



Métodos não destrutivos para determinação do comprimento de estacas

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Pesquisador, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A, São Paulo, Brasil, gandolfo@ipt.br

Vicente Luiz Galli

Pesquisador, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A, São Paulo, Brasil, vicenteg@ipt.br

Gisleine Coelho de Campos

Pesquisador, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A, São Paulo, Brasil, gisleine@ipt.br

RESUMO: A mudança de uso das edificações e a necessidade de ampliações de estruturas já existentes tem exigido estudos para verificação da capacidade de carga de fundações de diferentes obras civis. Por estarem embutidas no terreno, de difícil acesso para inspeção visual, os desenhos de projeto *as built* se caracterizam como a principal fonte de informações da geometria dos elementos utilizados. No entanto, para obras de idade mais avançada, é rara a disponibilidade dos dados de projeto, o que deixa os projetistas sem as informações mínimas para avaliar a necessidade de reforços ou adequações para a nova ocupação das obras. Para a determinação do comprimento de estacas, existem atualmente técnicas não destrutivas, cuja assertividade dos resultados depende das condições do ensaio e das características dos elementos. Neste artigo faz-se uma comparação do uso de diferentes técnicas: ensaio PIT (*Pile Integrity Test*), originalmente desenvolvido para determinação da integridade de estacas, ensaio Paralelo Sísmico e Perfilagem Magnética. A aplicação destes métodos em estacas metálicas tipo trilho indicou consistência entre os resultados, permitindo destacar as vantagens e desvantagens de aplicação de cada técnica.

PALAVRAS-CHAVE: PIT, ensaio Paralelo Sísmico, Perfilagem Magnética, estaca metálica tipo trilho.

ABSTRACT: The change in use of buildings and the need for expansion of existing structures has required studies to verify the bearing capacity of foundations of different types of civil works. Because foundations are embedded in the ground, difficult to access for visual inspection, the as-built design drawings are characterized as the main source of information on the geometry of the elements used. However, for works on more advanced age, the availability of design data is rare, which leaves designers without the minimum information to analyse the need for reinforcements or adaptations to the new occupation of the works. To determine the length of piles, there are currently available non-destructive techniques, whose assertiveness of the results depends on the test conditions and the characteristics of the elements. This article compares the use of different techniques: PIT (*Pile Integrity Test*), originally developed to determine the integrity of piles, Parallel Seismic test, and Magnetic Profiling test. The application of these methods on steal rail-type piles indicated consistency between the results, allowing to highlight the advantages and disadvantages of applying each test.

KEYWORDS: PIT, Parallel Seismic test, Magnetic Profiling test, steal rail-type piles.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





1 Introdução

Com a necessidade crescente de ocupação de antigas edificações para novos usos e, também, de ampliações e reformas de antigas estruturas, um desafio foi posto à engenharia: determinar o comprimento de estacas já existentes nos casos em que os registros de projeto e execução da obra não estão mais disponíveis. Técnicas destrutivas, como a abertura de poços, permitem identificar o tipo e seção da estaca. No entanto, seu comprimento permanece uma incógnita em face dos riscos e dificuldades inerentes às escavações profundas. Outras soluções, tais como as sondagens rotativas, danificam os elementos e podem inviabilizar seu aproveitamento no novo cenário de ocupação.

Neste contexto, os ensaios não-destrutivos se destacam como ferramenta de investigação de campo. Neste artigo apresenta-se um estudo piloto, feito com estacas metálicas tipo trilho em um campo de provas de uma instituição de pesquisa, com o objetivo de verificar de modo comparativo a aplicabilidade dos ensaios aqui tratados, visando a aplicação destes para uma condição real de investigação das fundações de uma ponte no Brasil.

2 Ensaios não-destrutivos

Neste trabalho serão apresentados três ensaios não-destrutivos: PIT (*Pile Integrity Test*), Paralelo Sísmico e Perfilagem Magnética, cujos princípios são descritos nos itens que seguem.

2.1 PIT (*Pile Integrity Test*)

O ensaio de integridade de estacas, usualmente conhecido como PIT (*Pile Integrity Test*), é uma técnica não destrutiva que permite avaliar a qualidade de fundações profundas, identificando a presença de eventuais defeitos. O PIT pode ser utilizado também em aplicações especiais, sendo um exemplo a determinação do comprimento desconhecido de fundações.

O ensaio consiste na preparação da cabeça da estaca (arrasamento e lixamento) e instrumentação com a fixação de um acelerômetro. Aplica-se um golpe com martelo manual, gerando-se uma onda que percorrerá a estaca. As reflexões dessa onda são monitoradas e armazenadas pelo equipamento. A análise dos sinais coletados em campo irá fornecer informações, tais como, possíveis danos no fuste da estaca e sua localização; qualidade da concretagem; confirmação do comprimento executado.

A variação da velocidade de propagação de onda pode ser atribuída à heterogeneidade do material constituinte das estacas. Cabe salientar que esta avaliação parte do pressuposto que os comprimentos apontados correspondem ao real comprimento executado.

O equipamento utilizado para ensaio permite a aquisição, visualização e análise dos sinais de onda gerados pelo impacto de um martelo de mão instrumentado. Os sinais são registrados por meio de um acelerômetro de alta precisão, fixado sobre uma superfície lisa e nivelada da estaca a ser ensaiada. Por meio de impactos do martelo, registram-se os sinais de aceleração e força gerados, através dos quais se detectam possíveis variações da impedância do elemento (entende-se impedância como sendo o produto do módulo de elasticidade do material pela área da seção transversal, divididos pela velocidade de onda), como mostra a Figura 1.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



A execução dos ensaios consistiu na aquisição de uma série de sinais de onda, em diferentes posições da seção transversal, através da aplicação de sucessivos impactos do martelo, com o intuito de obter uma série representativa de sinais que permitisse a identificação de eventuais danos ao longo do fuste das estacas.



Figura 1. Realização do ensaio PIT mostrando no detalhe o acelerômetro colado na estaca metálica tipo trilho (esquerda). Exemplo de sinais de velocidade e perfil de impedância obtidos no ensaio PIT (direita).

2.2 Ensaio Paralelo Sísmico

O ensaio Paralelo Sísmico (PS) é uma técnica geofísica que tem por objetivo a determinação da profundidade de um elemento de fundação utilizando um furo de sondagem posicionado na sua proximidade.

O princípio do ensaio PS é relativamente simples. Um impulso é gerado pelo impacto de uma marreta batendo em um mesmo ponto contra alguma parte exposta da estrutura conectada à fundação (ou nela própria se estiver acessível), produzindo ondas elásticas de compressão (ondas P) que se propagam através do elemento de fundação.

Devido ao contraste existente entre as propriedades elásticas do solo e do material que constitui a fundação (concreto, aço), as ondas são refratadas e seus tempos de chegada podem ser determinados por sensores (geofones de três componentes) posicionados em um furo de sondagem instalado próximo à fundação (em torno de 1,5 m).

A onda gerada na superfície, por meio do impacto da marreta, é captada pelo sensor (geofone) que mede o tempo da sua chegada sob a forma de um sinal sísmico (traço) registrado em um sismógrafo (Figura 2). Este procedimento é efetuado, iniciando-se no fundo do furo até a superfície, em intervalos regulares, geralmente de 50 cm ou menor. O furo deve ter uma profundidade que exceda em pelo menos 3 m a profundidade máxima esperada para o elemento de fundação.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



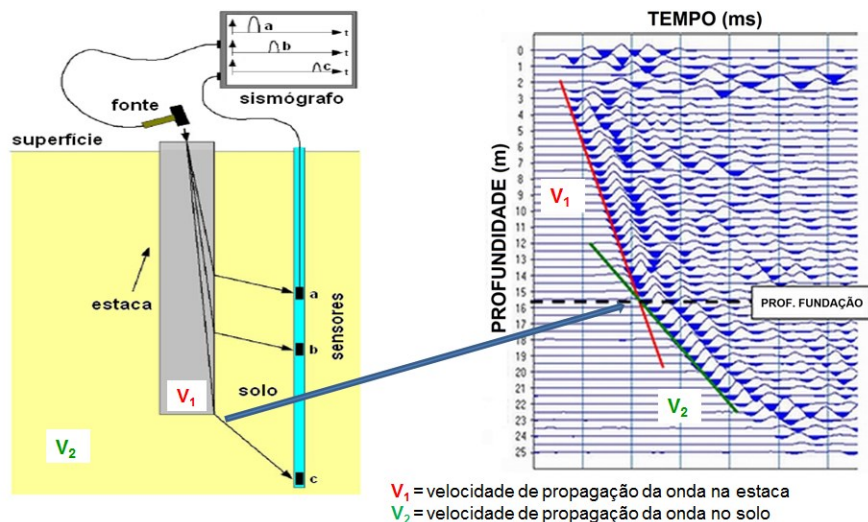


Figura 2. Ensaio Paralelo Sísmico (modificado de Niederleithinger, 2012) com o resultado obtido (sismograma), mostrando a profundidade estimada da fundação.

O resultado do ensaio é apresentado sob a forma de um sismograma contendo os traços sísmicos registrados nas diversas profundidades ensaiadas. Utilizando os tempos das primeiras chegadas da onda, pode ser ajustada uma reta que fornece o valor da velocidade da onda no material da fundação (em geral, elevada) e no solo abaixo da sua base (em geral, menor do que a velocidade verificada na fundação).

A profundidade onde se observa a mudança da inclinação da reta é atribuída à profundidade máxima da estaca de fundação (posição da ponta da estaca). Uma das vantagens deste método é a sua utilização em fundações constituídas de diversos tipos de materiais (em especial, concreto e aço) e o fato de poder ser utilizado quando não há acesso ao topo da estaca.

2.3 Perfílum Magnética

A Perfílum Magnética (PM) é uma técnica geofísica que mede o campo magnético da Terra em um furo de sondagem. Trata-se de um método passivo, pois não requer nenhuma forma de energização da estaca. O perfílum magnético é constituído por uma sonda, na qual se encontram os sensores magnéticos, que desce no interior do furo, um tripé, um guincho e um sistema registrador que permanecem na superfície. A descida e a subida da sonda no furo são controladas pelo guincho. A medida da profundidade é feita por um dispositivo encontrado na roldana do tripé que fica posicionado sobre a boca do furo. As informações coletadas são transmitidas via cabo para o sistema de registro e gravação dos dados.

O equipamento realiza medidas contínuas do campo magnético (H) ao longo do furo. O furo não pode ter revestimento metálico. Para a determinação da profundidade de uma fundação, o furo deve estar posicionado próximo ao elemento a ser inspecionado. O campo magnético da Terra induz uma magnetização na ferragem da armação (material ferromagnético) presente na estaca de fundação. Há ainda a contribuição de uma magnetização denominada de “remanente” devido ao ferro existente na armação. A armadura deve estar presente ao longo de

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



todo o comprimento da estaca e o furo deve ter uma profundidade maior do que a máxima profundidade esperada para o elemento de fundação (Figura 3).

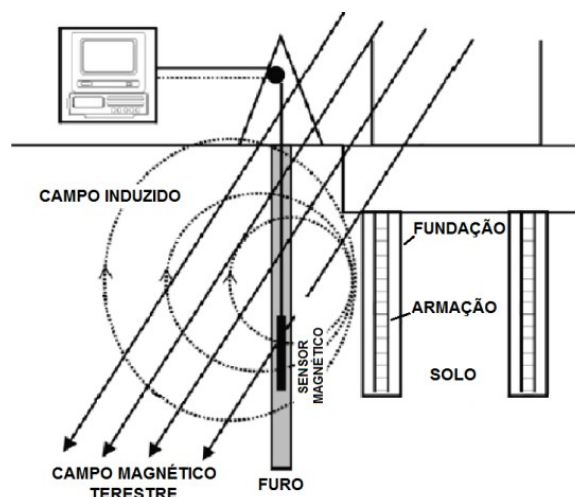


Figura 3. Perfilagem Magnética utilizada para determinação do comprimento de uma estaca de fundação (modificado de Jo *et al.*, 2003).

Os vergalhões de aço, sendo um material ferromagnético, causam uma distorção no campo magnético terrestre, intensificando-o e gerando uma anomalia em relação ao campo natural “background”. Fora da influência da armadura metálica, abaixo da base da fundação, a intensidade do campo magnético tende a retornar ao seu valor de “background”, que corresponde ao campo magnético natural da Terra, livre de perturbações.

3 Ensaios realizados

Os ensaios foram realizados no campus do IPT em ambiente controlado utilizando dois trilhos de aço de comprimentos conhecidos simulando estacas de aço instaladas a profundidades pré-estabelecidas. Um trilho foi cravado no solo até a profundidade de 3 metros e o outro a 2 metros de profundidade. Ao lado destes trilhos havia dois furos, um de 6 metros de profundidade e o outro de 4 metros, ambos revestidos com tubo de PVC de 3 polegadas de diâmetro. A Figura 4 ilustra os procedimentos para a inserção dos trilhos e tubos no solo na área de teste (campo de prova).

4 Resultados

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos do ensaio PIT. Embora esse ensaio tenha sido desenvolvido para avaliação da integridade de estacas, quando se tem elementos pré-moldados com seção e material conhecido, é possível estimar o comprimento pelas reflexões dos sinais de onda que ocorrem junto à ponta das estacas.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





sefe 10



Figura 4. a) Equipamento de perfuração do terreno. b) Furo para inserção do trilho. c) Trilho de aço inserido na perfuração. d) Trilho de aço e perfuração revestida com areia; ao lado, tubo de PVC.

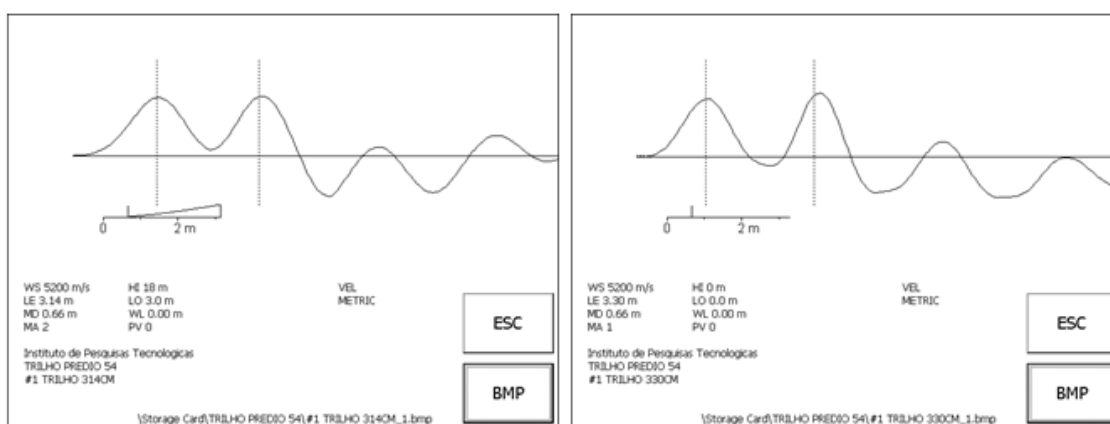


Figura 5. Resultados do ensaio PIT. Realizado no trilho de 3,14 m de comprimento, cravado no solo a 2 m de profundidade (esquerda). Realizado no trilho de 3,30 m de comprimento, cravado no solo a 3 m de profundidade (direita).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900
Telefone: (11) 3052-1284
E-mail: abef@abef.org.br

Organização:



Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220
E-mail: secretaria@qeeventos.com.br
Site: www.qeeventos.com.br

A Figura 6 ilustra o ensaio Paralelo Sísmico realizado no trilho cravado no solo a 3 m de profundidade. A Figura 7 apresenta o resultado do ensaio.



Figura 6. Ensaio Paralelo Sísmico realizado em campo.

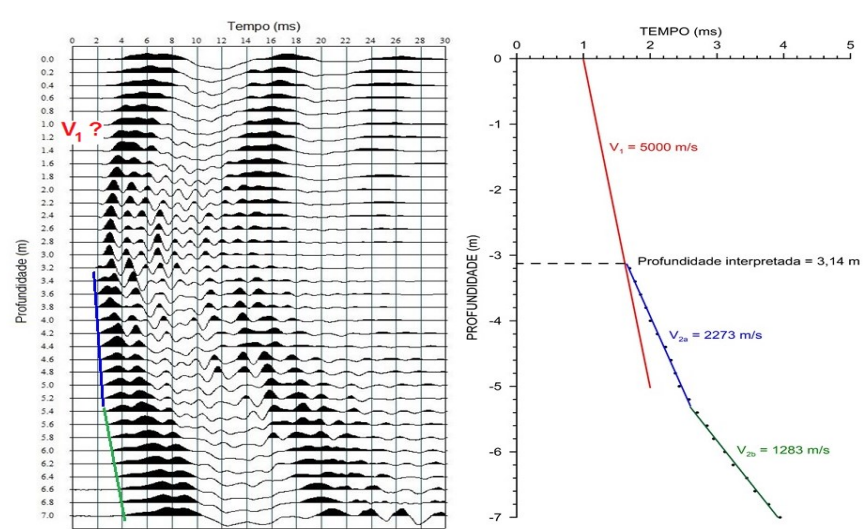


Figura 7. Resultados do ensaio Paralelo Sísmico. Sismograma (esquerda) e o correspondente gráfico “tempo x profundidade” obtido dos tempos da chegada da onda, a partir do qual foram definidas as velocidades de propagação e a profundidade estimada da fundação.

O sismograma mostra dois alinhamentos (em azul e verde) que correspondem à propagação da onda P em um solo saturado abaixo da ponta da estaca, de acordo com os valores determinados (2.273 m/s e 1.283 m/s, respectivamente). A profundidade estimada da fundação foi de 3,14 m. A velocidade de propagação no material da estaca (V_1) não pode ser definida no registro de campo, devido a um efeito da difração da onda sísmica, originado na base da estaca, que atua como um ponto difrator. Neste caso, ocorre uma propagação da onda sísmica no sentido ascendente e descendente a partir deste ponto, formando um padrão em um formato de “V”, como foi descrito na literatura por (Roman et al., 2008) que apresentou um estudo de caso de um ensaio Paralelo Sísmico, utilizado para avaliação da profundidade de um elemento de fundação de aço do tipo perfil H, em um solo saturado (Figura 8).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



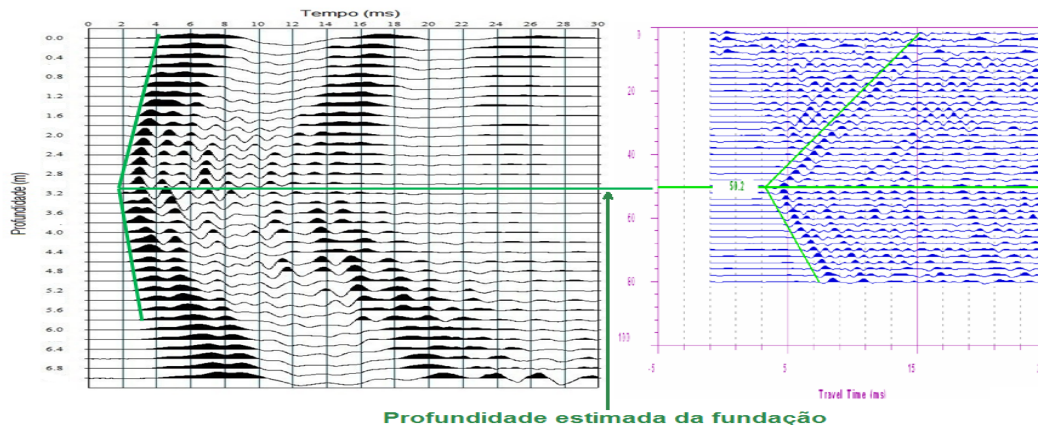


Figura 8 - Resultados de ensaios Paralelo Sísmico realizados para determinar a profundidade de estacas metálicas em solos saturados. Nosso exemplo (esquerda) e estudo de caso apresentado por Roman et al., 2008 (direita).

No gráfico apresentado anteriormente na Figura 7 foi plotada uma reta (em vermelho) com um valor típico da velocidade de propagação da onda P em aço (em torno de 5000 m/s) para ilustrar como seria o resultado caso esta velocidade (V_1) pudesse ter sido determinada pelo registro de campo.

A perfilagem magnética foi executada utilizando uma sonda de televisionamento ótico OPTV fabricada pela Robertson Geologging equipada com sensor magnético. Foram medidos três componentes do campo magnético em três direções ortogonais (x, y e z) com registros a cada 1 cm ao longo da profundidade. O sistema de aquisição armazena para cada ponto de leitura a profundidade, a intensidade do campo magnético total e a intensidade das três componentes do campo magnético (x, y e z).

Para destacar e ressaltar o extremo da estaca e avaliar o seu comprimento, o dado do campo magnético total foi submetido a filtragem baseada em derivadas verticais e horizontais. Há vários filtros que podem ser aplicados para detectar bordas de fontes magnéticas tabulares, como por exemplos, a derivada vertical introduzida por Telford et al. (1976) e o sinal analítico (AS) proposto por Roest et al. (1992). Neste trabalho foi utilizado o sinal analítico (AS) também chamado gradiente total e é definido por:

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

Em que:

AS é a intensidade do sinal analítico;

$\frac{\partial M}{\partial x}$ é a derivada horizontal (leste) do campo magnético total;

$\frac{\partial M}{\partial y}$ é a derivada horizontal (norte) do campo magnético total;

$\frac{\partial M}{\partial z}$ é a derivada vertical do campo magnético total.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



O principal atributo desse filtro é fornecer valor máximo (pico) nas proximidades do extremo da estaca. A Figura 9 apresenta o resultado da perfilagem magnética realizada no furo adjacente ao trilho cravado a 3 m de profundidade.

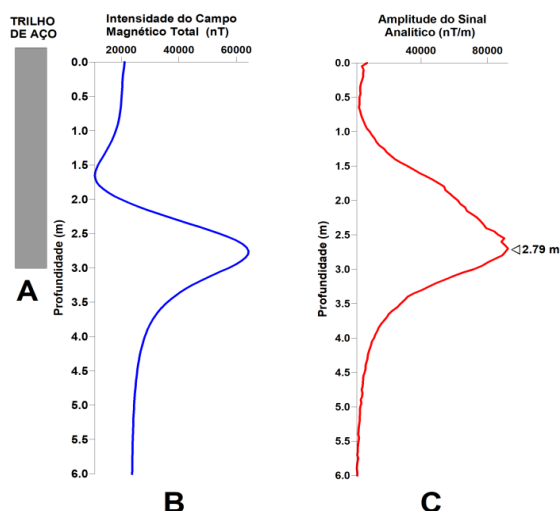


Figura 9. A) Trilho de aço cravado no solo até a profundidade de 3 m; B) Gráfico da intensidade do campo magnético total medido no furo adjacente ao trilho em função da profundidade; C) Gráfico da amplitude do sinal analítico em função da profundidade. O valor máximo da amplitude do sinal analítico situado a 2,79 m de profundidade é atribuído à ponta da estaca.

A Figura 10 apresenta o resultado da perfilagem magnética realizada no furo adjacente ao trilho cravado a 2 m de profundidade.

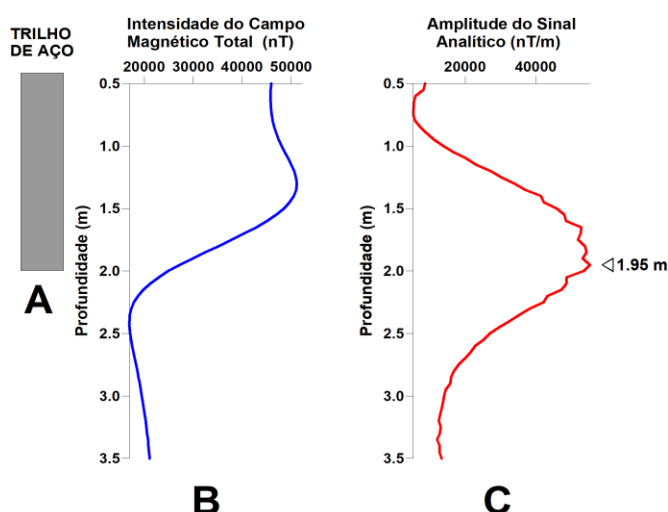


Figura 10. A) Trilho de aço cravado no solo até a profundidade de 2 m; B) Gráfico da intensidade do campo magnético total medido no furo adjacente ao trilho em função da profundidade; C) Gráfico da amplitude do sinal analítico em função da profundidade. O valor máximo da amplitude do sinal analítico situado a 1,95 m de profundidade é atribuído a borda da estaca

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



5. Considerações Finais

Os três ensaios empregados na pesquisa descrita neste artigo constituem ferramentas de uso potencial nos casos em que o comprimento de estacas é uma incógnita. Se destacam por serem métodos não-destrutivos e, por isso, com grande aplicação em estruturas já construídas e que precisam ser parcial ou integralmente preservadas.

No caso de estacas metálicas (tipo trilho, perfil ou tubo), a Perfilagem Magnética constitui um instrumental de fácil aplicação e grande precisão; como ponto negativo, destaca-se a necessidade de se ter uma perfuração específica para o teste, próxima ao elemento de fundação a ser ensaiado. Esta mesma exigência se aplica ao ensaio Paralelo Sísmico. Para o ensaio PIT não é preciso ter esta perfuração auxiliar; no entanto, o acesso ao topo da estaca é exigido e, no caso de obras prontas, isto se torna praticamente inviável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A pelo apoio para realização dos ensaios em seu campus de prova.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jo, C.H.; Cha, Y.H.; Choi, J.H. 2003. A borehole magnetic logging tool for estimating unknown foundation depths. In: 2003 Highway Geophysics NDE Conference, Orlando, FL.
- Niederleithinger, E. 2012. Improvement and extension of the parallel seismic method for foundation depth measurement. *Soils and Foundations*, v.52, n.6, p.1093-1101.
- Roest W. R., Verhoef J., Pilkington M., 1992: Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57, 1, 116–125, doi: 10.1190/1.1443174.
- Roman, E.K.; Olson, L.D.; Sack, D. 2008. Determining the length of H and sheet piles using the parallel seismic method. In: 21th Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2008). p.824-828.
- Telford, W.M., Geldart L.P., Sheriff, R.E. 1976. *Applied Geophysics Second Edition* (1976): 87-89. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne & Sydney: Cambridge University Press.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

