

AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE ESTACAS DE UMA OBRA PREDIAL NA CIDADE DE BETIM

STAKES OF INTEGRITY ASSESSMENT OF A BUILDING WORK IN THE BETIM CITY

Bárbara Eloisa C. Rocha¹; Bárbara Luiza S. da Silva²

Paula Sant'Anna M. Pais³ (Orientador)

Carlos Augusto Malachias Filho (Coorientador)

Maíra Moreira Morais⁴ (Coordenadora da disciplina de TFC)

Curso de Engenharia Civil –

2.º semestre de 2015

Centro Universitário de Belo Horizonte - UniBH, Belo Horizonte, MG

¹bah_barbaraa@hotmail.com; ²barbaraluizasoares@gmail.com; ³paula.pais@prof.unibh.br;

⁴mairammorais@gmail.com.

RESUMO: A concretagem em fundações moldadas in loco é um processo que não garante a precisão dimensional de projeto no momento de sua execução, bem como a qualidade do concreto. Sendo assim, este trabalho apresenta a aplicação do ensaio Pile Integrity Test (PIT), ou Ensaio de Integridade de Estacas, em uma obra predial na cidade de Betim, executado em estacas moldadas in loco do tipo hélice contínua monitorada. O mesmo apresentou resultados relevantes quanto à aplicação, sendo possível observar estacas íntegras como também estacas com diagnósticos inconclusivos diante de alterações em sua execução. O artigo finaliza com algumas recomendações baseadas na pesquisa e no acompanhamento de obras, podendo-se assim, avaliar padrões de boa e má execução.

PALAVRAS-CHAVE: PIT. Ensaio de Integridade de Estaca. Fundações (Engenharia).

ABSTRACT: The concreting in cast foundations in site is a process that does not guarantee the dimensional accuracy of design at the time of execution and the quality of concrete. Therefore, this work presents the application of the Pile Integrity Test (PIT), on a building project in the city of Betim, run on cast piles in site by continuous flight auger type. The work showed relevant results in terms of application and it is possible to observe intact piles as well as piles with inconclusive diagnoses before changes in its execution. The article concludes with recommendations based on research and monitoring of works, and we can thus evaluate standards of good and bad execution.

KEYWORDS: PIT. Pile Integrity Test. Foundations (Engineering).

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil a utilização de tecnologias que elevam a segurança e a confiabilidade de uma obra torna-se indispensável no processo de execução da mesma. Com isso, a fundação, parte essencial da funcionalidade de uma estrutura, exige técnicas que avaliam o seu desempenho, assim como controle da qualidade.

Ao finalizar a fundação em estacas de uma obra, existe a possibilidade de uma ou mais apresentarem não conformidades quanto a sua integridade física, pois, apesar da boa qualidade do concreto, a maior parte dos problemas relacionados às estacas está ligada à má execução e não necessariamente ao projeto (AMIR, 2009).

Sendo assim, surge a necessidade de abordar o *Pile Integrity Test* (PIT), ou Ensaio de Integridade de

Estacas, que segundo Morgano (1996) é um método não destrutivo aplicado para determinar o comprimento, qualidade do concreto, dano ou falha estrutural, ao longo de toda extensão da estaca, através da teoria da propagação da onda de tensão.

O mesmo consiste na aplicação de uma excitação mecânica no topo da estaca, com o auxílio de um martelo de mão, e na análise de resultados a partir da onda gerada por esta excitação (ABENDI, 2015).

Este vem sendo utilizado para a percepção de falhas construtivas em estacas moldadas *in loco* ou pré-moldadas de concreto, tais como seccionamentos, estrangulamentos, segregações e outros, de forma rápida e com o custo baixo (MALACHIAS FILHO; BEIM; ARAUJO, 2015).

Porém, ABENDI (2015) afirma que o ensaio apresenta algumas limitações, como a detecção de falsos diagnósticos, apontando assim problemas inexistentes ou inexpressivos. Estes se devem à existência de fissuras de retração, variações normais de impedância diante do processo executivo das estacas moldadas *in loco* e variações de resistência relativamente bruscas nas camadas do solo (ABENDI, 2015).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho consiste em desenvolver o ensaio PIT em campo, a fim de avaliar a eficácia do mesmo e detectar a ocorrência de deformações construtivas nas estacas analisadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TEORIA DA PROPAGAÇÃO DA ONDA DE TENSÃO

Segundo Malachias Filho, Beim e Araujo (2015), o modo como a teoria da propagação da onda de tensão integra-se na análise da onda, obtida através da realização do ensaio PIT, é dado através da velocidade constante (C), expressa pela Equação 1:

$$C = \sqrt{\frac{g \cdot E}{\gamma}} \quad (1)$$

Onde:

- g é a aceleração da gravidade;
- E é o módulo de elasticidade;
- γ é o peso específico do material da estaca.

De acordo com o mesmo autor, esta velocidade deve variar entre 3500m/s e 4500m/s no ensaio de integridade de estaca.

A onda analisada sofre reflexões sempre que essa encontra alguma variação na propriedade da estaca, chamada impedância (Z) dada pela Equação 2 (MALACHIAS FILHO; BEIM; ARAUJO, 2015).

$$Z = \frac{E \cdot A}{C} = \rho \cdot C \cdot A \quad (2)$$

Onde:

- A é a área da seção transversal;
- ρ é a densidade de massa do material da estaca;
- E é o módulo de elasticidade.

O aumento da impedância é caracterizado por reflexões no sinal de velocidade com a mesma direção do pulso inicial, ocorrendo antes da reflexão de ponta, e a diminuição da impedância se dá por reflexões com sentido oposto ao do pulso inicial (ABENDI, 2015). Ainda segundo o autor supracitado, ambas permitem o diagnóstico de alguma anomalia existente na estaca analisada.

O tempo (t) entre o impacto e o início da reflexão de ponta, de acordo com Malachias Filho, Beim e Araujo (2015), é dado pela Equação 3:

$$t = \frac{2 \cdot L}{c} \quad (3)$$

Onde:

- L é o comprimento da estaca;
- C é a velocidade de propagação da onda dada pela Equação (1).

2.2 PREPARAÇÃO DAS ESTACAS

Para realização do ensaio, é necessário que as estacas apresentem no mínimo 75% de sua resistência nominal de projeto e um tempo de 10 dias decorridos após concretagem (ABENDI, 2015).

De acordo com o mesmo autor, a preparação segue as etapas listadas a seguir:

- Deve-se realizar o arrasamento da estaca, com o intuito de eliminar todo o concreto de má qualidade existente em seu topo, deixando a superfície nivelada, lisa, limpa e seca;
- Para que a superfície fique lisa é utilizada a lixadeira elétrica, não podendo usar nenhum outro material, tal como argamassa ou graute, para atingir esta finalidade;
- Para estacas com diâmetro inferior ou equivalente a 50cm, os golpes com o martelo e a colocação do sensor devem ser em uma superfície próximo ao eixo da estaca de no mínimo 15cm de diâmetro. E para aquelas que possuem diâmetros superiores a 50cm, o preparo deve permitir a colocação do acelerômetro em outras quatro posições com aproximadamente 12cm de diâmetro, além do eixo da estaca;
- Deverão ser removidos os objetos em contato direto com a estaca, exceto a armadura de espera. A ferragem deve ser cortada até o menor comprimento possível para não interferir na realização do ensaio;

- Em caso de umidade no topo da estaca devido às chuvas, é recomendado o uso de maçaricos ou outro método para retirar umidade, permitindo assim o posicionamento ideal do acelerômetro.

A Figura 1 apresenta a estaca após todos os procedimentos citados acima.



Figura 1 - Estaca após o arrasamento.
Fonte - Autoras do artigo, 2015.

Já a Figura 2 é uma representação de como a estaca se encontra quando não é feito o arrasamento da mesma.



Figura 2 - Estaca sem arrasamento.
Fonte - Autoras do artigo, 2015.

2.3 PROCEDIMENTOS EM CAMPO

ABENDI (2015) afirma que antes de iniciar o ensaio PIT, deve-se solicitar ao responsável da obra o projeto de fundação, com o objetivo de recolher informações como comprimento executado ou cravado das estacas, comprimento de arrasamento, comprimento ensaiado, composição (no caso de estacas pré-moldadas) e as condições do topo da estaca. Posteriormente, inicia-se a coleta de sinais com a utilização do acelerômetro e do martelo, seguindo as seguintes etapas recomendadas pelo mesmo autor:

- Para retirada do excesso de poeira usa-se um pincel;
- Para a fixação do acelerômetro no topo da estaca é necessária uma cera adesiva especial;
- Os golpes com o martelo devem ser aplicados a uma distância de 15cm da instalação do acelerômetro;
- A análise do sinal obtido é feita através da média do sinal de vários golpes, minimizando assim o registro de ruídos randômicos. É recomendado que seja feita de quatro a seis coletas por seção;
- Sugere-se coletar entre quatro a seis sinais por seção e excluir aqueles que destoarem da média antes de armazená-los. Portanto, após descartá-los, deve-se certificar que há no mínimo três golpes para que seja feita a análise dos resultados.

As estacas que possuem diâmetro superior ou equivalente a 50cm, devem ter o acelerômetro instalado no mínimo em cinco seções diferentes para obtenção de cinco médias. Já as que possuem diâmetro superior a 100cm, coletam-se três médias para cada 0,3m² de seção (ABENDI, 2015).

2.4 INTERPRETAÇÃO DOS SINAIS

Utiliza-se um programa específico para a interpretação dos sinais obtidos através do ensaio PIT, sendo possível avaliar a qualidade dos sinais coletados no campo, aplicar filtros, magnificadores de sinal, alterar a velocidade de onda e outros. (ABENDI, 2015).

Conforme Abendi (2015), as ações que permitem o diagnóstico de cada estaca são:

- Obter o sinal médio através dos sinais mais representativos de cada estaca;
- Aplicar o magnificador de sinal;
- Aplicar filtros se necessário;
- Ajustar a velocidade de onda da estaca quando a reflexão de ponta é nítida;
- Encontrar a velocidade média da obra e comparar cada estaca com este valor individualmente. Velocidade muito baixa indica concreto de má qualidade ou que a estaca apresenta comprimento superior ao informado inicialmente. Já a velocidade muito alta indica que o comprimento da estaca é inferior ao informado pelo projeto; Aplica-se a velocidade média da obra para os sinais que não há resposta de ponta. Porém, se não for possível detectar em nenhuma das estacas o sinal nítido de ponta, utiliza-se a velocidade média usual;
- Gerar os gráficos de velocidade e analisá-los, gerando assim um diagnóstico para cada estaca.

Após todos esses processos, as estacas deverão ser classificadas em quatro tipos conforme tabela do Anexo I (ABENDI, 2015).

A Figura 3 representa o gráfico de um sinal típico de estaca íntegra, sendo esta do tipo hélice contínua com 19m de comprimento, velocidade de onda de

4.000m/s e sem variações significativas de impedância entre o topo e a ponta (BUNGENSTAB; BEIM, 2014).

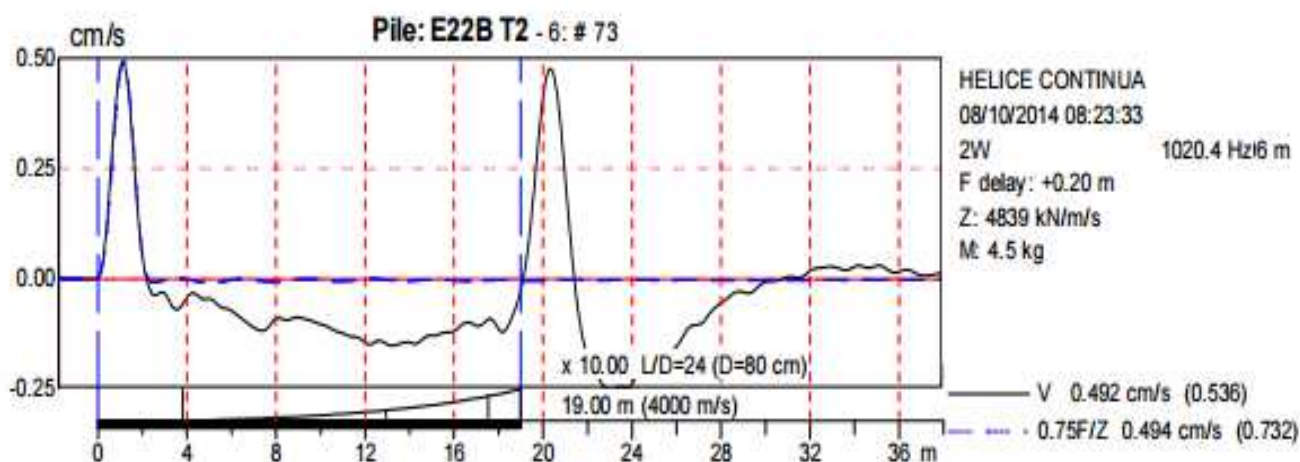


Figura 3 - Sinal típico de estaca íntegra.
Fonte - BUNGENSTAB; BEIM, (2014).

Já na Figura 4, observa-se a representação de um sinal de estaca com dano. A mesma é do tipo hélice contínua com 14,10m de comprimento e velocidade de onda de 4.000m/s. O dano provém da existência de

seccionamento transversal, ou seja, fissuras ou trincas, impedindo assim a propagação da onda e, conseqüentemente, o sinal repete-se periodicamente (BUNGENSTAB; BEIM, 2014).

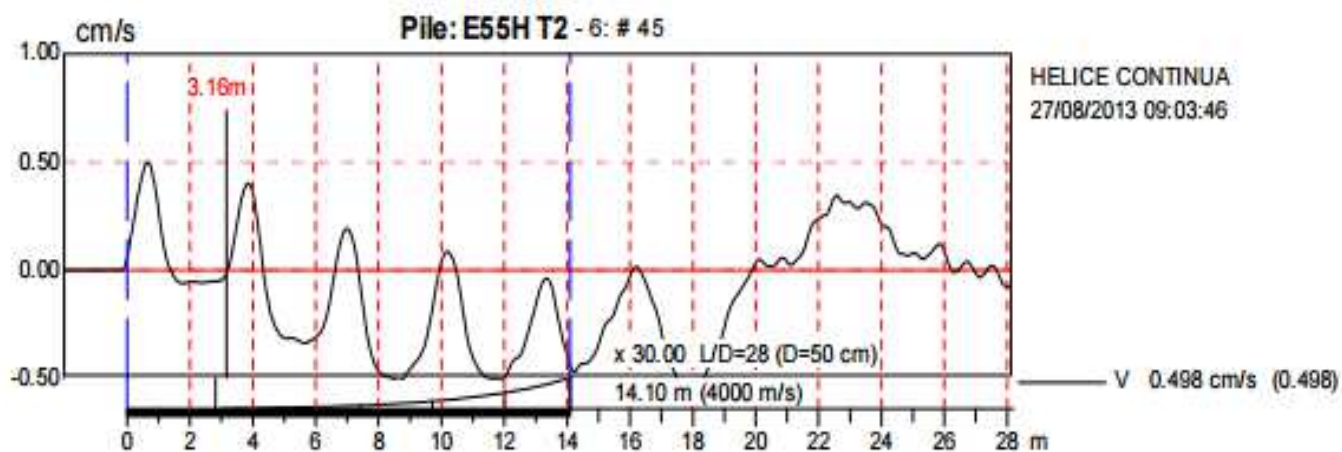


Figura 4 - Sinal típico de estaca com dano.
Fonte - BUNGENSTAB; BEIM, (2014).

2.5 PRECISÃO E LIMITAÇÕES

De acordo com ABENDI (2015), o PIT possui precisões e limitações listadas a seguir:

- É possível determinar a velocidade de propagação da onda com uma precisão de 5% se o comprimento da estaca for conhecido com precisão e a reflexão de ponta for nítida;

- O comprimento máximo possível da estaca para o ensaio com baixa deformação é limitado. Portanto a relação entre o comprimento (L) e a dimensão transversal (D) da estaca deve variar entre 30 e 50;
- Danos muito próximos à ponta da estaca podem ser impossíveis de detectar com este método, já que a reflexão causada pelo dano poderá ser confundida com a própria reflexão de ponta;
- Anomalias ou fissuras em regiões muito próximas ao topo poderão ocasionar um resultado inconclusivo;
- A avaliação da integridade abaixo de uma anomalia transversal que abranja a maior parte da seção da estaca normalmente não é possível;
- O ensaio não é capaz de distinguir entre redução de área de seção e redução da qualidade do material. Isto se deve ao fato de ser impossível de determinar qual dos parâmetros da impedância é o causador de uma eventual variação detectada;
- Caso seja necessária a comprovação da integridade do fuste abaixo do limite do ensaio de integridade com baixa deformação, deverá ser previsto outro tipo de ensaio de integridade, sem limitação de comprimento.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

A obra consiste na construção de um edifício comercial de treze pavimentos, localizado próximo a Praça José Lima da Silva, no bairro Brasileira na

cidade de Betim – estado de Minas Gerais. Os ensaios realizados são referentes às vinte e três estacas de um conjunto de nove blocos do projeto de fundação que pode ser visto no Anexo II. As estacas deste projeto foram dimensionadas com 12m de comprimento.

Segue na Figura 5 o local de execução do ensaio nas estacas da obra predial em Betim.



Figura 5 - Obra predial na cidade de Betim.
Fonte - Autoras do artigo, 2015.

As fundações são em estacas moldada *in loco* do tipo Hélice Contínua Monitorada cravadas até a profundidade do solo residual. As mesmas foram escolhidas devido ao nível de água presente no local e a fim de evitar vibrações e impactos sonoros.

As características do solo estão relatadas no relatório de sondagem do Anexo III. O croqui de locação destas sondagens pode ser visto na Figura 6.

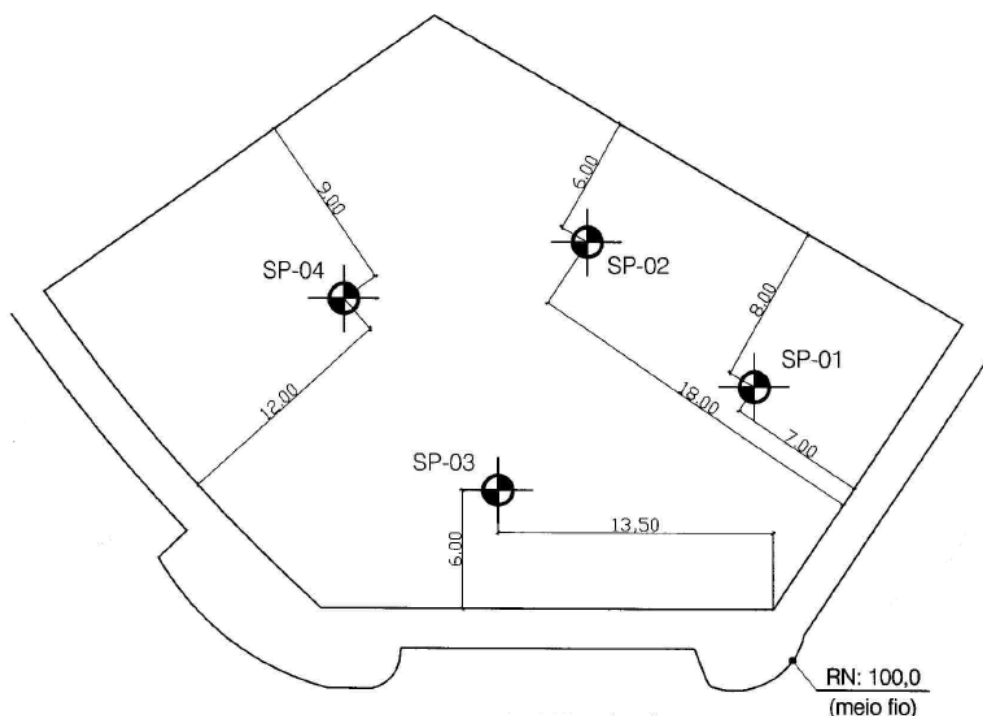


Figura 6 - Croqui de locação de sondagem.
Fonte - Sotel, 2015.

3.2 ENSAIO EM CAMPO

Para a elaboração do trabalho, primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o levantamento dos dados necessários para compor o estudo.

Posteriormente, em setembro de 2015, foi realizado o ensaio PIT nas estacas da obra predial em estudo. Segue abaixo as etapas da execução do ensaio PIT de acordo com Malachias Filho, Beim e Araujo (2015):

- Fez-se, inicialmente, a instalação de um acelerômetro de alta sensibilidade no topo da estaca, por meio de fixação com cera adesiva especial;
- Logo em seguida, foram aplicados golpes com um martelo de mão com ponta de plástico duro, de forma a induzir um pulso de força de pequena duração sem causar dano à estaca no local do impacto;

- Após o impacto do martelo, o pulso de compressão resultante se propaga ao longo da estaca. Quando a onda alcança a ponta do elemento, uma reflexão é gerada, a qual faz então o caminho de volta, se deslocando para o topo;
- Posteriormente é gerado um sinal de aceleração em função do tempo, o qual foi armazenado pela unidade coletora de dados e integrado para a obtenção do sinal de velocidade em relação ao tempo;
- Por fim, todos os sinais gerados foram analisados através da teoria da propagação da onda de tensão, permitindo assim a geração dos resultados.

4 RESULTADOS

Os gráficos gerados para cada estaca da obra predial encontram-se no Anexo IV. Após análise, os mesmos foram classificados quanto a sua integridade física de acordo com Anexo I.

Seguem na Tabela 1 suas classificações:

Tabela 1 – Classificações das estacas.

| Estaca nº | Classificação de A à D |
|-----------|------------------------------|
| E02A | A - Estaca Íntegra |
| E02B | A - Estaca Íntegra |
| E02C | A - Estaca Íntegra |
| E05A | A - Estaca Íntegra |
| E05B | A - Estaca Íntegra |
| E05C | A - Estaca Íntegra |
| E05D | A - Estaca Íntegra |
| E05E | A - Estaca Íntegra |
| E12A | A - Estaca Íntegra |
| E12B | A - Estaca Íntegra |
| E12C | A - Estaca Íntegra |
| E13A | A - Estaca Íntegra |
| E13B | A - Estaca Íntegra |
| E13C | D – Diagnóstico Inconclusivo |
| E16A | A - Estaca Íntegra |
| E16B | A - Estaca Íntegra |
| E16C | A - Estaca Íntegra |
| E17A | A - Estaca Íntegra |
| E17B | A - Estaca Íntegra |
| E17C | A - Estaca Íntegra |
| E44A | D – Diagnóstico Inconclusivo |
| E45A | A - Estaca Íntegra |
| E46A | A - Estaca Íntegra |

Fonte - Autoras do artigo, 2015.

As estacas E02A e E02B foram classificadas como íntegras, porém não apresentaram reflexão nítida de ponta contínua. Este fenômeno pode ser ocasionado devido à estaca ter comprimento excessivo ($L/D > 30$ a 50) e/ou alta resistência do solo (atrito lateral) ou ainda apresentar sinal complexo devido à baixa qualidade do concreto no topo, interferências externas, etc (ABENDI, 2015). A causa mais provável para este caso é em virtude do atrito lateral provocado pela resistência do solo naquele local.

A estaca E13C apresentou diagnóstico inconclusivo. A Figura 7 aponta que a cabeça da estaca apresenta

ausência de concreto, impossibilitando assim a correta execução do ensaio PIT neste caso. Sugere-se então, o reforço de fundação neste bloco.



Figura 7 - Estaca 13C.
Fonte - Autoras do artigo, 2015.

Como informado inicialmente no projeto de fundação, as estacas da obra em Betim foram dimensionadas com 12m de comprimento. Porém, a análise do sinal da estaca E17C apresentou-se como íntegra apenas até 10m de comprimento. Ao visualizar o gráfico referente a esta estaca (Anexo IV.4), nota-se que a reflexão de ponta da mesma ocorreu aos 10m de comprimento comparando com a velocidade média da onda de tensão das demais estacas.

Já a análise da estaca E44A apresentou uma deformação no sinal no impacto do martelo. Mesmo após repetir o ensaio várias vezes, modificando sua posição em cada uma delas, o concreto do topo continuava se rompendo com o impacto do martelo. Com isso, sugere-se para este caso a repetição do ensaio em um nível abaixo do ponto ensaiado, ou seja, fazer um novo arrasamento em torno de 1m de profundidade.

As demais estacas ensaiadas foram classificadas como íntegras, e apresentaram sinais satisfatórios quanto a sua integridade física e comprimento. As variações de impedância observadas são consideradas normais dentro do padrão de estacas do tipo Hélice Contínua e com definição nítida de ponta.

5 CONCLUSÃO

Através da realização do ensaio PIT na obra predial da cidade de Betim, foi possível determinar a integridade das estacas ensaiadas, assim como confirmar seu comprimento real. Diante disto, observa-se relevância quanto à aplicação do teste, mesmo com todas as limitações existentes para a execução e análise do mesmo.

O estudo de caso apresentado mostrou em sua maioria estacas íntegras com detecção nítida da resposta de ponta e sem indicação relevante de impedância. Porém o mesmo também mostrou estacas com alterações de resultado, sendo cada caso estudado e avaliado de forma singular. As sugestões para estes se resumem em nova aplicação do ensaio, em alguns casos, e reforço de fundação, em outro.

A metodologia desenvolvida pelo trabalho é financeiramente viável, visto que diante da aplicação do ensaio é possível prevenir futuros gastos provenientes de problemas estruturais na construção.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao engenheiro Carlos Augusto Malachias Filho da empresa Fundatest por todo o apoio e suporte técnico na realização do ensaio e desenvolvimento das análises. E também ao engenheiro Estêvão Lannes Tolentino pela contribuição fundamental dada a este artigo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDI. *Execução e Diagnóstico de Ensaio de Integridade de Estacas com Baixa Deformação*. São Paulo: ABENDI, 2015.

AMIR, J. M. Pile Integrity Testing. Disponível em: <<http://www.piletest.com/papers/Integrity%20testing%202009.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

BUNGENSTAB, F. C. I; BEIM, J. W. Ensaio de Integridade (PIT) – Interpretação de Resultados Obtidos Para os Casos de Estacas Dos Tipos Hélice Contínua Monitorada e Raiz. *Fundações & Obras Geotécnicas*, v. 4, n. 46, p. 60-68. São Paulo: Rudder, 2014.

FUNDATEST Fundações e Obras Geotécnicas. *Relatório do ensaio PIT na obra do bairro Brasileia em Betim – MG*. Belo Horizonte: FUNDATEST, 2015.

MORGANO, C. M. Determining Embedment Depths of Deep Foundations Using Non-Destructive Methods. *Fifth International Conference on the Application of Stress-wave Theory to Piles*. Orlando: Townsend & Hussein, 734-747, 1996.

MALACHIAS FILHO, C. A; BEIM, J. W; ARAÚJO, S. P. M. O efeito de fissuras na interpretação de ensaios de integridade de baixa deformação (PIT). *Fundações e Obras Geotécnicas*, v. 6, n. 54, p. 54-60. São Paulo: Rudder, 2015.

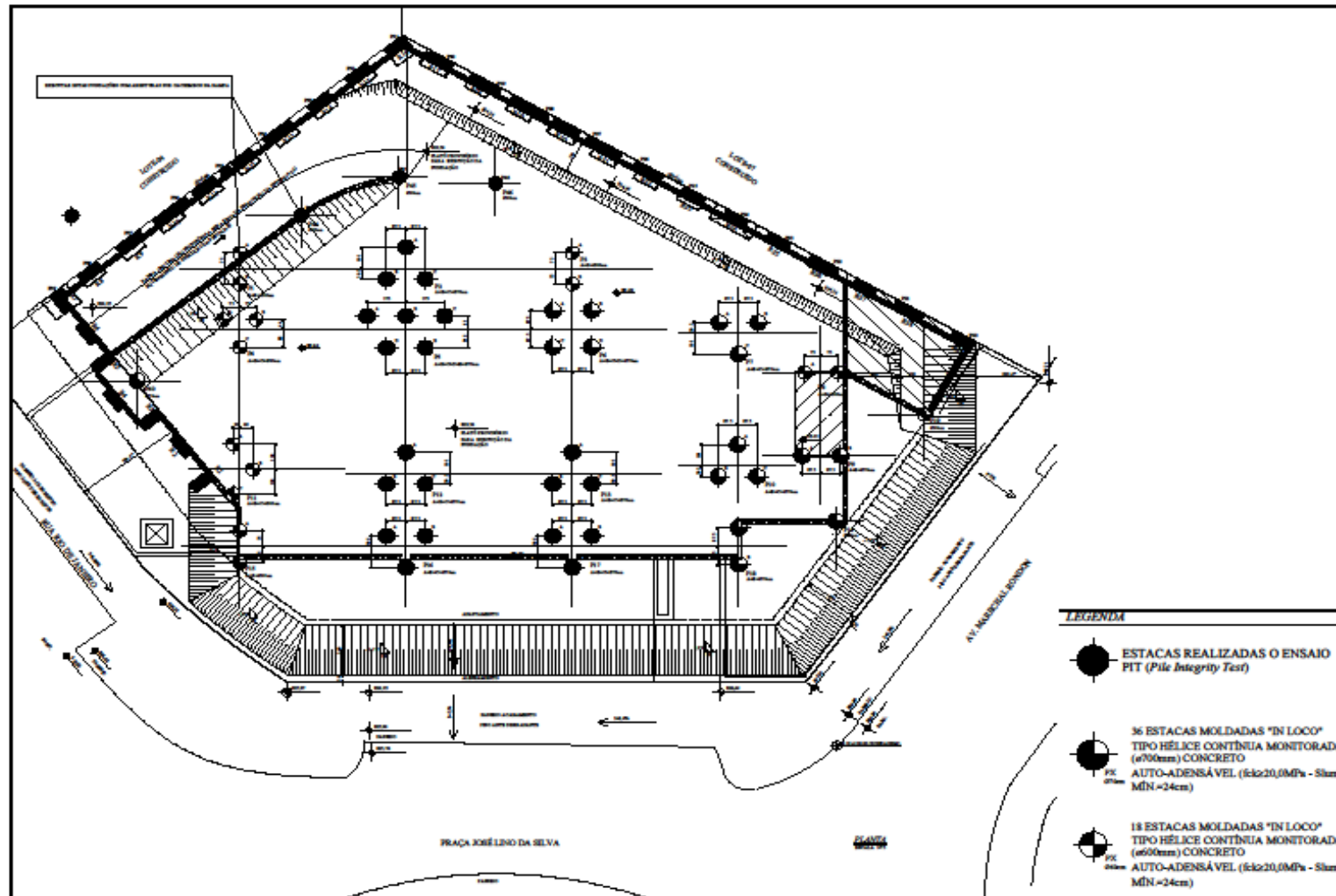
SOTEL. *Execução de sondagem à percussão na obra do bairro Brasileia em Betim – MG*. Belo Horizonte: SOTEL, 2013.

ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO DAS ESTACAS QUANTO SUA INTEGRIDADE FÍSICA

| Tipo de Estaca | | Diagnóstico | Verificações Adicionais | Recomendações |
|----------------|-------------------------------|--|--|---|
| A | | Estaca íntegra / homogênea | | |
| B | | Estaca com redução de impedância à XX m do topo | <ul style="list-style-type: none"> — verificação de padrão ou aleatoriedade do defeito/anomalia; — análise da geotecnia local; — análise dos dados construtivos; | <ul style="list-style-type: none"> — inspeção visual⁽²⁾; — repetição do ensaio com maior tempo de cura⁽³⁾; — ECD ou PCE⁽⁴⁾; |
| C | Anomalia <~20% ⁽¹⁾ | Estaca com pequena redução de impedância a XX m do topo | | Aprovada |
| | Anomalia >~20% ⁽¹⁾ | Estaca com redução de impedância a XX m do topo | <ul style="list-style-type: none"> — verificação de padrão ou aleatoriedade do defeito/anomalia; — análise da geotecnia local; — análise dos dados construtivos; — estimativa da magnitude do defeito⁽¹⁾; | <ul style="list-style-type: none"> — inspeção visual⁽²⁾; — repetição do ensaio com maior tempo de cura⁽³⁾; — ECD ou PCE⁽⁴⁾; |
| D | | Diagnóstico parcial de integridade ou de pequena anomalia ⁽⁶⁾ | | <ul style="list-style-type: none"> — Perfilagem Térmica TIP⁽⁶⁾; — Cross-hole⁽⁶⁾; |
| | | Indicação de redução de impedância | <ul style="list-style-type: none"> — verificação de padrão ou aleatoriedade do defeito/anomalia; — análise da geotecnia local; — análise dos dados construtivos; | <ul style="list-style-type: none"> — inspeção visual⁽²⁾; — repetição do ensaio com maior tempo de cura⁽³⁾; — ECD ou PCE⁽⁴⁾; — Cross-hole⁽⁶⁾ |
| | | Diagnóstico inconclusivo | | |

Fonte - ABENDI, 2015.

ANEXO II – PROJETO DE FUNDAÇÃO DA OBRA PREDIAL EM BETIM



Fonte - Direitos Reservados, 2015.

ANEXO III – RELATÓRIO DE SONDAGEM

ANEXO III.1 - FURO SP01.

| SONDAGEM DE RECONHECIMENTO Ø 2 1/2" | | | | | | | FURO: SP-01 | COTA: 100,40 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----|------------------------|----|--------|---------------------|--------------------------|--------------|----------------------|---------------|----|----|----|--|---------------|-------|-----------|---|--|
| GRÁFICO SPT x PROFUNDIDADE | | NÚMERO DE GOLPES | | MÉTODO | NÍVEL DA ÁGUA | PROFUN- DIDADE (m) | CAMA- DAS | ESPE- SURA (m) | CLASSIFICAÇÃO | | | | | | | | | |
| 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | I | F | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | TC | | | | | 0,05 | Concreto. | | |
| | | | | | | | | | | 3 | 4 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | TH | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 4 | 4 | | | | | | Argila silto-arenosa (areia fina), com pedregulhos finos, cor variegada (marrom e amarela), mole a média. | |
| | | | | | | | | | | 8 | 9 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 12 | 14 | | | 96,60 | 3,80 | | | |
| | | | | | | | | | | 12 | 15 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 13 | 17 | | | | | | Silte argiloso, pouco arenoso (areia fina), cor variegada (rosa, amarela e branca), rijo a duro. (SOLO RESIDUAL) | |
| | | | | | | | | | | 11 | 14 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 14 | 19 | | | N.A. 92,35 | | | | |
| | | | | | | | | | | 14 | 17 | | | 91,95 | 8,45 | | | |
| | | | | | | | | | | 17 | 22 | CA | | | | | Silte argiloso, pouco arenoso (areia fina), com pedregulhos finos a médios de quartzo, cor variegada (rosa, amarela e branca), rijo a duro. (SOLO RESIDUAL) | |
| | | | | | | | | | | 18 | 24 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 20 | 27 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 21 | 29 | | | 87,50 | 12,90 | | | |
| | | | | | | | | | | 24 | 30 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 23 | 31 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 29 | 37 | | | | | | Silte areno-argiloso (areia fina), cor variegada (rosa e branca), compacto. (SOLO RESIDUAL) | |
| | | | | | | | | | | 30 | 38 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 28 | 36 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 81,95 | 18,45 | | | |

Fonte - Sotel, 2015

ANEXO III.2 - FURO SP02.

| SONDAGEM DE RECONHECIMENTO Ø 2 1/2" | | | | | | | FURO: SP-02 | COTA: 100,39 | | | |
|-------------------------------------|----|----|------------------|--------|---------------|------------------|-------------|--|---------------|---|---|
| GRÁFICO SPT x PROFUNDIDADE | | | NÚMERO DE GOLPES | MÉTODO | NÍVEL DA ÁGUA | PROFUNDIDADE (m) | CAMADAS | ESPESURA (m) | CLASSIFICAÇÃO | | |
| 10 | 20 | 30 | | | | | | | | 40 | 50 |
| | | | 4 | 4 | N.A. 92,56 | 100,34 | 0 | 0,05 | Concreto. | | |
| | | | 5 | 6 | | TH | 96,69 | 1 | 0,05 | Argila siltosa, pouco arenosa (areia fina), com pedregulhos finos a médios, cor variegada (marrom e amarela), mole a média. | |
| | | | 7 | 9 | | 2 | 0,05 | | | | |
| | | | 10 | 11 | | 3 | 0,05 | | | | |
| | | | 12 | 16 | | 4 | 0,05 | | | | |
| | | | 14 | 18 | | 5 | 0,05 | | | | |
| | | | 13 | 18 | | 6 | 0,05 | Silte argiloso, pouco arenoso (areia fina), cor variegada (amarela e rosa), rijo. (SOLO RESIDUAL) | | | |
| | | | 11 | 15 | | 7 | 0,05 | | | | |
| | | | 13 | 17 | | 8 | 0,05 | | | | |
| | | | 16 | 19 | | 9 | 0,05 | | | | |
| | | | 18 | 24 | | 10 | 0,05 | | | | |
| | | | 18 | 22 | | 11 | 0,05 | 9,45 | 11 | 0,05 | Camada de pedregulhos finos a grossos de quartzo, siltosa, cor variegada (amarela e cinza), compacta. |
| | | | 21 | 27 | | 12 | 0,05 | Silte argiloso, pouco arenoso (areia fina), cor variegada (amarela e rosa), compacto. (SOLO RESIDUAL) | | | |
| | | | 23 | 29 | | 13 | 0,05 | | | | |
| | | | 29 | 35 | | 14 | 0,05 | | | | |
| | | | 29 | 37 | | 15 | 0,05 | | | | |
| | | | 33 | 39 | | 16 | 0,05 | | | | |
| | | | 31 | 40 | | 17 | 0,05 | Silte arenoso (areia fina), pouco argiloso, cor variegada (rosa, amarela e cinza), compacto. (SOLO RESIDUAL) | | | |
| | | 18 | 0,05 | | | | | | | | |
| | | | | 81,94 | 18 | 0,05 | 18,45 | | | | |

Fonte - Sotel, 2015.

ANEXO III.3 - FURO SP03.

| SONDAGEM DE RECONHECIMENTO Ø 2 1/2" | | | | | FURO: SP-03 | COTA: 100,40 | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----|------------------|----|--------|---------------|------------------|---------|---------------|---------------|----|----|----|--|--|--|--|------|----------|--|---|
| GRÁFICO SPT x PROFUNDIDADE | | NÚMERO DE GOLPES | | MÉTODO | NÍVEL DA ÁGUA | PROFUNDIDADE (m) | CAMADAS | ESPESSURA (m) | CLASSIFICAÇÃO | | | | | | | | | | | |
| 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | I | F | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 5 | 5 | TC | | | | | 0,05 | Concreto | | |
| | | | | | | | | | | 5 | 6 | TH | | | | | | 3,95 | Argila silto-arenosa (areia fina), com pedregulhos finos (dispersos), cor marrom, mole a média. | |
| | | | | | | | | | | 4 | 4 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 6 | 8 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 9 | 11 | CA | | | | | | | 9,85 | Silte argilo-arenoso (areia fina), cor variegada (amarela, rosa e cinza), médio a rijo. (SOLO RESIDUAL) |
| | | | | | | | | | | 10 | 13 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 12 | 15 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 11 | 13 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 14 | 17 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 14 | 15 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 16 | 22 | | | | | | | 10,50 | Camada de pedregulhos finos a grossos de quartzo, siltosa, cor variegada (amarela e cinza), medianamente compacta. | |
| | | | | | | | | | | 16 | 22 | | | | | | | | 18,45 | Silte arenoso (areia fina), pouco argiloso, cor variegada (rosa, amarela e branca), compacto. (SOLO RESIDUAL) |
| | | | | | | | | | | 18 | 21 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 18 | 25 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 21 | 29 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 24 | 33 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 26 | 36 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 29 | 39 | | | | | | | | | |
| | | | | | | 81,95 | | 18,45 | | | | | | | | | | | | |

Fonte - Sotel, 2015.

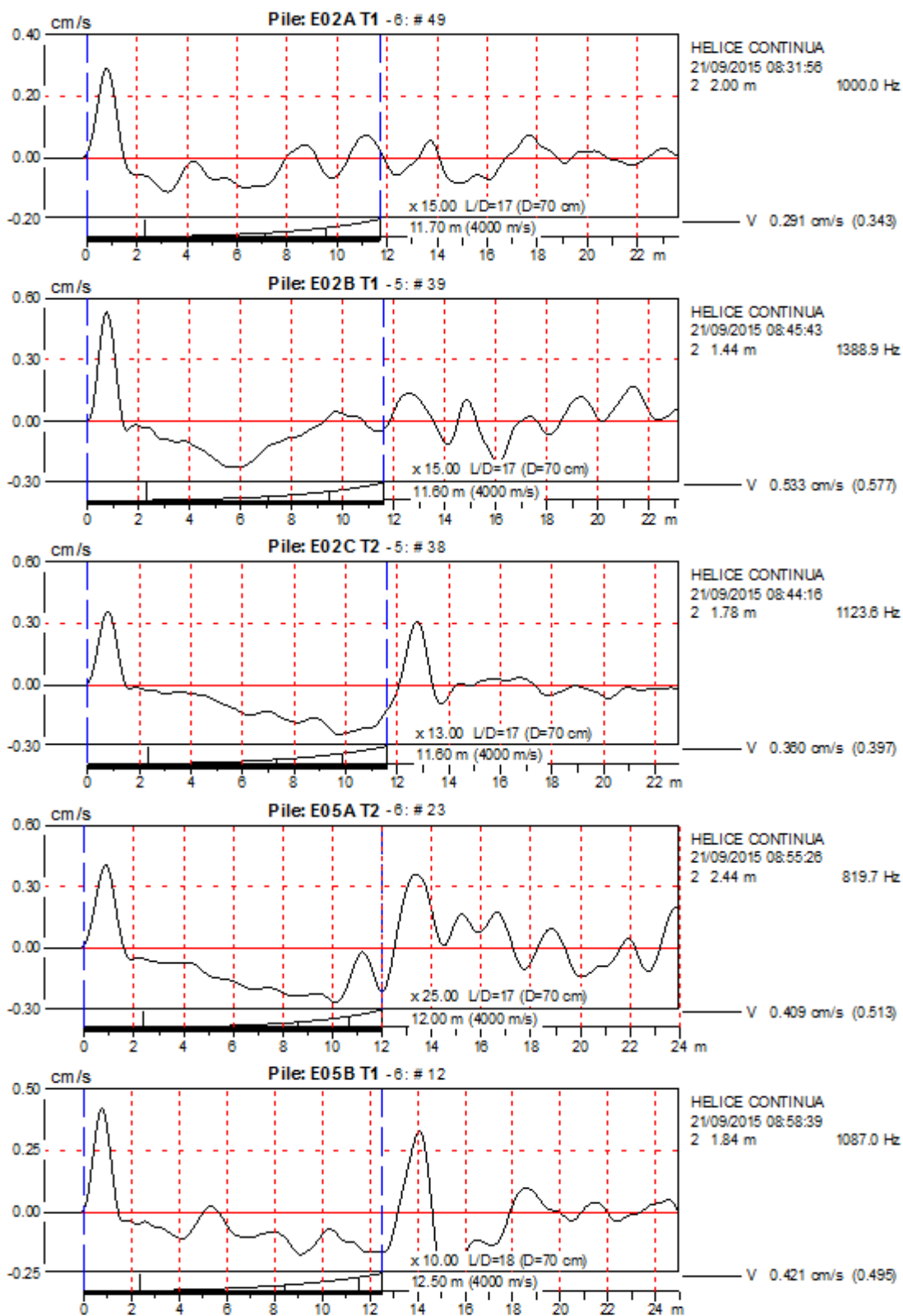
ANEXO III.4 - FURO SP04.

| SONDAGEM DE RECONHECIMENTO Ø 2 1/2" | | | | | | | | | | FURO: SP-04 | | COTA: 100,37 | | | |
|-------------------------------------|----|----|----|----|-----------------|----|--------|---------------|------------------|-------------|--|---|---|--|--|
| GRÁFICO SPT x PROFUNDIDADE | | | | | NÚMERO DE GOIPE | | MÉTODO | NÍVEL DA ÁGUA | PROFUNDIDADE (m) | CAMADAS | ESPESSURA (m) | CLASSIFICAÇÃO | | | |
| 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | | | | | | | | | |
| | | | | | 4 | 4 | TC | | 96,67 | 1 | 3,70 | Argila siltosa, pouco arenosa (areia fina), cor variegada (marrom), mole a média. | | | |
| | | | | | 5 | 6 | | | | TH | | | 2 | | |
| | | | | | 7 | 8 | | | | | | | 3 | | |
| | | | | | 9 | 12 | CA | | 4 | 8,15 | Silte arenoso (areia fina), pouco argiloso, cor variegada (rosa e amarela), rijo a duro. (SOLO RESIDUAL) | | | | |
| | | | | | 13 | 15 | | | 5 | | | | | | |
| | | | | | 14 | 17 | | | 6 | | | | | | |
| | | | | | 12 | 15 | | | 7 | | | | | | |
| | | | | | 13 | 18 | | | 8 | | | | | | |
| | | | | | 14 | 19 | | | 9 | | | | | | |
| | | | | | 12 | 16 | CA | | 10 | 13,50 | Silte areno-argiloso (areia fina), cor variegada (rosa, amarela e branca), medianamente compacto a compacto. (SOLO RESIDUAL) | | | | |
| | | | | | 18 | 22 | | | 11 | | | | | | |
| | | | | | 16 | 23 | | | 12 | | | | | | |
| | | | | | 19 | 26 | | | 13 | | | | | | |
| | | | | | 18 | 26 | | | 14 | | | | | | |
| | | | | | 24 | 32 | | | 15 | | | | | | |
| | | | | | 27 | 36 | CA | | 16 | 18,45 | Silte arenoso (areia fina), pouco argiloso, (cor variegada (rosa e amarela), compacto. (SOLO RESIDUAL) | | | | |
| | | | | | 25 | 36 | | | 17 | | | | | | |
| | | | | | 27 | 40 | | | 18 | | | | | | |

Fonte - Sotel, 2015.

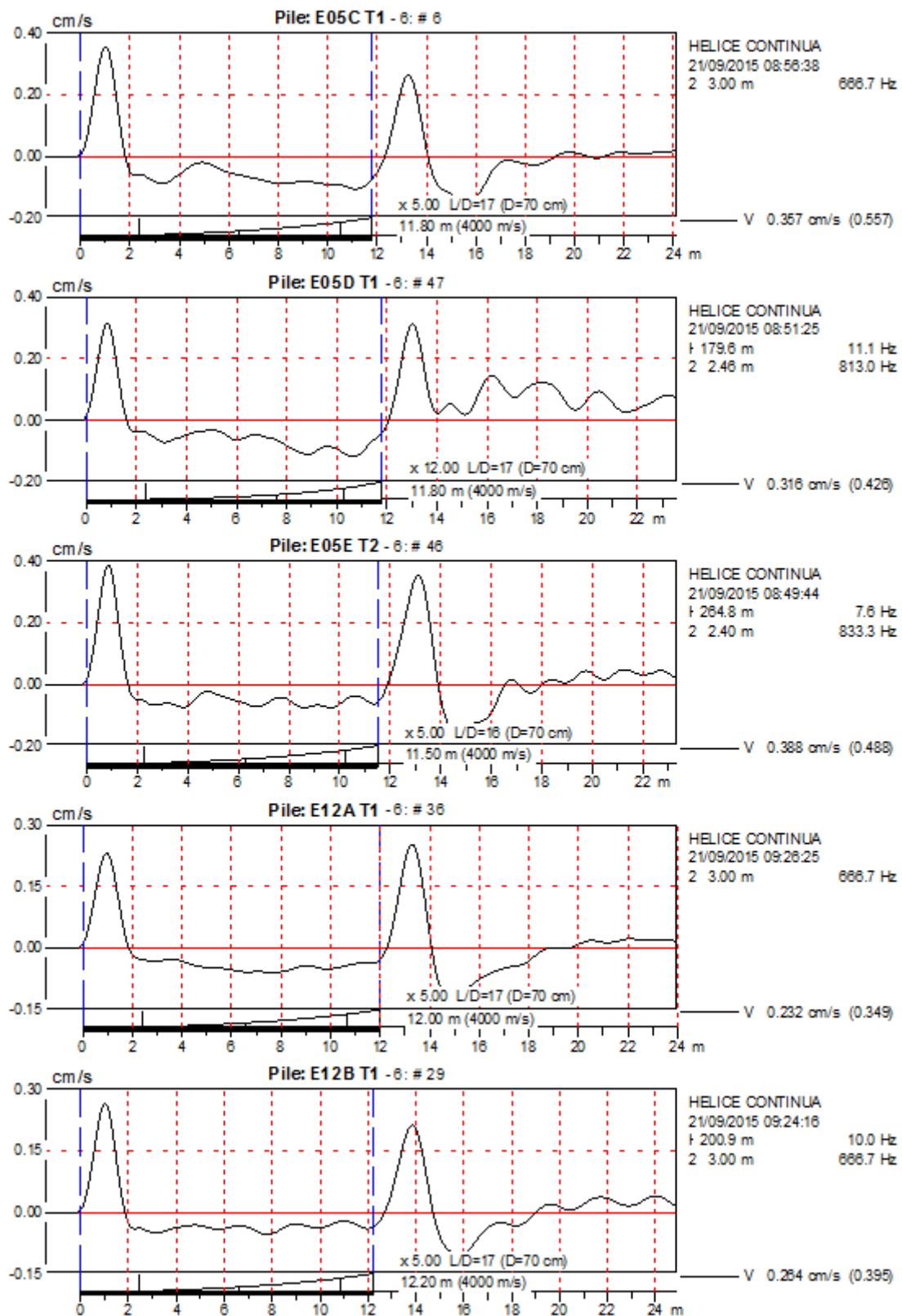
ANEXO IV – GRÁFICOS DAS ESTACAS

ANEXO IV.1 - GRÁFICOS DAS ESTACAS E02A, E02B, E02C, E05A E E05B.



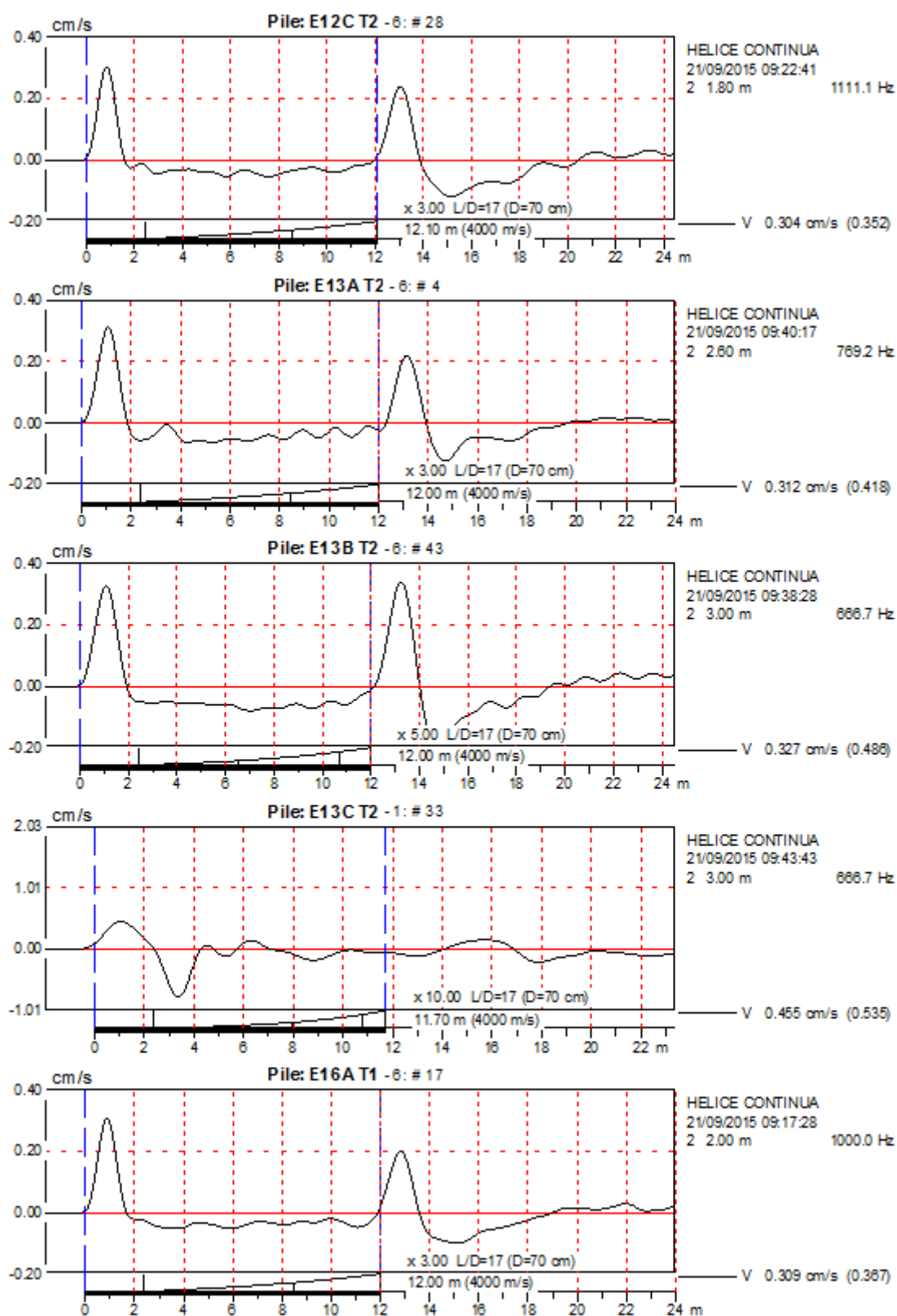
Fonte - Fundatest, 2015.

ANEXO IV.2 - GRÁFICOS DAS ESTACAS E05C, E05D, E05E, E12A E E12B.



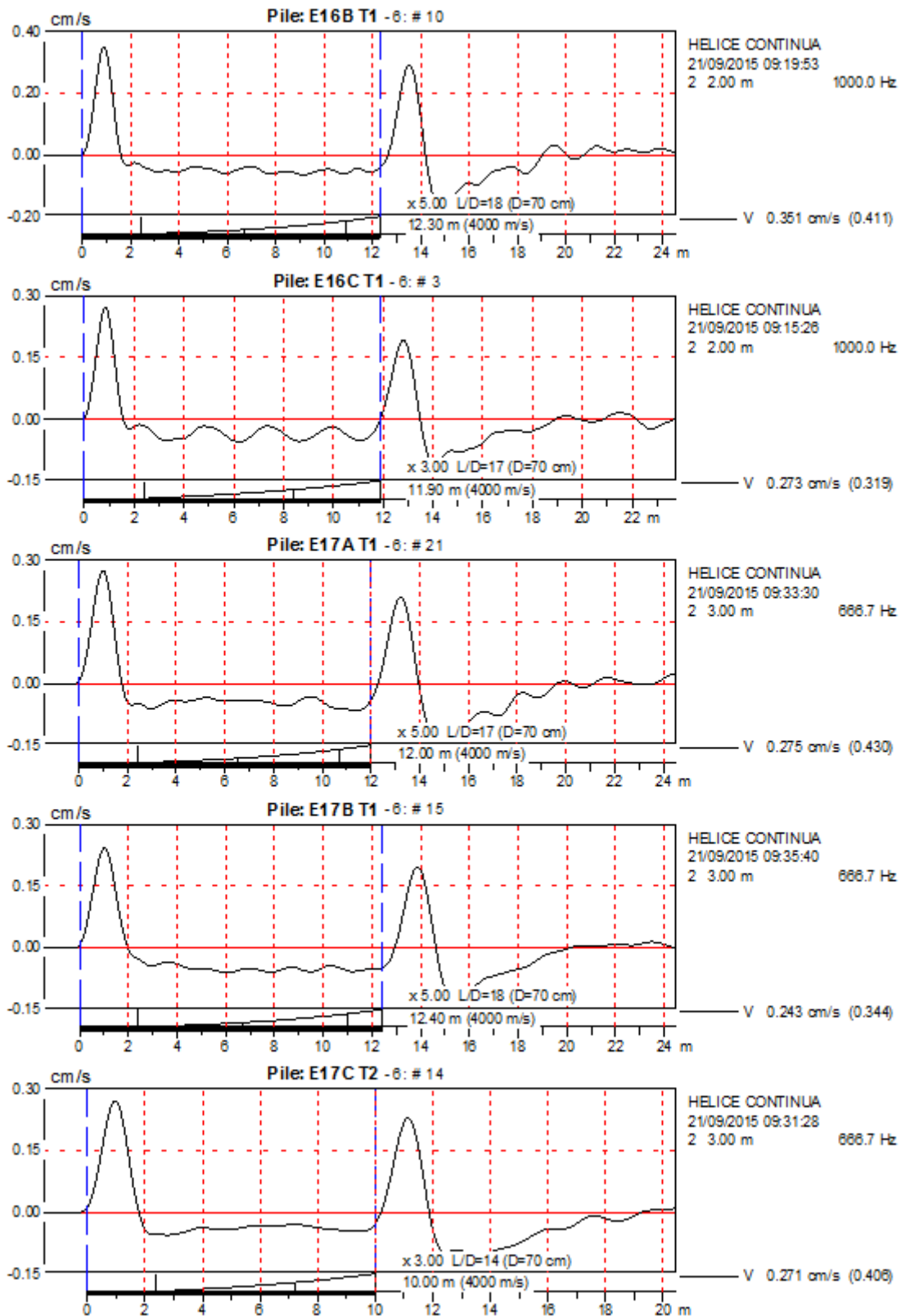
Fonte - Fundatest, 2015.

ANEXO IV.3 - GRÁFICOS DAS ESTACAS E12C, E13A, E13B, E13C E E16A.



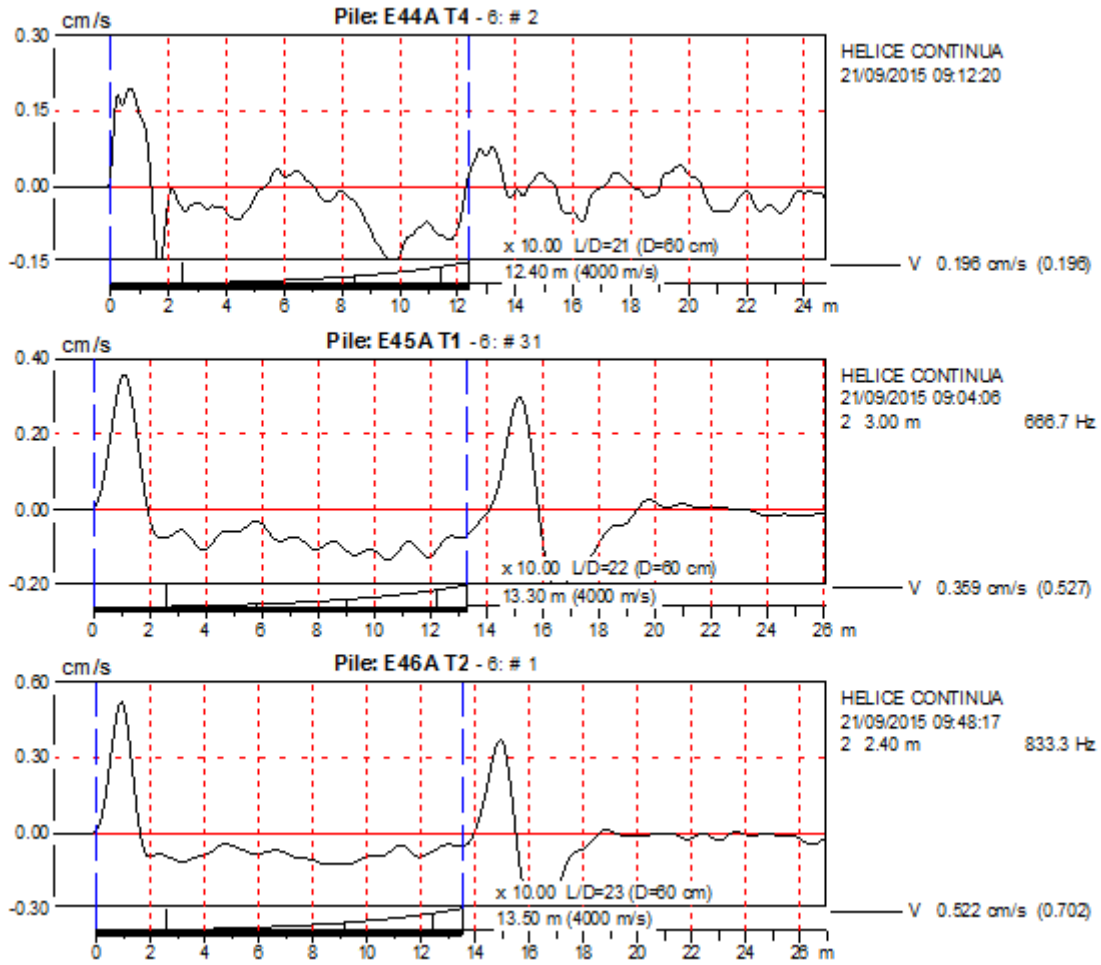
Fonte - Fundatest, 2015.

ANEXO IV.4 - GRÁFICOS DAS ESTACAS E16B, E16C, E17A, E17B E E17C.



Fonte - Fundatest, 2015.

ANEXO IV.5 - GRÁFICOS DAS ESTACAS E44A, E45A E E46A.



Fonte - Fundatest, 2015.