

# Avaliação da Integridade de estacas cravadas assentes em argila mole da cidade de Campos dos Goytacazes

Rennan F. Valinho<sup>1</sup>, Renato P. Cunha<sup>2</sup>, Paulo César A. Maia<sup>1</sup>, Francisco Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense

<sup>2</sup> Universidade de Brasília, Departamento de Eng. Civil e Ambiental

**RESUMO:** Ensaio não destrutivo de fundações profundas para a avaliação de sua “integridade” física começaram a se expandir acentuadamente a partir do final da década de 80 dando uma visão da integridade estrutural de uma fundação recém instalada ou recém ensaiada via prova de carga. Neste artigo, portanto, é apresentado o ensaio P.I.T., ou de integridade de estacas, obtidos em fundações profundas assentes em argila mole na cidade de Campos dos Goytacazes - RJ. O artigo conclui sobre aspectos relevantes e práticos da aplicação pioneira desta técnica de ensaio de estacas na cidade.

**PALAVRAS-CHAVES:** Fundação Profunda, Integridade de Estaca, Argila Porosa.

## 1 INTRODUÇÃO

Sendo a fundação uma parte essencial da funcionalidade de uma estrutura, faz-se necessário a avaliação do desempenho desta, o que não é uma tarefa fácil e por vezes é uma das maiores preocupações da Engenharia Geotécnica. Modernamente, se aceita a idéia de que a questão da segurança e da confiabilidade de obras geotécnicas em geral sofre maior influência do processo executivo do que o projeto. Portanto, o controle da qualidade na execução é fundamental para assegurar uma perfeita transmissão de cargas da infra-estrutura ao solo de uma forma segura.

Os ensaios para avaliar a integridade de uma peça estrutural, *in loco*, podem ser divididos, basicamente em destrutivos e não-destrutivos

Segundo P.I.T. (1998, 2003), um dos ensaios não-destrutivos mais usados para fundações é o ensaio de integridade ou ensaio de P.I.T. “Pile Integrity Test”. Ele tem sido realizado em fundações profundas para avaliar, qualitativamente, a integridade de estacas com relação a possíveis defeitos construtivos, tais como falhas de concretagem, trincas, rupturas, além de variações seccionais de fuste. Determina, também, a velocidade de propagação da onda no material ensaiado. Este ensaio destaca-se pela sua fácil execução, com

grande confiabilidade aliada a um baixo custo, e aparece como uma ferramenta potencial na garantia da qualidade de fundações profundas.

## 2 METODOLOGIA DO ENSAIO

Dar-se-á aqui uma breve concepção do ensaio, não tendo pretensão portanto de esgotar o assunto. Cunha *et al* (1998, 2002) e Foá *et al* (2000) realizaram uma série de ensaios P.I.T. em diferentes tipos de estacas e concluíram que a metodologia do P.I.T. é viável aliando rapidez de análise com facilidade de operação em campo gerando avaliações qualitativas coerentes.

### 2.1 O ENSAIO

O P.I.T. baseia-se na propagação de ondas acústicas de baixo nível de deformação. O aparelho utiliza o PEM (Pulse-Echo Method). Estas ondas são longitudinais, pois provocam deslocamentos na mesma direção de sua propagação e geram efeitos de dilatação e compressão dos materiais. Propagam-se através de todos os tipos de materiais (sólidos, líquidos ou gasosos). A velocidade de propagação destas ondas é diretamente proporcional aos parâmetros elásticos e inversamente proporcionais à densidade do material. Isto porque os parâmetros elásticos fornecem as

forças restauradoras das regiões deslocadas e a densidade fornece a inércia do sistema.

O ensaio consiste na avaliação do comportamento da velocidade quando da aplicação de um impacto, de baixo nível de deformação, no topo da estaca. Cada golpe gera uma onda de compressão que se propaga pelo fuste, sofrendo reflexão na ponta, e retornando novamente ao topo.

Os sinais de vibração da onda são captados por um acelerômetro instalado no topo da estaca e são convertidos em sinais elétricos. Este sinal amplificado é enviado a um centro de condicionamento e tratamento e logo após a um microcomputador, que através de um software específico permite a visualização de sinais de velocidade.

A verificação da integridade é feita por meio da interpretação da forma da onda acústica (refletida) gravada no topo da estaca. Qualquer variação na seção ou na densidade do material resulta em mudanças significativas na forma desta onda. Estas variações permitem estabelecer conclusões à cerca da qualidade do concreto da estaca bem como a localização de alguma trinca ou vazio no fuste. Dos ensaios é possível obter gráficos de velocidade versus tempo (que pode ser transformado em comprimento da estaca) ou até análises a nível de força ou frequência. Maiores detalhes do ensaio podem ser obtidos em P.I.T. (1998).

### 3 SOLO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES

Segundo Ramos (2000), a planície Campista é de origem deltaica aluvionar que apresenta superfície plana, muito mal drenada, com lençol freático sub-aflorante. Nas áreas adjacentes ao Rio Paraíba do Sul, na Baixada Campista, onde foram concentradas as investigações na obra com as estacas aqui ensaiadas, desenvolveram-se planícies de inundações. A sedimentação nesse subambiente é predominantemente clástica e periódica, consistindo os depósitos, sobretudo de silte e argila, transportados em suspensão por águas que fluem mais lentas que as do canal propriamente dito.

Esse tipo de formação confere ao solo uma heterogeneidade vertical bastante

acentuada. Acrescente-se a isso uma heterogeneidade horizontal, consequência da forma meandrante dos cursos dos rios adjacentes, os quais são móveis e descrevem curvas sinuosas e semelhantes entre si através de um trabalho contínuo de escavação na margem côncava e deposição na convexa, com predominância de materiais finos tanto no leito dos rios quanto na sua carga (suspensão). Ademais, o que proporcionou a formação dos aluviões antigos foi a competência bem mais elevada que apresentam hoje alguns rios devido a sua super-utilização.

Neste sentido é de se esperar, baseada na formação dos solos de Campos dos Goytacazes e região, solos argilosos com presença muitas vezes de material orgânico, o que lhes confere um caráter mais mole e sem muita ou nenhuma resistência para fundações rasas.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

A obra consiste na construção de um condomínio de quatro blocos residenciais e um comercial situado à rua Adão Pereira Nunes no bairro da Lapa em Campos dos Goytacazes – estado do Rio de Janeiro. A obra está sob responsabilidade da Agropecuária e Incorporadora Colonial Ltda., e os ensaios realizados são referentes a apenas um bloco do condomínio.

A planta do bloco, bem como, a localização das estacas pode ser vistas na Figura 1. Baseado nas sondagens tanto de SPT quanto CPTu pode-se estimar o perfil geotécnico do local da obra, que é, portanto, mostrado na Figura 2.

Percebe-se que o perfil corresponde à expectativa de se encontrar material mole no terreno. A primeira camada refere-se a um aterro de aproximadamente 1,5 metros cujo material é proveniente do rompimento de um dique; fato este que foi obtido fazendo-se um levantamento histórico do local. A presença do dique fora justificada pela proximidade extrema do terreno com o rio Paraíba do sul, em cerca de 50 metros. Na camada subsequente nota-se que a argila mole é encontrada até a profundidade de 40 metros, ratificando a previsão acima, onde apenas a partir desta profundidade é possível encontrar um solo residual com capacidade de sustentação adequada.

As fundações são do tipo estacas pré-moldadas de concreto, cravadas até a profundidade do solo residual.

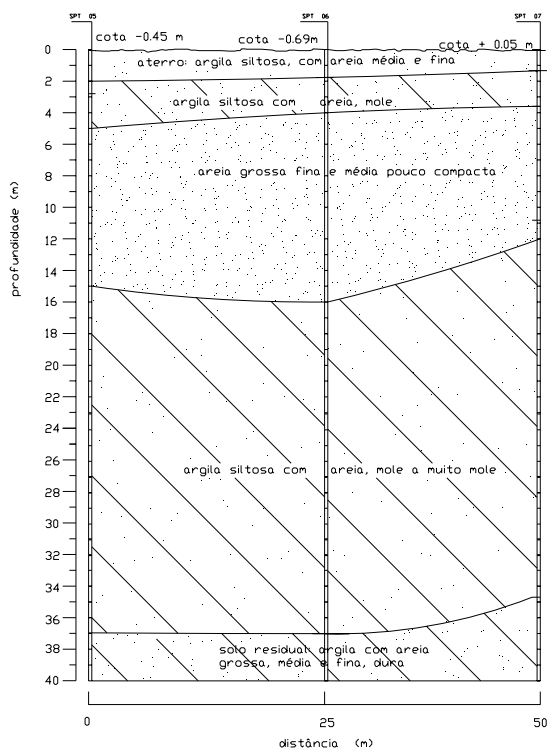


Figura 1 – Perfil geotécnico baseado em SPT

#### 4 RESULTADOS DOS ENSAIOS

O projeto originalmente apresentou um total de 92 estacas, sendo que 9 dessas não obtiveram a medida de nega e repique satisfatório no ato da cravação, levando a crer que na existência de problemas na cravação e/ou na concretagem das estacas. Para solucionar esta eventualidade foram executadas mais 16 estacas mudando, portanto, a configuração original da disposição das estacas. A utilização do ensaio de P.I.T. então foi justificável devido ao desconhecimento tanto da causa das prováveis rupturas das estacas, quanto principalmente à profundidade em que essas efetivamente ocorreram.

Desta forma, foram ensaiadas 108 estacas, considerando-se nestes ensaios as alterações do projeto executivo e se levando em conta o *as built* das fundações da obra.

As estacas ensaiadas foram do tipo pré-moldadas de concreto, compostas de elementos

de seção transversal sextavada, de diâmetro igual a 24 e 27 cm, e de comprimento igual a 6 e 8 m respectivamente, conectados via solda em suas pontas. O topo das estacas, junto ao nível do terreno, tinha comprimentos inferiores a 1m, face ao corte dos mesmos ao nível de arrasamento de cada estaca.

Os ensaios foram realizados com o equipamento padrão de verificação de integridade de estacas, que consiste em um acelerômetro calibrado, um martelo de impacto acoplado a outro acelerômetro, também calibrado, e do coletor de sinais de aceleração pela propagação da onda acústica. Este equipamento é de propriedade da Área de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.

Utilizou-se do martelo de 900 gramas para a execução de todos os ensaios, de forma a se obter uma melhor definição do sinal acústico adquirido em campo, já que se evidenciaram fundações de elevados comprimentos no âmbito desta obra (profundidade média ao redor de 40 m). Levando em conta os diâmetros que as fundações possuíam, o sinal adquirido só permitiu avaliação precisa do trecho médio inicial destas estacas (até a segunda/terceira junta de solda, ao redor dos 20 m de profundidade). Logo, em face das reflexões secundárias causadas pelas juntas existentes, e do elevado comprimento das estacas, não foi possível a interpretação do sinal com profundidades superiores da acima relacionada.

Os sinais foram filtrados (banda inferior de 1 m e superior de 100 m) e magnificados de forma a se definir da melhor forma possível a propagação das ondas ao longo do comprimento de estudo das estacas. A Metodologia empregada de ensaio seguiu as prescrições apresentadas por PIT (1998 e 2003), e normalizada por ASTM (2000). Adotou-se uma velocidade de onda de 4000 m/s, calculada em ensaio preliminar realizado com estaca piloto fora do solo, na posição horizontal e de comprimento conhecido.

Os ensaios foram realizados através da colagem do acelerômetro no próprio concreto da estaca (topo lixado e preparado com *grout*), e com a geração de ondas acústicas perpendiculares a esta superfície polida. Esta

introdução foi feita de forma dinâmica, via martelo acoplado com acelerômetro ao equipamento PIT. Foram realizadas 4 batidas com o martelo calibrado, tendo sido definido, para cada estaca, uma curva de velocidade versus tempo (média) com base nestas 4 medidas previamente citadas.

Enfatiza-se aqui que a principal finalidade do ensaio PIT repousa exatamente na sua capacidade de evidenciar a perda de integridade de um elemento de fundação ao longo de seu fuste. Com isto, concentrou-se nestes ensaios a avaliação de evidências de problemas de continuidade ao longo do comprimento de estudo de cada estaca, utilizando-se de todos os recursos disponíveis no equipamento. Compararam-se os sinais de variação de impedância observados (ondas secundárias, via reflexão da onda primária, principal) com as profundidades conhecidas de junta por solda dos elementos. Os casos em que não houve concordância entre estes comprimentos (junta de solda x pontos de reflexão de onda secundária) vieram a ser questionados e separados para futura avaliação pelo projetista, assim como os poucos casos relativos a estacas que não puderam ser ensaiadas face à baixa qualidade do *grout* superficial.

Exemplos de curvas velocidade versus tempo e da interpretação efetuada são encontrados ao longo das Figuras 3 a 7.

## 5 CONCLUSÕES

Para estacas pré-moldadas, como as aqui relacionadas, deve-se atentar para os efeitos das descontinuidades geométricas das próprias, por juntas de solda em certas profundidades, e por efeitos de descontinuidades construtivas, por defeitos de execução. A avaliação destas descontinuidades deve ser feita por um bom mapeamento de campo das juntas de solda, que geram reflexões secundárias não relacionadas a problemas da estaca, aliado a ensaios não destrutivos do tipo P.I.T., aqui citado. Este último ensaio permite a avaliação de ondas secundárias que podem estar relacionadas ou não a problemas executivos da estaca. No entanto deve-se atentar ao fato de que, face à grande profundidade de assentamento das

fundações deste tipo na região de Campos, o sinal de P.I.T. só poderá ser interpretado no comprimento médio superior das estacas ensaiadas – que no presente caso se limitou a profundidades inferiores a cerca de 20 metros.

Conclui-se, igualmente, que a metodologia aqui empregada é técnica e financeiramente viável para o estudo de futuras fundações assentes na argila mole de Campos dos Goytacazes, ou em depósitos similares.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa PDI Pile Dynamics Inc. por todo o apoio prestado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB e o primeiro autor, em particular, agradece o apoio financeiro propiciado pela Faperj via Bolsa de Mestrado.

## REFERÊNCIAS

- ASTM D 5882, 2000. Standard test method for low strain integrity testing of piles. American Soc. for Testing and Materials.
- Cunha, R.P. e Costa, F.L. 1998. Avaliação da Integridade Física de Estacas Assentes na Argila Porosa de Brasília pelo P.I.T. XI COBRAMSEG, Brasília, pp. 1647-1654
- Cunha, R.P., Camapum de Carvalho, J. e Silva, C.M. 2002. Controle de qualidade e aceitação de estacas moldadas in loco via utilização de ensaios de integridade de estacas (PIT). XII COBRAMSEG, SP, Vol.3, pp. 1569-1579
- Foá, SB, Cunha, RP, Pereira, JHF, Camapum de Carvalho, J, Silva, CM. 2000. Análise de Fundações Profundas Usando Ensaio de PIT. SEFE IV. SP, Vol. 1, pp. 349-359
- NBR 12131 (1991). Estacas-Prova de Carga Estática - Método de Ensaio. ABNT
- NBR 6122 (1996). Projeto e execução de fundações. ABNT
- PIT (1998 e 2003). PIT-W Manual – Software for PDI's Pile Integrity Tester. Pile Dynamics, USA, 65 p.

Figuras de 3 a 7 - Curvas velocidade versus tempo típicas de algumas estacas ensaiadas

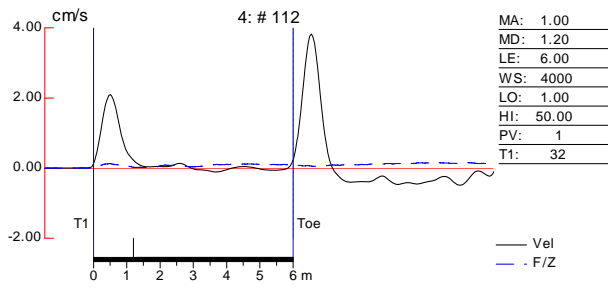


FIGURA 3 – Estaca Teste

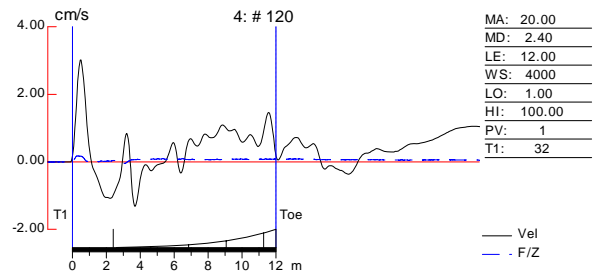


FIGURA 6 – Estaca com três reflexões secundárias predominantes (B12)

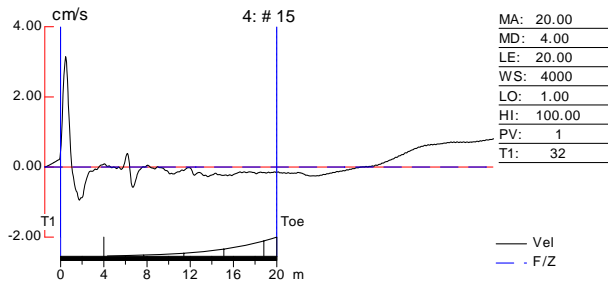


FIGURA 4 – Estaca com Reflexão Secundária predominante (B3)

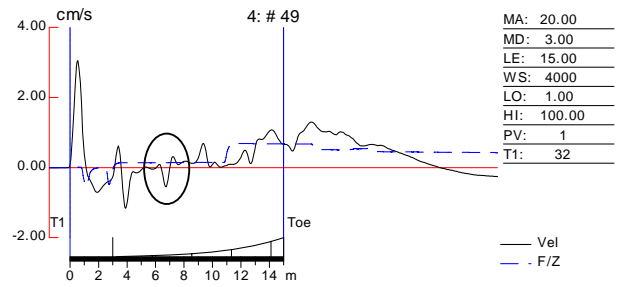


FIGURA 7 – Estaca com duas reflexões secundárias predominantes e uma terciária, assinalada (B3-1)

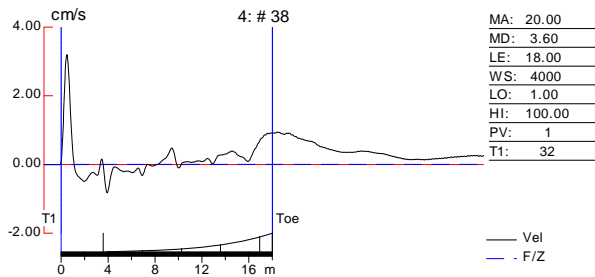


FIGURA 5 – Estaca com duas reflexões Secundárias predominante (B2-1)

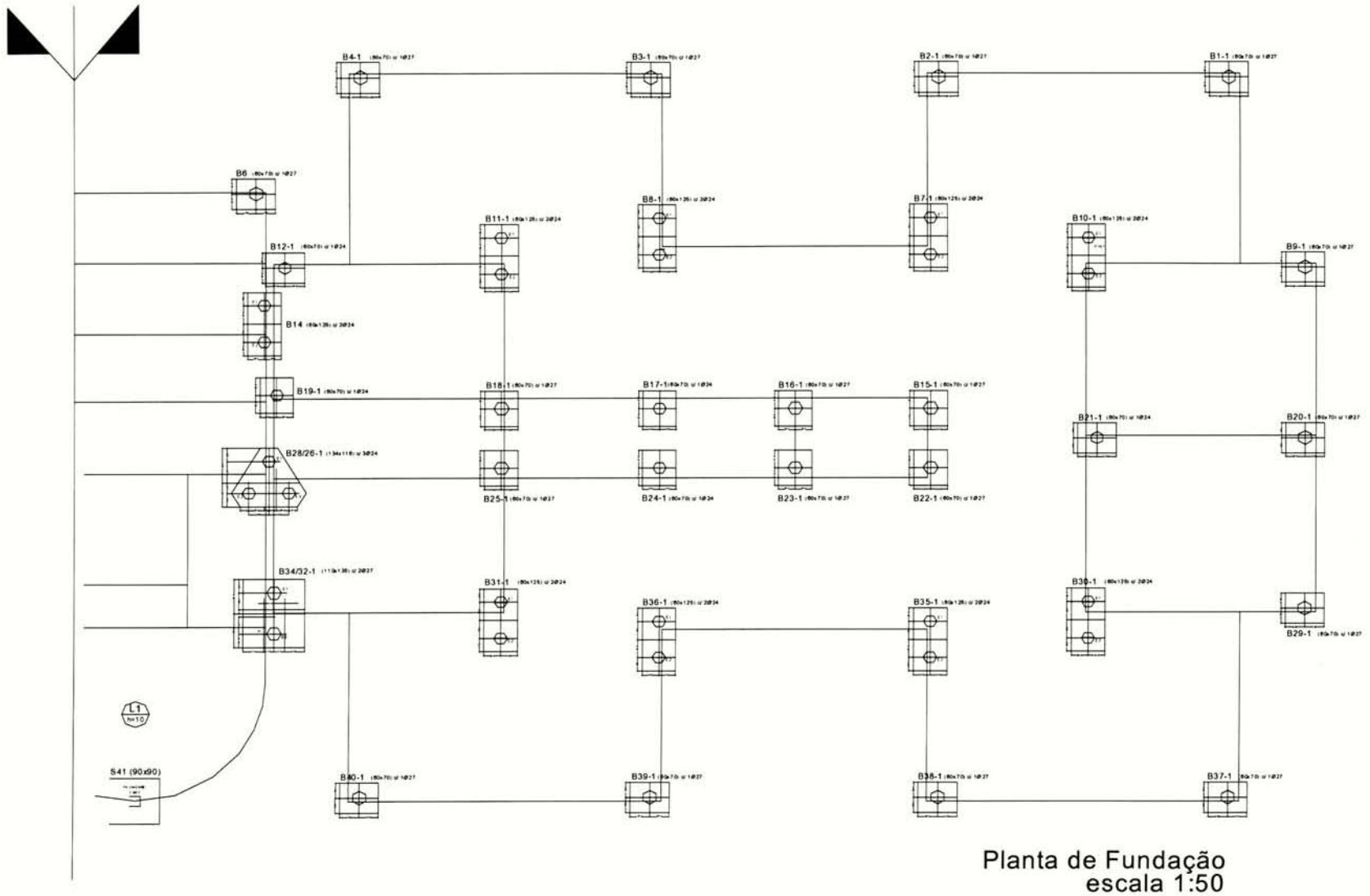


Figura 2 – Planta de localização das estaca – simétrica direita.