

Avaliação de Perfis de Estacas Por Meio de Ensaio de Integridade de Baixa Deformação

Felipe Mantovani

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, felipemantovani@gmail.com

Paulo José Rocha de Albuquerque

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, pjra@fec.unicamp.br

Reynaldo Luiz De Rosa

Modulus Engenharia Ltda., Jundiaí, SP, Brazil, reynaldo@modulusengenharia.com

RESUMO: Ensaio de integridade de estacas tem por objetivo a investigação das características da seção transversal de uma estaca ao longo de sua profundidade. Isso se dá através da análise da velocidade de propagação de uma onda de compressão e de baixa deformação ao longo do concreto. Essa onda pode ser refletida para a cabeça da estaca após atingir o final da mesma ou devido a alterações de impedância por variações de seção transversal, peso específico ou módulo de elasticidade do material. Este trabalho teve o objetivo de avaliar os defeitos de quatro geometrias de estacas, por meio do emprego de dois equipamentos: PIT (Pile Integrity Tester) e PET (Pile Echo Tester), ambos baseados no Pulse Echo Method (Método Sônico). Os modelos de estacas empregados foram em superfície (não enterradas) de forma a possibilitar a execução dos “defeitos” e avaliá-los sem a interferência do solo. Os ensaios mostraram que os equipamentos (PIT e PET) apresentaram resultados similares nas respostas dos defeitos previamente preparados nas estacas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de baixa deformação, Integridade, Estacas, Defeito

1. INTRODUÇÃO

As falhas em fundações profundas podem ser geotécnicas e/ou estruturais. A primeira, detectada através de provas de carga e, para estacas cravadas, através de monitoramento da cravação. A segunda, pode ser constatada em geral apenas por testes de integridade (Rausche *et al.*, 2017).

A avaliação da integridade das estacas de concreto por meio de ondas de tensão de baixa deformação (figura 1), permite obter uma visão geral da qualidade da fundação com relação à integridade, de forma rápida e com baixo custo (Rausche *et al.*, 1992).

De acordo com Amir (2008), o Método Sônico (Pulse Echo Method) é o mais frequente no mundo entre os equipamentos para teste de integridade de estacas, proporcionando

velocidade e ótimo custo-benefício para aplicação em teste de estacas.

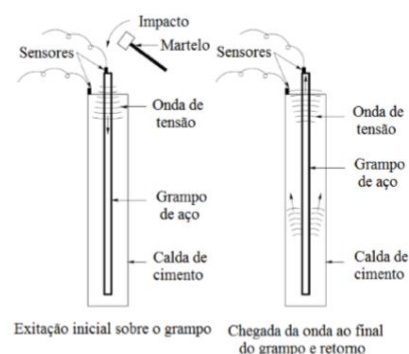


Figura 1. Desenho esquemático do método sônico (Mikos *et al.*, 2016)

No caso de estacas moldadas in loco, em que o terreno e processo executivo estabelecem os contornos das estacas, o ensaio tem uma interpretação mais difícil, mas as vantagens do processo ainda o colocam como a alternativa

mais utilizada na prática. (Zaeyen e Lopes, 2006).

Várias ferramentas estão disponíveis para ajudar nesse sentido como programas que podem simular a resposta do teste a diferentes formas de estacas e configurações do solo. Esses programas permitem a comparação de dados de campo reais com previsões baseadas na geometria da estaca presumida ou prevista e na descrição do solo (Beim, Costa e Ferreira 2006). Surge, porém, uma questão de quão confiáveis são essas previsões.

A interpretação do ensaio está relacionada com conceito de impedância, função da área da seção, módulo de elasticidade, peso específico do material e aceleração da gravidade. Variações de impedância ao longo da estaca provocam reflexões de onda que podem ser lidas pelo sensor instalado na cabeça da estaca e interpretadas. Aumentos na impedância causam queda na velocidade da partícula no ponto de leitura e reduções na impedância em contrapartida, aumento na velocidade (PDI, 2018).

Milititsky *et al.* (2006) ressaltam a importância de boa qualificação e muita experiência para a análise de ensaios de integridade em estacas moldadas “in situ” pois variações na seção e/ou nas características do material da estaca podem comprometer os elementos de fundação, considerados então como “elementos com falha” ou “não qualificados”. Nesses casos, a investigação pode ser complementada por inspeção visual ou ensaios de carregamento estático ou dinâmico para adequação dos elementos assim caracterizados.

Nesse sentido, o artigo busca contribuir com a interpretação dos resultados de ensaios de integridade através de comparação dos dados coletados por equipamentos PIT e PET com dados reais relativos às anomalias previamente conhecidas das estacas (figura 2).



Figura 2. Equipamentos PET (esquerda) e PIT (direita).
Fonte: Piletest e Pile Dynamics Inc.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O programa de testes, realizado no Campus Experimental da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), no Estado de São Paulo, consistiu na instalação de um total de 4 estacas de 6 m de comprimento, posicionadas horizontalmente no solo para minimizar o efeito do atrito do solo.

2.1 Estacas

As estacas foram moldadas in loco no Campo Experimental sendo uma delas uniforme e sem reforço (Estaca 1), utilizada como referência. Devido a questões construtivas durante a moldagem, esta estaca tem como comprimento total 4,8 m, ao invés de 6 m como originalmente projetado.

As outras três estacas apresentam anomalias conforme figura 3 e descrição abaixo:

Estaca 1: sem defeito

Estaca 6: redução de diâmetro ao longo de 60 cm de comprimento, iniciando a 1,7 m de uma das extremidades. A área da seção transversal na redução foi 37,5 % menor do que no restante da estaca;

Estaca 7: aumento de seção, iniciando a 1,7 m de uma das extremidades. A área da seção transversal na região foi 60% maior do que no restante da estaca;

Estaca 8: aumento de seção iniciando a 4 m de uma das extremidades, retornando gradualmente ao tamanho normal na outra extremidade. A área da seção transversal no início da ampliação foi 60% maior que a nominal.

As estacas 6, 7 e 8 foram armadas por quatro barras de aço longitudinais com 5 mm de

diâmetro e 5,8 m de comprimento, além de estribos de 5 mm de diâmetro com dimensões de 20 cm x 20 cm instalados com um espaçamento de 20 cm.

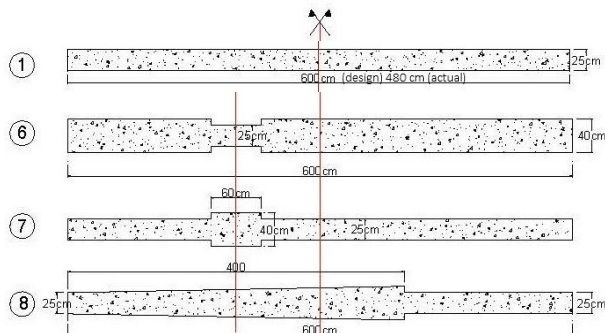


Figura 3. Croqui das 4 estacas testadas.

Como se pode observar, houve o cuidado de não se posicionar anomalias no meio da estaca a fim de se evitar a sobreposição de reflexões secundárias da mudança da seção transversal com a reflexão vinda da ponta.

2.2 Ensaios de Integridade

O teste foi realizado com aplicação dos golpes em cada extremidade da estaca através de um martelo de 900 g.

Segundo Cunha e Costa (1998), o golpe de martelo gera uma onda acústica que se propaga a partir do ponto de impacto ao longo do fuste até a ponta da estaca. Variações na forma e qualidade do material produzem reflexões observadas quando retornam ao topo da mesma provocando vibrações superficiais detectadas pelo acelerômetro.

Os dados de aceleração são integrados para se obter a velocidade e os sinais de vários golpes sobrepostos para se reduzir o ruído aleatório.

Os dados foram processados e gravados por dois dispositivos, um fabricado pela Pile Dynamics, Inc. (PDI), de Ohio, EUA, o outro pela Piletest de Israel. São apresentados neste trabalho os resultados obtidos através de ambos os equipamentos.

Os dados foram coletados 3, 7, 14 e 28 dias após a execução das estacas. Somente os resultados em 28 dias serão apresentados. Uma

análise dos dados anteriores está além do escopo deste trabalho.

3. RESULTADOS

As figuras 4 a 11 mostram os sinais obtidos através do equipamento PIT e PET respectivamente representados pelos itens a e b. As estacas 1, 6, 7 e 8 foram testadas a partir da extremidade esquerda, como mostrado na Figura 1, e as estacas 1A, 6A, 7A e 8A foram testadas a partir da extremidade direita.

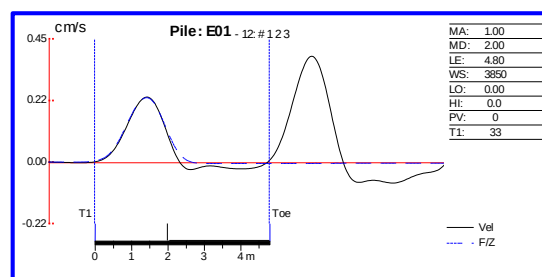


Figura 4a. Estaca 1 – Resultado PIT

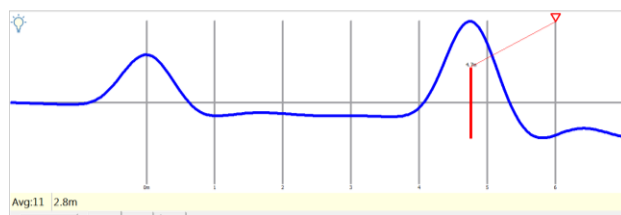


Figura 4b. Estaca 1 – Resultado PET

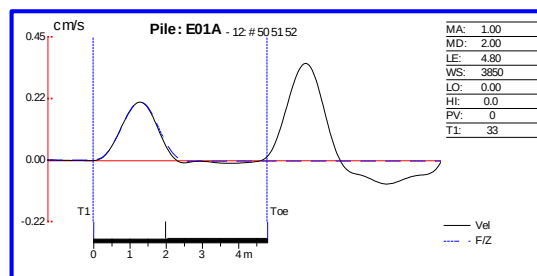


Figura 5a. Estaca 1A – Resultado PIT

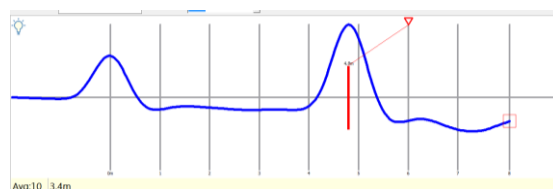


Figura 5b. Estaca 1A – Resultado PET

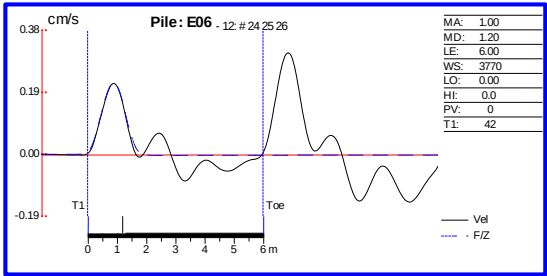


Figura 6a. Estaca 6 – Resultado PIT

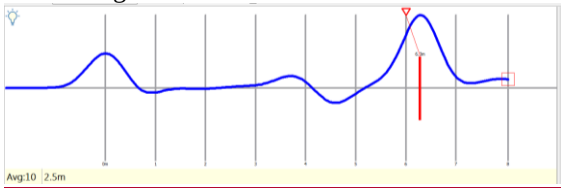


Figura 6b. Estaca 6 – Resultado PET

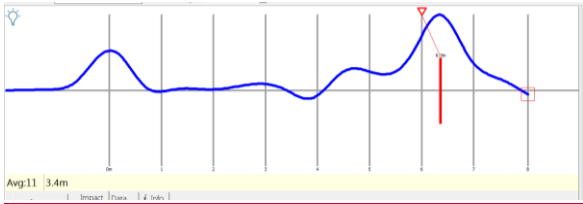


Figura 8b. Estaca 7 – Resultado PET

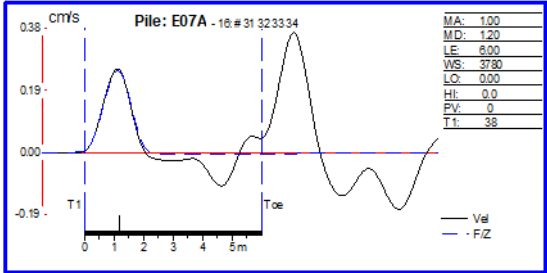


Figura 9a. Estaca 7a – Resultado PIT

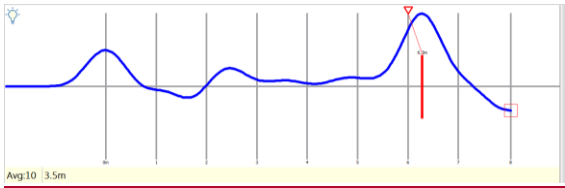


Figura 9b. Estaca 7a – Resultado PET

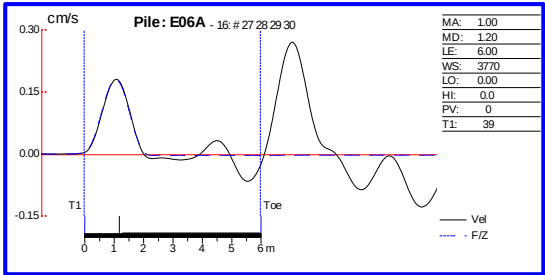


Figura 7a. Estaca 6a – Resultado PIT

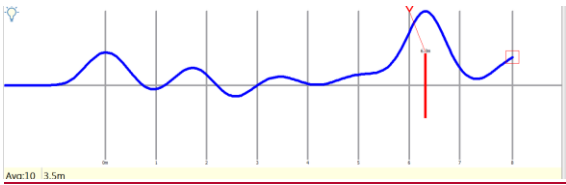


Figura 7a. Estaca 6a – Resultado PET

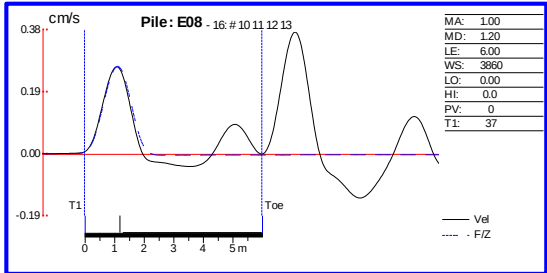


Figura 10a. Estaca 8 – Resultado PIT

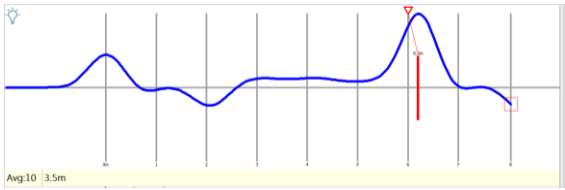


Figura 10b. Estaca 8 – Resultado PET

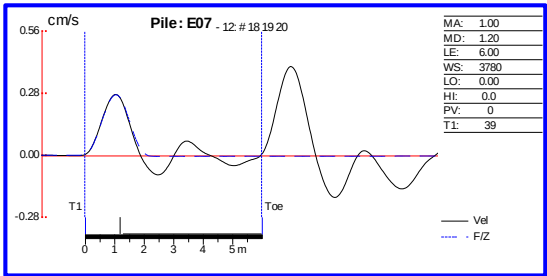


Figura 8a. Estaca 7 – Resultado PIT

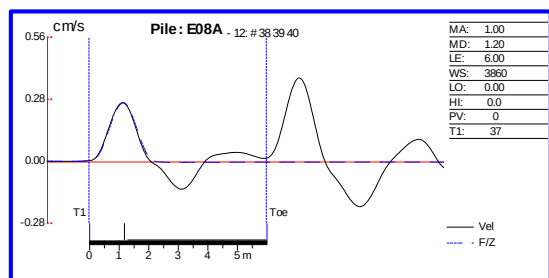


Figura 11a. Estaca 8A – Resultado PIT

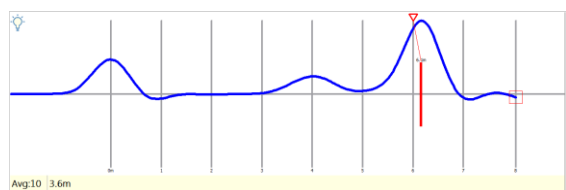


Figura 11b. Estaca 8A – Resultado PET

Os dados de comprimento estimado dos elementos e velocidade de propagação de onda obtidos através dos equipamentos são apresentados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Características e velocidades de onda obtidas para as estacas testadas (PIT)

Estaca	Comprimento (m)	Armadura	Velocidade de onda (m/s)
1	4,8	Não	3850
6	6,0	Sim	3770
7	6,0	Sim	3780
8	6,0	Sim	3860

Tabela 2 - Características e velocidades de onda obtidas para as estacas testadas (PET)

Estaca	Comprimento (m)	Armadura	Velocidade de onda (m/s)
1	4,8	Não	4000
6	6,0	Sim	4000
7	6,0	Sim	4000
8	6,0	Sim	4000

4. RESULTADOS E ANÁLISES

A semelhança entre os dados de teste e reais foi satisfatória. A faixa de variação da velocidade de propagação de onda no concreto para pequenas deformações também mostrou-se adequada e estreita, entre 3700 e 3860 m/s.

Para a estaca 1, os dados obtidos pelo PIT e PET foram muito similares, com aumento de

velocidade de partícula apenas no momento de aplicação do golpe e na chegada da onda refletida pela ponta da estaca.

Os resultados para a estaca 6 apontaram corretamente redução na seção mais próxima à lateral esquerda. O mesmo ocorreu para a estaca 7 com sinais invertidos e aumento de seção próximo à lateral esquerda.

Os dados obtidos na estaca 8 mostram uma inversão no sinal gradual e repentina para as análises com golpe à esquerda e à direita respectivamente. Isso ocorre devido a um aumento brusco de área de seção e impedância quando da direita e um aumento gradual de área e impedância quando da esquerda.

A armadura de reforço não causou influência perceptível na velocidade da onda. Uma possível explicação é que, como a velocidade da onda é diretamente proporcional ao módulo elástico, e inversamente proporcional ao peso específico, uma mudança igual em ambos os parâmetros não causaria uma mudança apreciável na velocidade da onda.

5. CONCLUSÕES

Quatro estacas de concreto pré-moldado horizontais foram submetidas a testes de integridade de baixa tensão em ambas as extremidades. As estacas tiveram alterações propositalmente na área da seção transversal e uma delas não apresentava armaduras de reforço.

- Em geral, houve concordância satisfatória entre os dados obtidos através dos equipamentos PIT e PET. Tendo em vista que ambos os equipamentos são baseados no método sônico;

- Para os casos analisados, os equipamentos foram capazes de indicar as anomalias existentes nas estacas e seu posicionamentos;

- Não houve diferença significativa entre as velocidades de propagação de onda determinadas para estacas com ou sem reforço;

O Campo Experimental da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) é um projeto em andamento e espera-se que os resultados aqui descritos estimulem outros

projetos de pesquisa, especialmente na área de testes de integridade de pequena deformação.

REFERÊNCIAS

- Amir, J.M. (2008). “Statistical analysis of a large number of PEM tests on piles”, 8th International Conference on Application of Stress-Wave Theory to Piles, Lisbon, Portugal., Vol. 1 pp. 671–675.
- Beim, J.W.; Costa, Y.D.; Ferreira, A.C. (2006). “Ensaio de Integridade em Estacas Contendo Múltiplos Bulbos Utilizadas na Cidade de Maceió”. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba.
- Cunha, R.P. e Costa, F.L. (1998). “Avaliação da Integridade Física de Estacas Assentes na Argila Porosa de Brasília pelo PIT”. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Brasília.
- Milititsky, J.; Consoli, N.; Schnaid, F. (2006) –“Patologia das Fundações: Ocorrência e Prevenção”. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba.
- Mikos, A. P.; Roedel, L.; Caetano, M. C.; Kormann, A. C. M.; Faro, V. P.; Sestrem, L. P.; Teixeira, S. H. C. (2016). “Aplicabilidade de métodos não destrutivos em estruturas de contenção: cortinas atirantadas e solo grampeado”. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte.
- PDI. (2018). Provas Dinâmicas e Instrumentação Engenharia Ltda - PDI Engenharia. Disponível em <http://pdi.com.br/>. Acessado em 09/05/2018
- Pile Dynamics, Inc. (2018). Disponível em <https://www.pile.com/products/pit/>. Acessado em 09/05/2018.
- Piletest. (2018). Disponível em <http://www.piletest.com/show.asp?page=pet>. Acessado em 09/05/2018.
- Rausche, F.; Alvarez, C.; Likins, G.E. “Dynamic Loading Tests: A State of the Art of Prevention and Detection of Deep Foundation Failures”, Proceedings of the 3rd Bolivian International Conference on Deep Foundations, Santa Cruz de La Sierra, Bolivia, 2017.
- Rausche, F., Likins, G.E., Shen, R-K., “Pile Integrity Testing and Analysis”, Proceedings of the 4th International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles, The Netherlands, 1992, pp. 613-617.
- Zaeyen, V.D.B.; Lopes, F.R. (2006). “Uso de Ensaio de Integridade para Controle de Qualidade de Estacas Moldadas in loco na ETE Sarapu”. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba.