

# **INSTRUMENTAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE FUNDAÇÕES POR ENSAIOS TIPO PDA: Um estudo de caso**

Diego Antônio Corrêa Mariano<sup>1</sup>

Profa. Dra. Laísa Cristina Carvalho<sup>2</sup>

## **RESUMO**

O ensaio de carregamento dinâmico é de grande importância quando se pensa em segurança da obra, garantia de conclusão e redução de patologias. A necessidade de expansão e adequação dos prédios públicos, faz com que as obras sejam cada vez melhores executadas, seguindo todos os padrões e normas vigentes. Para que as empresas tenham controle sobre seus procedimentos operacionais e assim consigam comprovar seus métodos executivos, a cada dia mais são necessárias fiscalizações e auditorias que trazem aos contratantes mais segurança, e aos contratados a certeza de estarem cumprindo rigorosamente seus contratos. Para que sejam feitas análises e apresentados resultados é necessário conhecer os pré estudos do local e as consequências das intervenções. A investigação do solo garante informações sobre sua composição, se há presença de água e resistência, com estas o eng. calculista consegue dimensionar as fundações e como deverão ser executadas. Serão avaliadas a execução de todas as estacas e serão apresentados os resultados referente a condição de cada uma delas. Foram avaliados desde o equipamento utilizado, e suas condições e capacidade de trabalho, Sondagem de solo, projetos, fundações prontas e o concreto. As NBR 6122 e NBR 6484 definiram as condições técnicas a serem cumpridas e deste modo poderá o resultados afirmativos garantirem ao executor a continuidade da obra, e ao contratante que sua expectativa seja alcançada.

Palavras-chave: Conhecimento, Resultado, Segurança.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil pelo centro Universitário do Sul de Minas, e-mail: diego.mariano@alunos.unis.edu.br

<sup>2</sup> Professora Doutora e Mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Minas Gerais, e-mail: laisa.carvalho@unis.edu.br.

## **1 INTRODUÇÃO**

Atualizada em 2019, a NBR 6122 trata especificamente do projeto e execução de fundações. A norma dá instruções e diretrizes a respeito de tudo que envolve o processo de levantar uma edificação. A NBR 6122 (ABNT, 2019) “regula o projeto e a execução da fundação de todas as estruturas de engenharia civil. Isso quer dizer que tanto obras pequenas quanto grandes, residenciais ou comerciais, precisam aplicar a norma”.

A norma acima não será aplicada nas seguintes exceções:

- Fundações que têm aplicação restrita, como sapatas estacadas, radier estacados, estacas de compactação e melhoramento do solo;
- Fundações em desuso, como caixões pneumáticos e outros.

Assim sendo, se a obra não utilizar nenhuma destas técnicas de fundação, deve seguir a NBR 6122 (ABNT,2019).

O objetivo geral desta pesquisa foi comprovar se as fundações do prédio em estudo foram executadas conforme legislação vigente, trazendo assim ao contratante a segurança necessária para sua continuidade.

## **2 FUNDAÇÕES**

Ao se analisar a NBR 6122 (ABNT, 2019), as fundações são definidas como estruturas responsáveis por absorver e transmitir toda carga da edificação ao solo. Quando executada corretamente, a fundação garante estabilidade à construção.

Atribui-se a responsabilidade ao engenheiro projetista ou calculista de dimensionar toda carga e distribuição da edificação sobre os pilares, uma fundação mal dimensionada poderá ocasionar problemas que podem chegar a ser irreversíveis.

De acordo com o Veloso (2008) as fundações mais comuns são:

- Sapatas/ Fundação superficial constituída em concreto armado em formato de placa onde são apoiados colunas, pilares e paredes.

- Blocos de Fundação: Elemento de fundação rasa conforme NBR 6122/2019, os blocos de fundação são dimensionados sem a necessidade de serem armados já que as tensões de tração atuantes nesses elementos deverão ser resistidas pelo concreto em virtude das dimensões do mesmo, sua principal função é distribuir carga dos pilares e elementos de fundação.
- Radier: Laje de concreto com espessura mínima de 10 cm com tendo como função distribuição da carga evitando recalque primário da edificação, sua utilização mais comum são em casas térreas e obra de baixo peso e complexibilidade
- Estacas: São mais de uma dezenas de técnicas diferentes de execução e cada uma apropriada para um caso específico, sendo as mais comuns no mercado atualmente classificadas como moldadas “*in loco*” e as pré moldadas.

Segundo Milititsky (2016), para ser definido o tipo de fundação, é necessário saber três fatores primordiais.

- Peso da edificação;
- Nível do lençol freático;
- Geotecnia do solo.

Para que sejam obtidas informações sobre lençol freático, geotecnia e eficiência do solo, faz-se necessária uma sondagem de solo. A sondagem mais comum é a Sondagem a Percussão ou apenas Sondagem SPT (*Standart Penetration Test*). De acordo com Berberian (1973), a sondagem SPT ou sondagem à percussão, é um processo de exploração e reconhecimento do subsolo. Com origem inglesa, a sigla SPT (*standard penetration test*) significa ensaio de penetração padrão. A NBR 6484 (ABNT, 2001) prescreve a metodologia correta para a execução da sondagem de simples reconhecimento de solos com (SPT).

Segundo Cavalcante (2002), “toda sondagem SPT começa com a cravação do amostrador, e a investigação se faz a cada metro de solo perfurado. O resultado consiste na obtenção do tipo de solo, sua resistência e a presença ou não de água, (lençol freático) bem como a profundidade da rocha ou se é uma superfície impenetrável.”

### 3 METODOLOGIA

Este artigo tem por finalidade avaliar a execução das fundações do prédio padrão P3, versão 3.1 da Obra A, incluindo interpretação dos resultados das provas de carga dinâmica, em conformidade com as disposições da Especificação Técnica - Parte B, preconizadas pela Diretoria Executiva de Engenharia e Gestão Predial - DENGEP.

Para este artigo foram realizadas as seguintes etapas:

- Especificação Técnica - Com as diretrizes para construção do prédio padrão P3, versão 3.1;
- Boletins do relatório dos 06 (seis) furos de sondagem, e 01 (um deslocamento), executado pela contratada;
- Projeto de Infraestrutura intitulado Obra A (Locação e Armadura das Estacas); ● Visitas técnicas à obra;
- Monitoramento da execução das estacas realizadas pela contratada;
- Reanálise das capacidades de cargas das estacas a partir das metragens executadas por métodos semi-empíricos propostos por Decourt-Quaresma, Aoki-Veloso;
- Ensaio de Carregamento Dinâmico (PDA), conforme relatório;
- Ensaio de Integridade das Estacas (PIT), relatório elaborado por terceiros;
- Resultados dos ensaios de resistência à compressão realizado por terceiros;

A execução das estacas de fundação do prédio principal como previsto na Especificação Técnica do contratante, foi acompanhada e enviada para avaliação da conformidade da execução em relação ao projeto e preconizações da NBR 6122:(ABNT 2019) - Projeto e execução de fundações.

#### 3.1 Sondagem de Solo SPT

Para que fosse determinada a quantidade de sondagens a ser realizados na obra, foi utilizada a definição da NBR 6484 onde determina que de 200m<sup>2</sup> até 1200m<sup>2</sup> — uma **sondagem** para cada 200m<sup>2</sup>, de 1200m<sup>2</sup> até 2400m<sup>2</sup> — uma **sondagem** para cada 400m<sup>2</sup>

que exceder de 1200m<sup>2</sup> e acima de 2400m<sup>2</sup> — fixado de acordo com o plano de construção.

A campanha de sondagem SPT contempla 06 (seis) furos, e 01 (um) deslocamento, realizados em profundidades e em datas como apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Cronograma da execução da sondagem SPT

Furo	Data de Execução	Profundidade	Furo	Data de Execução	Profundidade
SP 01	11/10/2018	17,26 m	SP 04	17/10/2018	14,20 m
SP 02 A	10/10/2018	5,70 m	SP 05	16/10/2018	13,85 m
SP 02	10/10/2018	17,26 m	SP 06	15/10/2018	17,20 m
SP 03	17/10/2018	12,70 m			

Fonte: Dados de pesquisa

Os relatórios individualizados apresentam uma descrição geológica tátil visual do material correspondente ao perfil de evolução pedológica de um solo residual, cuja rocha mãe corresponderia a uma quartzo-mica xisto. Em concordância com a posição geográfica do terreno, não foram descritos solos transportados ou aterros pretéritos ao início da realização da obra.

A superfície do lençol freático foi encontrada em todos os furos de sondagem realizados, tendo uma variação entre 2,90 a 3,80 metros. A ocorrência de lençol freático em desacordo com as apresentadas no supracitado relatório de sondagem motivou a execução de outra campanha de sondagem para a verificação da real posição do lençol freático. Verificou-se que existia uma divergência na parte frontal do terreno com valores cerca de 1,0 metro em cota superior à apresentada na primeira campanha, porém, esta divergência não apresentou interferência no processo de execução das estacas da fundação, apenas problemas na execução dos aterros projetados, já que o material de construção era extraído do próprio volume de corte do terreno em sua configuração topográfica primitiva. Os horizontes descritos pela sondagem são condizentes com a análise do material amostrado pelo trado durante a execução das estacas.

Durante a execução dos cortes previstos no projeto de terraplenagem, foram observados blocos com dimensões de alongamento de até 0,5 metros. Estes blocos não interferiram no processo de execução das estacas da fundação em função da alta capacidade de torque e *pull-down* do equipamento utilizado para a execução das estacas.



### 3.2 Projeto de Fundações

O projeto de fundações original prevê o quantitativo por diâmetro de estaca, a profundidade e a carga de trabalho como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantitativo de estacas conforme projeto

Diâmetro (cm)	Quantidade (un)	Carga Máxima de Trabalho (kN)	Profundidade (m)
35	21	500	11
35	45	500	13
35	32	500	15
50	2	1000	11
50	4	1000	13
50	16	1000	15

Fonte: Dados da pesquisa

A partir dos boletins de sondagens, foram realizadas estimativas de capacidade de carga das estacas por 3 (três) métodos semi-empíricos com a finalidade de se confirmar a carga de trabalho utilizada para o dimensionamento das fundações. A seguir serão apresentados os resultados das médias para cada um dos furos de sondagem.

Tabela 3 – Estimativa de capacidade de carga para estacas hélice

Diâm. (cm)	Profund. (m)	Carga admissível por furo de sondagem (ton)							Média (ton)
		SP 01	SP 02	SP 2A	SP 03	SP 04	SP 05	SP 06	
35	11,00	43,05	-	53,34	37,41	29,18	45,25	42,94	<b>41,86</b>
	13,00	54,36	-	64,58	47,96	36,57	58,64	57,61	<b>53,29</b>
	15,00	71,45	-	76,05	-	-	-	65,01	<b>70,84</b>
50	11,00	68,65	-	91,19	63,92	48,29	77,48	73,50	<b>70,50</b>
	13,00	84,92	-	109,24	81,58	60,27	99,46	98,40	<b>88,98</b>
	15,00	110,3	-	127,15	-	-	-	109,94	<b>115,80</b>

Fonte: Dados da pesquisa

São apresentadas anotações no projeto de infraestrutura como: (i) dimensionamento da fundação, (ii) premissas executivas para caracterização do concreto a ser utilizado, (iii) controle tecnológico e provas de cargas a serem realizadas, (iv) ferragens para armação das estacas, (v) tabelas contendo o quadro de cargas, bem como tabelas de cotas de arrasamentos, e (vi) recomendações quanto ao detalhamento das armações das estacas.

Todas as informações do projeto original referentes à Obra A foram disponibilizadas pela empresa contratada para a execução da obra e foram utilizadas para elaboração e montagem deste relatório.

### **3.3 Locação das Estacas**

A locação das estacas foi realizada com o auxílio de um GPS de precisão e posteriormente verificado a partir das medidas da obra no gabarito de madeira da marcação da obra.

Não foram identificados deslocamentos das estacas em relação aos seus eixos de locação, e não foram identificados problemas de locação das estacas, sendo dispensada execução de estacas adicionais a fim de combater excentricidade.

### **3.4 Equipamento de Perfuração**

Foi utilizado pela empresa executora das fundações um equipamento hidráulico de perfuração da marca CZM EM1000/32. Assegurando-se que a empresa portava material adequado, foram verificadas as existências dos trados helicoidal com diâmetros de 35 e 50 centímetros, conforme projeto.

O equipamento se encontrava em bom estado de conservação, sem vazamentos observados de óleos lubrificantes ou graxas e ainda sem improvisos de arames para substituir porcas e parafusos defeituosos.

A perfuratriz é dotada de um sistema de nivelamento que com utilização de sapatas, promovem a estabilização e controle da verticalidade da perfuração. A equipe (operador e ajudante) demonstrou possuir conhecimento do projeto e da operação do equipamento.

Figura 3 – Especificações do equipamento utilizado para execução das estacas

DADOS TÉCNICOS - TECHNICAL DATA		EM100032	
<b>Perfuração em Hélice Contínua - CFA Drilling</b>			
Diâmetro máximo de perfuração Maximum pile diameter	1.000 mm 40 in		
Profundidade máxima de perfuração Maximum drilling depth	32 (25+7) m 105( 82+23)ft		
Força de extração do guincho Winch extraction force	80.000 kgf 178.370 lb		
Força de extração combinada guincho/cilindro Combined extraction force winch/cylinder	110.000 kgf 242.506 lb		
Força de pull-down Pull-down force	30.000 kgf 66.135 lb		
Curso do empuxe axial hidráulico Hydraulic pull-down stroke	5.000 mm 16'5"		
<b>Motor diesel - Diesel Engine</b>			
Potência instalada Installed power	300 hp 281 kw		
<b>Caixa rotativa - Rotary Head</b>			
Torque máximo - (≥ 300 bar) Maximum torque - (at 4350 psi)	24.000 kg.m 173.592 lb.ft		
Rotação torque máximo Rotation at maximum torque	10,5 rpm		
Rotação 1ª marcha Rotation 1st gear	13 rpm		
Rotação 2ª marcha Rotation 2nd gear	27 rpm		
<b>Guincho Principal - Main Winch</b>			
Força de tração	20.000 kgf 44.002 lbf		
Diâmetro do tambor Drum diameter	580 mm 22"		
Diâmetro do cabo Rope diameter	25 mm 1"		
<b>Guincho Auxiliar - Auxiliary Winch</b>			
Força de tração - 1ª camada Line pull - 1st layer	10.000 kg f 22.048 lb f		
Diâmetro do tambor Drum diameter	400 mm 15.34"		
Diâmetro do cabo Rope diameter	19 mm 3/4"		
<b>Esteiras - Crawlers</b>			
Comprimento total Overall length	5.880 mm 19'4"		
Largura das sapatas Track shoe width	800 mm 32"		
Largura total (recolhidas - estendidas) Overall width (retracted - extended)	3000 - 4400 mm 9'10" - 14'1"		
<b>Transporte - Transportation</b>			
Largura de transporte Transport width	3.000 mm 9'10"		

Fonte: CZM Equipment Fundation

### 3.5 Monitoramento das Estacas

O equipamento utilizado pela executora das estacas é dotado de monitoramento e controle informatizado de execução de estacas hélice contínua, cujas características apresentadas abaixo, foram extraídas do manual técnico GeoDigitus (2010). Conforme descrito no manual da GeoDigitus, “o monitoramento utilizado é um sistema de controle do método executivo de estacas hélice contínua, através do controle de dados durante as fases de execução da estaca”.

O monitoramento eletrônico é um sistema de aquisição de dados que são obtidos durante as fases de execução da estaca. As fases são: perfuração, extração e concretagem. O monitoramento do (SACI 3), é constituído por um computador conectado aos sensores instalados nos principais pontos da perfuratriz através de cabos elétricos que fornecem as

informações para que sejam neste processadas e transformadas em resultados.

### **3.5.1 Profundidade**

A medição de profundidade é feita por um sensor que detecta a rotação (e o sentido) de uma das roldanas por onde passa o cabo de aço que sustenta o trado e que giram proporcionalmente ao curso do trado hélice.

A informação deste sensor possibilita que se conheça a posição da ponta do trado em relação ao nível do terreno. Como o computador possui um cronômetro interno, é possível, a partir desse dado, o cálculo da velocidade de avanço e de subida do trado, além do comprimento total da estaca. (Manual Técnico GeoDigitus 2010)

### **3.5.2 Velocidade de Rotação**

A velocidade de rotação é aferida pelo sensor que está instalado no motor de torque. Uma outra opção seria a instalação do sensor próximo a cabeça de perfuração que detectam os pinos metálicos instalados na haste do trado. Desta forma, o computador contabiliza quantas vezes estes pinos passaram pelo sensor e assim são obtidas as informações sobre as RPM. (Manual Técnico GeoDigitus 2010)

### **3.5.3 Torque**

O torque é medido por um transdutor de pressão instalado na tubulação do sistema hidráulico do motor da mesa de rotação. Pelo display se apresenta a pressão do sistema hidráulico e também o torque, o torque somente é medido e monitorado durante a perfuração. (Manual Técnico GeoDigitus 2010)

### **3.5.4 Inclinação da Torre**

Instalado na torre da perfuratriz, o sensor informa a inclinação vertical a partir de um sistema de eixos cartesianos (X direção direita ↔ esquerda e Y direção frente ↔ traseira). (Manual Técnico GeoDigitus 2010)

### **3.5.5 Pressão do Concreto**

De acordo com o manual GeoDigitus (2010) “O sensor de pressão de concreto é considerado a parte mais importante do sistema de monitoramento, sendo instalado na junção do mangote de concreto com o topo da haste do trado.

O sensor mede a pressão do concreto de forma indireta, através da câmara de concreto. A câmara transfere a pressão do concreto para um líquido (água destilada) que está em contato com um tubo de borracha comprimido pelo concreto na sua passagem.

Esta câmara, além de medir a pressão do concreto, também capta o número de picos de pressão e informa ao computador sabendo assim o volume de concreto utilizado. Juntando todos resultados dos sensores mensurados e processados pelo SACI 3, produz-se o relatório de monitoramento, e são gerados relatórios e perfis gráficos das estacas executadas.

Estes gráficos apresentam os valores das medições de parâmetros durante a etapa de perfuração e etapa de concretagem: Durante a perfuração são registrados os valores da pressão de torque do sistema hidráulico da máquina (bar), rotação do trado durante a perfuração (RPM) e a velocidade de penetração do trado no solo em (m/h). Já na etapa de concretagem das estacas, são registrados os valores de pressão de bombeamento do concreto (bar), velocidade de extração do trado (m/h) e o perfil estimado da estaca. (Manual Técnico GeoDigitus 2010)

### **3.6 Embocamento da Cabeça da Estaca**

Realizou-se o embocamento para o posicionamento do equipamento e início da execução das fundações após a marcação dos eixos das estacas, a partir de perfurações manuais concêntricas com os eixos das estacas, de mesmos diâmetros, preenchidas por areia, de forma a orientar a introdução da ponta do trado, mitigando problemas de excentricidades indesejáveis.

Figura 4 - Detalhe da marcação e embocamento das estacas



Fonte: Dados da pesquisa

#### **4 RESULTADOS**

O objetivo deste artigo foi validar as atividades realizadas na fundação da OBRA A. Neste foram descritas as NBR's vigentes, o tipo de projeto executado e como deveriam ser sua fundação, como deveriam ser avaliadas, a utilização de equipamento com torque adequado, e até como deveria ser assistido o monitoramento das estacas.

O PDA realizado foi para constatar se o processo de execução das estacas bem como o material utilizado nas mesmas estava dentro das normas e dos padrões exigidos em edital ou normativos.

Os resultados apresentados mostraram falhas apenas em uma das estacas. Contudo, esta falha não compromete a estrutura da obra.

Com respostas simples e objetivas, o relatório teve como finalidade auxiliar os fiscais envolvidos sobre a condição final da fundação.

Após as etapas (in loco e em escritório) e avaliados todos os itens preconizados pelas respectivas NBR's e pelo termo de referência do contratante, conclui-se que as avaliações trouxeram os seguintes resultados:

- Os comprimentos das estacas executadas atendem, do ponto de vista geotécnico, as cargas de trabalho especificadas no projeto;
- Os boletins dos monitoramentos da execução das estacas demonstram que as

mesmas atingiram profundidades satisfatórias e que foram executadas de forma a se garantir a sua integridade;

- As estacas executadas com comprimentos úteis inferiores aos comprimentos previstos em projeto não oferecem risco geotécnico para a garantia da capacidade de carga das estacas;
- Os resultados do controle tecnológico do concreto empregado na obra para a execução das fundações apresentaram resultados satisfatórios em relação aos 20 MPa requeridos pelo projeto;
- Os ensaios de PIT demonstraram que nenhuma das estacas apresentou dano; · Os ensaios de PDA demonstraram que em todas as estacas avaliadas apresentaram capacidade de carga condizentes com as solicitadas pelo projeto;
- A não execução da estaca E15B que apresentou danos durante a execução dos ensaios não oferece risco para a obtenção das capacidades de carga através do ensaio de PDA;
- Em virtude da necessidade de construção de bloco de preparação para a execução do ensaio de PDA, que envolve concretagem e respectiva cura, considerou-se que não seria possível a escolha de nova estaca para a realização do ensaio;
- Os responsáveis técnicos pelos laudos de resistência do concreto, execução de estacas, ensaios de PIT e PDA apontam em seus documentos que as práticas, normas e procedimentos foram seguidos e que os resultados são de suas inteiras responsabilidades, conforme apresentação de suas anotações de responsabilidades técnicas (ART's).

Com a integração dos dados pode-se considerar que as fundações apresentam condições de segurança geotécnica e estão aptas a receber as cargas da superestrutura. Foram analisados os projetos da obra tais como: projetos, sondagens, controle tecnológico do concreto, monitoramento da execução das estacas e ensaios de PDA e PIT recebidos. Desta forma, com base na dinâmica acima mencionada foi possível chegar a esta conclusão:

## 4.1 Perfuração das estacas

As operações de perfuração das estacas tiveram início no dia 13 de julho de 2020 e foram encerradas no dia 18 de julho de 2020.

A empresa responsável pelas construções alocou o funcionário da obra para acompanhamento do sequenciamento da execução das estacas e conferência das profundidades escavadas. A partir de anotações no projeto de fundações, a numeração da estaca a ser executada era devidamente conferida e sua posição marcada no projeto para que fosse realizada apenas uma estaca do bloco por dia.

A figura 6 apresenta o quantitativo, profundidade e diâmetro exigido no projeto de infraestrutura, logo, a tabela 4 é o controle realizado pela contratada no momento da execução das estacas confrontado pelo controle de perfuração da empresa executora da fundação.

Os valores correspondentes aos comprimentos das estacas dizem respeito ao comprimento útil dos elementos de fundação, isso significa assumir que é o comprimento a partir da cota de implantação da base do bloco de coroamentos das estacas.

Figura 6 - Tabela de estacas do projeto

ESTACAS	TIPO	QUANT.	LEGENDA	DIÂMETRO (cm)	COMPRIMENTO (m)	ARRASAMENTO (m)	CAPACIDADE DE CARGA (kN)
E1A, E6A, E54A E57A e E58A	HÉLICE	5		35	13	-0,95	500
E14A, E21A, E24A	HÉLICE	3		35	11	-0,95	500
E33A	HÉLICE	1		35	16	-0,95	500
E31A, E32A, E35A	HÉLICE	3		35	15	-2,05	500
E2A e E5B, E7A e E2B, E11A e E13B, E16A e E16B, E29A e E29B, E29C e E29E E46A e E47B, E53A e E53B E62A e E63B	HÉLICE	40		35	13	-1,10	500
E9A e E10B, E19A e E19B, E22A e E23B, E25A e E28B	HÉLICE	16		35	11	-1,10	500
E34A e E34B	HÉLICE	2		35	15	-2,20	500
E36A e E36B, E38A e E38B, E39A e E40B, E43A e E43B, E46A e E50C, E55A e E56B, E59A e E59C, E65A e E65B	HÉLICE	26		35	16	-1,10	500
E15A e E15B	HÉLICE	2		50	11	-1,30	1000
E41A e E42B, E44A e E45B, E51A e E52B, E60A e E61B	HÉLICE	16		50	15	-1,30	1000
E37A e 37B, E64A e E64B	HÉLICE	4		50	13	-1,30	1000

Fonte: Dados da pesquisa

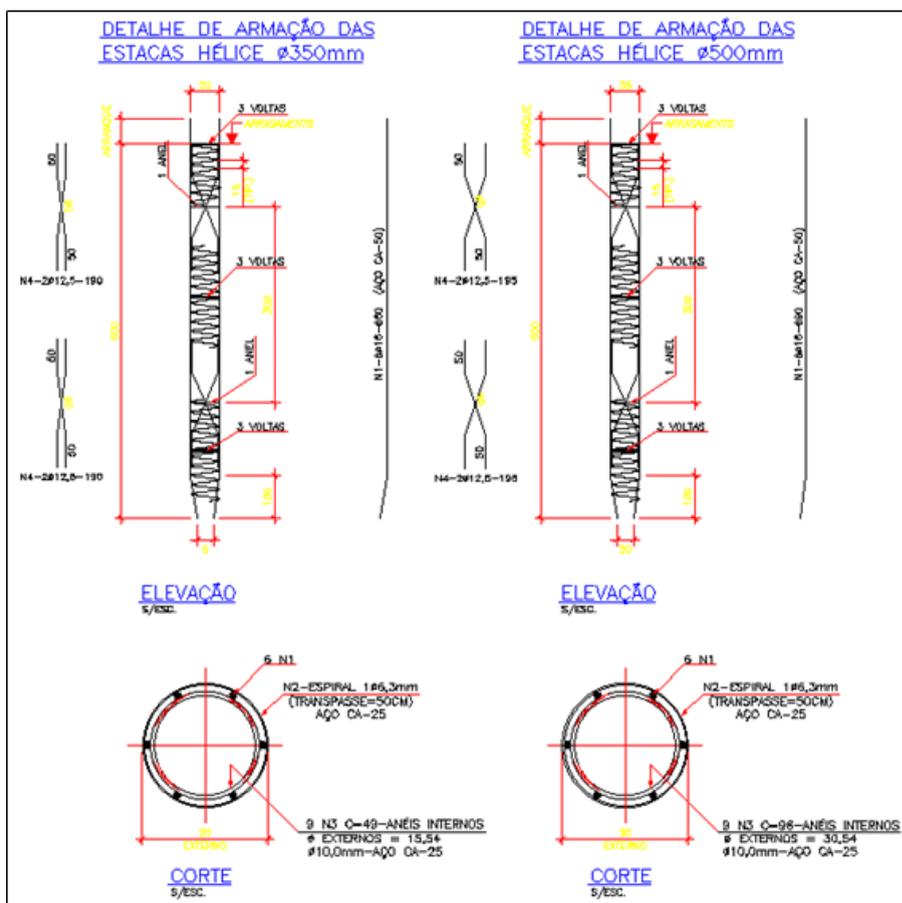
Tabela 4 – Controle de execução das estacas elaborado pela Franco Serviços e Construções

RASTREAMENTO DE CONCRETO - ESTACAS COM FcK=20,0 Mpa CONSUMO DE 400 kg/m <sup>3</sup>						
Nº DE ORDEM	NOME DA PEÇA	DIAMÊTRO (cm)	CAPACIDADE DE CARGA (KN)	DATA	COMPRIMENTO PREVISTO EM PROJETO (m)	COMPRIMENTO ÚTIL EXECUTADO (m)
1	E59C	35	500	03/07/2020	15	13,24
2	E29B	35	500	03/07/2020	13	14,01
3	E31A	35	500	03/07/2020	15	17,01
4	E22A	35	500	03/07/2020	11	12
5	E1A	35	500	06/07/2020	13	13,76
6	E5B	35	500	06/07/2020	13	13,9
7	E38B	35	500	06/07/2020	15	15,9
8	E29A	35	500	06/07/2020	13	13,91
9	E32A	35	500	06/07/2020	15	16,85
10	E22B	35	500	06/07/2020	11	11,9
11	E59A	35	500	07/07/2020	15	11,3

Fonte: Dados da pesquisa

Algumas estacas, localizadas na porção frontal da obra, foram executadas com profundidade (comprimentos úteis) inferiores às estabelecidas pelo projeto.. Entende-se que o avanço foi inviabilizado por se ter encontrado o topo rochoso. As profundidades executadas conforme mostra a tabela 4 , não oferecem riscos para a segurança e eficiência de capacidade de carga. A partir da análise de capacidade de cargas pelos métodos semi-empíricos, é possível afirmar que as cargas de projeto são atendidas nas profundidades que as barras de aço não apresentam manchas de óleo, argamassa aderente ou qualquer outra substância que impeça uma perfeita aderência ao concreto. A armadura não é instalada em contato direto com a forma, estando em conformidade com o cobrimento mínimo previsto pela norma e os determinados pelo projeto estrutural.

Figura 7 - Detalhe das armaduras conforme projeto



Fonte: Dados da pesquisa

## 4.2 Controle Tecnológico do Concreto

A Especificação Técnica – Parte B estabelece que o controle tecnológico servirá para verificar a dosagem de concreto utilizada, a trabalhabilidade, as características dos constituintes, a resistência mecânica e do módulo de deformação secante (Ecs). Para tal, a empresa responsável contratou laboratórios especializados e aprovados pelo contratante, com práticas em conformidade com as preconizações da NBR 6.118/2.014, NBR 12.655/2015 e NBR 8522/2008.

Durante a execução das estacas, um consultor técnico terceirizado foi responsável pela análise do concreto juntamente com um funcionário da contratada pelo cliente. Ficaram então responsáveis pela execução dos ensaios de abatimento do tronco de cone (slump test) e confecção dos corpos de prova. O laboratório responsável pelas execuções dos controles tecnológicos do concreto emitiu os laudos de aceitação do concreto, acompanhados da respectiva ART.

Os corpos de prova cilíndricos foram retirados e moldados de cada caminhão de concreto fornecido para a concretagem das estacas. Repassado à empresa responsável pelo fornecimento do concreto, o concreto utilizado deveria apresentar resistência característica  $f_{ck} \geq 20$  MPa aos 28 dias e consumo mínimo de cimento de  $400 \text{ kg/m}^3$ , slump test igual a  $22 \pm 3$  cm - segundo a Franco Serviços e Construções

Figura 8 – Corpo de prova de concreto moldado in loco



Fonte: Dados da pesquisa

Os corpos de prova foram conduzidos ao laboratório de caracterização geotécnica, para os ensaios de resistência característica à compressão e módulo de elasticidade, cujo resultados obtidos foram satisfatórios.

Os resultados dos ensaios à compressão atingiram valores de  $f_{ck}$  superiores a 20 Mpa, em todos os ensaios realizados aos 28 dias. Desta forma, o concreto utilizado nas estacas atendeu aos requisitos do projeto.

#### **4.3 Ensaio Dinâmico (PDA – Pile Driving Analyser)**

Para avaliação da capacidade de carga foi utilizado o ensaio de carregamento dinâmico (PDA), com análise pós-processada, conforme a NBR 13208 (ABNT 2007).

Foram, selecionadas 10 (dez) estacas da obra para receberem os ensaios de carregamento dinâmico, conforme previsto em contrato.

As estacas E29B e E41B já estavam previamente apontadas pelo projetista para a realização dos ensaios de PDA.

Os ensaios nas estacas selecionadas foram executados por uma empresa especializada em engenharia consultiva, verificando a integridade estrutural dos elementos

de fundação profunda e sua capacidade de carga a partir da interação (solo X estaca). Os ensaios foram acompanhados pela assessoria técnica.

A avaliação da carga mobilizada durante a fase de campo do ensaio foi realizada pelo método "CASE", posteriormente utilizando o software "CAPWAP" que tratou os sinais de força X velocidade registrados *in loco*, e permitiu a determinação da distribuição do atrito lateral em profundidade, a carga de ponta e os parâmetros dinâmicos.

A preparação das cabeças das estacas com a confecção de um bloco de impacto seguiu as dimensões estabelecidas em projeto e orientação técnica.

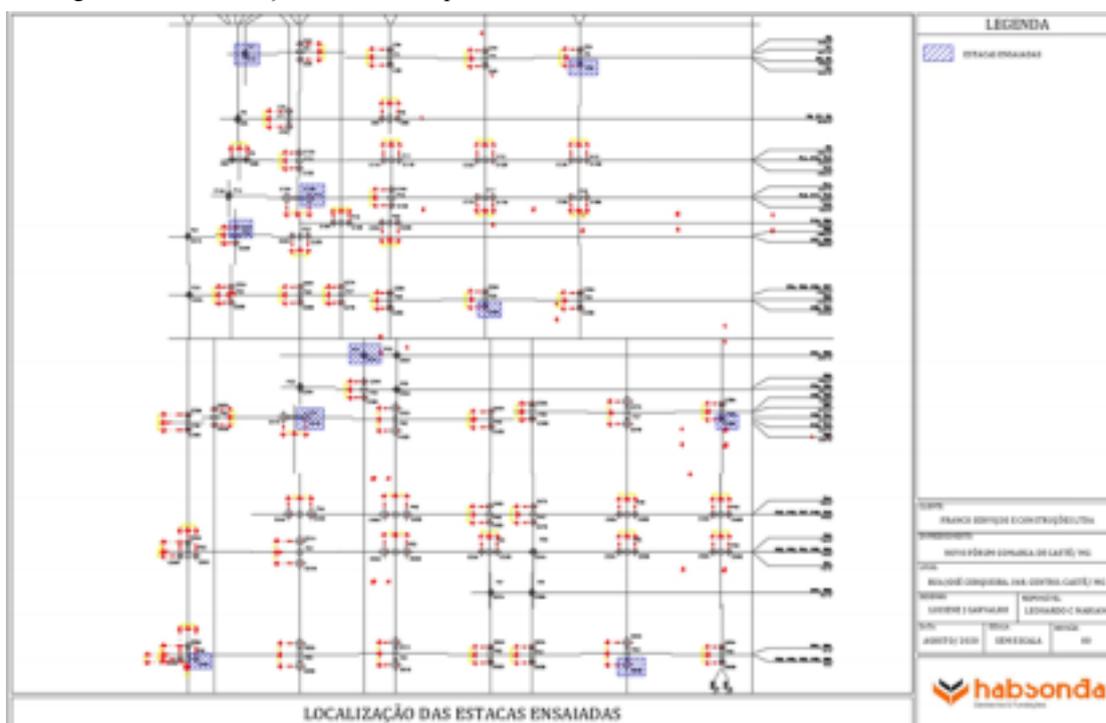
Conforme realizado pela empresa contratada, foram fixados um par de transdutores de deformação específica e um par de acelerômetros dispostos dois a dois em lados opostos da estaca, devidamente calibrados a pelo menos 1,5 vez a maior dimensão da seção abaixo do topo da estaca. Os sinais dos sensores foram condicionados, analisados e armazenados em um Analisador de Cravação de Estacas (PDA), modelo PAX para as análises posteriores.

Figura 9 - Relação das estacas que receberam o ensaio dinâmico

Estaca	Tipo	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)		Carga Trabalho (kN)
			cravado	Sensores	
E01A	Hélice Contínua	35	13,0	13,6	500
E05B	Hélice Contínua	35	13,0	13,6	500
E15B	Hélice Contínua	50	11,0	11,8	1.000
E22A	Hélice Contínua	35	11,0	11,8	500
E29B	Hélice Contínua	35	15,0	15,6	500
E31A	Hélice Contínua	35	13,0	13,9	500
E38B	Hélice Contínua	35	15,0	15,5	500
E41B	Hélice Contínua	50	15,0	15,8	1.000
E59C	Hélice Contínua	35	13,0	13,4	500
E64B	Hélice Contínua	50	13,0	13,3	1.000

Fonte: Dados da pesquisa

Figura 10 - Localização das estacas que receberam o ensaio dinâmico



Fonte: Dados da pesquisa

Para a execução do ensaio foi utilizado um martelo em queda livre içado por um caminhão munck, que aplicou energia cinética no topo da estaca através de golpes amortecidos por um coxim de borracha e madeirite apoiado no topo de cada reforço da cabeça da estaca. A Figura 10 demonstra o esquema geral da execução dos ensaios de capacidade de carga dinâmica (PDA).

Figura 11 - Preparação das cabeças das estacas Figura 12 - Esquemática da execução do Ensaio Dinâmico



Fonte: Dados da pesquisa

Os equipamentos utilizados, as normas aplicadas, o sistema de impacto, a descrição do

ensaio, os resultados e suas discussões, tanto para o método “CASE” quanto para o “CAPWAP”, foram apresentados, em sua integralidade, ao contratante.

Contudo, para ocorrer a liberação das fundações e a interpretação dos resultados das provas de carga dinâmica, a Figura 14 mostra o resumo dos dados das estacas com resultados obtidos através do CAPWAP, e a Figura 15 mostra o resumo dos resultados da análise CASE.

Figura 13 – Característica das estacas ensaiadas

Estaca	Tipo	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)		Carga Trabalho (kN)
			cravado	Sensores	
E01A	Hélice Contínua	35	13,0	13,6	500
E05B	Hélice Contínua	35	13,0	13,6	500
E15B	Hélice Contínua	50	11,0	11,8	1.000
E22A	Hélice Contínua	35	11,0	11,8	500
E29B	Hélice Contínua	35	15,0	15,6	500
E31A	Hélice Contínua	35	13,0	13,9	500
E38B	Hélice Contínua	35	15,0	15,5	500
E41B	Hélice Contínua	50	15,0	15,8	1.000
E59C	Hélice Contínua	35	13,0	13,4	500
E64B	Hélice Contínua	50	13,0	13,3	1.000

Fonte: Dados da pesquisa

Figura 14 – Resumo dos resultados das análises Capwap

Estaca	Golpe	Resistência (kN)			Resist. (%)		Carga Adm. (kN)	Jc	BTA
		Total	Ponta	Lateral	Ponta	Lateral			
E01A	1	1.050	188	862	18%	82%	500	0,32	100%
E05B	2	1.000	162	838	16%	84%	1.000	0,21	100%
E15B	1	0							
E22A	1	1.330	184	1.146	14%	86%	500	0,44	100%
E29B	3	1.100	55	1.045	5%	95%	500	0,35	100%
E31A	3	1.834	170	1.664	9%	91%	500	0,66	100%
E38B	1	2.100	100	2.000	5%	95%	500	0,56	80%
E41B	6	2.573	1.203	1.370	47%	53%	1.000	0,11	85%
E59C	1	3.184	851	2.333	27%	73%	1.000	0,37	80%
E64B	5	2.152	22	2.130	1%	99%	500	0,43	92%

Fonte: Dados da pesquisa

Figura 15 – Resultados obtidos pelo método CASE

Golpe	H queda (m)	Nega (mm/g.)	RMX (kN)	DMX (mm)	EMX (kN.m)	Efic. (%)	Tensões (Mpa)		
							CSX	CSI	TSX
1	0,2	3	701	2,0	0,9	14%	7,8	18,6	2,0
2	0,3	1	1.007	3,0	2,1	22%	10,3	25,8	1,7
3	0,4	1	952	5,0	2,7	21%	6,0	16,0	2,1
4	0,5	3	1.011	6,0	2,1	13%	5,3	11,9	2,3

Golpe	H queda (m)	Nega (mm/g.)	RMX (kN)	DMX (mm)	EMX (kN.m)	Efic. (%)	Tensões (Mpa)		
							CSX	CSI	TSX
1	0,3	2	1.068	4,0	4,1	43%	14,7	16,2	2,9
2	0,4	2	1.307	5,0	6,2	48%	16,9	18,8	8,0
3	0,5	2	1.971	5,0	7,0	44%	28,2	96,8	3,6

Fonte: Dados da pesquisa

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do artigo foi conseguir, caso existissem irregularidades, encontrar e informar a alteração na conformidade das estacas executadas. Além disso, também foi proposto analisar a eficiência das mesmas.

Neste artigo foi alinhado sobre a NBR 6122 (ABNT 2019) que trata especificamente dos projetos de execução.

Foi abrangida a Sondagem (SPT), regulamentada pela NBR 6484, sua necessidade para que sejam identificadas as características físico-químicas do subsolo, resistência e outras informações.

Falou-se também sobre o tipo de perfuratriz utilizada e as informações técnicas fornecidas pela *CMZ Foundation*, fabricante do equipamento, bem como o sistema de monitoramento acoplado à perfuratriz e as informações obtidas e os resultados finais.

Apenas uma estaca foi identificada falha na execução (E 15B), não sendo concluído o ensaio nesta estaca e assegurando que ela não apresenta dano relevante à execução da obra.

A avaliação trouxe a informação da integridade e eficiência das estacas avaliadas e inferindo que estão dentro dos padrões exigidos. Com isso o responsável técnico da obra autorizou a continuidade do projeto.

## **ABSTRACT**

The dynamic loading test is of great importance when thinking about the safety of the work, guarantee of completion and reduction of pathologies. The need for expansion and adequacy of public buildings, makes the works to be increasingly performed, following all standards and current regulations. In order for companies to have control over their operating procedures and thus be able to prove their executive methods, inspections and audits are increasingly needed, which bring more security to contractors, and to contractors the certainty that they are strictly complying with their contracts. In order to carry out analyzes and present results, it is necessary to know the pre-studies of the place and the consequences of the interventions. The soil investigation guarantees information about its composition, if there is water and resistance, with these the eng. Calculator can dimension the foundations and how they should be executed. The execution of all stakes will be evaluated and the results regarding the condition of each one of them will be presented. Were evaluated from the equipment used, and its conditions and work capacity, soil drilling, projects, ready-made foundations and concrete. The NBR 6122 and NBR 6484 defined the technical conditions to be fulfilled and, in this way, the affirmative results can guarantee the executioner the continuity of the work, and the contracting party that its expectation is reached.

Keywords: Knowledge, Result, Security.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122 – **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro-RJ, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 6484 – **Execução de Sondagens de simples reconhecimento dos solos**. Rio de Janeiro-RJ, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR 6502 – **Rochas e solos**. Rio de Janeiro-RJ, 1995.

\_\_\_\_\_. NBR 8036 – **Programa de Sondagens para simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro-RJ, 1983.

BERBERIAN, Dickran. **Engenharia de Fundações**. Editora UnB. 24ª Edição Experimental. Brasília-DF, 1973.

CAVALCANTE, Herinaldo Hilário. **Investigação Teórico-Experimental Sobre SPT**. COPE/UFRJ. 1º ed, 410p, 2002

FALCONI, F et al. **Fundações - Teoria e Prática**. São Paulo-SP: Pini, 3º ed, 802p, 2017.

MILITISTIK, Jarbas. **Grandes Escavações em Perímetro Urbano**. Porto Alegre-RS: Oficina de Textos, 1º ed, 144p, 2016.