

# UTILIZAÇÃO DO PIT PARA O MAPEAMENTO DE FUNDAÇÕES EM ESTRUTURAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Tiago de Jesus Souza –Engenheiro Civil, M.Sc  
ATC – American Tower do Brasil–Cessão de Infraestrutura  
tiago.souza@americantower.com.br

Paulo César Aoki-Engenheiro Civil  
ATC – American Tower do Brasil–Cessão de Infraestrutura  
paulo.aoki@americantower.com.br

Rafael Marim Valverde– Mestrando em Geotecnia  
PDI Engenharia  
rafael.valverde@gmail.com

Sergio Valverde– Engenheiro Civil  
PDI Engenharia  
pdisp@pdi.com.br

## RESUMO

O ensaio de integridade em estacas (PIT), também conhecido como ensaio de baixa deformação e não destrutível vem provando ser uma ferramenta potencial e popular no território brasileiro desde a década 80. O PIT é um importante recurso para avaliação das fundações profundas existentes onde não se dispõe da documentação de projeto. Neste trabalho são apresentados dois casos de obra com a avaliação da profundidade e integridade das fundações de torres de telecomunicações do tipo autoportante, onde a tipologia da fundação em uma das obras se dá em tubulão, com base alargada, assentes numa argila arenosa e o outro caso se dá com estacas do tipo raiz apoiadas em solo arenoso. Por fim apresenta-se neste artigo as considerações adotadas no preparo civil para o ensaio, visando a boa coleta dos sinais.

**PALAVRAS CHAVES:** PIT, fundações profundas, Preparo civil, telecomunicações

## ABSTRACT

The Pile integrity test (PIT), also known as low-strain test and not destructible, is proving to be a potentially popular tool in Brazil since the early 80. The PIT is an important resource for evaluation of existing deep foundations where not exist design documentation. This paper presents two cases of work with the evaluation of the depth and integrity of the foundations of telecommunications towers, where the typology of the foundation in one of the works is given in caisson with broad base in sandy clay and the other case is with piles root type supported in sandy soil. Finally we present in this article the considerations adopted in civil preparation for the test, aimed at good collection of signs.

**KEYWORDS:** PIT, deep foundations, civil preparation; telecommunications

## 1 - INTRODUÇÃO

Por se tratar de estruturas antigas, na maioria dos casos correntes, muitas torres e postes de telecomunicações espalhadas pelo território brasileiro decorrem da indisponibilidade de projeto executivo ou as-built da fundação que possibilite uma análise estrutural e de capacidade de carga da mesma. Faz-se necessária a avaliação do desempenho desta, o que é uma tarefa árdua já que há muitas variáveis desconhecidas durante a análise. Rotineiramente o PIT é usado no Brasil como uma alternativa para avaliar a integridade das fundações profundas e em casos onde há um sinal claro de ponta, é possível aplicar o PIT-W e o Profile no intuito de comparar com o PIT-S (simulador dos sinais do PIT) para avaliar o comprimento.

Por outro lado, como no Brasil ainda não existe uma norma específica para o ensaio de integridade de baixas deformações, o qual não é exigido pela norma NBR 6122:2010 e tendo vista que em caso de estruturas já existentes não há um procedimento para a realização do ensaio, esse artigo visa contribuir e apresentar a experiência adquirada com o PIT através de dois estudos de casos em torres de telecomunicações.

As ações que atuam nas estruturas de telecomunicações são basicamente compostas por uma parcela de cargas permanentes (devido ao peso próprio da torre, fundação e equipamentos instalados) e uma parcela de cargas variáveis provenientes da ação de vento sobre a estrutura vertical e equipamentos instalados. Em nosso caso, normalmente os efeitos da ação do vento em estruturas esbeltas como as torres de telecomunicações são majoritárias quando comparados aos efeitos decorrentes das cargas permanentes.

As fundações de torres de telecomunicações normalmente se apresentam isoladas de outras estruturas e apoiadas em solo através de fundações rasas ou profundas.

Propomos a realização do ensaio PIT nos elementos de fundação profunda em condições favoráveis, isto é, com baixa intensidade de vento, minimizando os riscos durante os procedimentos de execução civil no preparo e condução do ensaio, tanto com relação as cargas transferidas da estrutura para a fundação, como também com relação ao desconfinamento parcial dos blocos e elementos na etapa de escavação para acesso ao fuste.

## **2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Nesta seção, não é objetivo esgotar todos os assuntos inerente ao PIT, mas sim mostrar uma breve concepção do ensaio. Cunha et al (1998, 2002) e Foá et al (2000) fizeram uma série de ensaios P.I.T. em diferentes tipos de estacas e concluíram que a metodologia do P.I.T. é pertinente e de grande potencial.

### **2.1 - Ensaio de integridade Física (PIT)**

O ensaio de integridade PIT (“Pile Integrity Test”) é usado para obter informações a respeito da continuidade e consistência dos materiais utilizados em elementos de fundação profunda. Este método é usualmente aplicado a tubulões ou estacas moldadas “in loco” e para estacas pré-moldadas de concreto sem emendas ( NYAMA, 2002).

Conforme já tratado por LINKINS, G. E., RAUSHE (2000) este ensaio é baseado nas reflexões da onda de tensão causadas pela variação de impedância da estaca. A impedância é definida como sendo o produto do módulo de elasticidade dinâmico do concreto (E) pela seção transversal do material (A) dividido pela velocidade de propagação da onda (c), conforme a expressão abaixo:

$$Z=EA/C;$$

Em estruturas já executadas, objeto de estudo do presente artigo, é necessário o preparo de um nicho lateral no fuste do elemento de fundação (aqui tratados como estacas e tubulões) abaixo do bloco de coroamento. O objetivo da abertura do nicho lateral na fundação é para garantir que os impactos aplicados pelo martelo de mão e a captação da onda de tensão sejam obtidos diretamente no material que compõe a estaca. Como mostrado acima, o ensaio baseia-se nas reflexões da onda de tensão causada pela variação de impedância da estaca, logo, se o ensaio fosse realizado apenas no topo do bloco de coroamento, a junção entre o bloco e a estaca e a diferença dos materiais que os compõem causariam reflexões secundárias e interferências que inviabilizariam a avaliação de forma eficiente da integridade da estaca e a estimativa do intervalo de comprimento de seu fuste.

O sinal de velocidade é obtido por meio de um acelerômetro de alta sensibilidade posicionado nas duas superfícies preparadas, no nicho lateral da estaca e posteriormente no topo do bloco. Após a fixação do acelerômetro com resina adesiva, são aplicados diversos golpes com o martelo de mão e os sinais são registrados digitalmente em um equipamento que forma a média dos sinais mais representativos. Maiores detalhes do ensaio podem ser obtidos em P.I.T. (1998 e 2003).

## 2.2 - Estimativa inicial do comprimento do fuste da estaca

O ensaio PIT requer como dado de entrada o comprimento do fuste da estaca e, como este é o objetivo final da análise dos sinais obtidos nos elementos de fundação da torre, deve-se realizar o ensaio com uma estimativa de comprimento inicial condizente com suas condições de contorno locais (PIT 1998 e 2003) e ASTM (2000).

Na maioria dos casos correntes não é possível obter informações precisas a respeito das cargas atuantes nos elementos de fundação da torre. Essas informações dariam melhores condições para estimar o dimensionamento das estacas e conseqüentemente uma estimativa de comprimento do fuste inicial mais precisa. Assim sendo, é de suma importância o estudo geotécnico prévio do “site” onde a torre de telecomunicação está localizada. A sondagem de simples reconhecimento é o ponto de partida onde são fornecidas informações a respeito das camadas de solo, resistência à penetração, estratigrafia do solo, presença de lençol freático e com isso é possível ter uma ideia do tipo de fundação escolhida e em que camada de solo a ponta da estaca estaria localizada. Além disso, é muito importante conhecer a tipologia e geometria da torre bem como os carregamentos, antes e depois da instalação do equipamento. Dessa forma é possível fazer uma retroanálise da fundação a fim de avaliar a possível faixa de comprimento.

A precisão na determinação do comprimento do elemento de fundação é dependente da precisão da velocidade de propagação da onda (PIT 1998 e 2003). Como a velocidade de propagação da onda para concretos de boa qualidade varia desde 3.500 m/s até 4.500 m/s para ensaios de pequena deformação, como é o caso do ensaio PIT, a velocidade média é de 4.000 m/s, com variações para mais e menos de 12,5%. Portanto, essa porcentagem é válida também para a precisão na estimativa do comprimento do fuste da estaca.

Partindo deste princípio, na utilização do ensaio PIT com a finalidade da estimativa do comprimento da estaca deve-se adotar como critério de segurança o comprimento inicial do fuste com a velocidade média de 4.000 m/s através da análise dos sinais em campo e, em seguida, calcular o intervalo da estimativa de comprimento considerando as variações positiva e negativa de 12,5% para a velocidade média de propagação da onda no concreto. Portanto, como a velocidade de propagação de onda nesse tipo de concreto varia em até 25 %, esta variação percentual também deve ser adotada para a estimativa do intervalo de comprimento do fuste.

## 3 - METODOLOGIA

A tipologia, quantidade de elementos e geometria da fundação estão associadas com o tipo de estrutura existente: poste de concreto, poste metálico, torre autoportante, Torre camuflada, ou torre estaiada.

Deve ser levado em conta o tipo de estrutura para planejar a sequência de pontos a serem investigados no mapeamento da fundação. As torres escolhidas para a realização do ensaio PIT fazem parte do portfólio da American Tower do Brasil.

As fundações podem ser sem reforço ou já reforçadas. Neste caso é importante identificar a situação, pois devem ser mapeados os elementos da fundação original e também do reforço executado. Os reforços podem ser da mesma tipologia ou de tipologias diferentes, esse fato deve ser levado em conta no planejamento do mapeamento. As estruturas de reforço – vigas de travamento e blocos de coroamento devem ser mapeadas com as mesmas premissas da fundação.

O processo básico de investigação da tipologia e dimensões da fundação, para avaliar a necessidade ou não do PIT, está apresentado na figura 1.

Inicialmente foi avaliada a condição de estabilidade da escavação. Para ambos os sites o escoramento compreendeu pranchão e estroncas. A largura da cava foi de 1m x 1m livres para permitir a movimentação do

Operador do PIT. O acesso ao fundo da cava foi feito por meio de escada (esta não pode ser improvisada), conforme indica a figura 2.

Tanto no topo do bloco quanto no nicho, foi necessário criar uma superfície plana horizontal e acabamento liso obtido com lixadeira. Os locais ensaiados ficaram perfeitamente acessíveis e secos. Não tem importância se houver água ao redor do elemento a ser ensaiado, contanto que o topo esteja seco, e que seja possível o acesso do operador. A qualidade dos serviços de preparo civil foi validada pelo operador do ensaio PIT.

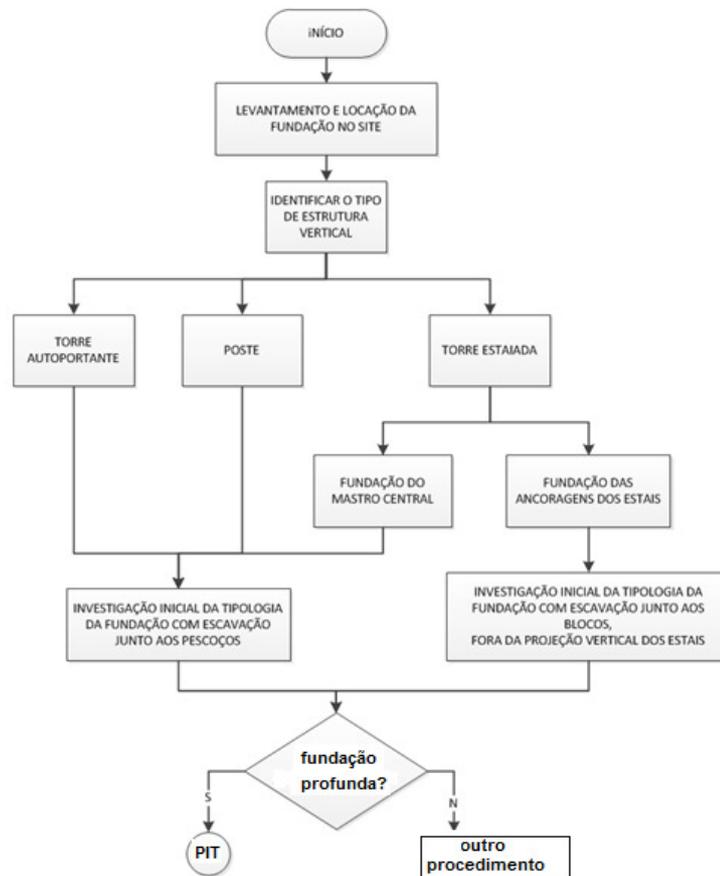


Figura 1 – Início da atividade de mapeamento



Figura 2 – Preparo civil para a realização do ensaio

## 4-CARACTERÍSTICAS DAS FUNDAÇÕES

### 4.1 Caso 1- Nazaré Paulista – SP: Site NZP001VV

Para determinar o tipo e a profundidade da fundação da torre, foi executado escavação manual em voltado apoio até uma profundidade de 1,00 metro, onde constatou-se a existência de



#### 4.2 Caso 2-Parapuã – SP: “Site” PUA001VV

A estaca ensaiada é moldada in loco do tipo Raiz, de seção circular maciça e com diâmetro nominal de 31cm.

Apresenta-se na figura 5 o perfil de sondagem do site 2. Trata-se de um solo muito diferente do primeiro caso com o tubulão.

O solo é predominantemente arenoso com NSPT baixo até aproximadamente os 12 metros de profundidade, com presença de água a partir deste ponto.

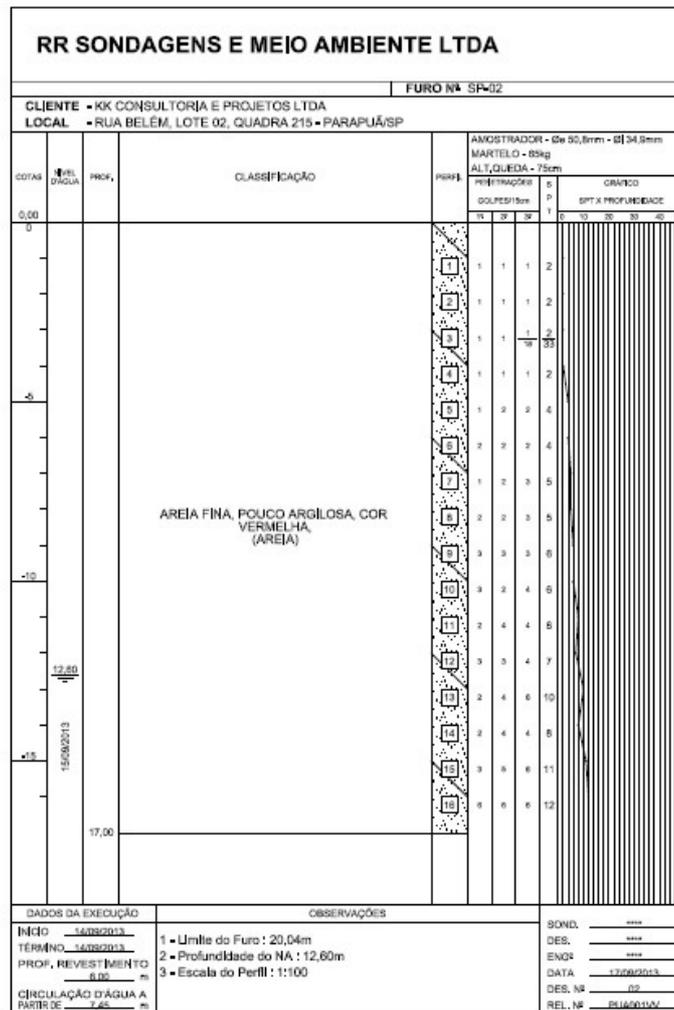


Figura 5-Perfil de sondagem do site PUA001VV

A fundação identificada foi estacas do tipo raiz, sendo necessário disponibilizar para o operador do PIT as seguintes informações:

Tipologia, quantidade de estacas; diâmetro ou lado; armaduras (longitudinal e estribo); dimensões dos blocos de coroamento; armação dos blocos; desenho com a planta baixa e o corte; fotos de todas as etapas do mapeamento (escavação e identificação do elemento de Fundação) e sondagem. Para definição do diâmetro da estaca deve ser escavado o suficiente para descobrir as laterais da estaca. É importante levar em consideração a variação de diâmetro devido ao método executivo e apresentar valores nominais das estacas de catálogo.

As estacas raiz pelo seu processo executivo produzem elementos com superfície irregular, áspera e com variações em seu diâmetro decorrente do processo de escavação, de injeção, da rigidez do solo e da presença de água. Assim deve ser verificada no local a coerência entre o diâmetro medido no trecho e o cobrimento das armaduras encontrado, para descartar um aumento de seção localizado em função de sobre escavação do

furo. É muito importante informar o diâmetro executado e provável diâmetro nominal (teórico). A foto a seguir mostra o operador aquisitando os sinais ao longo do fuste. Os ensaios foram realizados pela empresa PDI Engenharia.



Figura 6-Aquisição dos sinais no nicho da estaca

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Caso 1- Fundação em tubulão

Neste ensaio os sinais foram aquisitados diretamente no tubulão através de escavação lateral e do nicho lateral realizado diretamente em seu fuste. A figura 8 mostra a média dos sinais do ensaio PIT obtidos no nicho lateral do tubulão:

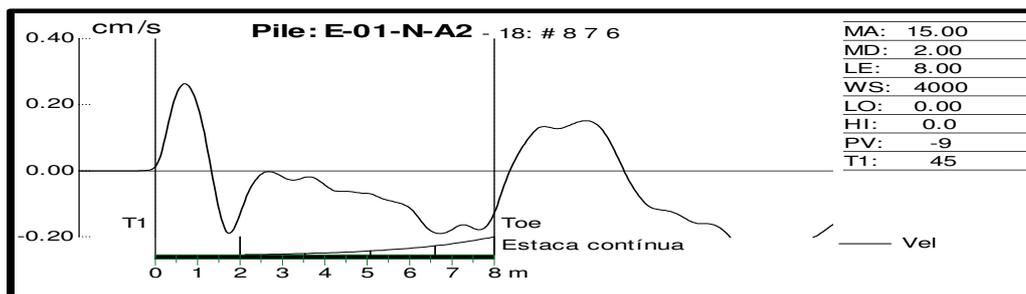


Figura 7-Resultados pelo programa PIT-W

Neste sinal, a velocidade de propagação de onda foi inicialmente fixada em 4.000 m/s para se obter o comprimento inicial, cujo valor está determinado como sendo de 8 metros. Neste caso o sinal apresenta inclinação negativa e sem variações significativas de impedância, o que pode ser indício de crescente atrito lateral ao longo da profundidade, o que estaria de acordo com o perfil geotécnico mostrado acima.

Apesar deste indício do atrito lateral ao longo da profundidade, não se trata de um ensaio que determina a capacidade de carga do sistema estaca-solo. A justificativa da determinação da estimativa inicial do comprimento aos 8 metros está no fato de ser a primeira grande reflexão positiva do sinal de velocidade, com nenhum indício de redução de impedância anterior a este ponto. Ademais, tal profundidade coincide com o esperado ao confrontar este sinal com as informações fornecidas no perfil de sondagem, já que com esta profundidade a ponta do tubulão estaria na camada de solo considerada muito rija. Este sinal de velocidade também mostra a possibilidade de um alargamento de base na ponta do tubulão, característico para este tipo de elemento de fundação.

A partir daí, com a estimativa de comprimento inicial fixada em 8,0 metros de profundidade com a velocidade de propagação de onda a 4.000 m/s, é determinado o intervalo da estimativa de comprimento com variações percentuais de 12,5 % para mais e para menos. Dessa forma o ensaio PIT é utilizado com maior precisão e a favor da segurança, a fim de que não haja extrapolação da estimativa de comprimento do elemento de fundação. Portanto, para este primeiro caso, a estimativa do intervalo de comprimento estaria entre 7,0 metros a 9,0 metros a partir do ponto onde o acelerômetro foi instalado. Avaliando a sondagem, os

carregamentos da torre (inicial e atual) e as respostas do PIT, acredita-se que a faixa de comprimento de 7-9m está compatível.

O bloco de coroamento acima do tubulão tem aproximadamente 50 centímetros de profundidade. Assim, este incremento na profundidade é somado na estimativa do comprimento para identificação do sinal de ponta do tubulão na aquisição dos sinais no topo do bloco de coroamento, conforme a figura 8:

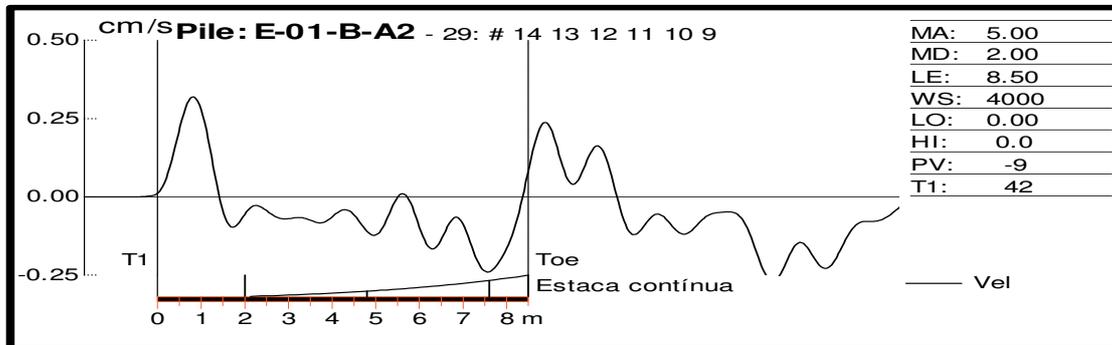


Figura 8-Resultados obtidos no topo do bloco.

Neste sinal obtido no topo do bloco de coroamento, com velocidade de propagação de onda fixado em 4.000 m/s, a ponta do tubulão está a 8,5 metros de profundidade, o que confirma a estimativa inicial dos sinais obtidos no nicho lateral de 8,0 metros com o incremento da altura do bloco de coroamento de 0,5 metro.

É possível perceber que a diferença de material entre o bloco e o tubulão provocou uma pequena interferência no sinal, oriunda possivelmente de reflexões secundárias causadas pela diferença entre a impedância dos materiais que compõem o bloco e a estaca. Mesmo assim, para este caso, o sinal de reflexão na ponta do tubulão ainda é evidente. As conclusões em relação ao comprimento do tubulão foram satisfatória pois foi similar ao comprimento medido com a escavação de um tubulão paralelo ao tubulão ensaiado.

## 5.2 Caso 2- Fundação em Estaca Raiz

Neste ensaio os sinais foram adquiridos no nicho lateral de uma estaca raiz com 31 centímetros de diâmetro. Para casos de estacas esbeltas deve-se tomar cuidado na abertura do nicho lateral a fim de garantir a integridade da seção transversal evitando provocar algum tipo de fissura ou trinca no material. A figura 9 apresenta a média dos sinais do ensaio PIT obtidos no nicho lateral da estaca:

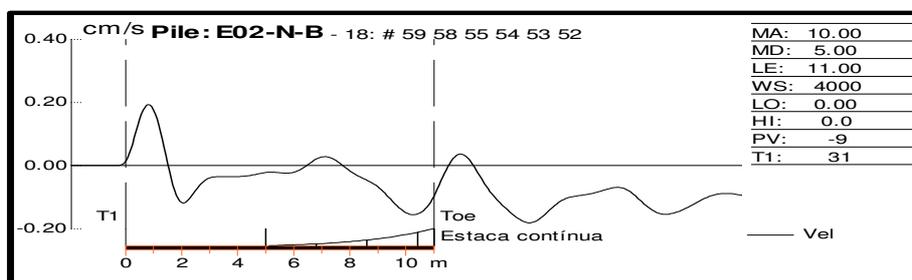


Figura 9-Resultados obtidos no nicho lateral

Este sinal mostra pouca variação de impedância ao longo do fuste, atípico para o caso de estacas raiz por conta de seu processo construtivo do qual se formam bulbos e alargamentos da seção transversal devido à aplicação da pressão de injeção da nata de cimento, ainda mais se tratando de um solo pouco resistente.

O bloco de coroamento acima da estaca tem aproximadamente 3 metros de profundidade até o ponto onde foi realizado o ensaio no nicho lateral. Assim, este incremento na profundidade é somado na estimativa do

comprimento para identificação do sinal de ponta da estaca na aquisição dos sinais no topo do bloco de coroamento, conforme a figura abaixo:

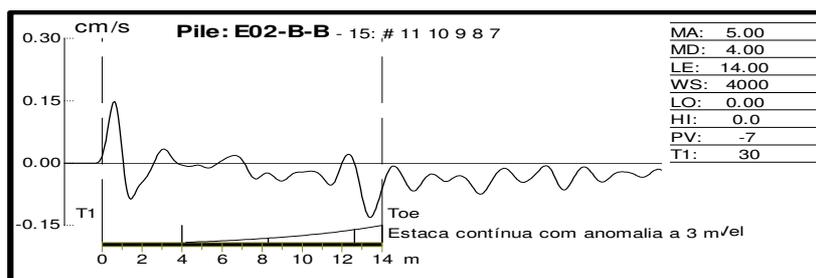


Figura 10-Resultados obtidos no bloco de coroamento

Neste caso há uma maior influência do bloco de coroamento em relação ao sinal de velocidade e conseqüentemente da impedância do conjunto, devido à sua maior dimensão e por se tratar de uma estaca com diâmetro menor. É possível notar uma reflexão positiva do sinal de velocidade aos 3 metros de profundidade, possivelmente originada tanto pela variação de impedância entre o conjunto bloco-estaca quanto pela abertura do nicho na seção transversal da estaca. Por isso o diagnóstico adotado a favor da segurança é de uma estaca contínua com anomalia. Ainda assim, pode-se considerar um sinal aproveitável e complementar ao obtido originalmente no nicho lateral, que mostra a presença de ponta da estaca na mesma profundidade relativa à obtida no nicho lateral.

A partir daí se realiza o mesmo processo de variação percentual do intervalo da estimativa de comprimento onde neste caso, cujo comprimento a 4.000 m/s está determinado em 11 metros a partir do nicho lateral, pode-se concluir que o intervalo da estimativa de comprimento a partir deste ponto está entre 9,50 m a 12,5 m de profundidade. Como o sinal obtido foi a 3 metros abaixo do nível do terreno, onde a sondagem foi executada, a ponta da estaca estaria localizada a 12,50 m a 15,5 m do nível do terreno, o que é compatível se avaliarmos a sondagem e os carregamentos (com e sem equipamento).

## 6-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo apresentou-se o uso do PIT para o mapeamento das fundações profundas em estruturas de Telecomunicações já executadas, onde não se tem projeto. Enfatiza-se aqui que a principal finalidade do ensaio PIT nestas obras repousou exatamente na sua capacidade de evidenciar a possível faixa de comprimento. 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 estimadas com base na sondagem e nos carregamentos das torres.

Tanto para estacas do tipo Raiz quanto para Tubulões, os sinais aqüisitados no nicho foram mais promissores do que os sinais aqüisitados no topo. Acredita-se que a variação de impedância (diferença de seção bloco x estaca) é um ponto que justifica essa questão. Conclui-se, portanto, que no caso de estruturas já executadas, é muito importante aqüisitar o sinal no nicho lateral, pois o sinal é mais satisfatório principalmente quando a fundação for em estacas. É possível perceber a forte influência do bloco de coroamento e das grandes variações de impedância, tornando o sinal inconclusivo na análise da estimativa do intervalo de comprimento do fuste. Mesmo que haja indício do sinal de reflexão da ponta no comprimento final ao comparar os sinais obtidos nos dois pontos, na segunda linha pontilhada vertical, o sinal obtido no topo do bloco de coroamento é inconclusivo.

Acredita-se também que outras variáveis como compactação do solo superficial e ressecamento contribuíram para que a aquisição do sinal no fuste fosse mais promissor do que no topo. No caso de tubulões, percebeu-se que houve pequenas variações de impedância, quando comparada com as estacas do tipo Raiz. Quanto a faixa de comprimento a ser adotada, além do PIT deve-se usar o julgamento quanto à aceitabilidade das mesmas, considerando outros fatores como redistribuição de carga para estacas adjacentes,

transferência de carga ao solo acima do defeito, fatores de segurança aplicados e requisitos de carga estrutural.

Para as duas obras apresentadas a indicação da velocidade de propagação de onda esteve no intervalo de 3500 a 4500 m/s. Como sugestão futura os autores julgam fundamental a determinação da velocidade da onda no concreto com 2 acelerômetros instalados na mesma prumada e com distância de 1 metro entre eles. Aplicando-se um golpe no primeiro ponto, se for possível ver a reflexão da ponta será possível medir o tempo decorrido entre a passagem da onda pelo acelerômetro e a chegada da reflexão de ponta, tempo esse que é o que a onda leva para percorrer o comprimento total da estaca menos a distância abaixo do primeiro nicho onde foi instalado o sensor. Através do sensor colocado no primeiro nicho terá o tempo decorrido entre o golpe e a reflexão de ponta, para o comprimento total da estaca. Isso permitirá montar um sistema de duas equações com duas incógnitas (comprimento da estaca e velocidade de propagação da onda).

No caso de torres estaiadas, não compensa fazer a escavação lateral, pois haverão momentos e esforços horizontais no elemento de fundação. Existe um risco direto da ocorrência de deslocamentos não reversíveis da Fundação na direção da cava de investigação, devido à perda de confinamento lateral nas camadas superiores. Neste caso vai ser preciso avaliar novas alternativas de ensaios para avaliação do elemento de Fundação.

## 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
- FIGUEIREDO, C. M. M. Ensaio de integridade “PIT” – Fundamentos básicos, metodologias executivas e discussão de casos. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, São Paulo, 2003, 186p.
- LINKINS, G. E., RAUSHE, F. Recent advances and proper use of PDI low strain pile integrity testing. 6 th International conference on the application of stress-wave theory to piles. São Paulo, Brazil, S Niyama & A A Balkemna Editor, Rotterdam, Brookfield, 2000.
- NBR 6122 (2010). Projeto e execução de fundações. ABNT
- NIYAMA, S. Introdução de ensaios dinâmicos no Brasil – Breve histórico. Workshop de controle de qualidade de fundações através de PDA e PIT. São Paulo: ABMS e Sinduscon-SP, 2002.
- PIT (1998 e 2003). PIT-W Manual – Software for PDI’s Pile Integrity Tester. Pile Dynamics, USA, 65 p.