

## ANÁLISE DE INTEGRIDADE E PROVA DE CARGA DE FUNDAÇÕES TIPO HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA

Antônio Rodrigo do Carmo Moreira<sup>1</sup>

*rdcm007@gmail.com*

Fernando Augusto Ferreira do Valle<sup>2</sup>

*fafvalle@hotmail.com*

Alessandra Maria de Sousa Barroso<sup>3</sup>

Grace Kelly Paz da Silva<sup>3</sup>

Jefferson Luís Paz de Oliveira<sup>1</sup>

Jaqueline dos Santos Farias<sup>4</sup>

Pedro Marleson dos Santos Pantoja<sup>4</sup>

### RESUMO

O campo geotécnico oferece uma gama diversificada de ensaios laboratoriais e de campo que fornecem dados a respeito da interação solo/estrutura, onde é possível verificar o comportamento mecânico de fundações e, a partir das análises dos resultados obtidos, atestar se estas atendem aos padrões aceitáveis de segurança. Desta forma, buscou-se através deste trabalho, analisar e avaliar através dos ensaios PIT (Pile Integrity Testing) e PDA (Pile Driving Analyzer) a fundação do tipo hélice contínua monitorada de uma futura edificação em execução na cidade de Santarém, no Oeste do Estado do Pará. No ensaio PIT foi verificada a integridade estrutural das estacas ensaiadas, e pelo PDA foram registrados uma série de dados que permitiram avaliar a capacidade de carga dinâmica das estacas, obtendo-se desta forma um indicativo da resistência destas. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, principalmente pelo fato de que as estacas se comportaram de maneira íntegra e atingiram valores aceitáveis de capacidade de carga.

**PALAVRAS-CHAVE:** fundações, ensaios, hélice contínua monitorada.

### ABSTRACT

The geotechnical field offers a diverse range of laboratory and field tests that provide data on soil/structure interaction, where it is possible to verify the mechanical behavior of foundations and, based on the analysis of the results obtained, attest to whether they meet acceptable standards of security. In this work, the objective was to analyze and evaluate the Pile (Pile Integrity Testing) and PDA (Pile Driving Analyzer) tests the continuous-monitored propeller-type foundation of a future building in execution in the city of Santarém, State of Pará. In the PIT assay the structural integrity of the piles tested was verified, and by the PDA a series of data were registered that allowed to evaluate the dynamic load capacity of the piles, obtaining in this way an indicative of the resistance of these piles. The results were satisfactory, mainly due to the fact that the stakes behaved in an integrated way and reached acceptable values of load capacity.

**KEYWORDS:** foundations, tests, monitored continuous propeller.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil vem crescendo com o passar dos anos, tanto em estudos para aprimorar os conhecimentos adquiridos no passado, quanto em tecnologia avançada para melhorar equipamentos utilizados, com isto, ganha-se métodos construtivos que oferecem boa qualidade em um curto prazo de tempo. Desta forma, uma obra deve ser executada de acordo com o projeto concebido, qualificação da mão de obra e acompanhamento por responsável técnico, para se obter resultados satisfatórios, com viabilidade técnica e econômica.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil, CEULS/ULBRA, Santarém/PA

<sup>2</sup> Professor Engenheiro Civil M.Sc, CEULS/ULBRA e IFPA, Campus Santarém/PA

<sup>3</sup> Engenheira Civil, CEULS/ULBRA, Santarém/PA

<sup>4</sup> Discente do Curso Técnico em Saneamento, IFPA, Santarém/PA

Na construção de edificações e estruturas de modo geral, um dos aspectos de vital importância para a estabilidade global é o mecanismo de transferência dos carregamentos (que compreende o peso da estrutura e as cargas acidentais e de ocupação) para o maciço do solo, ou mesmo rocha. Esta transferência, identificada comumente por interação solo x estrutura, requer a adoção de elementos de fundação adequados para cada caso.

Partindo-se desse pressuposto, a fundação é um dos principais elementos de uma construção, pois ela suportará as cargas de uma edificação, como alvenaria, lajes, vigas e pilares. Portanto, é fundamental conhecer as características e tipologia do solo onde será realizada a fundação da edificação.

A escolha do tipo de fundação de um edifício depende de vários fatores, como a intensidade da carga dos pilares para fundação, o perfil do solo, a profundidade do nível de água, topografia do terreno, resistência do solo, a existência das construções vizinhas, tipos de materiais disponíveis no mercado e o custo final da obra, os quais interferem diretamente na execução correta da fundação do edifício.

Nesse sentido, existem dois tipos de fundações: fundações rasas e fundações profundas. As fundações rasas são aquelas em que a carga da estrutura é transmitida diretamente ao solo pela fundação. Já as fundações profundas são aquelas que transferem a carga por efeito de atrito lateral do elemento com o solo e por meio de um fuste.

Em se tratando de fundações profundas, a NBR 6122 (ABNT, 1996) especifica que “as estacas são elementos de fundação profunda executada inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de operário”. A evolução dos métodos construtivos também proporcionou o surgimento de ferramentas para dar suporte no controle de qualidade e garantir a segurança de edificações. Dentre estas ferramentas, pode-se citar os ensaios geotécnicos, realizados tanto em campo como em laboratórios, que buscam diagnosticar e atestar o aceitável comportamento de fundações, por exemplo.

Dentre a diversas e variadas ferramentas a Geotecnia dispõe de dois ensaios extremamente úteis para a verificação de integridade e capacidade de carga de estacas, que são, respectivamente, o ensaio PIT (Pile Integrity Testing) e o PDA (Pile Driving Analyzer). Desta forma, buscou-se através deste trabalho as análises dos ensaios PIT e PDA objetivando-se verificar a integridade estrutural e a capacidade de carga das estacas de fundação de uma edificação em construção na cidade de Santarém/PA, onde em sua concepção, a fundação tipo hélice contínua foi a opção mais adequada como seu elemento estrutural. Na obra em estudo foram executadas um total de 123 estacas, sendo 57 com diâmetro de 300 mm com carga admissível de 420KN, e 66 com diâmetro de 400mm com carga admissível de 750KN. A resistência à compressão do concreto adotada foi de 20 MPa.

## **2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Estaca Profunda Tipo Hélice Contínua Monitorada**

Antunes e Tarozzo (1998) afirmam que a estaca hélice contínua foi desenvolvida nos Estados Unidos na década de 50, difundindo-se em toda a Europa e Japão na década de 80, sendo executada pela primeira vez no Brasil no ano de 1987 com equipamentos aqui

desenvolvidos, montados sob guindastes de esteiras, apresentando torque de 35 KNm e diâmetro de hélice de 275 mm, 350mm e 425 mm, que permitia a execução de estacas até 15m de profundidade. Estes autores relatam ainda que a partir da metade da década de 90, muitas máquinas destinadas a execução de estaca hélice contínua foram importadas da Europa, principalmente da Itália, para o Brasil, com torque de 90 KNm a 200KNm, diâmetros de hélice de até 1000mm e com capacidade para executar estacas de até 24m de profundidade.

Esse avanço possibilitou a execução de estacas com maior rapidez e segurança, visto que com a chegada de equipamentos mais modernos, a produção de estacas aumentou em um menor espaço de tempo. Assim, a utilização desse tipo de estaca obteve grande crescimento, se comparada as demais. Comprovando isto, estudos realizados por Van Impe na Europa (Grã-Bretanha, Áustria, Itália, Holanda, Alemanha, Bélgica e França), verificaram a tendência de decréscimo na utilização das estacas escavadas, sendo substituída pelas estacas hélice contínua (HARTIKAINEM & GAMBIN apud MORAES, 2011).

Almeida Neto (2002) corrobora afirmando que a primeira publicação técnica brasileira sobre esta estaca ocorreu no Rio de Janeiro em 1989, em que foram relatadas as primeiras pesquisas sobre este tipo de estaca no Brasil e a partir disso, a estaca hélice contínua passou a ser mais conhecida por parte das empresas, que analisaram sua alta produtividade e rapidez na execução, ocasionando posteriormente o crescimento da utilização deste modelo construtivo no País.

Deste período até os dias de hoje muitos foram os investimentos das empresas especializadas em estaca hélice contínua monitorada e, atualmente, já é possível executá-las até 32 m de profundidade, com diâmetro de até 1200 mm e com torque disponível de até 390 KNm (ALBUQUERQUE apud TAVARES, 2009).

A partir da crescente utilização de estacas hélice contínua, tal fenômeno proporcionou a evolução dos equipamentos empregados para a sua execução, os quais passaram a apresentar melhor capacidade de perfuração, com grandes diâmetros, e resultados de torque mais elevados. Essa evolução possibilitou a produção de equipamentos desenvolvidos a nível nacional, apresentando uma caixa rotativa na parte inferior da torre, conhecido como sistema “Bottom Drive CFA”.

O sistema Bottom Drive CFA significa “guiado por baixo”, segundo CZM - Indústria de Equipamentos (2015), este possui um mecanismo de posicionamento do cabeçote de rotação ao pé da torre de perfuração, que desloca para baixo todo centro de gravidade do equipamento permitindo um melhor aproveitamento da perfuratriz no alcance de maiores profundidades e diâmetros de perfuração.

Segundo ABESC (2011), as estacas hélice contínua são indicadas especialmente para regiões e áreas densamente ocupadas, pois seu ruído e vibrações são extremamente baixos, excelente para construção em terrenos com camadas resistentes a outros tipos de fundação.

Naresi (2007) destaca que este revolucionário conceito possibilitou o projeto e fabricação de uma ampla linha de perfuradoras de hélice contínua (CFA) no Brasil que, após abastecer o mercado nacional, acabou por gerar um corredor exportador para Europa, Ásia e América. A Figura 1 evidencia o processo executivo de estacas hélice contínua que consiste basicamente na perfuração do terreno com o trado, concretagem da estaca mediante retirada simultânea do trado e inserção de armadura ao final do processo.



Figura 1: Fases de Execução da Estaca Hélice Contínua.

Fonte: NARESI, 2007.

Quanto ao controle de execução, segundo Hachich (1998), existem equipamentos computadorizados que registram os dados para maior precisão de concretagem. Esses dados obtidos são baseados na profundidade em relação a ponta do trado com o nível do solo, assim como a velocidade de rotação (mesa rotatória), o torque, a inclinação da torre, a pressão de concreto e o volume acumulado desde o início da concretagem e sobre o consumo parcial (CP) nos últimos 50 cm concretados e sobre o consumo total (CT), ambos em percentuais.

Esse controle tem grande função em prevenir patologias de execução, tais com segregação do concreto, seccionamento do fuste, desabamento de solo, que é ocasionado pela alta rotação do trado, a subida do mesmo em velocidade não adequada e o controle de pressão de concretagem. Pode haver o controle da estaca, de perfuração e da concretagem, onde temos na estaca o diâmetro, passo, inclinação X/Y, profundidade, volume e superconsumo. No controle da perfuração e da concretagem temos data de início, data de término, hora de início, hora de término e duração, também encontramos o controle da velocidade de avanço (VA), momento de torção (MT), velocidade de subida (VS), velocidade de rotação (VR) e pressão do concreto (PC).

Almeida Neto (2002) diz que o controle tecnológico da concretagem é fundamental para a garantia de qualidade da estaca, o controle tem que ser feito através de corpo de prova, slump test e controlar a quantidade de água adequada aplicada no caminhão betoneira para chegar com um bom slump. O autor recomenda, se possível, não adicionar água, usar sempre aditivo. Por ser um dos itens de maior importância, o slump tem causado os maiores problemas na execução das estacas hélice na prática, não só por dificuldades de se obter um concreto com mesmo slump, mas também devido ao processo executivo.

A estaca hélice contínua possui importantes vantagens quando comparada a outros tipos de estacas, por esse motivo é a mais utilizada nos centros urbanos do Brasil. Mas assim como todos os tipos de fundações, a estaca hélice contínua possui algumas desvantagens que devem ser levadas em consideração quando for escolhido este tipo de fundação. Dentre as vantagens da estaca hélice contínua destacam-se, segundo Delalibera (2011): elevado grau de qualidade; provoca pouca ou nenhuma vibração; apresenta pouco incômodo de barulho para a sua execução; pode ser executada abaixo do nível de água; possibilita a execução próxima da

divisa do terreno; pode ser utilizada em qualquer tipo de solo; alta capacidade de carga das estacas diminuindo o tamanho dos blocos; grande atrito lateral das estacas devido ao bombeamento do concreto; controle e monitoramento eletrônico da qualidade das estacas; rapidez na execução dos trabalhos e limpeza do canteiro de obra; grande poder de perfuração do equipamento, podendo atravessar camadas de solo com SPT alto.

Segundo Domingues e Keunecke (2009), as patologias mais características nas estacas tipo hélice contínua, pode-se afirmar que é no controle tecnológico do concreto que tem grande influência na resistência da mesma, levando em consideração que é muito comum o operador do equipamento subir o trado muito rápido, formando-se vazios, sendo assim não preenchido devidamente de concreto, ocorrendo o seccionamento do fuste da estaca.

## 2.2 Ensaio PIT (Pile Integrity Testing)

Segundo Carmix (2012), o testador de integridade de estacas PIT é utilizado nos ensaios de integridade de baixa deformação. O PIT pode ser utilizado em estacas do tipo hélice contínua, estacas moldadas in loco, estacas pré-moldadas, ou estacas de madeira.

O ensaio consiste em posicionar no topo da estaca um acelerômetro de alta sensibilidade e aplicar sucessivos golpes sobre esta com um martelo instrumentado. Desta forma, os golpes geram uma onda de tensão que trafegam ao longo da estaca e sofrem reflexões ao encontrar qualquer variação nas características do material. Assim é possível detectar estrangulamento do fuste da estaca, nichos de concretagem, fissuras e trincas. Os resultados do acelerômetro são digitalizados para um computador portátil (Figura 2) onde são inseridos no programa PIT, que é utilizado para a interpretação dos registros recebidos. O programa registra a aceleração e o tempo para cada golpe aplicado na estaca (SETE ENGENHARIA, 2015).



Figura 2: Equipamento PIT.  
Fonte: FUNDATEST, 2015.

Segundo FUNDATEST (2015), a verificação da integridade é realizada examinando-se a forma da curva de velocidade contra o tempo. Qualquer alteração de impedância ocorrida ao longo da estaca pode ser vista como uma brusca variação de velocidade, sendo que a velocidade de propagação esperada em estacas de concreto situa-se entre 3.500 m/s a 4.400 m/s.

A velocidade de propagação da onda de tensão é dada pela relação da Equações I e II.

$$C = \sqrt{\frac{gE}{\gamma}} \quad (I)$$

$$Z = E.A/C = \rho.C.A \text{ (Impedância)} \quad \rho = \gamma/g \quad (II)$$

Onde:

E = Módulo de Elasticidade do material da estaca.

$\gamma$  = Peso Específico do material da estaca.

A = Seção transversal da estaca.

$\rho$  = Densidade Específica.

g = Gravidade.

### 2.2.1 Condições para Ensaio

Carmix (2012) salienta, para que o ensaio seja realizado corretamente, alguns procedimentos devem ser verificados com bastante atenção:

- A instalação do acelerômetro e aplicação dos golpes de martelo de mão deve ser feita sem obstáculos, de forma que nada impeça seu acesso;
- O acelerômetro deve ser fixado na superfície da estaca com Vaselina Petro Wax;
- No caso de estacas com topo úmido, deve-se secar através de maçarico;
- Obter medida do perímetro da estaca no topo do ensaio;
- Testar estacas com pelo menos sete dias após a concretagem;
- Fornecer projeto de fundação; as sondagens; ficha de controle de execução; informações de acontecimentos durante a construção de uma determinada estaca.

O autor destaca ainda que é necessário que a estaca esteja preparada, sendo plana e lixada para receber os sensores, como ilustra a Figura 3a. A Figura 3b indica o posicionamento do sensor e a Figura 3c mostra os golpes de martelo sendo registrado pelo aparelho.



Figura 3: Execução do ensaio de integridade de estaca – PIT.

Fonte: FUNDATEST, 2015.

### 2.3 Ensaio de Carregamento Dinâmico - PDA (Pile Driving Analyzer)

O ensaio de carregamento dinâmico tem como objetivo determinar a capacidade de ruptura da interação estaca/solo, para carregamentos estáticos axiais. Diferentemente das tradicionais provas de carga estáticas, principalmente pelo fato do carregamento ser aplicado dinamicamente, através de golpes de um sistema de percussão específico, conforme ilustrado

na Figura 4 (SETE ENGENHARIA, 2015), em que se observa a instalação e preparação para execução do ensaio.



Figura 4: Ensaio de Carregamento dinâmico em Estaca Hélice Contínua.  
Fonte: FUNDATEST, 2015.

De acordo com Fugro (2015), os sensores fornecem informações, também chamadas de sinais, que são condicionados e processados por um equipamento chamado Pile Driving Analyzer (PDA). Estes sensores permitem monitorar a propagação das ondas decorrentes do golpe do martelo ou bate-estaca, sendo armazenados e processados pelo equipamento. O equipamento PDA calcula a capacidade de carga de uma estaca baseado nos sinais de força e velocidade no topo desta. A força é obtida por meio de sensores de deformação, cujo sinal é multiplicado pelo módulo de elasticidade do material, e pela área de seção na região dos sensores (GEOFUND, 2015).

No Brasil, sua metodologia é normatizada pela ABNT NBR 13208:1994 - Ensaio de Carregamento Dinâmico. De acordo com os critérios da NBR 6122 (ABNT, 1996) é recomendável que 5% de um estaqueamento seja submetido a esse tipo de ensaio (FUGRO 2015). Segundo GEOFUND (2015), o ensaio com o PDA tem como objetivo obter os seguintes dados:

- A capacidade de carga da estaca na ocasião do ensaio;
- As tensões dinâmicas durante a cravação (ou recravação) da estaca. Para diminuir a possibilidade de dano durante sua instalação ou recravação, é importante que as tensões na estaca sejam mantidas dentro de limites aceitáveis;
- A integridade da estaca, que frequentemente deve ser verificada durante e após a instalação ou execução desta;
- O desempenho do martelo utilizado na cravação, dado importante para otimização da produtividade e do controle do estaqueamento.

### 2.3.1 Análise CAPWAP

Este programa utiliza o sinal gravado de velocidade para calcular, baseado em um modelo assumido do solo, a curva de força em função do tempo, na seção da estaca ao nível dos sensores eletrônicos (GEOMECH, 2012). Fugro (2015) sintetiza que “os dados obtidos com a prova de carga dinâmica devem ser submetidos à análise CAPWAP, para que se possam

efetuar ajustes sucessivos de um sinal calculado numericamente, buscando-se reproduzir, da melhor forma possível, o sinal dinâmico medido em campo”. O autor relata ainda que o modelo é iterativamente aprimorado até que se obtenha o melhor ajuste entre as curvas de força medida e força calculada. Ao final da análise são impressos os resultados pelo programa CAPWAP.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de Integridade estrutural PIT em estacas moldadas “*in loco*” materializaram-se em 123 estacas com diâmetros de 300mm e 400mm, que se constituem em parte integrante das fundações da edificação. Para cada uma das estacas testadas, os registros de aceleração obtidos em campo foram integrados e gravados. Posteriormente, as curvas individuais de velocidade assim obtidas foram selecionadas e nos procedimentos de análise e diagnóstico as curvas que caracterizam os sinais de velocidade foram amplificadas exponencialmente de modo a tornarem mais nítidas as reflexões de prováveis anomalias em profundidade.

O registro de velocidade esperado para estacas com as características geométricas das estacas ensaiadas configura-se com reflexão de velocidade positiva correspondente ao topo da estaca ensaiada, variações de velocidade incipientes ao longo do fuste e reflexões de velocidade na extremidade inferior que caracterizam o final da estaca.

A velocidade média de propagação da onda compressiva de baixa intensidade das estacas é de 3,86m/ms, o que caracteriza concreto nos limites aceitáveis de qualidade e resistência. A Figura 5 a seguir evidencia a execução do ensaio.



Figura 5: Execução do ensaio de integridade de estaca – PIT.

Fonte: Autores, 2015.

O item a da figura acima indica o preparo das estacas para o ensaio; o item b demonstra o lixamento para fixação de sensores e equipamentos PIT; no item c verifica-se o ajuste de posicionamento do sensor e por final no item d observa-se os golpes do martelo e registro dos dados pelo equipamento.

O Ensaio de Carregamento Dinâmico – PDA teve por objetivo principal a verificação da capacidade de carga da fundação e da integridade das estacas ensaiadas. Nesta etapa foram instrumentadas estacas do tipo hélice contínua de diâmetros iguais a 30 cm e 40 cm. Os ensaios foram realizados em conformidade com a ABNT NBR 13208:2007 – Estacas: Ensaio de Carregamento Dinâmico.

A instrumentação foi realizada através da fixação de um par de transdutores de deformação específica e de um par de acelerômetros piezo-elétricos, todos devidamente calibrados. Os sensores eletrônicos de força e de aceleração foram fixados no fuste da estaca, dispostos dois a dois, diametralmente posicionados, de modo a detectar e compensar os efeitos de flexão, que em geral ocorrem devido à excentricidade na aplicação dos golpes do martelo. Em seguida foi aplicado uma série de golpes com alturas de queda crescentes de modo a definir a curva carga x deslocamento. Os sinais advindos dos sensores eletrônicos foram condicionados, analisados e armazenados em um Analisador de Cravação de Estacas (PDA), modelo PAL, devidamente calibrado e de última geração. Os dados obtidos em obra foram então transferidos para arquivos eletrônicos para posterior análise

Os ensaios foram realizados utilizando-se bate-estacas com dispositivo de aplicação de impacto (pilão) tipo queda livre com 50 KN com sistema de amortecimento formado por coxim de madeira compensada. A partir da realização do ensaio PDA foi possível apresentar resultados preliminares pelo método CASE utilizando-se parâmetros inicialmente estimados da estaca e do solo. Posteriormente aferiram-se os parâmetros da estaca por meio da análise dos sinais de força e velocidade obtidos e reprocessaram-se os cálculos utilizando-se o valor do fator de amortecimento resultante da análise CAPWAP. A Figura 6 abaixo ilustra a execução do ensaio conforme os critérios de montagem e leitura descritos acima.



Figura 6: Execução do Ensaio PDA na estaca.

Fonte: Autores, 2015.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Análise do ensaio PIT

A partir da análise dos resultados obtidos no estudo das 123 estacas, verificou-se que em relação ao ensaio PIT, de acordo com os reflectogramas na Figura 7, as estacas P41-E3 e P80-E1 encontraram-se com concreto de baixa resistência, e as demais estacas encontraram-se estruturalmente íntegras.

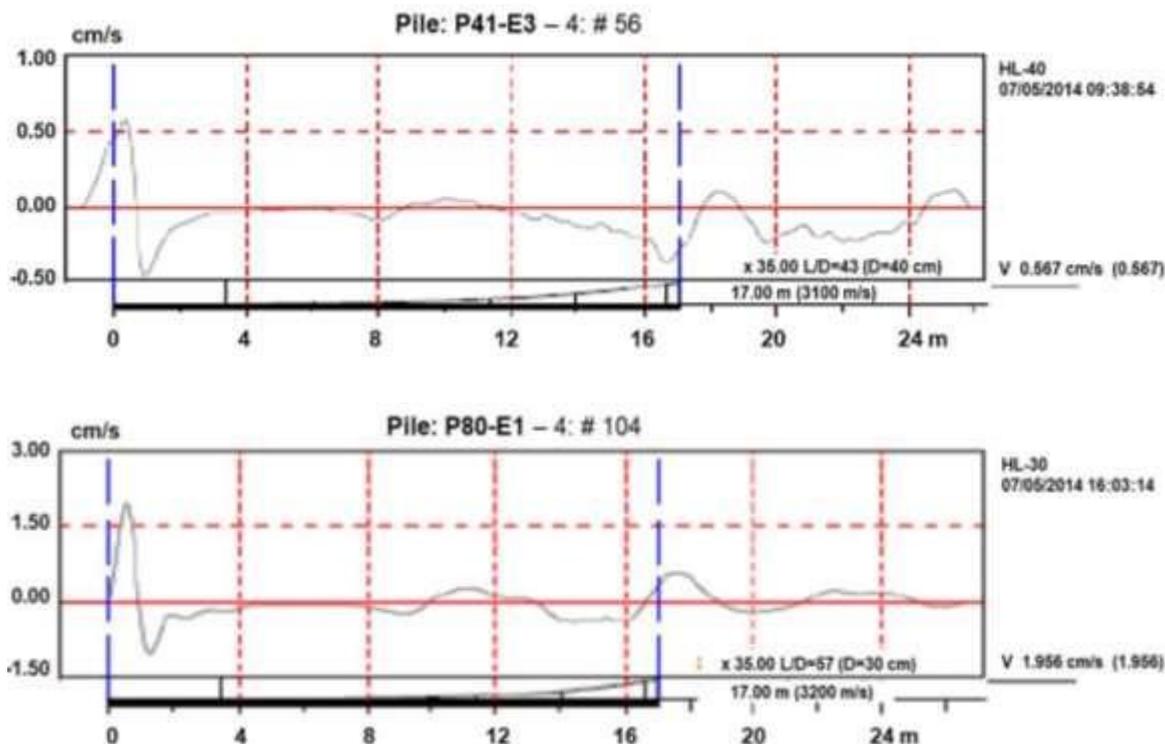


Figura 7: Reflectogramas das estacas P41-E3 e P80-E1.

Fonte: GEOMECC, 2014.

Na Figura 8 estão os dados obtidos para todas as estacas ensaiadas, onde evidencia-se o comprimento de cada estaca juntamente com a faixa de integridade. É possível notar que todas as estacas atingiram valores de integridade satisfatório.

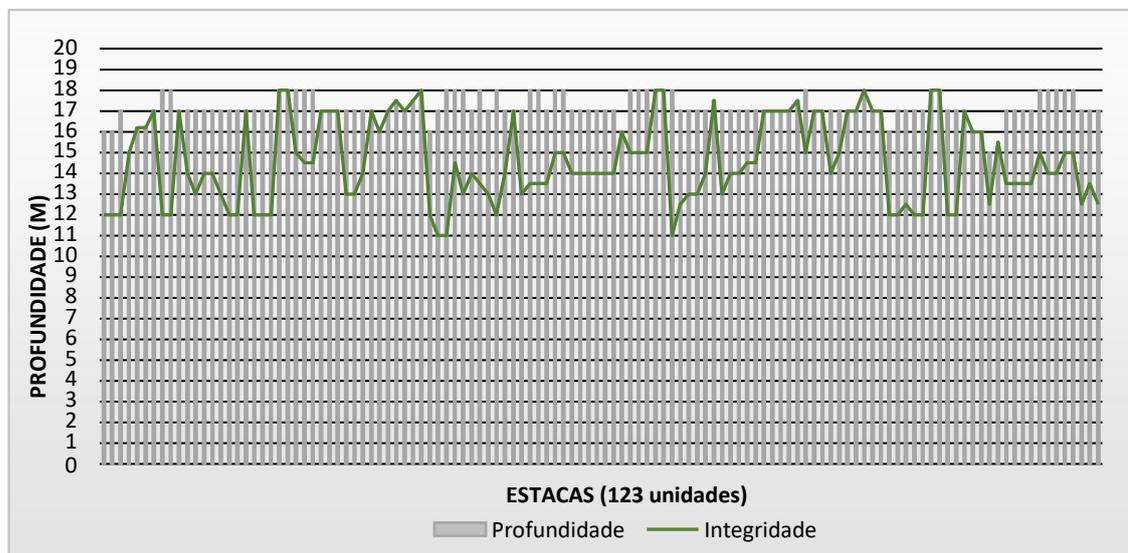


Figura 8: Dados de integridade das estacas obtidos.

Fonte: GEOMECC, 2014.

Quando o ensaio PIT indica algum resultado que apresenta um valor abaixo do esperado é analisado o terreno no entorno desta estaca, verifica-se os relatórios de sondagem nos pontos mais próximos deste elemento, se for identificada uma alteração do terreno no ponto em que se apresenta a irregularidade, ou resultado abaixo do esperado, considera-se que

não existe problema na estaca, mas que o equipamento identificou uma mudança significativa de solo, foi o que ocorreu no caso do local em estudo, visto que um problema na estaca apresentaria um resultado muito mais irregular do que foi observado.

#### 4.2 Análise do ensaio PDA

Para análise por meio do programa CAPWAP utilizaram-se os golpes correspondentes à máxima mobilização de resistência do solo. Na Tabela 1 são apresentadas as características de algumas das estacas ensaiadas e de maneira resumida, na Tabela 2, são mostrados os principais dados obtidos através da análise CAPWAP.

Tabela 1: Características de algumas estacas.

Estaca	Diâmetro (cm)	Área de seção (cm <sup>2</sup> )	Comprimento		
			Total (m)	Sensores (m)	Enterrado (m)
EP47 E03	40	1257	17,20	16,30	16,10
EP52 E01	40	1257	18,70	17,80	17,70
EP53 E03	40	1257	18,70	17,70	17,50
EP64 E01	40	1257	18,60	17,70	17,50
EP75 E01	30	707	17,60	16,70	16,50
EP76 E01	30	707	17,70	16,80	16,60
EP80 E01	30	707	17,70	16,90	16,70
EP83 E02	30	707	17,80	17,00	16,80

Fonte: SONDACIL, 2014.

Tabela 2: Resultados da análise CAPWAP de algumas estacas.

Estaca	Resistência (kN)			Resistência (%)			Nº Golpes	Altura de Queda do Martelo (cm)
	Total	Lateral	Ponta	Lateral	Ponta	Jc		
EP47 E03	1320	1149	171	87,0	13,0	0,43	7	20-40-60-80-100-120-140
EP52 E01	1140	1047	93	92,0	8,0	0,18	7	30-60-90-120-150-170-200
EP53 E03	1502	1353	149	90,0	10,0	0,43	7	30-60-90-120-150-170-200
EP64 E01	1284	1109	175	86,0	14,0	0,37	7	30-60-90-120-150-170-200
EP75 E01	954	844	110	88,0	12,0	0,59	6	20-40-60-80-100-120
EP76 E01	838	748	90	89,0	11,0	0,81	5	30-60-90-120-150
EP80 E01	901	811	90	90,0	10,0	0,62	5	30-60-90-120-150
EP83 E02	757	677	80	89,0	11,0	0,30	6	30-60-90-120-140-150

Fonte: SONDACIL, 2014.

Na Tabela 3 são apresentados os valores máximos das tensões medidas na região dos sensores durante os ensaios dinâmicos.

Tabela 3: Tensão máxima durante os ensaios.

Estaca	Tensão de Compressão média dos 2 sensores (MPa)	Tensão de Compressão máxima dos 2 sensores (MPa)	Tensão de tração (MPa)
EP47 E03	9,4	16,4	2,6
EP52 E01	10,5	15,1	1,5
EP53 E03	13,3	14,2	2,7
EP64 E01	12,0	12,3	2,3
EP75 E01	12,4	13,9	3,0
EP76 E01	12,5	16,9	3,9
EP80 E01	11,2	11,5	2,8
EP83 E02	8,4	8,7	1,8

Fonte: SONDACIL, 2014.

A Tabela 4 apresenta as resistências calculadas pelo método CASE. Foi utilizado o fator de amortecimento dinâmico durante análise CAPWAP.

Tabela 4: Resistências máximas mobilizadas.

Estaca	Resistência (kN)	JC	Nº golpe
EP47 E03	1314	0,43	7
EP52 E01	1142	0,18	7
EP53 E03	1493	0,43	7
EP64 E01	1272	0,37	7
EP75 E01	956	0,59	6
EP76 E01	833	0,81	5
EP80 E01	899	0,62	5
EP83 E02	757	0,30	6

Fonte: SONDACIL, 2014.

Com os resultados obtidos em campo (relacionados nas tabelas 01, 02, 03 e 04) foi possível apresentar dados preliminares pelo método CASE, utilizando parâmetros inicialmente estimados da estaca e do solo, depois se reprocessou os cálculos utilizando a análise CAPWAP. Com base nos resultados obtidos após as duas análises, as estacas apresentaram-se com capacidade de carga suficiente para suportar a estrutura da edificação que foi definido em projeto.

## 5 CONCLUSÃO

Como visto, foram executadas na obra em estudo 123 estacas de fundação, do tipo hélice contínua. Desse total, foram escavadas 57 estacas de diâmetro de 300 mm com carga admissível de 420KN, no qual foi utilizado aço CA-50 para as armaduras transversais com diâmetro de 10mm x 6m de comprimento e armaduras longitudinais com aço CA-60 com diâmetro de 6mm e espaçamento de 15 cm; e 66 estacas de diâmetro de 400mm com carga admissível de 750KN, no qual foi utilizado aço CA-50 para as armaduras transversais com diâmetro de 12,5mm x 6m de comprimento e armaduras longitudinais com aço CA-60 com diâmetro de 6mm e espaçamento de 15 cm. E para garantir a segurança das estacas, as mesmas passaram por ensaios de integridade e capacidade de carga, através dos métodos PITE PDA, onde obtiveram resultados satisfatórios.

Após as verificações da resistência estrutural das estacas, baseadas nos ensaios de prova de carga, o PIT (Pile Integrity Testing) e o PDA (Pile Driving Analyzer), em que foram analisadas 123 estacas, os resultados indicaram que apenas duas estacas apresentaram baixa resistência, porém os valores determinados nestes dois elementos não evidenciaram-se significativamente ao ponto de causar problemas para a fundação na obra em estudo. Uma vez que foi analisado o terreno no entorno das duas estacas e foram encontradas algumas alterações no solo que modificaram os resultados do ensaio. As demais estacas mostraram-se totalmente íntegras dentro do padrão estabelecido pelas normas técnicas, em conformidade com os relatórios gerados pelos ensaios.

No ensaio de PDA (Pile Driving Analyzer), com os resultados obtidos em campo foi possível apresentar dados preliminares pelo método CASE, utilizando parâmetros inicialmente estimados da estaca e do solo, depois se reprocessou os cálculos utilizando a análise CAPWAP. Com base nos resultados obtidos após as duas análises, as estacas apresentaram-se com capacidade de carga suficiente para suportar a estrutura do prédio que foi definido em projeto.

Ainda a respeito do ensaio PDA, os autores do método sugerem, na classificação de danos de estacas, que valores de PDA abaixo de 70% indicam que a estaca se encontra degradada. Essa classificação é arbitrária, e não implica necessariamente no impedimento da utilização desta. A utilização de estacas nestes casos depende do tipo de serviço que a mesma deverá executar e da localização do dano (LTD), desde que a mesma apresente capacidade de carga satisfatória. Especial cuidado deve ser tomado caso à estaca seja submetida a esforços de tração ou laterais, ou em caso de presença de substâncias corrosivas no solo. Em geral, os valores de eficiência dos pilões de gravidade utilizados no Brasil variam entre 30% e 60%. Eventuais resultados obtidos enquadrados nesta faixa podem ser justificados, dentre outras possibilidades, à imprecisão no levantamento do mesmo na altura de queda especificado ou informação referente ao peso do martelo equivocado.

Vale ressaltar que tanto para a execução das fundações de obra em estudo como para a realização dos ensaios, foram utilizando equipamentos de última geração oferecidos pelas empresas contratadas nessas especialidades. para que as execuções das estacas e o monitoramento fossem feitas da melhor maneira possível, sem que houvesse grandes imprevistos na obra.

Assim, a partir dos estudos realizados e dos resultados obtidos é possível concluir que o acompanhamento técnico de profissionais capacitados em canteiros de obra é algo imprescindível para a garantia do bom funcionamento da concepção de uma edificação, sendo a realização de ensaios uma ferramenta indispensável para a detecção ou prevenção de possíveis falhas.

## REFERÊNCIAS

- ABESC, 2011. **Fundação por hélice contínua**. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem. Disponível em > [http://www.abesc.org.br/tecnologias/tec-fundacoes/sistemas\\_fundacoes\\_fhcon.html](http://www.abesc.org.br/tecnologias/tec-fundacoes/sistemas_fundacoes_fhcon.html). Acesso em: 20 de setembro de 2015.
- ALMEIDA NETO, J. A. **Estacas hélice contínua e ômega: aspectos executivos**. 187 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, USP. São Paulo. 2002.
- ANTUNES, W. R.; TAROZZO, H. et al. **Execução de fundações profundas**. In: HACHICH, W. et al. Fundações: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. p. 345-348.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- CARMIX (2012). **Teste de Integridade P.I.T.** Disponível em> [http://www.carmix.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Portuguese\\_PIT.pdf](http://www.carmix.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Portuguese_PIT.pdf). Acesso em: 05 de novembro 2015.
- CZM Industria de Equipamentos (2015). **Sistema Bottom Drive-CFA**. Disponível em> [www.czm.com.br/website/?menu=Patente&submenu=Bottom %20CFA](http://www.czm.com.br/website/?menu=Patente&submenu=Bottom%20CFA). Acesso em: 25 de setembro 2015.

DELALIBERA, 2011. **Fundações por hélice contínua invadem grandes centros urbanos.** Disponível em > <http://www.cimentoitambe.com.br/fundacoes-por-helice-continua-invadem-grandes-centros-urbanos/>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.

FUGRO (2015). **Ensaio de Carregamento Dinâmico-PDA.** Disponível em > <http://www.fugroinsitu.com.br/Ensaio-de-Carregamento-Dinamico-PDA.aspx>. Acesso em: 05 de novembro 2015.

FUNDATEST (2015). **Preparo das estacas P.I.T.** Disponível em > <http://fundatest.com.br/imagens/Preparo-das-estacas-PIT.pdf>. Acesso em: 05 de novembro 2015.

GEOFUND (2015). **Estacas hélice contínua.** Geofund fundações especiais. Disponível em < <http://www.geofund.com.br/p=229>>. Acesso em :05 de setembro 2015.

HACHICH, W. et al. **Fundações: teoria e prática.** 2 ed. São Paulo: Pini, 1998.

<http://sete.eng.br/ensaios-de-integridade-i-37834-servico-37836>. Acesso em: 05 de novembro 2015.

KEUNECKE, L; DOMINGUES, C. et al. **Estaqueamento tipo hélice contínua monitorada.** Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis – SC, 2009.

MORAES, G. A. **A importância dos procedimentos de operação e manutenção do equipamento de hélice contínua.** Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curso de Engenharia Civil, Universidade da Amazônia, Belém, PA. 2011.

NARESI (2007). **Estaca Hélice Contínua Monitorada.** Especialista em fundações pesadas e geotecnia. Juiz de Fora – MG. Disponível em <https://sites.google.com/site/naresi1968/naresi/estaca-helice-continua-monitorada>>. Acesso em: 05 de maio 2015.

SETE ENGENHARIA (2015). **Ensaio de Integridade – P.I.T – FV.** Disponível em > Disponível em > <http://sete.eng.br/ensaios-de-integridade-i-37834-servico-37836>. Acesso em: 05 de novembro 2015.

TAVARES, C. A. A. **Elaboração e aplicação de uma metodologia de controle de qualidade para o processo executivo de estacas hélice contínua monitoradas.** Dissertação de mestrado, Publicação EDM 009A/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2009.