonita na região da estaca cravada



Figura 17. Detalhe da camada de concreção de limonita na região da estaca cravada

4 RESULTADOS

Após a realização da vistoria do interior do fuste, com a utilização de filmadora em HD, de algumas das estacas circulares vazadas que foram diagnosticadas como boas durante a cravação, sem danos visíveis e que durante a cravação apresentaram valores de nega e repique elástico satisfatórios, verificaram-se danos com o ensaio de carregamento dinâmico.

Nestas estacas que apresentaram danos, durante a vistoria do interior do fuste, verificou-se que o embuchamento de solo na ponta da estaca superava 3m, em alguns casos chegava em 4,5m de embuchamento. O comprimento de embuchamento na ponta da estaca pode ser realizado da seguinte forma: subtrair o comprimento de estaca “sem solo” no interior do fuste da estaca do comprimento cravado da estaca.

Nas estacas sem danos visíveis, através da vistoria do interior do fuste, verificou-se que o embuchamento de solo na ponta da estaca era da ordem de 2m.

A conclusão de que o aparente “embuchamento excessivo” das estacas com danos tratava-se na verdade da ocorrência do “esmagamento do concreto da estaca”. Esse esmagamento do concreto fez com que o comprimento cravado da estaca fosse reduzido de 1 a 2m.

A figura 18 apresenta uma imagem extraída da filmagem realizada em uma das estacas (PB03H). Observa-se um dano significativo

nesta estaca, com redução da seção transversal. No ensaio de carregamento dinâmico verificou-se Beta de 70% no Método CASE, indicando que esta estaca apresentava algum dano, enquanto que no Método CAPWAP verificou-se que houve redução de impedância da ordem de 90% e *slack* de compressão de 1,2 mm com eficiência de 20%, indicando que esta estaca está quebrada.

Já a estaca (PB04E) apresentou seccionamento completo e desalinhamento entre as porções (estaca quebrada), conforme observado na figura 19. Esta estaca também apresentou Beta de mesma ordem de grandeza (70%), assim como mesma ordem de grandeza de redução de impedância (90%) e *slack* de compressão de 0,7mm com eficiência de 20%. Notam-se nos dois casos exposição de parte da armadura da estaca.

A figura 20 representa a imagem do interior do fuste da estaca (PB08A) com dano leve, apresentando redução de impedância de 10% no Método CAPWAP, sem a detecção de Beta no Método CASE.

Nestes dois casos apresentados de quebras de estacas (figuras 18 e 19) verificou-se que o Método Case foi menos conservador em relação à avaliação do dano na estaca, mostrando a importância de se avaliar o dano através do Método CAPWAP que é um método mais sofisticado.

Os resultados dos ensaios de carregamento dinâmico foram fundamentais para a avaliação da integridade das estacas, principalmente nas estacas que apresentavam dúvidas quanto à integridade, apresentando boa correlação com as filmagens realizadas no interior das estacas.



Figura 18. Dano significativo, na estaca PB03H, observada através de filmagem do interior da estaca.



Figura 19. Seccionamento completo, na estaca PB04E, com desalinhamento entre as porções.



Figura 20. Estaca PB08A com dano leve.

Os ensaios de carregamento dinâmico foram realizados no final da cravação ou em recravação após cerca de 3 dias. As tensões de compressão e tração observadas através do Método Case indicaram valores de tensões aceitáveis, da ordem de 25MPa de compressão e menos de 1 MPa de tração, dentro da faixa de valores estabelecidos pela norma NBR 6122:2010.

Entretanto, apesar de atender às tensões aceitáveis da norma NBR 6122:2010, durante a cravação das estacas as quebras ocorreram em função da presença das concreções de limonita, material com resistência superior ao solo da região. A conclusão é de que a quebra de estacas depende de dois fatores: tensões de compressão e tração na cravação/recravação; resistência dos materiais encontrados ao longo da cravação da estaca.

Visando minimizar o dano durante a cravação das estacas, as estacas vazadas foram substituídas por estacas maciças. Apesar do aumento do volume de concreto na substituição das estacas vazadas por maciças, o projeto final se mostrou economicamente viável, uma vez que na fase inicial da obra, onde foram

realizados de provas de carga estática e ensaios dinâmicos, os mesmos mostraram capacidade de carga superiores aos previstos por métodos semi-empíricos baseados no SPT, permitindo a redução das seções transversais das estacas.

Maiores informações sobre os resultados das provas de carga estática e ensaios de carregamento dinâmico podem ser encontradas em Murakami *et al* (2016).

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista a ausência de informações sobre as concreções de limonita nas sondagens realizadas, a escolha pela solução da obra em estacas pré-moldadas de elevado diâmetro (acima de 40 cm de diâmetro) foi acertada.

No início da obra foram realizadas provas de carga estática e ensaios de carregamento dinâmico. Os mesmos apresentaram resultados satisfatórios e superaram as previsões realizadas através de métodos semi-empíricos, permitindo a redução de uma seção transversal das estacas da obra.

Entretanto, devido à dificuldade de cravação e consequentes danos estruturais observados, algumas providencias foram necessárias para a aceitação das estacas vazadas, dentre elas: a execução de filmagem interna nas estacas e posteriormente a realização de ensaios de carregamento dinâmico.

Apesar de atender às tensões aceitáveis da norma NBR 6122:2010, durante a cravação das estacas as quebras ocorreram em função da presença das concreções de limonita, material com resistência superior ao solo da região. A conclusão é de que a quebra de estacas depende de dois fatores: tensões de compressão e tração na cravação/recravação; resistência dos materiais encontrados ao longo da cravação da estaca.

Os ensaios de carregamento dinâmico possibilitaram, qualitativa e quantitativamente, um julgamento adequado sobre a utilização das referidas estacas na estrutura.

A substituição das estacas vazadas por estacas maciças, de maior inércia, permitiu a continuidade das cravações sem que houvessem problemas estruturais nos elementos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à construtora responsável pela obra pelo fornecimento dos dados necessários para a elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2010) *NBR 6122; Projeto e Execução de Fundações*, Rio de Janeiro.
- Bjornberg, A. J. S.; Fúlvaro, V. J. (1993) *Geologia. Solos do Interior de São Paulo*, Mesa Redonda, AMBS.
- Bjornberg, A. J. S. (1965) *Sedimentos pós-cretácicos do leste do estado de São Paulo*. Tese de livre docência, Escola de Engenharia de São Carlos USP.
- Bortolucci, A. A. (1983.) *Caracterização Geológico-Geotécnica da Região Urbana de São Carlos-SP, a partir de Sondagens de Simples Reconhecimento*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos USP.
- Brandt Neto, M., Coimbra, A.M., Barelli, N., Spiller, L.R. (1981). Sedimentos da Serra de Itaqueri. In: *A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes, São Paulo. Coletânea de trabalhos e debates*. São Paulo: SBG, p.63-80
- Giacheti, H. L.; Rohm, S. A.; Nogueira, J. B.; Cintra, J. C. A. (1993). Propriedades Geotécnicas do Sedimento Cenozóico. *Solos do Interior de São Paulo*, Mesa Redonda, AMBS.
- Murakami, D. K.; Cabette, J. F.; Rodriguez, T. G.; Miranda Junior, G.. (2016). Correlação entre Prova de Carga Estática e Ensaio de Carregamento Dinâmico em Estaca Pré-Moldada de Diâmetro 50cm. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Belo Horizonte.
- Nogami, J. S., Villibor, D. F. (1983). Solos tropicais lateríticos e saprolíticos e pavimentação. *18ª Reunião Anual de Pavimentação*, Porto Alegre.
- Pile Dynamics, Inc. (2006). *CAPWAP Manual*. Cleveland, Ohio.
- Pile Dynamics, Inc. (2009). *PDA-W Manual*. Cleveland, Ohio.