



Execução e interpretação de ensaios de integridade em obra na Nigéria: estudos de caso

Tiago de Jesus Souza

Eng. D.Sc., Diretor, **Solotechnique**, Jundiaí, São Paulo, tiago.souza@solotechnique.com.br

André Querelli

Eng. M.Sc., Diretor, **Solotechnique**, Jundiaí, São Paulo, andre.querelli@solotechnique.com.br

RESUMO: Para assegurar a conformidade com os padrões de qualidade exigidos na avaliação da execução das fundações, é empregado ensaios de integridade para avaliar a integridade dos elementos de fundação. Na Nigéria, a aplicação desse ensaio não é rotineira e não há normas regulatórias estabelecidas, o que intensifica o desafio enfrentado pela consultoria geotécnica ao interagir com as práticas e costumes locais divergentes do Brasil. Nesse contexto, o objetivo deste artigo é demonstrar a aplicação prática do ensaio de integridade para avaliar o comprimento de estacas e tubulões, bem como sua integridade, no cenário africano. O estudo aborda dois cenários distintos em que são realizadas avaliações de integridade das fundações de torres e postes de telecomunicações. No primeiro caso, são investigadas fundações em estacas escavadas, instaladas em solo argiloso, onde foram conduzidas duas campanhas nas mesmas estacas. O primeiro ensaio foi conduzido seguindo métodos nigerianos, enquanto o reensaio foi realizado com a orientação dos autores deste artigo. A luz dos resultados apresentados constatou-se que houve uma falha na primeira campanha. O segundo caso avaliou uma fundação em de tubulão, sem base alargada, também em solo argiloso, apresentando desafios adicionais de interpretação devido à estrutura já instalada no local.

PALAVRAS-CHAVE: Nigéria, Ensaio de integridade, estacas e Tubulões

ABSTRACT: To ensure compliance with the required quality standards in the assessment of foundation execution, integrity tests are employed to evaluate the foundation elements. In Nigeria, the application of such tests is not routine, and there are no established regulatory standard, which amplifies the challenge faced by geotechnical consulting when interacting with practices and customs that differ from those in Brazil. Within this context, the objective of this article is to demonstrate the practical application of integrity tests in assessing pile lengths and integrity in the African context. The study addresses two distinct scenarios where assessments of tower and telecommunications pole foundation integrity are conducted. In the first case, excavated pile foundations installed in clayey soil are investigated. Two testing campaigns were conducted on the same piles. The first test followed Nigerian methods, while the retest was guided by the authors of this paper. In light of the presented results, a deficiency in the first campaign was identified. The second case evaluated a foundation using a non-enlarged base caisson, also in clayey soil, posing additional challenges in interpretation due to the existing structure already in place on-site.

KEYWORDS: Nigeria, Integrity Test, Piles and Caissons

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





1 Ensaios não destrutivos para avaliação de Integridade

Ensaios não destrutivos vêm sendo aplicados em diferentes tipologias de fundação e distintas condições geológico-geotécnicas para avaliação de integridade e comprimento de fundações. A literatura brasileira registra alguns casos recentes com aplicação desses ensaios em estaca pré-moldada de concreto em solo mole (Souza et al., 2018a), estaca raiz em argila silto-arenosa, mole, passando a rija/dura, saturada (IPT, 2019), tubulão de grande diâmetro em silte argilo-arenoso não saturado (Souza et al., 2018b), tubulão de pequeno diâmetro em areia fina argilosa, medianamente compacta/argila siltosa, pouco arenosa, rija a dura (IPT, 2018), estaca raiz embutida em rocha (metarenito) friável e alterada (Souza et al., 2016).

Um exemplo de um método de reflexão não destrutivo, a metodologia de teste de integridade de baixa deformação, comumente conhecida como Ensaio de Integridade de Estacas, ou PIT/PET (também conhecido como teste de eco sônico / resposta de impulso), tem sido recentemente utilizado no Brasil para avaliar a profundidade de estacas e tubulões existentes pertencentes às fundações de torres de telecomunicações (Souza et al., 2015). No teste de integridade de baixa deformação, um martelo de impulso gera uma onda de compressão (onda P) que percorre o elemento até encontrar uma mudança na impedância acústica, o que faz com que a onda seja refletida de volta e detectada por um receptor colocado próximo ao ponto de impacto, onde o sinal é registrado.

Os resultados obtidos nesses ensaios fornecem informações a respeito da continuidade e consistência dos materiais usados na fundação profunda analisada. De acordo com o LINKINS G. E RAUSHE (2000) esse ensaio utiliza as inflexões da onda de tensão causadas por variações de impedância da estaca, que nada mais é do que o produto do módulo de elasticidade dinâmico do material que compõe a estaca (concreto) pela seção transversal desse material, dividido pela velocidade de propagação da onda.

O ensaio PIT já é bem conhecido no Brasil. No entanto, vale ressaltar que o mesmo nível de popularidade não se verifica na Nigéria. Enquanto no Brasil, a execução desse ensaio tem recebido crescente atenção e é um tema recorrente de discussão sobre boas práticas, na Nigéria, a conscientização e a adoção das melhores práticas para a realização desses ensaios ainda têm um longo caminho a percorrer.

Tanto no Brasil (país de origem dos autores desse artigo) quanto na Nigéria (país onde foi realizado os casos avaliados neste trabalho de consultoria) não há normas reguladoras para o ensaio PIT. Por este motivo, se utilizou algumas normas reguladoras de outros países, como a norma australiana AS2159-1995, a JGJ 93-95 da China, a ASTM D-5882-2003 americana, as normas francesas NFP 94-160-2 e NFP 94-160-4, e a norma inglesa de especificação para estacas do Instituição de engenheiros civis-11.2. Desde as décadas de 80 e 90, a literatura internacional tem recomendado amplamente o uso do PIT para o controle de qualidade de fundações moldadas no próprio canteiro de obras. Trabalhos como os de Arias (1977). Rausche e Seitz (1983) e Berger e Cotton (1990) são exemplos dessa recomendação. Na Nigéria, em particular, a aplicação desta técnica de ensaio não destrutivo começou a ganhar espaço recentemente, sendo que há pouca publicação no assunto. Este artigo, portanto, representa uma expansão do conhecimento prévio nessa área usando a experiência brasileira na avaliação do ensaio em país estrangeiro.

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





2 Breve contextualização Geológica da Nigéria

Segundo Tijani (2023), a Nigéria conta com presença dos três tipos principais de rochas: ígneas, metamórficas e sedimentares. Rochas ígneas e metamórficas constituem o Complexo Subsolo Pré-Cambriano, que é a base física sólida, cristalina e mais antiga do país. Rochas sedimentares do período Cretáceo e Cenozóico preenchem as bacias, que são depressões dentro da massa de terra do embasamento.

A geologia diversificada da Nigéria oferece oportunidades para a exploração de vários depósitos minerais contidos em diferentes unidades rochosas. Abundantes depósitos minerais ocorrem em todos os componentes da geologia nigeriana com depósitos minerais de importância econômica que incluem ouro, minério de ferro, mármore, carvão, calcário, argilas, baritas, chumbo-zinco, etc. configurações geológicas, estruturais e tectônicas de diferentes unidades rochosas têm implicações significativas na evolução geomorfológica das paisagens na Nigéria. Depósitos superficiais lateríticos são presentes em todas as localidades nigerianas. Os solos predominantes nas áreas do presente estudo são predominantemente argilosos com resistência crescente ao longo da profundidade.

3 Casos Avaliados

3.1 Equipamentos e premissas

O equipamento utilizado para os testes consistiu em um aquisitor de dados (coletor) tipo PIT/PET e um martelo portátil com 2N de peso, bem como acelerômetro para medida de aceleração (e posterior integração no tempo).

Para todos os casos, também foram utilizadas velocidades de onda médias da ordem de 3800 m/s. Uma vez que o objetivo principal era avaliar exclusivamente a integridade das estacas, entende-se que essa velocidade se encontra dentro dos parâmetros aceitáveis preconizados na literatura e na prática.

3.2 Caso de Obra 1: Ughelli South

Para essa localidade as estacas projetadas foram concebidas para suportar as cargas provenientes de uma torre de telecomunicações. A figura a seguir ilustra as duas estacas que foram submetidas a ensaios. A figura 1a e 1b ilustram as estacas projetadas e executadas. As estacas denominadas “P1” e “P2” foram as escolhidas para a realização do ensaio PIT.

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



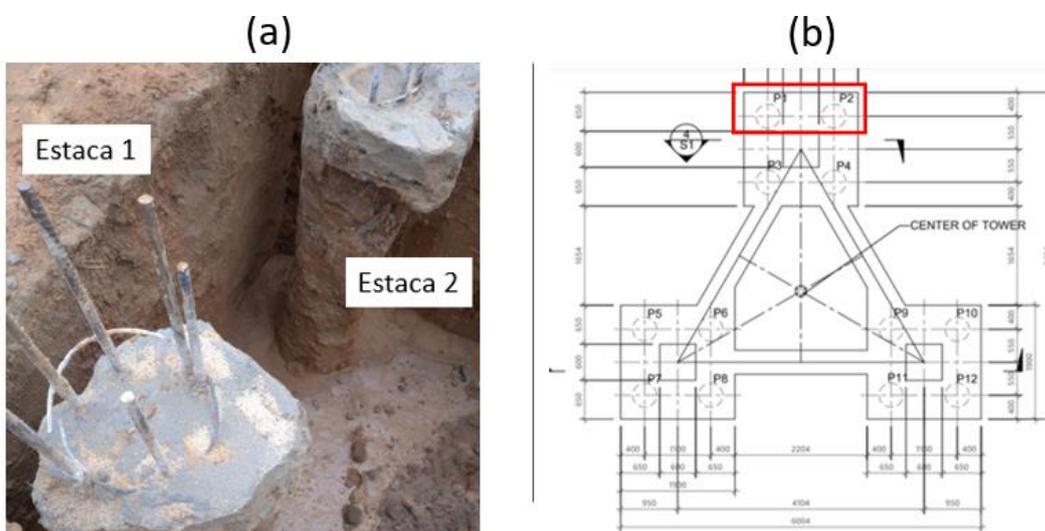


Figura 1. Vista geral das duas estacas avaliadas. (a) Estacas executadas e (B) Vista parcial do projeto de fundações

As estacas executadas possuem comprimento de 10m e diâmetro de 40cm. Apesar das estacas apresentarem o mesmo diâmetro, comprimento e terem sido inseridas no mesmo tipo de solo, em uma proximidade significativa, os resultados dos ensaios realizados no mesmo dia revelaram disparidades substanciais. Essas discrepâncias nos resultados podem ser observadas na figura abaixo, indicando a influência de fatores adicionais que não foram inicialmente considerados.

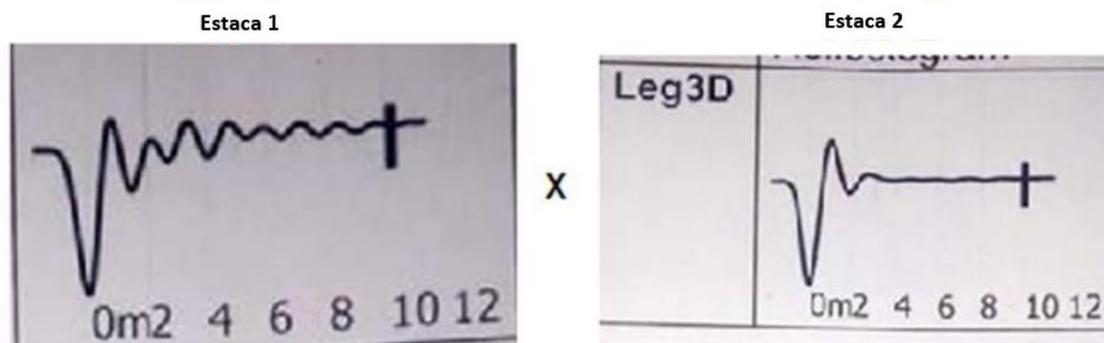


Figura 2. Resultados dos ensaios de integridade das estacas avaliadas

Como pode ser observado na figura 2 os resultados foram bem diferentes. Isso gerou dúvida de como o ensaio foi feito, colocando em “xeque” toda campanha.

Conforme evidenciado na figura 2, os resultados exibiram marcantes disparidades, o que suscitou questionamentos sobre a metodologia empregada no ensaio e levantou incertezas em relação a toda a campanha. Nesse contexto, surge a necessidade de analisar minuciosamente os procedimentos adotados durante o ensaio, a fim de identificar potenciais fontes de variação que possam explicar as divergências observadas nos resultados. Isso se torna particularmente

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



relevante para garantir a robustez e a confiabilidade dos dados obtidos, bem como para estabelecer bases sólidas para interpretações precisas e conclusões embasadas.

As indagações suscitadas por nossa consultoria bifurcaram em duas perspectivas: a primeira conjecturava se as incoerências decorriam de imprecisões no processo de implementação, enquanto a segunda explorava a possibilidade de que a disparidade resultasse de falhas na condução do próprio ensaio. Essa abordagem de questionamento incitou um diálogo intenso entre o executor responsável pela execução e a empresa encarregada da condução do ensaio. Como resultado desse debate, chegou-se à conclusão de que seria prudente realizar um novo ensaio em ambas as estacas, com o propósito de assegurar uma avaliação mais confiável e esclarecedora.

A Figura 3 apresenta os resultados subsequentes à realização do novo ensaio, ocorrido 24 horas depois da realização do primeiro ensaio. É evidente a ocorrência de uma mudança substancial no padrão do sinal, o que coloca em questionamento a competência da empresa responsável pela condução dos ensaios na campanha inicial.

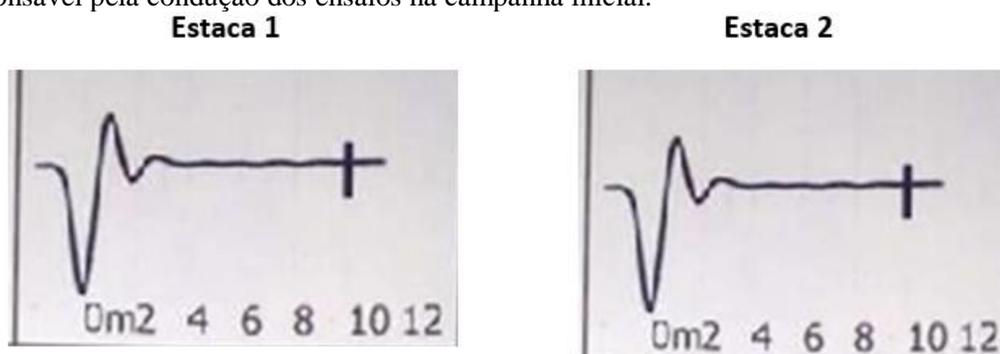


Figura 3. Resultados dos ensaios de integridade das estacas re-ensaiadas (Report DL0611_409178_Integrity Test_rev01)

Os possíveis erros na execução do ensaio de integridade em estacas a luz da nossa interpretação são:

- **Má Calibração do Equipamento:** Configurações inadequadas ou calibração deficiente do equipamento de ensaio podem resultar em leituras incorretas.
- **Posicionamento Incorreto dos Sensores:** A colocação inadequada dos sensores no topo da estaca ou em outras áreas críticas pode afetar a precisão dos resultados.
- **Erros de avaliação do sinal:** A interpretação inadequada dos sinais capturados pelos sensores pode levar a análises equivocadas da integridade da estaca.

3.3 Caso de Obra 2: Lagos, Nigéria

O segundo caso avaliado contou com a Consultoria dos autores desde o início, apresentando desafios adicionais devido à estrutura já estar montada (obra pronta). Trata-se de um monoposte de telecomunicações com altura total de 25m. A fundação é do tipo tubulão único, sem base alargada.

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



Inicialmente, a estabilidade da escavação foi avaliada. A largura da escavação foi dimensionada em 1m x 1m, proporcionando espaço suficiente para a movimentação do Operador do PIT. Para determinar o tipo e a profundidade da fundação do poste, foi executado escavação manual em voltado apoio até uma profundidade de 1,00 metro, onde constatou-se a existência de Fundação do tipo Tubulão com diâmetro do fuste de 70cm. Foram executados furos a 20 cm da face do tubulão e não foi constatada base alargada.

As etapas do preparo civil que antecedem a execução do ensaio é apresentado na figura a seguir:

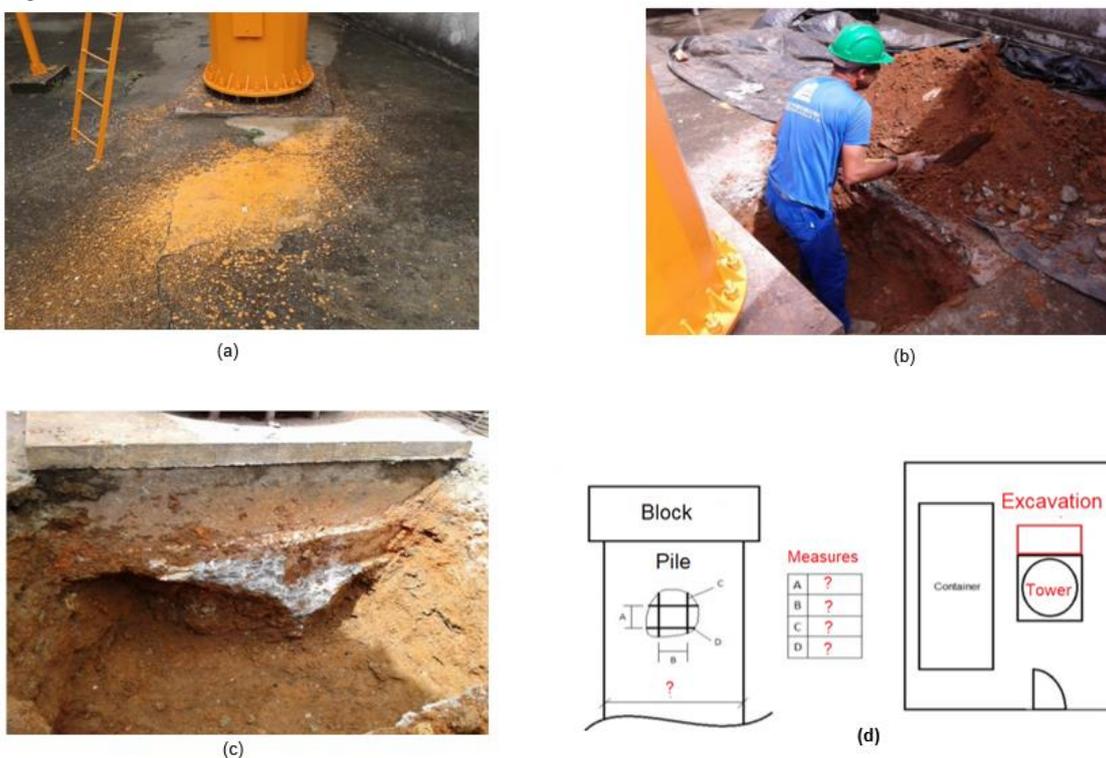


Figura 4. Vista geral do site. (a) Condição inicial antes da escavação, (b), etapas de escavação para acesso do operador do PIT, (c) Fundação parcialmente exposta para colocação do sensor (d), croqui esquemático da fundação mapeada.

A fim de comparar os resultados foram ensaiados tanto no topo do bloco quanto na base como indicado na figura a seguir:

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



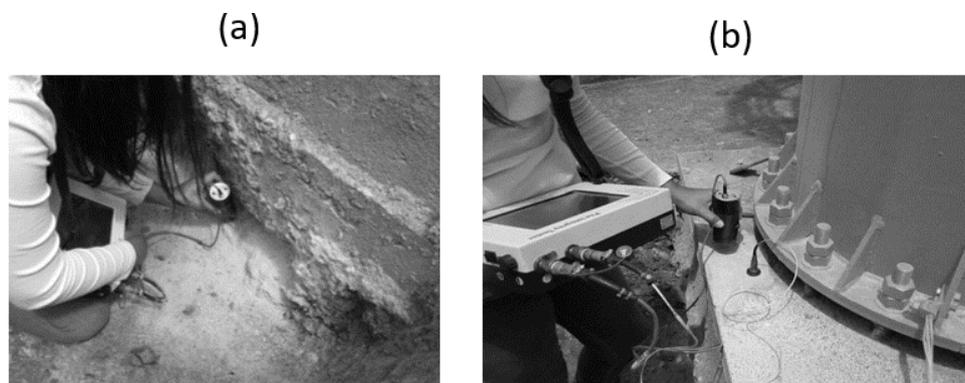


Figura 5. Vista geral do site. (a) Ensaio realizado na base do bloco, (b), ensaio realizado no topo do bloco

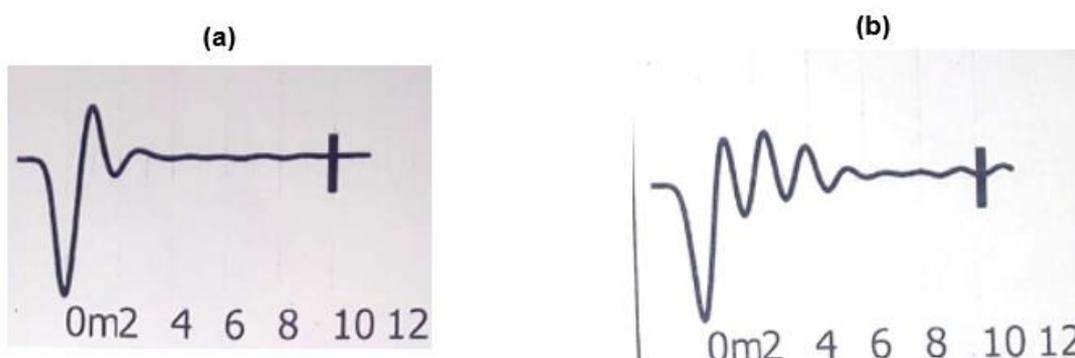


Figura 6. Resultados dos ensaios (a) na base do bloco, (b), no topo do bloco

Neste caso específico, observa-se uma influência mais pronunciada do bloco de coroamento sobre o sinal de velocidade e, por consequência, sobre a impedância do sistema. Tal influência é devida às dimensões ampliadas do bloco em relação ao tubulão ensaiado. Esse fenômeno pode ter sido gerado tanto pela variação de impedância entre o bloco e a estaca quanto pela configuração do nicho presente na seção transversal da estaca. A luz dos resultados entende-se que no caso da estrutura já instalada, é recomendado fazer a escavação e ensaiar na base do bloco ou no elemento de Fundação.

No ensaio do tubulão, existe também uma junta de concretagem entre o tubulão e o bloco, que também pode explicar o sinal obtido.

4 Conclusões

A aplicação desse teste utilizando os conhecimentos adquiridos no Brasil e as orientações das normas internacionais na Nigéria se mostrou muito positiva e de grande eficácia. Os casos apresentados mostraram a importância de uma avaliação cuidadosa na interpretação dos ensaios realizados. No caso das estacas ensaiadas ao constatar que os sinais adquiridos foram bem distintos das duas estacas ensaiadas, acendeu o radar de alerta pois elas tinham os mesmos comprimentos e diâmetros e foram executados no mesmo solo. Considerando o histórico idôneo

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



do construtor nas obras já executadas houve a dúvida da aquisição do sinal. O reensaio feito a luz da consultoria dos autores deste artigo confirmou o fato de que as estacas não foram ensaiadas corretamente.

No caso do tubulão, os sinais adquiridos no nicho foram mais promissores do que o sinal obtido no topo. Acredita-se que a variação de impedância (diferença de seção entre o bloco e o tubulão) seja um fator que justifica essa observação. Conclui-se, portanto, que em estruturas já construídas, a aquisição de sinais no nicho lateral é de extrema importância, especialmente quando a fundação é composta por estacas. É perceptível a forte influência exercida pelo bloco de coroamento e pelas significativas variações de impedância, o que torna o sinal inconclusivo na análise da estimativa do intervalo de comprimento do fuste. Mesmo que haja indício do sinal de reflexão da ponta na extensão final ao comparar os sinais obtidos nos dois pontos, na segunda linha pontilhada vertical, o sinal obtido no topo do bloco de coroamento permanece inconclusivo.

Destaca-se nesse artigo que o ensaio de integridade foi efetivo e possível na avaliação de tubulões e estacas, seja com estrutura já executada ou não condição pouco explorada na literatura técnica atual. É importante ressaltar que o ensaio não possui norma na Nigéria, ficando dependente de normas de outros países e da experiência de empresas que executam o ensaio. Portanto, esse trabalho visa contribuir para futuras pesquisas na área ou, ainda, enriquecer o estudo para a elaboração de uma norma local que reconheça a realidade construtiva brasileira e suas particularidades.

AGRADECIMENTOS

A **Solotechnique** agradece à American Tower da Nigéria pela confiança depositada em nossa consultoria a avaliação dos ensaios bem como toda consultoria geotécnica. Em especial aos engenheiros Emmanuel Odogu e Abdul Oshomah.

REFERÊNCIAS

- Arias, R.P. (1977). Evaluation of drilled shaft integrity by non destructive methods. Dissertação de Mestrado, University of Austin, Texas.
- Berger, J.A. e Cotton, D.M. (1990). Low strain integrity testing of deep foundations. Proc. Deep Foundation Institute Annual Meeting, Seattle.
- IPT. (2018). Ensaio Sísmico Paralelo e Perfilagem Magnética para determinação da profundidade desconhecida de uma fundação, situada na Rua Harmonia, 1085, município de São Paulo, SP. RELATÓRIO IPT N° 154.849-205. 17 p.
- IPT. (2019). Ensaio Paralelo Sísmico e Perfilagem Magnética para determinação da profundidade desconhecida de uma fundação, no site CLG002B3, município de Campo Largo, PR. RELATÓRIO IPT N° 158.122-205. 21 p.
- 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.

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



- Rausche, F. e Seitz, J. (1983). Integrity testing of shafts and caissons. Specialty Session on Shafts and Caissons. ASCE Annual Convention.
- Souza, T.J.; Aoki, P.C.; Valverde, R.M. & Valverde, S. (2015). Utilização do PIT para o Mapeamento de Fundações em Estruturas de Telecomunicações. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, SEFE 8, São Paulo, p. 117-127.
- Souza, T.J., Hemsí, P.S., Gandolfo, O.C.B., Aoki, P.C., Ribeiro, A.F. (2016). Use of Parallel Seismic and Induction Logging Tests for foundation depth evaluation under difficult conditions, a rootpile foundation embedded in rock, *Soils & Rocks*, 39 (3), p.261-272.
- Souza, T.J., Hemsí, P.S., Gandolfo, O.C.B., Aoki, P.C. (2018a). Uso do ensaio Paralelo Sísmico na avaliação do comprimento de uma estaca protendida na Baixada Santista. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador, BA. Anais... ABMS. 7 p.
- Souza, T.J., Hemsí, P.S., Gandolfo, O.C.B., Aoki, P.C. (2018b). Simulação teórica e estudo experimental do ensaio Paralelo Sísmico para um tubulão. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador, BA. Anais... ABMS. 8 p.
- Tijani, M.N. (2023). Geology of Nigeria. In: Faniran, A., Jeje, L.k., Fashae, O.A., Olusola, A.O. (eds) *Landscapes and Landforms of Nigeria*. World Geomorphological Landscapes. Springer, Cham.

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

