



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Centro de Tecnologia e Geociências

Curso de Engenharia Civil

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO – TCC 2

FUNDAÇÃO EM ESTACA HÉLICE CONTÍNUA:

AMPLIAÇÃO DO SHOPPING GUARARAPES - 5ª ETAPA

Aluno: Moisés Miranda Silva

Jaboatão dos Guararapes 2013



FUNDAÇÃO EM ESTACA HÉLICE CONTÍNUA:

AMPLIAÇÃO DO SHOPPING GUARARAPES - 5ª ETAPA

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Pernambuco como requisito para obtenção da Graduação em Engenharia Civil.

Área do conhecimento:

Geotecnia e Gestão da Obra

Orientador:

Profº. João Joaquim
Guimarães Recena

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586f	<p>Silva, Moisés Miranda.</p> <p>Fundação em estaca hélice contínua: ampliação do Shopping Guararapes – 5ª etapa / Moisés Miranda Silva. - Recife: O Autor, 2013.</p> <p>46 folhas, il., gráfs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. João Joaquim Guimarães Recena.</p> <p>TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2013.</p> <p>Inclui Referências e Anexos.</p> <p>1. Engenharia civil. 2. Geotecnia. 3. Gestão do serviço. I. Recena, João Joaquim Guimarães. (Orientador). II. Título.</p> <p>UFPE</p> <p>624 CDD (22. ed.)</p> <p>BCTG/2013-284</p>
-------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Centro de Tecnologia e Geociências

Curso de Engenharia Civil

FUNDAÇÃO EM ESTACA HÉLICE CONTÍNUA:
AMPLIAÇÃO DO SHOPPING GUARARAPES - 5ª ETAPA

Professor Orientador

Aprovado por:

Profº. João Joaquim Guimarães Recena – UFPE
(Orientador)

Jaboatão dos Guararapes 2013



DEDICATÓRIA

Aos meus professores: João Recena, Maurício Pina, Jeferson Rego, Maurício Pinho, Bernardo Horovitz, Washington, Suzana, Alfredo Ribeiro, Jordão e Ézio. Por toda paciência que tiveram e oportunidades dadas.

Aos meus de colegas de faculdade que me ajudaram e facilitaram minha vida acadêmica.

Às empresas que trabalhei: ATP, EICOMNOR, O'R e ECAM, que adquiri conhecimentos e construí as bases de minha formação. E em especial à CONSTRUTORA JOLE que foi compreensiva com meu curso de graduação e permitiu que trabalhasse na obra que é objeto deste trabalho.

E aos meus familiares pelos momentos de descontração e motivação.

Obrigado meu Deus.



JUSTIFICATIVA

A escolha partiu da vivência na obra de Ampliação do Shopping Guararapes e o interesse em aprofundar os conhecimentos relacionados a este tipo de fundação.

Como também de algumas afirmações e questionamentos que presenciei durante a passagem por algumas obras, de colegas de faculdade e amigos.

Algumas são e foram:

“A prática não têm nada a ver com a teoria”;

“Faculdade não se aprende nada”;

“Não sei porque a gente estuda isso. Nunca vou ver na obra”;

“Engenheiro não precisa saber dessas coisas”.

E finalmente, a verificação da produtividade deste tipo de solução de fundação. Que é imprescindível em obras de curto prazo, como é o caso da obra em estudo.



RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre fundação em estaca hélice contínua monitorada de forma direcionada à obra de ampliação do Shopping Guararapes-5ª Etapa na cidade de Jaboatão dos Guararapes-PE.

O primeiro passo foi a revisão sobre os aspectos gerais, comerciais, construtivos, executivos e geotécnicos. Como também as vantagens, desvantagens deste tipo de fundação e a investigação geotécnica do tipo sondagem de simples reconhecimento com SPT.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 OBJETIVOS.....	10
3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA.....	10
4 HISTÓRICO.....	11
5 VANTAGEM E DESVANTAGENS.....	11
5.1 Vantagens.....	11
5.2 Desvantagens.....	12
6 CARACTERÍSTICAS DA OBRA.....	13
7 PROCEDIMENTOS PRÉVIOS À EXECUÇÃO.....	13
7.1 Proposta técnica e comercial.....	13
8 Procedimento executivo das estacas.....	14
8.1 Controle de execução.....	14
8.1.1 Verificações nas estacas.....	14
8.1.2 Equipamentos de controle.....	15
8.1.3 Controle dos materiais.....	16
8.1.4 Controle de concretagem.....	19
8.1.5 Pressão de injeção.....	19
8.1.6 Sistema de injeção do concreto.....	19
8.1.7 Aceitação da estaca.....	20
8.2 Processo executivo.....	20
8.2.1 Perfuração.....	20
8.2.2 Concretagem.....	22
8.2.3 Colocação da armadura.....	24
9 EQUIPAMENTOS.....	24
10 CONTROLE DE DESEMPENHO.....	26
10.1 Prova de carga estática.....	27
10.2 PIT -Teste de integridade.....	29
11 ASPECTOS GEOTÉCNICOS.....	39
11.1 Solos muito resistentes.....	39
11.2 Camada de argila mole confinada.....	40
11.3 Camada de argila mole superficial.....	40
11.4 Camadas de areias puras na região da ponta.....	40
12 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA.....	41
12.1 Sondagem de simples reconhecimento com spt.....	41
13 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO LOCAL DA OBRA.....	42
14 CONCLUSÕES.....	44
15 REFERÊNCIAS.....	46
16 ANEXOS.....	47
16.1 PROJETO DE ESTAQUEAMENTO.....	48



16.2 RELATÓRIOS DE SONDAGEM.....	49
16.3 PROPOSTA TÉCNICA E COMERCIAL.....	50
16.4 NOTA FISCAL DO CONCRETO DAS ESTACAS.....	51
16.5 FICHA DE VARIFICAÇÃO DE SERVIÇOS.....	52
16.6 PROBLEMAS OCORRIDOS.....	53
16.7 MAPAS DE CONCRETAGEM.....	54
16.8 MEDIÇÕES FÍSICAS E FINANCEIRAS.....	55
16.9 RELATÓRIOS DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA.....	56
16.10 RELATÓRIOS DE TESTE DE INTEGRIDADE.....	57
16.11 RELATÓRIOS DE ROMPIMENTO DE CORPOS-DE-PROVA.....	58



1 INTRODUÇÃO

A engenharia de fundações vem evoluindo constantemente em busca de novos elementos de fundação, que possuam alta produtividade, ausência de vibrações e ruídos na execução, elevada capacidade de carga e controle de qualidade durante a execução da estaca, entre outros aspectos. Dentro deste propósito surgiram no mercado recentemente e tiveram um grande desenvolvimento nos últimos anos, as estacas hélice contínua, sendo desde então de enorme interesse comercial nos grandes centros urbanos do país (ALMEIDA NETO, 2002).

A utilização das estacas tipo hélice contínua tem conquistado cada vez mais adeptos, tanto os projetistas e consultores, como também os construtores e empreendedores de modo geral. Tal fato deve-se, principalmente, ao grande avanço tecnológico representado pelo seu processo de execução, que tem grandes vantagens em relação a outros tipos de fundação bastante difundidos no Brasil, tais como: não interferir nas edificações da vizinhança, não provocar vibração ou ruído típico dos equipamentos à percussão, possuir grande velocidade de execução, com média superior a 200m/dia, implicando em redução significativa do cronograma da obra, não ser afetada pelo nível do lençol freático (ALMEIDA NETO, 2002).

As fundações do tipo escavadas refletem uma tendência mundial. Segundo van Impe apud ANJOS (2006), as estacas escavadas representam mais da metade da preferência no mundo. Seu uso tem se estendido, além de estaca de carga, à execução de paredes de estacas para contenção de encostas, pré-furos para estaqueamento com perfis metálicos ou estacas pré-moldadas de concreto, objetivando a transposição de camadas do solo com SPT mais elevado.

A abordagem desta solução é direcionada aos serviços de Ampliação do Shopping Guararapes-5ª Etapa no município de Jaboatão dos Guararapes e este trabalho faz uma análise da fundação em estaca hélice contínua adotada em um trecho da obra.



2 OBJETIVOS

Com base na revisão bibliográfica e na experiência vivida na obra, pretendeu-se atingir os seguintes objetivos:

2.1 Gerais

Estudar e conhecer os aspectos de projeto, construtivos, executivos e comerciais da fundação em estaca hélice contínua. Compreender as variáveis que interferem nesse tipo de solução relacionadas de forma direta aos conhecimentos acadêmicos necessários.

2.2 Específicos

- a) Conhecer as características e a localidade da obra;
- b) Conhecer os procedimentos comerciais para contratação dos serviços;
- c) Conhecer as características e o processo executivo das estacas;
- d) Conhecer os relatórios de acompanhamento das estacas;
- e) Conhecer as características do subsolo do local da obra.

3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

- a) Coleta de dados;
- b) Levantamento dos dados da obra: sondagem à percussão(SPT), projeto de fundações e características da obra;
- c) Propostas comerciais para execução das estacas;
- d) Relatórios técnicos, provas de carga estática, teste de integridade, FVS, mapas de concretagem;
- e) Medições Físicas e Financeiras;
- c) Acompanhamento fotográfico;
- d) Conclusão.



4 HISTÓRICO

A utilização de estacas executadas por meio de escavação com trado hélice contínua (*Continuous Flight Auger – CFA*), surgiu na década de 50 nos Estados Unidos. Os equipamentos eram constituídos por guindastes de torre acoplada, dotados de mesa perfuradora que executavam estacas com diâmetros de 27,5cm, 30cm e 40cm. No início da década de 1970, esse sistema foi introduzido na Alemanha, de onde se espalhou para o resto da Europa e Japão (PENNA et al., 1999). A partir da década de 80 sofreram um grande avanço nos Estados Unidos, Japão e Europa, executadas inicialmente com equipamentos adaptados e, posteriormente, com utilização de equipamentos apropriados e específicos para a execução destas estacas.

No Brasil, foram introduzidas por volta de 1987. A princípio utilizando equipamentos adaptados, mas despertando muito interesse pelas vantagens e facilidades que o seu processo construtivo sugere. Só a partir de 1993, houve um grande progresso e desenvolvimento do uso no Brasil com a importação de equipamentos específicos com maior força de arranque e torques de até 85KN.m. Isso viabilizou-se a execução de estacas de até 800mm de diâmetro e comprimento máximo de 24m. Hoje em dia, é possível executar estacas com 1.200mm de diâmetro e 32m de comprimento.

5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

Na engenharia de fundações, nos últimos anos tem aumentado a preocupação com o uso de estacas que diminuam ou, se possível, eliminem as vibrações causadas durante sua execução, um dos grandes inconvenientes relacionado às estacas pré-moldadas.

5.1 Vantagens

As estacas hélice contínua apresentam (HACHICH, 1996):

- a) Alta produtividade, diminuindo substancialmente o cronograma da obra com utilização de apenas uma equipe de trabalho;
- b) O processo de execução não provoca distúrbios e vibrações típicos dos equipamentos geralmente utilizados para estacas cravadas, além da percussão não causar descompressão do solo;
- c) É grande a variedade de solos em que pode ser utilizada este tipo de estaca, inclusive rochas brandas, exceto na presença de matacões e rochas;

Entretanto, para solos contendo camadas de areia fofa submersa, será necessário reavaliar a utilização deste tipo de fundação;



d) Podem perfurar solos com SPT acima de 50 e a perfuração não gera detritos poluídos por lama bentonítica, eliminando os inconvenientes relacionados à disposição final do material resultante da escavação.

Outras vantagens apresentadas(ALMEIDA NETO, 2002):

- a) Execução monitorada eletronicamente;
- b) Perfuração sem necessidade de revestimento ou fluido de estabilização (lama bentonítica ou polímeros) para contenção do furo, pois o solo fica contido entre as pás da hélice;
- c) Podem ser utilizadas na presença de nível de água;
- d) A injeção de concreto sob pressão garante uma melhor aderência no contato estaca-solo.

5.2 Desvantagens

Segundo Hachich (1996) e Almeida Neto (2002), as principais são:

- a) As áreas de trabalho devem ser planas e de fácil movimentação, devido ao porte dos equipamentos, assim como o solo deve ter capacidade de suportar o peso dos equipamentos, durante seu transporte e execução da estaca;
- b) Devido a sua alta produtividade e do alto volume de concreto demandado, é necessária a presença de uma central de concreto nas proximidades do local da obra;
- c) Necessidade de um equipamento para a limpeza do material gerado durante a escavação, a exemplo de uma pá-carregadeira(**Ver anexo 15.3 – Proposta comercial**);
- d) Limitação do comprimento da estaca e armação;
- e) Necessidade de uma quantidade mínima de estacas para compensar o custo, normalmente elevado, de mobilização dos equipamentos. Sua utilização em locais distantes dos centros, onde normalmente estes equipamentos são disponíveis, tende a elevar ainda mais o custo de transporte do maquinário. Cabe ressaltar que o custo deste tipo de fundação deverá ser contextualizado no custo total da obra, ou seja, a participação do seu valor no montante total;
- f) A qualidade na execução depende da sensibilidade e experiência do operador da perfuratriz.

6 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

As estacas estudadas são parte integrante das fundações do trecho A na obra de Ampliação do Shopping Guararapes-5ª Etapa, no bairro de Piedade, no município de Jaboatão dos Guararapes-PE.



Figura 18 - Localização do trecho A na Obra em Estudo.

7 PROCEDIMENTOS PRÉVIOS À EXECUÇÃO

7.1 Proposta Técnica e Comercial(Ver anexo 16.3)

Antes da concretagem das estacas, precisa-se fazer os acerto comerciais e técnicos. É nesta etapa que se verificam as interferências e pendências ao início dos serviços.

Uma proposta bem formulada deve ter descrito claramente:

- Obrigações da empresa contratante e contratada;
- Preços praticados;
- Condições de pagamento;
- Prazo de execução;
- Validade da proposta;
- Legislação tributária.



É importante que o engenheiro da empresa contratada verifique todas as etapas que antecedem ao estaqueamento. Como, instalações provisórias de seus funcionários, central de armação das estacas e as solicitações que constam na proposta.

Também devido ao tamanho e porte dos equipamentos necessários, é de vital importância a avaliação de possíveis trajetos e itinerários para acesso ao local da obra. Também, de acessibilidade e deslocamentos da perfuratriz dentro das instalações e de capacidade de suporte do terreno com relação ao equipamento.

Deve ser previamente estudada e definida a programação de fornecimento do concreto, de maneira a evitar quaisquer atrasos e consequentes interrupções ou impossibilidade da condução dos trabalhos de concretagem.

Fato vivenciado:

Nesta obra, tivemos interferências que impediam à execução de algumas estacas. Um exemplo foi a proximidade de duas estacas do bloco BP07 (**ver anexo 16.1 Projeto de estaqueamento – Trecho A**) que estavam muito próximas da construção existente. Causando uma modificação da posição da estaca. Com isso houve um considerável atraso para a execução de todas as estacas do bloco. Uma vez que a situação foi enviada ao calculista para que o mesmo avaliasse e fizesse as modificações necessárias.

8 PROCEDIMENTO EXECUTIVO DAS ESTACAS

8.1 Controle de Execução

A técnica de fundações acompanha o homem desde a Pré-história e é uma das grandes preocupações da Engenharia Geotécnica. Já há muitos anos, é a avaliação da segurança em obras com fundação profunda, mesmo aceitando-se atualmente a ideia de que a questão da segurança e da confiabilidade de obras geotécnicas pode sofrer, em geral, mais influência do processo executivo do que propriamente da fase de projeto.

8.1.1 Verificações nas estacas

Para cada estaca, é verificado uma série de procedimentos para sua correta execução. Esse acompanhamento é realizado pela fiscalização e a empresa executora. As verificações são as seguintes:

a) Número, e localização da estaca em campo e data de execução;



- b) Dimensões da estaca;
- c) Cota do terreno no local da execução;
- d) Nível d'água;
- e) Características dos equipamentos de execução;
- f) Duração de qualquer interrupção na execução e hora em que ela ocorreu;
- g) Execução das estacas com as profundidades previstas no projeto com a cota final da ponta da estaca;
- h) No arrasamento, as cabeças das estacas, caso seja necessário, devem ser cortadas com ponteiros até que se atinja a cota de arrasamento prevista, não sendo admitida qualquer outra ferramenta para tal serviço;
- i) Após o arrasamento, obedecida a cota de projeto, a cabeça deve ser aparelhada para permitir a adequada ligação ao bloco de coroamento, ou às vigas;
- j) Desaprumo e desvio de locação;
- k) Anormalidade de execução;
- l) Comprimento real da estaca, abaixo do arrasamento.

A maioria desses controles é feito pela empresa executora. Onde as informações estão contidas na memória do computador acoplado ao trado mecânico na cabine do operador. É emitido um relatório de execução de cada estaca, contendo datas, volumes parciais, pressão, profundidades, etc. Controle do volume teórico e do volume real aplicado em cada estaca para em caso de pane no sistema da memória do computador, haver possibilidade de avaliar a estaca executada.

Durante a obra, todas as informações de cada estaca é passada à fiscalização para que sejam realizados os acompanhamentos de qualidade e medições físicas dos serviços de estaqueamento.

Em caso de dúvidas sobre uma estaca, a fiscalização poderá exigir a comprovação de seu comportamento. Se essa comprovação não for julgada suficiente e, dependendo da natureza da dúvida, a estaca deve ser substituída, ou após seu comportamento comprovado por prova de carga.

8.1.2 Equipamentos de controle

A estaca hélice contínua é monitorada na execução por meio de um sistema computadorizado específico. Existem diversos equipamentos para o monitoramento, mas o comumente utilizado no país é o aparelho chamado Taracord(**figura 7**). Estes equipamentos fornecem os seguintes dados durante a execução da estaca: profundidade, tempo, inclinação da torre, velocidade de penetração do trado, velocidade de rotação do trado, torque, velocidade de

retirada (extração) da hélice, volume de concreto lançado e pressão do concreto.



Figuras 7 - Modelo do aparelho utilizado na obra



Figura 7.1 - Com informações no momento da perfuração



Figuras 7.2 - Com informações durante a concretagem

Apesar do monitoramento fornecer o valor do sobre-consumo de concreto e a variação da seção ao longo da profundidade, a precisão e a confiabilidade destes pode ser discutível. Imprecisões e inconsistências nos dados fornecidos pelo monitoramento podem ocorrer, por diversos motivos, dentre eles: sistema de monitoramento avariado ou não calibrado de forma correta, danos nos sensores, bombas com muito uso ou sem manutenção (causando menor eficiência e conduzindo, geralmente, a erros de medida de volume de concreto e, por consequência, de pressão de injeção), medidores mal ou não calibrados e defeito nos cabos de transmissão de dados, entre outros (ALMEIDA NETO, 2002).

A precisão no valor do sobre-consumo de concreto depende da precisão do volume medido. O volume de concreto é fornecido por um transdutor de pressão que informa o volume de concreto por bombeada, ou seja, a cada pico de pressão. A medida correta do volume de concreto é muito importante, pois através dela e por meio de correlações, é possível determinar se o fuste da estaca esta íntegro, ou se está havendo seccionamento.

8.1.3 Controle dos Materiais

O controle das características do concreto deve abranger:

- a) *Slump-test* conforme NBR NM 67, de cada caminhão betoneira que chegar à obra, imediatamente antes do lançamento. O material deve ser liberado para lançamento desde que o abatimento esteja compreendido dentro da variação especificada na dosagem do concreto no projeto;
- b) Moldagem de 4 corpos-de-prova de todo o caminhão betoneira, conforme NBR 5738;
- c) Determinação das resistências à compressão simples, conforme NBR 5739, aos 7 e 28 dias de cura.

Na moldagem dos corpos-de-prova, para a determinação da resistência à compressão simples, cada amostra é constituída por dois corpos-de-prova moldados na mesma amassada, no mesmo ato, para cada idade de rompimento. Os corpos-de-prova devem estar correlacionados com as estacas e o caminhão betoneira.

Toma-se a resistência da amostra, na idade de rompimento, o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão simples.



Figura 8 - Controle tecnológico do concreto: Verificação do abatimento/espalhamento(*slump test*) de projeto. Deve-se ter bastante atenção nessa etapa, pois um concreto com o slump diferente poderá implicar em uma impossibilidade de bombeamento, integridade no fuste da estaca ou até mesmo problemas de entupimento dos equipamentos.



8.1.4 Controle de concretagem

O controle da qualidade na execução é essencial para garantir uma perfeita transmissão de carga da superestrutura para o solo. Tais controles podem ser vistos na **figura 8**. Como também nos anexos **16.4(Nota fiscal do concreto)** e **16.5(Ficha de verificação de serviço)**

É o fator que tem causado os maiores problemas em estacas hélice na prática, não só por dificuldades de se obter um concreto de qualidade devido ao processo executivo, mas também, em razão do concreto não ser de responsabilidade da empresa executora da estaca, e sim da concreteira (fornecedora de concreto), que é normalmente contratada pela construtora da obra. A substituição do pedrisco por pó de pedra, por exemplo, pode causar perda de resistência da estaca e efeito bucha no concreto durante a concretagem ou até mesmo entupimento da mangueira. Um outro aspecto que

pode causar perda de desempenho em estacas hélice contínua, diz respeito à etapa de início ou reinício da concretagem, ao término do concreto de um caminhão e início do bombeamento de concreto de um novo caminhão. Pode haver uma subida demasiadamente rápida da perfuratriz.

8.1.5 Pressão de injeção

A pressão de injeção do concreto influi na homogeneidade e integridade da estaca. A pressão normalmente utilizada é de 1 a 2 bar (100 a 200 KPa), sendo zero para os casos de execução em camadas de argilas moles ou solos muito fracos. Esta pressão também pode influir na capacidade de carga das estacas. Possivelmente, maior pressão de injeção leva a um maior confinamento lateral.

8.1.6 Sistema de injeção do concreto

Para que a estaca seja corretamente executada e produza os padrões de qualidade e desempenho, conforme previsto em projeto, é importante que o sistema de injeção de concreto (bomba, mangueira etc.), esteja em perfeito estado de funcionamento. Antes de começar a primeira estaca do dia posterior, o tubo precisa de lubrificação para permitir a fluência normal do concreto. Para esta lubrificação, costuma-se misturar dois sacos de cimento (de 50 kg) em cerca de 200 litros de água (calda de lubrificação) dentro do cocho (**Ver anexo 16.3 – Proposta técnica**). Então, a calda é lançada por meio de



bombeamento, como se a estaca estivesse sendo concretada. Quando toda a calda tiver sido lançada fora e se estiver garantido que toda a rede já está com concreto, interrompe-se o lançamento do mesmo, coloca-se a tampa do trado e inicia-se a perfuração da estaca. O descumprimento deste procedimento pode comprometer o desempenho da estaca.

8.1.7 Aceitação da Estaca(ver anexo 15.5-ficha de verificação de serviço)

A estaca é aceita desde que:

- a) Sua excentricidade, em relação ao projeto, seja de até 10% do diâmetro do círculo que a inscreva;
 - b) O desaprumo seja no máximo de 1% de inclinação, do comprimento total;
- Valores diferentes dos estabelecidos devem ser informados ao projetista para verificação das novas condições.

8.2 Processo executivo

A execução das estacas hélice contínua pode ser dividida em três etapas:

Perfuração, concretagem simultânea a extração da hélice do terreno e colocação da armadura.

8.2.1 Perfuração

A perfuração é executada por cravação da hélice no terreno(**Figura 9**), por meio de movimento rotacional provenientes de motores hidráulicos acoplados em sua extremidade, com um torque apropriado para que a hélice vença a resistência do solo, atingindo a profundidade determinada em projeto. A perfuração é executada sem que em nenhum momento a hélice seja retirada do furo.

A hélice é composta de dentes em sua extremidade inferior que facilitam a sua penetração no solo(**Figura 10**). Para os casos de terrenos mais resistentes, esses dentes normalmente são substituídos por pontas de vídea.

Para evitar a entrada de solo ou água na haste tubular, durante a fase de perfuração, existe na extremidade inferior da hélice uma tampa metálica provisória que é expulsa na concretagem. Esta tampa geralmente é recuperável.



Figura 9 – Perfuração do terreno (obra estudada).



Figura 10 – Locação da estaca no ponto determinado pela topografia. A haste de perfuração é constituída da hélice espiral, tubo central e os dentes da extremidade responsável pela retirada de solo e um tubo.

8.2.2 Concretagem

A concretagem da estaca começa depois de atingida a profundidade desejada, por bombeamento do concreto pelo interior da haste tubular. O concreto sai do caminhão betoneira, passa pela bomba estacionária (**Figura 11**), sendo injetado pela extremidade superior da haste. A tampa provisória é expulsa devido à pressão do concreto e a hélice passa a ser extraída pelo equipamento, sem girar ou, no caso de terrenos arenosos, girando muito lentamente no sentido da perfuração.

O concreto é injetado sob pressão positiva. A pressão positiva objetiva garantir a continuidade e a integridade do fuste da estaca e, para isto, é necessária a observação de dois aspectos executivos fundamentais nesta fase. O primeiro é garantir que a ponta do trado, durante a perfuração, tenha atingido um solo que permita a formação da bucha, para que o concreto injetado se mantenha abaixo da ponta da estaca, evitando que o mesmo retorne pela interface solo-trado. O segundo aspecto é o controle da velocidade de retirada do trado, de forma que sempre haja um sobre-consumo de concreto (ALMEIDA NETO, 2002).



Figura 11 – Injeção de concreto no furo da estaca, através do fornecimento do concreto do caminhão betoneira, bomba estacionária e injeção no furo sobre pressão positiva. À esquerda, uma retroescavadeira, que juntamente com os

equipamentos mencionados anteriormente formam todos o conjunto necessários à execução de cada estaca.

A resistência característica (f_{ck}) do concreto normalmente é de 20 Mpa, deve ser bombeável e composto de areia e pedrisco (Brita 0). O consumo de cimento é elevado, entre 400 à 450 Kg/m³ e é facultado o uso de aditivos plastificantes. A relação água/cimento geralmente fica em torno de 0,53 a 0,56. O abatimento do tronco de cone (*slump test*) do concreto situa-se entre 200 e 240 mm.

Assim como a perfuração, é imprescindível que a concretagem ocorra de forma contínua e ininterrupta. Desta maneira, as paredes onde se formará a estaca ficarão sempre suportadas pelo solo presente entre as pás da hélice, acima da ponta do trado, e pelo concreto que é injetado, abaixo da face inferior da hélice. Usualmente é utilizada bomba de concreto (**figura 11**) acoplada ao equipamento de perfuração através de mangueira flexível de 100 mm de diâmetro interno. O preenchimento da estaca com concreto é frequentemente executado até a superfície de trabalho, mas é possível o seu arrasamento abaixo do nível do terreno, desde que sejam tomadas as providências quanto a estabilidade do furo no trecho não concretado e a inserção da armação.

Durante a retirada do trado, a limpeza do solo contido entre as pás da hélice é procedida de forma manual (**figura 12**) ou com um limpador de acionamento hidráulico ou mecânico acoplado ao equipamento, que remove o material, sendo este, deslocado para fora da região do estaqueamento, normalmente com utilização de pá carregadeira de pequeno porte.



Figura 12 - Limpeza da hélice de forma manual com a retirada do solo entre as pás da hélice

8.2.3 Colocação da armadura

As estacas hélice contínua têm suas armaduras inseridas somente após a conclusão da concretagem e isso limita o comprimento da armadura, assim como pode inviabilizar o uso desta solução quando sujeita a esforços de tração ou quando utilizadas como elemento de contenção. A literatura internacional recomenda que as armaduras sejam instaladas por vibração, mas também são inseridas por gravidade e por compressão de um pilão.

Geralmente a armadura é inserida com o auxílio da perfuratriz e finalizada com uma retroescavadeira(**figura 13**).



Figura 13 - Colocação da armadura após a retirada do trado, onde a mesma é inserida por gravidade com auxílio de ajudantes.

9 EQUIPAMENTOS

Para execução desta estaca, utiliza-se uma perfuratriz dotada dos seguintes elementos: torre metálica vertical(**figura 14**), mesa rotativa de acionamento hidráulico, trados de hélice contínua que podem ser de vários diâmetros, sistema de monitoramento eletrônico e ferramentas de limpeza do trado.

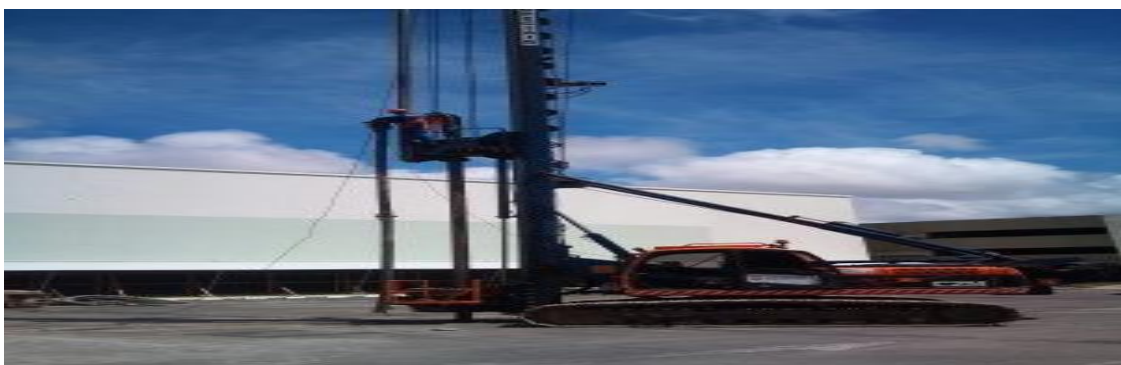


Figura 14 - Equipamento utilizado na obra.



A profundidade da estaca a ser executada determina a altura da torre metálica, sendo que sua extremidade possui duas guias, onde a inferior pode ser substituída pelo limpador do trado. A mesa rotativa é responsável pela aplicação do torque necessário para o rompimento do solo compatível com o diâmetro e a profundidade da estaca. Esta mesa possui um guincho dimensionado em função das solicitações de tração necessárias para a retirada do trado ao final da escavação. Durante a etapa de concretagem, é quem recebe a mangueira de concreto proveniente da bomba.

No Brasil, estes equipamentos são classificados em três grupos em função da capacidade executiva (principalmente relacionado ao torque) e à tração imposta pelo equipamento quando da retirada do trado cheio de solo entre as pás da hélice após o final da perfuração e durante a concretagem.

Características dos equipamentos (PENNA et al., 1999).

	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
Torque (kN.m)	30	80-100	150-250
Diâmetro Máximo (mm)	425	800	1200
Comprimento Máximo (m)	15	23	28
Tração (kN)	60-100	150-300	400-700
Peso do Conjunto (kN)	200	400	650-800

Tabela 1 – Características dos equipamentos (PENNA et al., 1999).

Com a evolução dos equipamentos ao longo dos últimos anos, os torques foram aumentados, permitindo assim a utilização de hélices com diâmetros maiores e escavação em camadas de solos mais resistentes (SPT acima de 50). A capacidade de tração do equipamento é quem determina a maior ou menor facilidade de retirada do trado durante a etapa da concretagem, processo que exige grandes esforços, devido principalmente ao seu atrito com o solo, peso do material entre as pás da hélice, peso próprio e ainda ao concreto no interior da haste. A geometria do trado deve ser estabelecida em função do tipo de solo a ser perfurado, do tipo e inclinação da lâmina de corte acoplada em sua ponta, do passo da hélice e da inclinação em relação à vertical. Estas características vão influenciar na velocidade de perfuração, na capacidade de atravessar camadas resistentes e na quantidade de solo retirado durante a descida do trado (PENNA et al., 1999).



10 CONTROLE DE DESEMPENHO

Segundo Niyama et al. (1996), existe um conjunto de procedimentos e técnicas com objetivo de verificar o desempenho de uma fundação, tais como: as provas de carga estáticas (de carregamento lento – *slow maintained load test* ou SML, a uma velocidade de recalque constante – *constant rate of penetration test* ou CRP, rápido em estágio – *quick maintained load test* ou QML, em ciclos de carga e descarga – *cyclic load test* ou CLT e cíclico – *swedish cyclic test* ou SCT), prova de carga dinâmica, PIT – Pile integrity testing, *statnamic* e células expansivas.

No caso específico da Obra em estudo, foi estudado a norma técnica NBR-12131/91 Prova de carga estática(**figura 15**) e os conceitos e procedimento de realização do PIT(Teste de integridade) da empresa PDI Engenharia.

A NBR-6122 – Projetos e Execução de Fundações (ABNT, 1996), em seu item 7.8.3.6.2, recomenda a verificação da capacidade de carga durante a execução das fundações.

A prova de carga estática é o método mais indicado para prever o comportamento real da estaca submetida aos esforços solicitantes. A NBR-6122 (ABNT, 1996) recomenda a utilização de um fator de segurança mínimo igual a 1,6 para o cálculo da carga admissível, quando se realiza um número de prova de carga adequado em uma obra, enquanto que este valor sobe para 2,0 se não forem realizadas. A norma recomenda que devem ser executadas em número de 1% do conjunto de estacas de mesmas características, respeitando-se o mínimo de uma prova de carga.

10.1 Prova de Carga Estática

Em obras com grande número de estacas, devem ser feitas provas de carga estática em, no mínimo, em 1% das estacas. As provas de carga devem ter início juntamente com o início da execução das primeiras estacas de forma a permitir as providências cabíveis em tempo hábil.

O ensaio de carregamento estático(**figura 15**) é uma metodologia bem definida e seu principal objetivo é observar o comportamento da fundação para níveis de carga crescente, até o limite de carga ou completa ruptura do sistema estaca-solo. Ionso (2000a) chama atenção sobre a opinião de alguns autores sobre a questão da prova de carga estática ser o único ensaio que reproduz as condições de trabalho de uma estaca, pois os ensaios dinâmicos não prescindirão de correlações. Existem diversos métodos para o ensaio de carregamento estático, que conduzem a diferentes resultados de capacidade de carga estática, mas aborda-se, de maneira resumida, apenas o ensaio de carregamento lento, com único ciclo de carga e descarga, conforme prescrição

da NBR-12131 – Estacas: Prova de Carga (ABNT, 1991). Nesta modalidade, o sistema estaca solo é submetido à aplicação de carga estática em estágios crescentes, com incrementos iguais, onde em cada estágio é mantida a carga até a estabilização dos recalques ou por um intervalo mínimo de 30 minutos. A estabilização dos recalques ocorre quando a diferença entre as leituras no instante t e $t/2$ resultar em até 5% do deslocamento ocorrido no estágio anterior (NBR 12.131 – ABNT, 1991). Cada incremento de carga é limitado a 20% da carga de trabalho prevista em projeto. A ruptura do sistema estaca-solo é caracterizada quando um pequeno acréscimo de carga provoca um grande recalque, denominada carga estática última.



Figura 15 – Prova de carga estática de carregamento lento – *slow maintained load test*. Toda as anotações de carregamento e deslocamento são registradas ao longo do teste. E ao fundo a estrutura de proteção de apoio que isola a área de teste de possíveis interferências externas.



Figura 15.1 – Posição dos defletômetros para verificação dos deslocamentos verticais e horizontais.



Figura 16 – Disposição das estacas de apoio, de reação, e preparação para concretagem do bloco de coroamento, para montagem da prova de carga na estaca que será ensaiada à compressão.

10.2 PIT -Teste de Integridade

O PIT é um ensaio que visa principalmente determinar a variação das características do concreto ao longo da profundidade. A forma usual do ensaio consiste na colocação de um acelerômetro de alta sensibilidade no topo da estaca sob teste(**figura 17**), e na aplicação de golpes com um martelo de mão. O acelerômetro é fixado por meio de um material viscoso, geralmente cera de petróleo. Os golpes geram uma onda de tensão, que trafega ao longo da estaca, e sofre reflexões ao encontrar qualquer variação nas características do material (área de seção, peso específico ou módulo de elasticidade). Essas reflexões causam variações na aceleração medida pelo sensor. É feito um registro da evolução dessa aceleração com o tempo. Como a onda trafega com uma velocidade fixa, conhecendo-se a velocidade de propagação da onda e o tempo transcorrido entre a aplicação do golpe e a chegada da reflexão correspondente à variação de características pode-se determinar a exata localização dessa variação.

É usual a aplicação de vários golpes sequenciais(**figura 18**), para que o equipamento PIT tire a média dos sinais correspondentes. Isso permite a

"filtragem" de interferências randômicas, sobressaindo no sinal apenas as variações causadas pelas reflexões da onda.



Figura 17 – Após o arrasamento do topo da estaca, de menor qualidade. Procede-se ao nivelamento da sua superfície e colocação de um acelerômetro de alta sensibilidade seguida da aplicação de golpes com um martelo de mão, à esquerda. E a direita, o equipamento que registra as leituras de propagação da onda no corpo da estaca.



Figura 18 – Aplicação de golpes na superfície da estaca. É usual a aplicação de vários golpes sequenciais, para que o equipamento PIT tire a média dos sinais correspondentes. Isso permite a "filtragem" de interferências randômicas, sobressaindo no sinal apenas as variações causadas pelas reflexões da onda.



Figura 19 – Procede-se o PIT em todas as estacas selecionadas. É recomendável que a área de realização do teste esteja bem nivelada, de fácil acesso ao operador e seca.

Quais os usos?

O mais comum é o de detectar falhas na concretagem de estacas de concreto moldadas "in loco". No entanto, o ensaio pode também ser usado para determinar ou confirmar o comprimento de estacas de concreto.

Como funciona?

Quando uma estaca é atingida pelo impacto de um martelo, uma onda de tensão é gerada. Esta onda se propaga ao longo do fuste com uma velocidade que é função exclusivamente das características do material da estaca. A

$$c = \sqrt{\frac{Eg}{\rho}}$$

velocidade de propagação c é dada por:

onde E é o módulo de elasticidade, g é a aceleração da gravidade e γ é a densidade do material da estaca.

Para o concreto, a velocidade de onda varia conforme suas características, mas os valores usuais de velocidade de propagação de onda para pequenas deformações (como é o caso do PIT) estão entre 3700 m/s e 4300 m/s, podendo-se dizer que 4000 m/s é um valor médio. À medida que se propaga, a onda sofre reflexões em seu trajeto. Essas reflexões podem ser provocadas por variações nas características do material da estaca, pela presença de atrito lateral ou resistência de ponta, ou pela própria ponta da estaca. Define-se como "impedância" da estaca ao termo:

$$Z = \frac{EA}{c} = A \sqrt{\frac{\gamma E}{g}}$$

onde Z é a impedância, e A é a área de seção da estaca.

Qualquer variação de impedância ao longo da estaca provoca reflexões da onda. Estas reflexões, ao atingirem o ponto onde está instalado o sensor, provocam uma variação brusca na velocidade de deslocamento da partícula neste ponto. Um aumento de impedância causa uma queda na velocidade, e uma diminuição de impedância causa seu aumento. O final da estaca se comporta como uma grande diminuição de impedância, portanto pode ser visto como um aumento de velocidade. **Ver figuras 21 e 22.**

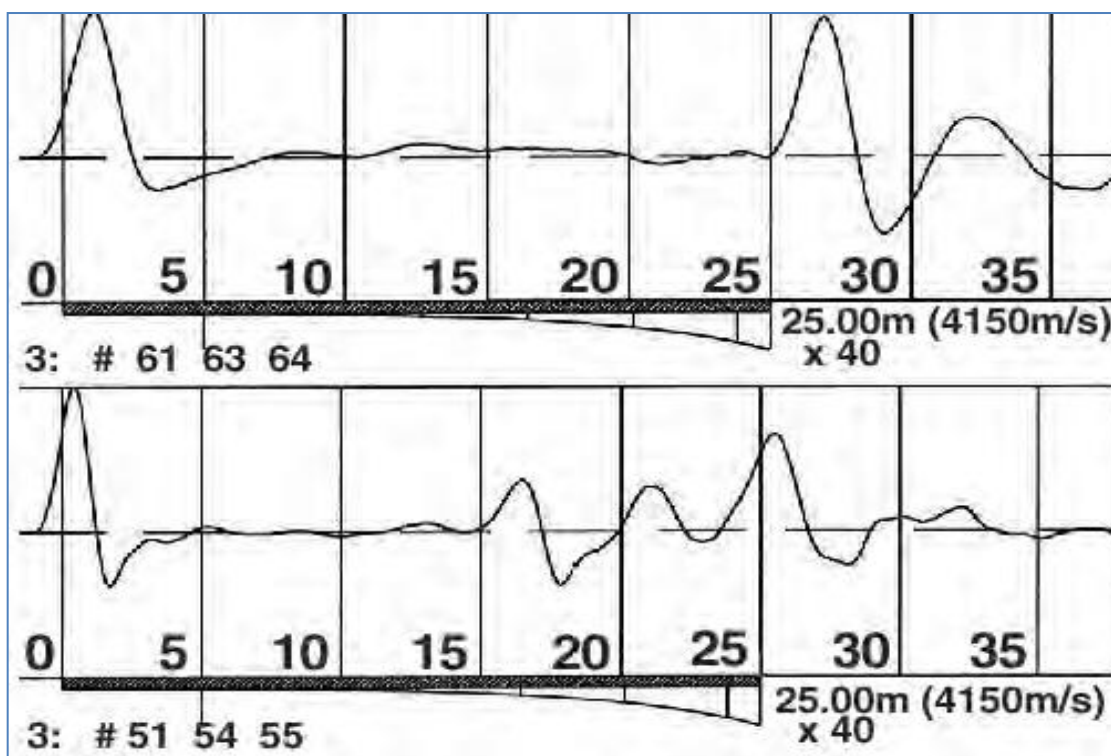


Figura 20 – Folha de rosto de um relatório padrão impresso, mostrando a propagação da onda no interior da estaca.

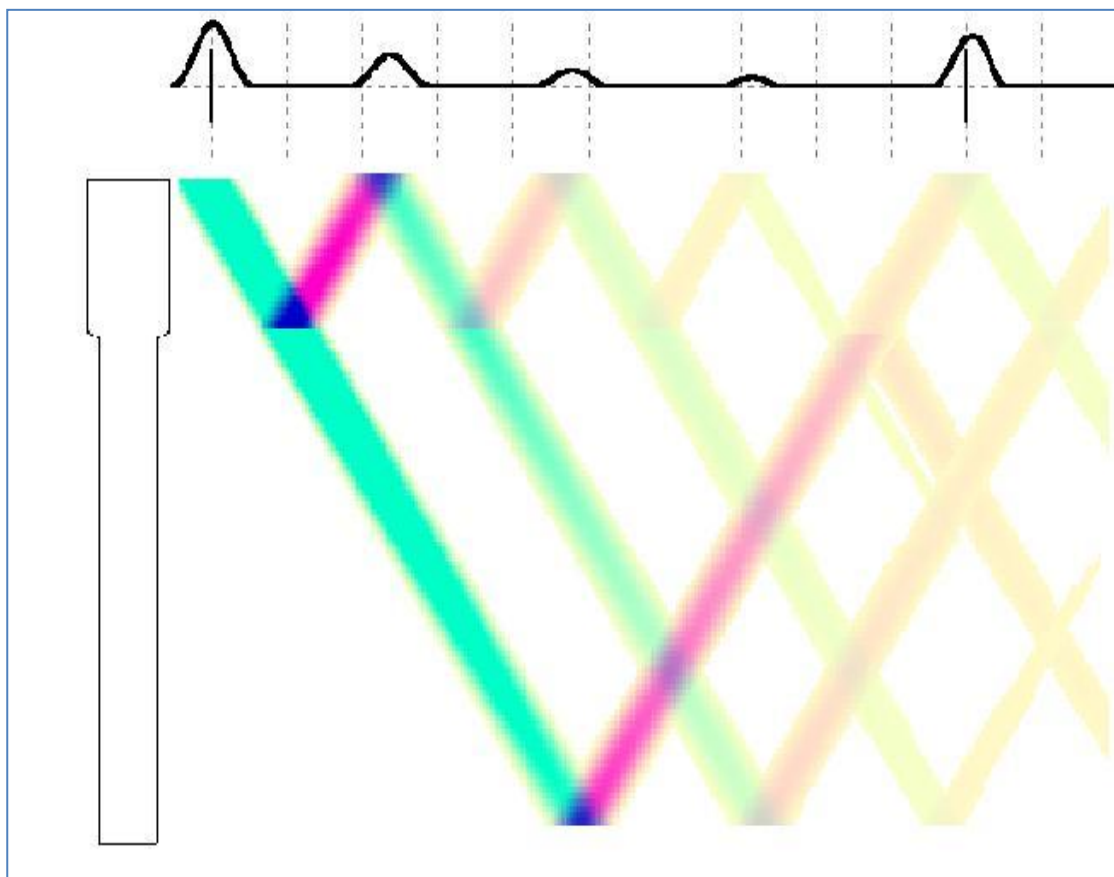


Figura 21 - Simulação do que acontece no caso de uma estaca que possui uma redução de impedância na metade superior de seu fuste.

A parte superior da **figura 21** mostra a evolução da velocidade com o tempo, que é o que mostra o equipamento PIT. Abaixo, em cores, está a trajetória da onda. Como pode ser visto, ao alcançar a diminuição de impedância parte da onda é refletida, e parte prossegue até a ponta, onde é novamente refletida. Na **figura 21** já aparece uma das dificuldades na interpretação dos sinais do PIT: Ao alcançar o topo, a parcela da onda que foi refletida pela irregularidade é novamente refletida, retornando à irregularidade onde é mais uma vez refletida para retornar ao topo. Isso causa mais um aumento na velocidade, que poderia ser confundido com uma segunda irregularidade. Portanto, qualquer irregularidade ocorrendo acima da metade do fuste da estaca torna difícil a detecção de outros eventuais danos ocorrendo abaixo dessa irregularidade.

Vamos analisar agora o que acontece no caso de uma estaca que possui um alargamento também a partir de algum ponto situado acima do meio da estaca. **Ver figura 22.**

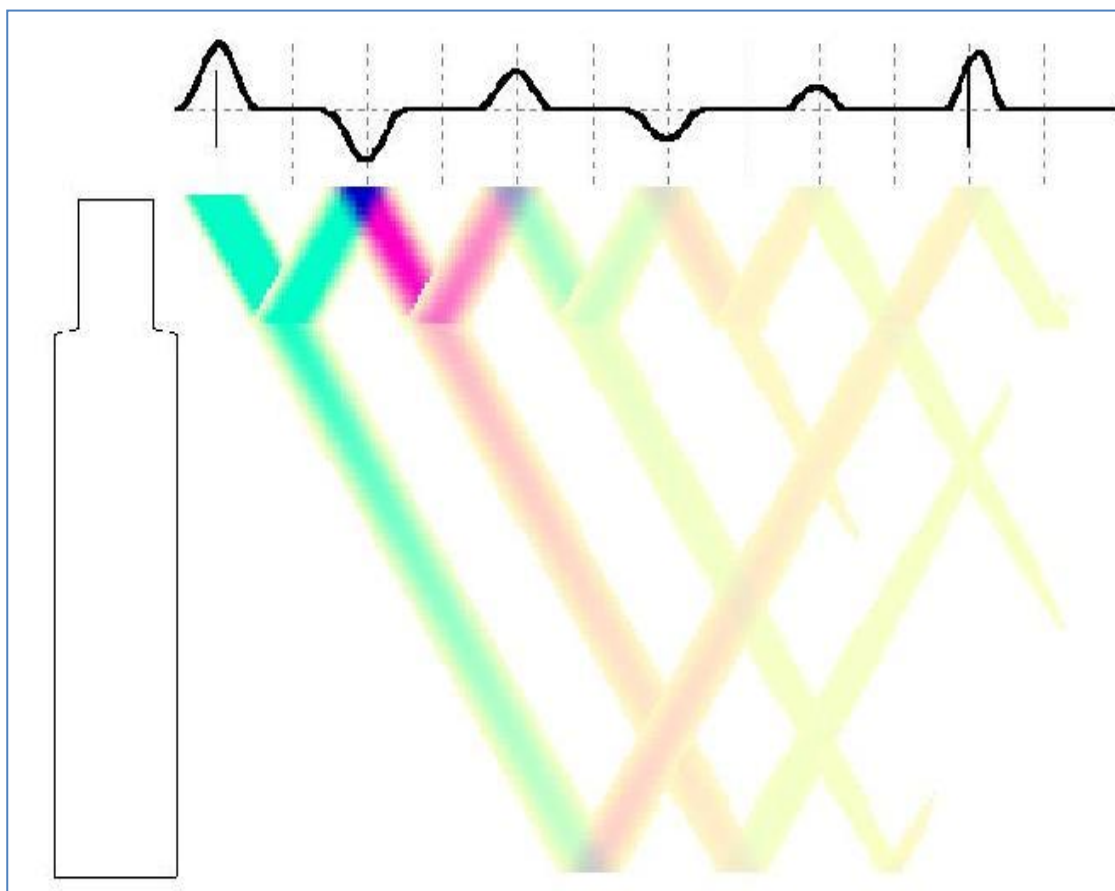


Figura 22 - Pode-se ver que agora a reflexão causada pela irregularidade é voltada para baixo, enquanto que as reflexões secundárias provocadas pela irregularidade são voltadas ora para cima ora para baixo.

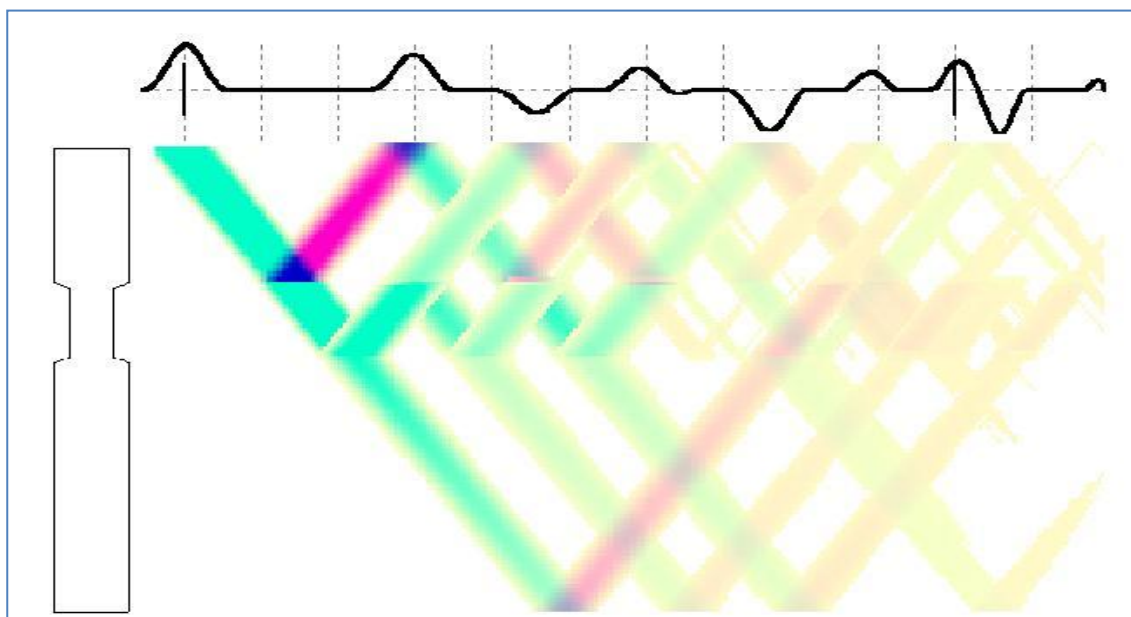


Figura 23 - Caso de um estreitamento situado na metade superior da estaca.



Por analogia, pode-se concluir que caso a estaca tenha um alargamento ao invés de estreitamento, o sinal de velocidade apresentaria um pico para baixo seguido de um pico para cima. Portanto, para localização de estreitamentos, que é geralmente o que causa preocupação, deve-se buscar picos voltados para cima, seguidos (ou não) de picos voltados para baixo. Picos na ordem inversa a essa significariam alargamentos, que normalmente não preocupam.

Dá alguma informação quanto à capacidade de carga da estaca?

Não. Para determinação da capacidade de carga da estaca devem ser usados outros processos, como o Ensaio de Carregamento Dinâmico ou Prova de Carga Estática.

É um ensaio novo?

O PIT foi inicialmente usado e desenvolvido na Europa, onde era maior a demanda por ensaios de estacas escavadas. Somente no final da década de 1980 surgiu o primeiro equipamento desenvolvido pela PDI Norte americana, e

o ensaio começou a se popularizar naquele continente. No Brasil, o primeiro equipamento PIT foi trazido pela PDI ENGENHARIA no início da década de 90.

Pode ser feito em qualquer tipo de estaca?

Para que possa ser realizado, é necessário que a estaca tenha uma área de seção que permita a colocação do sensor, a aplicação dos golpes e a propagação da onda. Isso dificulta a aplicação deste método em estacas metálicas. Nesse tipo de estaca, mesmo que se consiga posicionar os sensores e aplicar os golpes, a pequena área de seção em relação ao comprimento implica numa rápida dissipação da onda, tornando-se difícil detectar-se a reflexão da ponta. No caso de estacas pré-moldadas de concreto, essas considerações muitas vezes também se aplicam. Além disso, esse tipo de estaca costuma ter emendas. Se o contato de dois elementos emendados for absolutamente perfeito, a onda será capaz de passar pela emenda sem sofrer qualquer reflexão. No entanto, um contato perfeito na prática é impossível. Quanto maior o percentual de superfície em contato, menor a reflexão, e melhor deverá funcionar o ensaio. Em certos casos, porém, principalmente se a emenda estiver numa região de forte atrito, a parcela da



onda que passa pela emenda poderá ser pequena demais para que o equipamento seja capaz de detectar suas reflexões. Nestes casos, a estaca parecerá interrompida na emenda, quando na realidade isso não ocorre. Outra dificuldade está em estacas que apresentam várias variações de impedância ao longo do fuste. É o caso por exemplo de estacas tipo raiz. As reflexões secundárias provocadas pela primeira grande variação de área de seção que a onda encontrar podem tornar muito difícil o diagnóstico da estaca abaixo desse ponto.

Em resumo, o ensaio PIT é ideal para estacas moldadas "in loco" em geral, excetuando-se estacas raiz. Como regra geral, o ensaio tem funcionamento ótimo se a relação entre o comprimento e o diâmetro da estaca não for muito superior a 30. Se a estaca for vazada, deve-se tomar como diâmetro o de uma seção com área equivalente. Para o comprimento, pode-se deduzir trechos em água ou que atravessem regiões de solo sem atrito lateral. Isso não significa que o ensaio não possa ser feito em estacas que não atendam a esses critérios. Entretanto, nesses casos o diagnóstico poderá se limitar a um certo comprimento de estaca, ou terá que ser aceita a possibilidade do resultado não vir a ser conclusivo.

Como é o preparo das estacas?

A parte talvez mais importante para o sucesso do ensaio PIT é o preparo da estaca. É necessário primeiramente eliminar todo o concreto de má qualidade porventura existente no topo. Em seguida é necessário criar uma superfície

plana e lisa com uma lixadeira (**figura 17**). O topo da estaca deverá estar perfeitamente acessível e seco. Caso já tenha sido lançado o concreto da base do bloco ("magro"), a estaca terá que ser isolada dessa base, mediante a quebra de uma estreita região em volta da estaca. Não tem importância se houver água ao redor da estaca, contanto que o topo da mesma esteja seco, e que seja possível o acesso do operador. De maneira alguma pode ser usada argamassa ou qualquer outro material no topo da estaca. O acelerômetro e os golpes têm que ser aplicados em material idêntico ao do restante da estaca.

Não é requisito do ensaio que as estacas tenham sido cortadas até a cota de arrasamento. Entretanto, sugere-se que sempre que possível o ensaio seja feito com as estacas já nessa situação. A principal razão para isso é que, caso seja detectado algum problema mais sério entre o topo do ensaio e a cota de arrasamento, poderá ser impossível para o ensaio determinar o estado da estaca abaixo do dano. Com isso, o ensaio terá que ser repetido para essa estaca.



Quanto tempo tem que esperar entre a concretagem da estaca e o ensaio?

O processo de cura do concreto muitas vezes não é homogêneo ao longo do fuste da estaca. Assim, se for tentado o ensaio em estaca ainda em processo de cura, poderão ocorrer variações de resistência do concreto ao longo do fuste, e essas serão detectadas pelo ensaio como possíveis danos. Por essa razão, recomenda-se esperar até que o concreto atinja pelo menos sua resistência nominal, antes de ensaiar a estaca.

É possível fazer o teste se o bloco de coroamento já está executado?

Sim, apesar de que em geral os sinais obtidos nessas condições são de mais difícil interpretação. O aconselhável nesses casos é se necessário acessar o fuste através de escavação, e fazer um "nicho" no mesmo para colocação do sensor e aplicação dos golpes. Os golpes podem ser aplicados no topo do bloco, com piores resultados.

Quais as vantagens e desvantagens?

O ensaio tem vantagens que o tornaram muito popular:

- Execução extremamente rápida. Estando as estacas preparadas, não é incomum fazer-se mais de 50 ensaios por dia. **Ver figura 19;**
- É capaz de detectar danos na superfície do fuste;
- Não exige preparo durante a execução da estaca. Assim, pode ser feito em qualquer estaca da obra;
- Equipamento leve e portátil, exigindo um mínimo de recursos da obra durante os ensaios. **Ver figura 17;**
- Das poucas maneiras existentes para obter informações sobre a integridade das estacas, o PIT é sem dúvida a mais rápida e barata.

Em contrapartida, esse ensaio tem algumas desvantagens e limitações:

- Pouca precisão na avaliação da intensidade do dano. Isso pode fazer com que sejam detectados danos que não comprometeriam a utilização da estaca, com conseqüente perda de tempo para a obra;
- Dificuldade de detecção de segundo dano abaixo de uma grande variação de características do material da estaca;
- Difícil interpretação dos sinais obtidos em alguns casos, inclusive por influência do atrito lateral (que também provoca reflexões da onda);



- Impossibilidade de distinguir entre variação de área de seção e variação de qualidade do concreto (peso específico e/ou módulo de elasticidade);
- Limitação de comprimento da estaca (30 vezes o diâmetro equivalente);
- Dificuldade de detecção de dano muito próximo da ponta.

O ensaio é normalizado?

Não existe ainda norma brasileira específica para o ensaio PIT. A NBR 6122 especifica que "No caso de estacas escavadas executadas com lama bentonítica, recomenda-se a realização de ensaios de integridade em todas as estacas da obra". A nível internacional, citamos as seguintes normas:

- Alemanha (Recomendação da DGGT para futura inclusão na norma DIN)
- Austrália (AS2159-1995)
- China (JGJ 93-95)
- Estados Unidos (ASTM D-5882-96)
- França (Norme Française NFP 94-160-2; NFP 94-160-4)
- Inglaterra (Specification for Piling-Institution of Civil Engineers-capítulo 11.2)

Qual a precisão?

É em geral muito boa na determinação da localização do dano, principalmente se for possível ver uma clara reflexão de ponta, e se o comprimento da estaca for conhecido com exatidão.

No que tange à determinação da intensidade de eventual dano, o ensaio é bastante impreciso. Mesmo recursos como o programa PROFILE fornecem resultados apenas aproximados, e não funcionam em todos os casos. A interpretação do sinal do PIT não é unívoca, ou seja, existe mais de um conjunto estaca-solo capaz de gerar um determinado sinal de velocidade. Assim, deve-se sempre ter em conta que a presença de solo muito rígido firmemente agregado à estaca, ou até a presença de rocha, pode causar um falso aumento na impedância da estaca na região de um eventual dano ou falha. Por outro lado, a súbita diminuição do atrito lateral provocado pelo solo pode ser interpretada como uma redução de impedância.

É confiável?

Alguns consultores são entusiastas do método, e outros o vêm com reservas. Existem histórias de sucessos e fracassos para justificar essas duas atitudes. Contudo, o PIT é uma ferramenta útil, mas não pode ser visto como uma



verdade absoluta. Tampouco pode exigir-se que forneça resultados sempre conclusivos e incontestáveis. Entretanto, é um ensaio muito útil para detectar falhas que de outra maneira passariam despercebidas, muitas vezes com grave risco para a estabilidade da construção.

Sobre esse assunto é interessante o que diz a norma americana: "O teste de integridade pode não identificar todas as imperfeições, mas pode ser uma ferramenta útil para identificar grandes defeitos dentro do comprimento efetivo. Também, o teste pode identificar pequenas variações de impedância que talvez não afetem a capacidade de carga da estaca. Para estacas que têm pequenas variações de impedância, o engenheiro deve usar seu julgamento quanto à aceitabilidade das mesmas, considerando outros fatores como redistribuição de carga para estacas adjacentes, transferência de carga ao solo acima do defeito, fatores de segurança aplicados e requisitos de carga estrutural."

Acredita-se que o PIT é adequado para testar uma grande quantidade ou até mesmo todas as estacas de concreto em uma obra, aumentando indiscutivelmente a confiabilidade da fundação. Dos métodos de ensaio de integridade disponíveis, ele é o mais rápido e o que exige menor preparo prévio da estaca.

Existem outros processos para testar a integridade das estacas?

Além do PIT (as vezes chamado também de método sônico, ou "sonic echo"), são mencionados os seguintes processos que também permitem determinar a integridade de estacas de fundações:

1. **Método de resposta transiente** ("transient response method" ou "impulse response method") - Utiliza o mesmo equipamento que o PIT, porém interpreta os sinais no domínio da frequência.
2. **Ensaio "cross-hole"** ou "sonic logging" - Exige que a estaca seja concretada com pelo menos dois tubos metálicos ou de PVC no seu interior. A análise se baseia no fato de que o tempo entre a emissão e a recepção e a intensidade do sinal recebido dependem da qualidade do material atravessado pelo ultra-som;
3. **Método sísmico paralelo** ("parallel seismic") - Foi desenvolvido na França em meados dos anos '70, objetivando principalmente a determinação da integridade de estacas em estruturas já existentes.
4. **Ensaio de alta deformação** ("high strain integrity testing") - É na realidade um ensaio de carregamento dinâmico.
5. **Obtenção de testemunhos por meio de broca** ("core drilling")
6. **Prova de Carga Estática**



11 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

São relacionados a seguir alguns problemas e orientações importantes na execução de estacas hélice contínua, referentes ao subsolo.

11.1 Solos muito resistentes

A execução neste tipo de terreno merece uma atenção especial, pois para garantir o comprimento mínimo da estaca, é necessário algumas vezes, “aliviar” a perfuração, ou seja, girar o trado parado para quebrar o atrito e possibilitar o avanço. Tal procedimento, na medida em que transporta o solo, provoca desconfinamento do terreno e, assim, redução da capacidade de carga. Este alívio, também pode ser necessário, em algumas vezes na extração da hélice. Na ocorrência desta situação, Penna et al. (1999) recomenda reduzir a carga sobre a estaca do que correr o risco de comprometer o trado ao ser forçado a penetrar muito na camada resistente.

11.2 Camada de argila mole confinada

A execução em camadas de argilas moles confinadas é problemática em relação a um elevado sobre-consumo de concreto e à ruptura do solo em razão da pressão do concreto. Na concretagem, tem de haver um controle rigoroso da subida do trado, para garantir o sobre-consumo, e assim, a integridade da estaca. Como o solo é frágil e o concreto é injetado sob pressão, o sobre-consumo deverá ser grande, por ruptura do solo desta camada. Normalmente por estes motivos, concreta-se sob pressão nula nesta camada (ALMEIDA NETO, 2002).

11.3 Camada de argila mole superficial

O maior problema, nesta situação, é o peso do equipamento que pode ser excessivo para a capacidade de suporte do terreno. Em alguns casos, toda camada é retirada através de escavação até se atingir uma camada de maior capacidade de carga.

Por falta de capacidade de suporte do solo, a concretagem não pode ser feita também com pressão. Normalmente a pressão de concretagem para este tipo de solo é zero. Por isso, recomenda-se armar a estaca ao longo de toda camada mole. Cita-se ainda a possibilidade, do trado hélice contínua, puxar o



equipamento de execução para baixo, com a hélice ficando instável ou até mesmo tombar antes da perfuração.

Com relação à execução da estaca, a concretagem deve ser feita até atingir a cota do terreno, pois, caso contrário, pode haver desmoronamento de solo que pode contaminar o concreto da cabeça da estaca (ALMEIDA NETO, 2002).

11.4 Camadas de areias puras na região da ponta

Neste tipo de terreno, deve-se ter cuidado para garantir a resistência de ponta. Para isto, deve-se iniciar a concretagem com giro lento do trado, no sentido da introdução do trado, de modo a criar um componente ascendente e evitar a queda de grãos de areia. Esse giro deve ser lento para minimizar o efeito de transporte, evitando assim, o desconfinamento do solo (ALMEIDA NETO, 2002).

12 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Qualquer obra de engenharia civil exige um conhecimento mínimo de mecânica dos solos. É necessário conhecer as diversas camadas do subsolo e determinar as suas propriedades mecânicas. A obtenção destas propriedades pode ser feita através de ensaios de laboratório ou de campo. Na prática, entretanto, há predominância quase que total dos ensaios “in situ”, ficando a investigação laboratorial complementar as informações obtidas no campo. Existem vários ensaios de campo, dentre os quais estão citados aqueles que estão relacionados com a resistência dos solos:

- O “Standard Penetration Test” – SPT;
- O “Standard Penetration Test” com medidas de torque – SPT-T;
- O ensaio de penetração de cone – CPT;
- O ensaio de palheta – “Vane Test”;

O SPT, também chamado de sondagem a percussão ou de simples reconhecimento, é sem dúvida, o ensaio mais realizado na grande maioria dos países, inclusive no Brasil.

Este trabalho apresenta apenas a descrição do SPT, tendo em vista que foi este o ensaio utilizado na obra em estudo para o dimensionamento das fundações. Além dos resultados de prova de carga estática e teste de integridade das estacas para verificação do dimensionamento.

12.1 Sondagem de simples reconhecimento com SPT

Este ensaio é normatizado no Brasil pela NBR-6484 (ABNT, 2001), que consiste basicamente na cravação do amostrador padrão no solo, através de queda livre de um martelo de 65 kg, caindo de uma altura de 75 cm. As características do amostrador estão especificadas na referida norma. Previamente à execução das sondagens, determina-se em planta, no terreno a ser investigado, a posição dos furos que serão perfurados (**ver anexo 16.2 Relatórios de sondagem**). A NBR 8036 (ABNT, 1983) determina como deve ser realizada a programação das sondagens de simples reconhecimento para fundações de edifícios. Nestes casos, procura-se dispor os furos nos limites de projeção do edifício, com distância de 15 a 30 metros e não alinhados. Nas investigações preliminares de áreas extensas para estudo de viabilidade, a distância entre os furos é de 50 à 100m.

Para iniciar uma sondagem, monta-se sobre o terreno, no ponto onde estão locados os furos, um cavalete de quatro pernas; em seu topo é montado um conjunto de roldanas, por onde passa uma corda, geralmente de sisal. Este conjunto auxiliará no manuseio e levantamento do “peso”. Com o auxílio de um “trado cavadeira”, perfura-se o terreno até a profundidade de 1m para o começo da penetração dinâmica. Através de sucessivas quedas do “martelo”, penetra-se 45 cm do amostrador, sendo anotado o número de golpes para cada avanço de 15 cm (NBR- 6484, ABNT, 2001). A soma do número de golpes necessários para a penetração dos primeiros 30 cm é conhecido como N_i (SPT inicial) e a soma para os últimos 30 cm é o N_f (SPT final) ou N .

Segundo Hachich (1996), a sondagem à percussão é um procedimento geotécnico de campo, capaz de amostrar o solo e, quando associado ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), mede a resistência ao longo da profundidade perfurada, portanto, ao realizar este ensaio, pretende-se conhecer:

- O tipo de solo atravessado, a partir da retirada de uma amostra deformada, a cada metro de perfuração;
- A espessura de cada camada;
- A resistência (N) oferecida à cravação do amostrador padrão, a cada metro perfurado;
- A posição do nível ou dos níveis d'água, quando encontrados durante a perfuração.

Estas informações são necessárias para o cálculo da tensão admissível do solo, escolha do tipo de fundação a ser adotada, cota de assentamento do elemento de fundação, dimensionamento da fundação, estimativa da capacidade de carga e recalque da fundação.

13 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO LOCAL DA OBRA

Foram realizados ensaios de campo do tipo SPT (*Standart Penetration Test*), conforme **anexo 5.1 – Relatórios de sondagem do trecho A**.

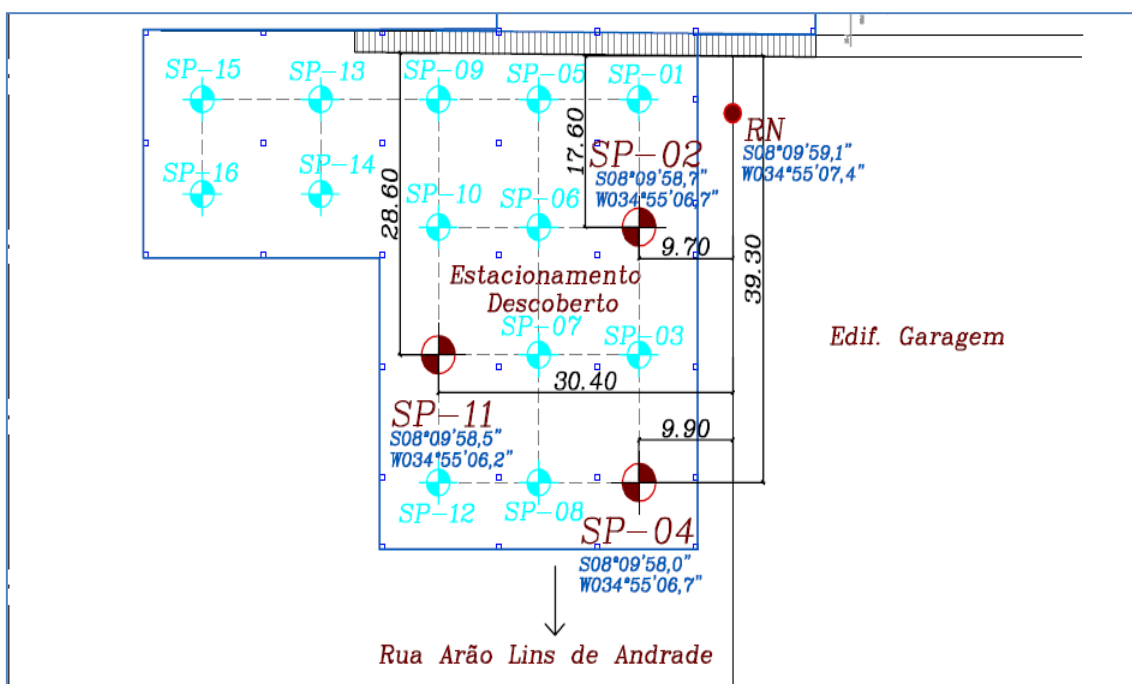


Figura 24 – Croqui de localização dos furos da sondagem a percussão (ENSULO 2012).

O desenho de locação dos furos e os relatórios de sondagem foram fornecidos pela empresa ENSULO, que é a mesma que presta serviços de geotecnia e consultoria na obra em estudo.



Figura 25 – Localização da obra no município de Jaboatão dos Guararapes-PE (<http://maps.google.com.br/maps>, acesso em 04/10/2013).



14 CONCLUSÕES

Antes, durante e após a conclusão do estaqueamento, o técnico, estagiário, auxiliar ou engenheiro que irá acompanhar os serviços deverá conhecer muito bem as proposta técnicas e comerciais das empresa contratadas. Pois saberá claramente suas obrigações e as de seus terceirizados. E poderá argumentar corretamente sobre algum problema que vier a ocorrer.

Convocar ao local da obra os responsáveis por cada empresa e conversar sobre todos os aspectos relevantes ao estaqueamento. Normalmente existem algumas cláusulas contratuais que se tornam negociáveis.

Manter uma boa relação com a subcontratada tanto com funcionários ligados diretos à produção quanto com a gestão. Agiliza o cumprimento das tarefas e soma créditos para futuros trabalhos contratados.

Realizar um acompanhamento físico e financeiro desprovido de informações falsas e tratar todos os imprevistos de forma honesta. Trás confiança e credibilidade a ambas as partes, contratante e contratado. Credibilidade que muitas vezes se transforma em descontos nas medições e favores prestados na obra. Como empréstimo de algum equipamento, ferramenta ou até mesmo mão-de-obra.

Mostrar segurança nas informações passadas e ter uma adequada postura no dia a dia soma ao profissional respeito de todos os envolvidos. Sem deixar-se ou envergonhar-se de fazer qualquer questionamento. Um Engenheiro humildade ganha elogios.

A responsabilidade deve ser concentrada. Isso reduz a possibilidade de erro ou desencontro de informações. Como liberação das estacas que serão executadas, pedidos à central de concreto, orientações acerca do projeto, transferência de equipamentos ou mão-de-obra, horário do início e fim dos serviços, programações extraordinárias, solicitações da contratada e esclarecimentos sobre o mobilização e desmobilização da terceirizada.

Contudo, é sempre aconselhável dividir os acontecimentos e decisões sobre os serviços. Isso serve com um seguro da continuidade do estaqueamento.

Ser organizado e metódico já resolve a maior parte no cumprimento das responsabilidades. Manter a documentação de acompanhamento bem



separada e guardada com pelo menos com duas cópias, salvaguarda a contratante em caso de perda, extravio ou auditoria de qualidade.

Conferir item à execução de cada estaca, facilita o trabalho dia-a-dia e a sua conclusão.

É imprescindível conhecer e estudar o assunto relacionado a execução dos serviços. Saber de cada conceito, procedimentos e comentários ajudará a compreender rapidamente o que acontece diariamente nas fases executivas, de controle e suporte às modificações de projeto.

Um profissional que detém o conhecimento e sabe aplicá-lo de forma objetiva têm seu processo de aprendizado acelerado. Isso vale desde uma conversa com a produção quanto com o setor de engenharia.

Saber passar uma explicação em linguagem compreensível permite ao explicador ser um esclarecedor de dúvidas.

A capacidade de visualizar a situação de vários ângulos, a calma e paciência para tomar decisões deve ser sempre buscada. Somada ao senso questionador produz uma boa qualidade de profissional.

Não deve-se confundir os bons profissionais com aqueles que tomam decisões rápidas e fáceis. Uma informação ou decisão bem fundamentada na maioria das vezes é demorada. E muitas delas requerem consulta à livros, sites ou terceiros.

A priorização das atividades é eficaz e eficiente. Aquele que consegue ordenar suas ideias ou pendências a serem realizadas simplifica substancialmente sua vida, tanto pessoal como profissional. O amadurecimento e o respeito adquirido tornam-se precoces nesse tipo de profissional.

A análise crítica dos procedimentos executivos, relatórios de controles e até mesmo a postura em campo ou escritório, deve ser nutrida. Sempre procurando a forma mais adequada de ser levantada. Respeitando-se também à ordem hierárquica aplicada. “Pergunte primeiro ao seu chefe, antes do chefe dele”.

E a sabedoria em um engenheiro não o impele a solucionar todos os problemas. Se conhecê-lo e tiver uma solução, excelente. Se não, consulte, pergunte e aprenda.



15 REFERÊNCIAS

- ABNT (1991). **Estacas – Prova de carga estática**: NBR-12131. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 12 p.
- ALBUQUERQUE, P. J. R. (2001). **Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de carga instrumentadas em profundidade**. 260 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, USP. São Paulo.
- ALMEIDA NETO, J. A. (2002). **Estacas hélice contínua e ômega: aspectos executivos**. 187 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, USP. São Paulo.
- ALONSO, U.R. (2000a). **Contribuição para a formação de um banco de dados de prova de carga estáticas em estaca Hélice Contínua**. 4º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. São Paulo, 2: 430 - 450.
- BRANCO, C.J.M.C.; MIGUEL, M.G. & TEIXEIRA, R.S. (2000). **Estudo do comportamento de estacas hélice contínua em solo argiloso mediante provas de carga e métodos semi-empíricos**. 4º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. São Paulo, 1: 116 -126.
- CAPUTO, A.N.; TAROZZO, H.; ALONSO, U.R.; ANTUNES, W.R.; (1997). **Estaca hélice contínua: projeto, execução e controle**. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica do Solos e Engenharia Geotécnica – Núcleo Regional de São Paulo. 59p.
- GEOFIX (1998). **Hélice contínua monitorada**. Catálogo técnico. São Paulo: Geofix.
- ENSOLO (2012). Relatório Técnico. Jaboatão dos Guararapes-PE.
- HACHICH, W.R.; TAROZZO, H. (1996). **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Editora PINI.
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Feira_de_Santana, acesso em 15/03/2009.
- Fundações: teoria e prática, Hachich, W.; Falconi, F.; Saes, J.L.; Frota, R.G.Q.; Carvalho, C.S. & Niyama, S. (eds), Editora PINI Ltda, São Paulo, SP, pp. 723-750.
- Informações na Obra;
- <https://sites.google.com/site/naresi1968/naresi/estaca-helice-continua-monitorada>;
- <http://www.pdi.com.br/PIT-port.htm> - PIT



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Centro de Tecnologia e Geociências

Curso de Engenharia Civil

16 ANEXOS



16.1 Projeto de Estaqueamento



16.2 Relatórios de sondagem



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Centro de Tecnologia e Geociências

Curso de Engenharia Civil

16.3 Proposta técnica e comercial



16.4 Nota fiscal do concreto das estacas



16.5 Ficha de verificação de serviços



16.6 Problemas ocorridos



16.7 Mapas de concretagem



16.8 Relatórios de rompimento de corpos-de-prova



16.9 Medições físicas e financeiras



16.10 Relatórios de prova de carga estática



16.11 Relatórios de teste de integridade