

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/303

Ensaio de Baixa Deformação para Verificação da Integridade de Estacas com a Utilização de Diferentes Martelos e Massas para Aderência

João Pedro Basques
Engenheiro Civil, UniCEUB, Brasília, Brasil, joao.pedrok6@gmail.com

Gustavo Silva Siqueira
Engenheiro Civil, UniCEUB, Brasília, Brasil, gustavo.ssiqueira18@gmail.com

Gabriela de Athayde Duboc Bahia
Engenheira Civil, UniCEUB, Brasília, Brasil, gabriela.bahia@ceub.edu.br

Vanilson Gustavo Santos
Engenheiro Civil, UniCEUB, Brasília, Brasil, vanilson.gustavo@uniceub.br

RESUMO: As estacas são elementos estruturais que transmitem a carga advinda da edificação para o terreno. Devido ao fato de serem elementos enterrados, a análise da sua integridade fica restrita a realização de ensaios qualitativos. Dentre os ensaios utilizados para a verificação da integridade das fundações, destaca-se o ensaio de PIT (*Pile Integrity Test*). Dessa forma, este artigo tem como objetivo avaliar a variabilidade dos sinais obtidos a partir dos resultados dos ensaios de PIT realizados em estacas escavadas e hélices contínua, de diferentes diâmetros e comprimentos, variando o tipo de martelo e a massa de aderência do acelerômetro. Para isso, foram utilizados martelo thorex 720/32mm, marreta de ferro 2kg, martelo de borracha 40mm e martelo de plástico ABS40mm e como massa de aderência, a cera de petróleo e a massa de calafetar. Após a realização dos ensaios observou-se que: com a utilização do martelo de ferro, os reflectogramas apresentaram maiores trepidações quando comparado aos demais martelos; a massa de calafetar não dispõe da mesma eficiência que a cera de petróleo; os martelos de borracha e plástico quando utilizados juntos da massa de calafetar apresentaram baixa eficiência em relação ao thorex, apresentando uma quantidade elevada de sinais perdidos. Dessa forma, foi observado que os conjuntos martelo thorex 720/32mm e a cera de petróleo e martelo de plástico com cera de petróleo produzem os melhores resultados que as demais ferramentas/materiais testados.

PALAVRAS-CHAVE: PIT, integridade de estacas, ensaios qualitativos

ABSTRACT: Foundation piles are structural elements that transmit the load from the building to the soil. Due to the fact that they are elements buried in the ground, the analysis of their integrity is restricted to qualitative tests. Among the tests used to verify the integrity of foundations, the PIT test (*Pile Integrity Test*) stands out. Therefore, this article aims to evaluate the variability of signals obtained from the results of PIT tests carried out on excavated piles and flight auger, of different diameters and lengths, varying the type of hammer and the adhesion mass of the accelerometer. For this, a 720/32mm Thorex hammer, a 2kg iron sledgehammer, a 40mm rubber hammer and a 40mm ABS plastic hammer were used. Petroleum wax and caulk were used as adhesion compound. After carrying out the tests it was observed that: with the use of the iron hammer, the reflectograms showed greater vibrations when compared to other hammers; caulk does not have the same efficiency as petroleum wax; rubber and plastic hammers showed low efficiency compared to Thorex, presenting a high number of lost signals. Therefore, it was observed that the Thorex 720/32mm hammer and petroleum wax and plastic hammer with petroleum wax produce better results than the other tools/materials tested.

KEYWORDS: PIT, pile integrity, qualitative essays

1 INTRODUÇÃO

Elementos de fundação são componentes da estrutura responsáveis por transmitir os carregamentos provenientes da edificação, para o solo. Pelo fato de serem elementos encobertos, há uma dificuldade em se identificar manifestações patológicas provenientes de má execução ou de dano estrutural. Dessa forma, para avaliar se esses elementos estão em boas condições de utilização, podem ser efetuados ensaios de integridade de baixa deformação, como por exemplo o PIT.

O ensaio de PIT é considerado um ensaio econômico, simples e rápido de ser executado. Porém, ele apresenta como desvantagem a possibilidade de gerar resultados falso negativos. Dessa forma, é um ensaio que exige uma certa experiência do engenheiro para a análise dos dados, sendo necessária a realização do cruzamento das informações de sondagem, nível d'água, armação das estacas, método executivo e demais informações que se fizerem necessárias para uma adequada interpretação e análise dos resultados.

No Brasil, apesar de ser um ensaio bastante utilizado, ainda não possui norma brasileira, portanto, todos os parâmetros de análise e de execução são fundamentados em normas estrangeiras, como por exemplo a norma ASTM-D-5882 (2016).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Generalidades Acerca do Ensaio de PIT

O ensaio de PIT tem por objetivo verificar a integridade das fundações profundas ao longo de todo seu comprimento, mediante ondas de tensão que trafegam ao longo da estaca e que ao serem captadas pelo sensor, geram reflectômetros que podem ser interpretados de modo a identificar falhas executivas no processo construtivo da fundação.

O método de ensaio é comumente capaz de identificar danos consideráveis nas estacas, porém é importante destacar que podem ocorrer falsos diagnósticos, apontando anomalias inexistentes ou inexpressivas, nas seguintes situações (ABENDI PRE 001, 2016):

- a) Estacas que atravessam camadas de solo com variações de resistência relativamente bruscas. As reflexões causadas por essas variações podem ser confundidas com anomalias ou danos.
- b) Existência de variações normais de impedância, resultantes do processo executivo das estacas moldadas *in loco*.
- c) Existência de fissuras de retração.
- d) Mudanças do módulo de elasticidade do concreto e do seu peso específico na profundidade em que a armadura se encontra.

2.2 Processo Executivo do Ensaio de PIT

De acordo com a ASTM-D-5882 (2016), o ensaio de PIT pode ser realizado com acelerômetros, transdutores de velocidade ou de deslocamento; aparelho para a gravação dos sinais transmitidos; e, qualquer aparelho ou dispositivo que produza um pulso de força de entrada (como um martelo de mão), sem gerar dano na estaca.

Conforme ABENDI PRE 001 (2016) e a ASTM-D-5882 (2016), o processo de execução do ensaio inicia-se pelo arrasamento da estaca visando eliminar todo o concreto de má qualidade encontrado na sua cabeça.

Após a limpeza dos resíduos gerados pelo arrasamento, o acelerômetro é fixado no topo da estaca com o uso de uma massa de aderência. Em seguida, o equipamento é ativado e conectado ao acelerômetro e por conseguinte são efetuados golpes sucessivos com martelo a fim de obter o reflectômetro médio de resultados acerca da integridade de cada estaca.

Para que o ensaio seja realizado adequadamente, as estacas podem ser preparadas de modo que a parte a qual sofrerá o golpe esteja com o concreto íntegro e nivelado. Este processo pode ser realizado por meio de lixadeiras e marteletes leves para não trincar a cabeça da estaca. Além disso, é de suma importância que o

material esteja seco sem qualquer indício de umidade visando certificar uma união eficaz entre a massa aderente e a superfície da estaca.

De acordo com Pasqual (2018), no processo de preparação para o ensaio, não podem ser utilizados argamassa ou graute na regularização da cabeça da estaca, uma vez que o material a ser testado deve ser idêntico e de mesma idade ao restante da peça, visto que, a utilização de materiais impróprios geram interferências nos sinais captados. Além disso, o ensaio de integridade deverá ser realizado com no mínimo 7 (sete) dias após a execução da fundação ou após a resistência do concreto atingir pelo menos 75% da resistência indicada em projeto, o que ocorrer primeiro (ASTM-D-5882, 2016).

Nos casos em que os blocos de coroamento já estejam executados, deverá ser aberta uma janela, abaixo do bloco, para que o ensaio possa ser executado no fuste da estaca, conforme apresentado na figura 1.

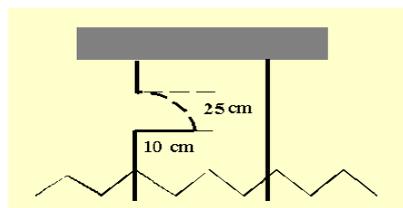


Figura 1. Execução do ensaio sob bloco de coroamento.

2.2 Impedância

Um dos principais conceitos relativos ao ensaio de PIT, é a variação da impedância ao longo do fuste. Este conceito pode ser definido por meio da equação 1

$$Z = A\sqrt{E\rho} \quad (1)$$

Sendo:

Z = impedância.

ρ = massa específica do material.

A = área de seção transversal da estaca.

E = módulo de elasticidade do material da estaca.

Com base na equação 1, fica evidente que a impedância é utilizada para avaliar as reflexões obtidas durante o ensaio. Segundo Beim e Bungenstab (2014) as reduções de impedância ocasionam pulsos de velocidade no mesmo sentido do pulso de início (causado pelo impacto do martelo). Já com o aumento de impedância, o gráfico mostra pulsos no sentido contrário ao inicial e mudanças progressivas de velocidade (v) que frequentemente apontam a resistência do solo.

Sendo assim, a impedância está relacionada com as alterações de sinais das estacas, que podem ser provenientes da variação de seção ao longo da estaca (A), módulo de elasticidade do material (E) e de sua massa específica (ρ). Dessa forma, quando houver alterações no corpo da estaca, haverá também variação de impedância, gerando por consequência uma modificação na velocidade das partículas.

Conforme ilustrado na imagem, verifica-se que o aumento de impedância gera uma queda na velocidade, onda com o sinal negativo, e a redução de impedância gera um aumento da velocidade, identificado com o sinal positivo.

2.3 Principais Parâmetros que Podem Influenciar os Sinais de PIT

A seguir são apresentados alguns fatores que podem influenciar na obtenção dos sinais do ensaio de PIT. Esses fatores foram apontados a partir daqueles que influenciam diretamente na equação de impedância, (módulo de elasticidade, massa específica e área da seção transversal da estaca), mas também no que se refere ao equipamento utilizado no ensaio, o qual pode interferir no processo de captação dos sinais.

2.3.1 *Influência da Armadura*

As armaduras que compõem as estacas podem influenciar nos reflectogramas, de modo que quanto maior a taxa de aço, maior será o módulo de elasticidade e maior será a massa específica do trecho armado da estaca.

A correlação entre o tipo de martelo utilizado e a taxa de aço incorporado na estrutura podem afetar os sinais obtidos pelo acelerômetro, uma vez que as barras tendem a vibrar após o impacto do martelo na cabeça da estaca. Dessa forma, Beim e Bungenstab (2014) recomendam cortar os ferros expostos acima da cota de arrasamento da estaca, deixando-os no máximo com um metro de altura com o objetivo de evitar vibração das barras e conseqüentemente, interferências no ensaio.

Além disso, segundo Pasqual (2018), quando não há armadura em toda a extensão da estaca, parte das ondas se propagam em um trecho armado e parte em um trecho não armado, gerando uma redução de impedância no ponto de transição, podendo causar uma reflexão no sinal de velocidade, podendo ser avaliada como dano na estaca, caso mal interpretado.

2.3.2 *Influência do Solo*

Segundo os autores Bungenstab e Beim (2015) um fator determinante no ensaio de PIT, é o tipo de solo em que a fundação está inserida. A execução de maneira inadequada em solos de baixa resistência, podem gerar bulbos ou estrangulamentos do fuste ao longo da seção transversal da estrutura, ocasionando variação de impedância. Além disso, no momento em que a onda atinge um trecho rochoso, há um aumento de impedância ocasionado pelo acréscimo de atrito lateral na estrutura.

2.3.3 *Influência do Tipo de Fundação*

Os tipos de fundação também são significativos para o resultado do ensaio. De acordo com Bungenstab e Beim (2015), na estaca raiz, por exemplo, as apurações podem sofrer alterações devido à falha executiva, tal como limpeza inadequada do revestimento utilizado em sua execução. Além disso, esse tipo de estaca é caracterizado pela formação de bulbos ao longo de sua seção devido à aplicação de pressão de injeção. Assim, quando essas variações ocorrem próximas ao topo da estaca, as reflexões secundárias podem tornar os sinais inconclusivos mas sem significar necessariamente que a estaca apresenta dano.

No caso de estacas pré-moldadas de concreto, em razão das emendas não terem uma sobreposição perfeita, podem gerar a perda total da energia da onda de tensão proveniente do impacto do martelo, não sendo recomendada para a realização do referido ensaio.

Outra estaca que não se recomenda o ensaio é a estaca metálica em razão da dificuldade de interpretação do ensaio, devido a sua considerável esbeltez. Estacas inclinadas também não apresentam recomendação para o ensaio por conta da interferência da armadura da estaca e a dificuldade da onda percorrer estacas nessa posição.

Na hélice contínua o resultado do ensaio se torna mais assertivo devido à sua maneira de execução. De acordo com Tavares (2009), o processo de escavação das estacas hélice contínua deve ser controlado para garantir que não haja solo excedente constantemente, garantindo um nível de deslocamento de solo congruente durante o processo executivo, evitando assim, o aumento da seção e estrangulamento do fuste.

2.3.4 *Massa Aderente*

A massa aderente utilizada para fixar o acelerômetro na cabeça da estaca usualmente é feita de cera de petróleo ou vaselina. Porém, vale destacar que a norma ASTM-D-5882 (2016) não estabelece um material específico a ser utilizado para a fixação do acelerômetro. Dessa forma, podem ser utilizados quaisquer materiais que garantam a fixação do acelerômetro na cabeça da estaca e a apropriada transmissão de sinal.

Não foram encontradas bibliografias que apresentem a influência das diferentes massas de aderência nos reflectogramas.

2.3.5 Utilização de Diferentes Tipos de Martelo

No que tange ao martelo (não instrumentado), existem diferentes tipos de materiais que podem ser utilizados, como por exemplo: borracha, plástico, ferro e alumínio. Cada um deles, visando obter resultados parelhos e detalhados em determinados pontos da estaca.

De acordo com Rausche, Linkins e Kung (1992), martelos com pontas de plástico muito rígidas podem gerar pulsos de força sem danificar as estacas. Além disso, o peso dos martelos pode variar entre 0,5 kg à 5,0 kg dependendo do tamanho da estaca a ser testada, entre os quais os menores provocam impactos inferiores e maiores frequências, gerando maiores detalhes sobre a variação de impedância. Já os martelos de maior porte e peso geram maior energia, sendo preferíveis para captar uma melhor reflexão na ponta da estaca.

3 METODOLOGIA

Para a realização do estudo de integridade das estacas, foram realizados ensaios nas regiões Noroeste e Setor de Clubes Sul localizadas no Distrito Federal.

3.1 Realização do Ensaio

Foram efetuados ensaios em diferentes datas e em estacas do tipo hélice contínua de diferentes comprimentos e diâmetros. Na obra localizada no Noroeste, foram analisadas 6 (seis) estacas, com diâmetros de 50 cm e 60 cm e profundidades entre 9 (nove) e 12 (doze) metros. No Setor de Clubes Sul foram analisadas estacas com diâmetro de 30 cm, e ensaiadas 6 (seis) estacas com comprimentos variando entre 10 (dez) e 12 (doze) metros.

3.1.1 OBRA NOROESTE

O ensaio foi iniciado utilizando o martelo thorex com a cera de petróleo. Dessa forma, foram realizados 10 (dez) golpes com o acelerômetro em uma posição. Em seguida, trocou-se a cera pela massa de calafetar e repetiu-se o processo com o martelo thorex. Para os demais martelos foi realizado o mesmo procedimento, intercalando a massa de aderência entre a cera de petróleo e a massa de calafetar.

Dessa forma, foram utilizados 3 (três) tipos de martelo, respectivamente, da esquerda para a direita: marreta de ferro de 2kg, o martelo thorex 710 de 32 mm, e o martelo com borda de plástico ABS 40mm, conforme apresentado na figura 2.



Figura 2. Martelos utilizados no ensaio PIT.
Fonte: Imagem do autor.

3.1.2 OBRA SETOR DE CLUBES SUL

Para a obra do Setor de Clubes Sul, foi utilizada a mesma metodologia exposta no item 3.1.1, porém foram realizados apenas 5 (cinco) golpes com o martelo, e ao invés da utilização do martelo de plástico, o ensaio foi executado com os martelos de borracha 40mm (figura 3), martelo thorex 710 de 32mm e marreta de ferro de 2kg.



Figura 3. Martelo de borracha 40mm.
 Fonte: Site Loja do Mecânico, 2022.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em decorrência dos diferentes tipos de materiais utilizados no ensaio, observou-se, para alguns conjuntos de martelo e massa de aderência, uma dificuldade de captação dos sinais obtidos. Os gráficos 1 e 2 apresentam a quantidade de sinais perdidos e obtidos para cada conjunto de martelo e massa de aderência utilizado no ensaio.

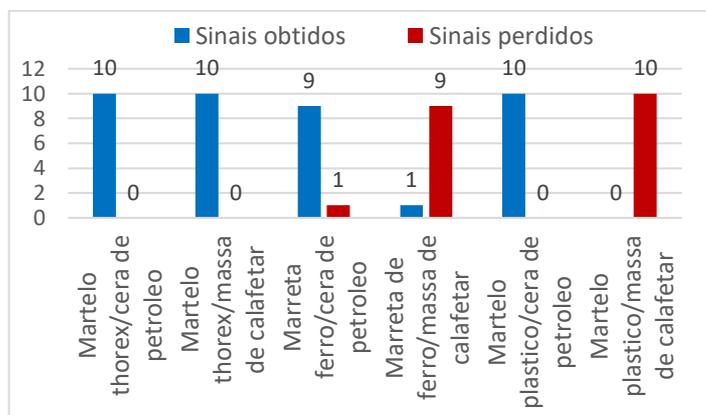


Gráfico 1. Sinais obtidos x sinais perdidos –Obra Noroeste.

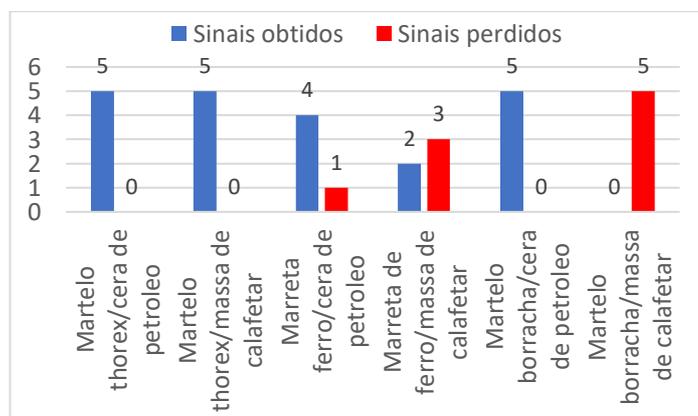


Gráfico 2. Sinais obtidos x sinais perdidos – Obra Setor de Clubes Sul

A partir dos resultados dos gráficos 1 e 2 foi possível observar que o martelo thorex quando utilizado junto a cera de petróleo e junto a massa de calafetar não apresentou perda de sinais, sendo considerado eficiente para a realização do ensaio de PIT, quando avaliada a questão de sinais perdidos e obtidos. Isso também ocorreu com o martelo de borracha com cera de petróleo e o martelo de plástico com cera de petróleo.

A marreta de ferro com cera de petróleo apresentou poucas perdas de sinais, não sendo totalmente eficiente, porém considerou-se aceitável a sua utilização no ensaio PIT. Já a utilização da marreta de ferro com a massa de calafetar apresentou uma grande quantidade de perdas de sinais, não sendo recomendada a sua utilização.

Os materiais que apresentaram 100% de perda de sinais e que entendeu-se que não apresentaram compatibilidade para a realização do ensaio de PIT, foram o martelo de borracha com a massa de calafetar e o martelo de plástico com a massa de calafetar.

Com o intuito de observar as possíveis discrepâncias nos reflectogramas obtidos para cada conjunto de martelo e massa de aderência apresentam-se as figuras 4 e 5. Vale destacar que as condições utilizadas no *software* para o tratamento dos sinais foram as mesmas em todas as situações (filtro, amplitude, velocidade de onda, suavização, etc) e as condições de ensaio (posição do acelerômetro) também foram as mesmas.

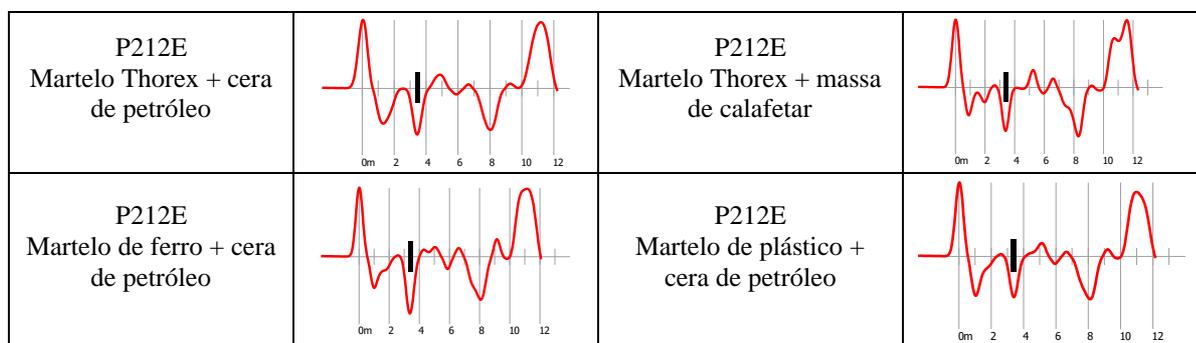


Figura 4. Sinais com maior variação de impedância

Conforme observado na figura 5, os reflectogramas apresentaram comportamento similar, sendo o reflectograma do martelo thorex + cera de petróleo com linhas mais suavizadas que os demais. Já os reflectogramas com maiores trepidações foram os de conjunto martelo de ferro + cera de petróleo e martelo thorex + massa de calafetar.

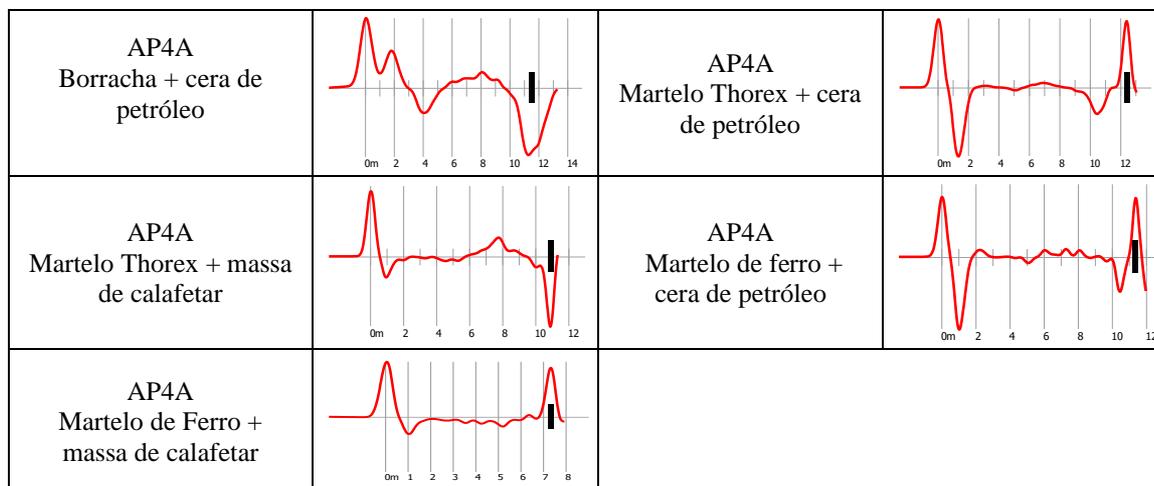


Figura 5. Sinais com menor variação de impedância

Observados os reflectogramas da figura 5 já foi possível observar uma maior discrepância entre os sinais obtidos para cada conjunto de material. Observou-se que os reflectogramas para os conjuntos martelo de ferro + massa de calafetar, martelo thorex + cera de petróleo e martelo de ferro + cera de petróleo apresentaram resultados similares, com algumas pequenas diferenças de suavização das curvas.

Em contrapartida, os reflectogramas obtidos pelo martelo de borracha + cera de petróleo e martelo thorex + massa de calafetar apresentaram resultados diferentes dos demais, identificando a ponta da estaca embutida em solo resistente. Além disso, no caso do martelo de borracha + cera de petróleo, o reflectograma apresentou uma maior variação de impedância no início da estaca.

Quando avaliada a questão da profundidade das estacas, observou-se que o conjunto martelo de ferro + massa de calafetar apresentou o comprimento de 7,5m aproximadamente, enquanto os demais conjuntos apresentaram profundidades mais similares entre 11 e 12m. Destaca-se que a profundidade das estacas em projeto e nos gráficos executivos das estacas correspondiam com as profundidade de 12m, e conforme a sondagem, o solo resistente com N_{SPT} correspondente a 40 golpes se encontrava com 14m de profundidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como base as análises realizadas, o martelo de borracha e o martelo de plástico quando utilizados junto à massa de calafetar se mostraram incompatíveis, não sendo possível capturar nenhum sinal do ensaio. O martelo de ferro quando utilizado junto à massa de calafetar se apresentou ineficiente, com maior número de sinais perdidos do que sinais capturados. O martelo de ferro quando utilizado junto à cera de petróleo apresentou grande parte dos sinais capturados, sendo pequena a parcela de sinais perdidos, e o martelo thorex quando utilizado junto a massa de calafetar e à cera de petróleo apresentou todos os sinais capturados, sendo considerado os conjuntos mais eficientes quando avaliados em relação a captura dos sinais.

Quanto à qualidade dos sinais obtidos, o ensaio com o martelo de ferro junto à massa de calafetar apresentou a profundidade da estaca inferior (7,5m) a profundidade da estaca executada (12m). Os martelos de borracha com cera de petróleo e o martelo thorex com a massa de calafetar apresentaram sinal correspondente de ponta embutida em rocha, apesar dos dados da sondagem não apresentarem essa condição para a profundidade das estacas. Além disso, o martelo de borracha com cera de petróleo apresentaram uma maior variação de impedância no início da estaca, podendo ser interpretado como dano, condição que não foi apontada nos demais reflectogramas das estacas para os demais conjuntos de materiais e na própria estaca após o seu arrasamento.

Em suma, entende-se que o martelo thorex 719 de 32mm aliado com a cera de petróleo ou com a massa de calafetar são os que apresentma melhores resultados acerca do ensaio de integridade das estacas e a clareza dos reflectogramas apresentados. Quanto aos outros martelos, os mesmos ficam submetidos à utilização da cera de petróleo para que apresentem um maior índice de eficiência. Porém, a cera de petróleo quando utilizada junto ao martelo de borracha apresentou uma maior variação de impedância que os demais conjuntos de materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abendi (2016). *Práticas recomendadas – Execução e diagnóstico de ensaio de integridade de estaca com aixa deformação*. PRe-001-2016. São Paulo, p. 14.
- ASTM International (2016). *ASTM D5882: Standard test method for low strain impact integrity testing of deep foundations*.
- Beim, J. W.; Bungenstab, F. C. (2014). *Ensaio de integridade (PIT) – interpretação de resultados obtidos para os casos de estacas dos tipos hélice contínua monitorada e raiz*. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, p. 60-68.
- Bungenstab, F. C.; Beim, J. W. (2015). *Continuous Flight Auger (CFA) Pile s-A R e vie w of the Execution Process and Integrity Evaluation by Low Strain Test*. In: From Fundamentals to Applications in Geotechnics: Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, v. 15., Buenos Aires, Argentina, p. 414-421.
- Loja do mecânico (2022). *Loja do mecânico*. Disponível em: <<https://www.lojadomecanico.com.br/produto/95436/2/253/martelo-de-borracha-preto-40mm-momfort-805005>>. Acesso em: 13 nov. 2022
- Pasqual, R. P. S. (2018). *Ensaio de baixa deformação para avaliação da integridade de estacas (PIT) - Desenvolvimento de modelos numéricos por elementos finitos e contribuições às análises de resultados*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 209 p.
- Rausche, F.; Likins, G.; Kung, R. K. (1992). *Pile integrity testing and analysis. Application of Stress-Wave Theory to Piles*, Balkema, Rotterdam, Holanda, p. 613-617.
- Tavares, C. A. A. (2009). *Elaboração e aplicação de uma metodologia de controle de qualidade para o processo executivo de estacas hélice contínua monitoradas*, Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 133p.