



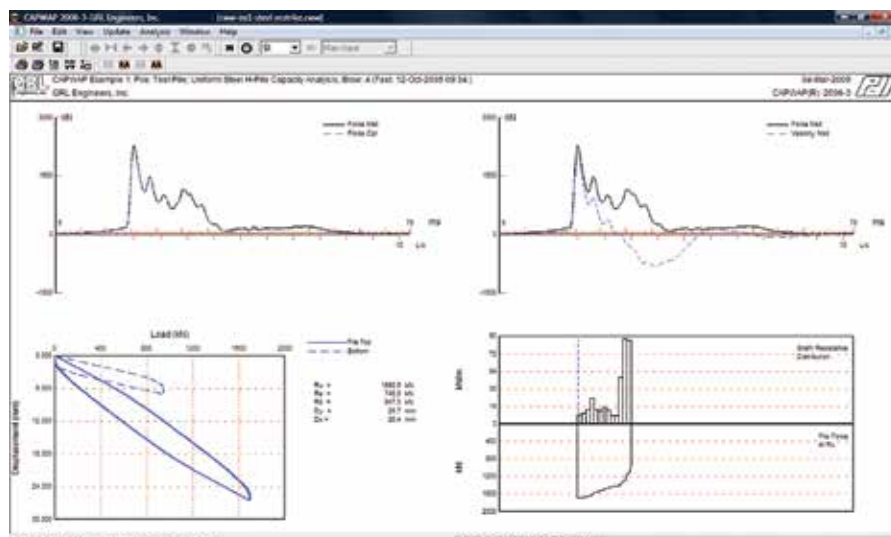
GARANTINDO A QUALIDADE DOS ENSAIOS DE QUALIDADE – UM DESAFIO

Gina Beim, P.E.
Pile Dynamics, Inc.
gbeim@pile.com

Os ensaios de verificação da qualidade de fundações profundas são essenciais para as obras civis. Entre estes ensaios incluem-se os que avaliam a integridade estrutural do elemento de fundação e/ou a sua capacidade de carga. Neste artigo, concentramo-nos primordialmente nos ensaios para determinação de capacidade de carga.

Para as provas de carga estáticas, o conhecimento detalhado das características do solo e do elemento de fundação, embora recomendado, não é essencial para a obtenção de um resultado confiável. Por outro lado, estas provas são de execução demorada, de custo relativamente alto, e em algumas situações, praticamente impossíveis de serem realizadas. Apesar de certos cuidados na preparação da prova estática serem necessários, e da literatura documentar problemas com a coleta e interpretação de dados (Rausche *et al.*, 2008; Duzceer *et al.*, 2000; Fellenius, 1980), a coleta de dados é geralmente considerada relativamente simples.

Os ensaios de carregamento dinâmico, algumas vezes chamados de ensaios PDA, por outro lado, apresentam uma situação oposta. São ensaios de execução significativamente mais rápida e econômica do que as provas de carga estática. No entanto, a coleta e interpretação dos dados requerem informações bem mais precisas acerca do sistema solo-estaca, e envolvem conceitos que abrangem uma gama de especialidades de engenharia.



As análises CAPWAP requerem estudo e experiência para oferecerem bons resultados

A rapidez de execução dos ensaios por vezes mascara o fato de que a compreensão do ensaio, a análise dos dados obtidos e a interpretação dos resultados envolvem conceitos complexos não só de engenharia geotécnica e estrutural, mas também de engenharia eletrônica, matemática e física.

Likins (2011) compara o grau de sofisticação da interpretação das provas de carga estática com a dos ensaios de carregamento dinâmico. Os resultados das provas de carga estáticas consistem nas curvas carga vs. recalque, medidas diretamente, e interpretadas por algum método direto (por exemplo, os mencionados na NBR 6.122). Algumas vezes, as tensões ao longo do fuste são também verificadas numa prova de carga estática instrumentada, e os valores das tensões são convertidos para forças através de uma simples multiplicação pela área

da seção transversal e o módulo de elasticidade. Os dados obtidos durante os ensaios de carregamento dinâmico, por outro lado, consistem de deformações e acelerações medidas no elemento de fundação ao longo do tempo, durante o impacto do martelo. Estes dados não só devem ser convertidos para medidas de força e velocidade, mas devem também ser analisados pela teoria da mecânica das ondas, procurando-se a solução da equação que descreve a propagação das ondas, para obter-se a capacidade de carga e outros resultados. A análise dos sinais com o *software* CAPWAP®, mencionada na NBR 13.208, embora possa ser completada num período de tempo relativamente curto, requer experiência tanto na modelagem matemática do sistema estaca-solo como na verificação da coerência dos resultados. Os ensaios de capacidade de carga

são, salvo nas obras de pequeno porte, obrigatórios pela norma NBR 6.122. A norma permite que sejam realizadas provas de carga estáticas ou ensaios de carregamento dinâmico. Existem ao redor do mundo várias normas, especificações e códigos de obra relativos à execução dos ensaios dinâmicos para avaliação da capacidade de carga (Beim e Likins, 2008). Alguns destes documentos, como a NBR 13.208, a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D4945 e a Norma Australiana AS2159, prescrevem detalhadamente os procedimentos necessários para a execução do ensaio.

O atendimento a todas as recomendações exigidas dos diversos documentos que codificam o Ensaio de Carregamento Dinâmico não garante por si só que o ensaio será conclusivo ou mesmo correto. Este fato é um reflexo do cuidado necessário na preparação das estacas para as provas de carga dinâmicas e do grau de sofisticação necessário por parte do engenheiro que analisa os dados coletados durante a prova.

Os ensaios de carregamento dinâmicos só podem oferecer soluções corretas se os dados coletados forem de boa qualidade, e um conhecimento profundo de todas as nuances do ensaio é necessário para obter dados de boa qualidade. Os operadores dos ensaios de carregamento dinâmico não podem tratar os equipamentos e *softwares* como 'caixas-pretas'. Além da obtenção cuidadosa dos dados de campo, é essencial que quem os interprete tenha um sólido conhecimento de mecânica das ondas, tenha informações sobre o método de instalação da fundação, tenha revisto as sondagens do local e os registros de instalação de campo, e obviamente, possua integridade profissional.

Engenheiros (as) civis – mesmo com pós-graduação das melhores instituições de ensino superior – normalmente não têm oportunidade de receber treinamento numa área tão específica como são os ensaios em fundações profundas. Existem alguns poucos excelentes livros didáticos que tocam neste assunto, porém obviamente dedicam apenas algumas páginas à mecânica das ondas e ao Ensaio de Carregamento Dinâmico (por exemplo, Salgado, 2008; Coduto, 2001).



Um dos fatores que influencia a qualidade dos ensaios de carregamento dinâmico são os sensores – devem estar bem acoplados calibrados, e em bom estado

Rausche *et al.* (2008) e Likins (2008) enumeram múltiplas considerações necessárias e várias recomendações para um resultado eficaz do ensaio dinâmico. Algumas das mais elementares são:

- Os "quakes" e fatores de amortecimento dinâmico (*damping factors*) usados no ensaio não se correlacionam diretamente com parâmetros usuais da mecânica dos solos, e podem exibir variações numa mesma obra. Estes fatores devem ser cuidadosamente escolhidos;
- É essencial que os sensores estejam bem acoplados, calibrados, e em bom estado, que o topo do elemento de fundação esteja intacto, e que o bate-estacas esteja alinhado;
- A transmissão dos dados dos sensores para o aparelho deve ser perfeita;
- Informações básicas como área da seção transversal, profundidade e resistência do material da fundação precisam ser fornecidas corretamente;
- A utilização de uma velocidade de onda correta é essencial. A velocidade de onda utilizada no ensaio difere da medida por meios estáticos, e portanto tem que ser sempre confirmada através da análise dos sinais obtidos.

A melhor forma de atender às exigências de conhecimento daqueles que pretendem se dedicar a este ramo da engenharia geotécnica é oferecer a estes profis-

sionais um treinamento especial que cubra tanto os aspectos teóricos como práticos das provas de carga dinâmicas. A formação ideal consiste de um curso inicial, aquisição de experiência de campo, e de cursos de atualização periódicos. Embora a maior parte destes cursos seja oferecida nos Estados Unidos, existem ao redor do mundo alguns indivíduos capacitados a fornecer tanto o curso inicial como os de atualização. O Brasil conta com uma longa tradição de execução de ensaios PDA, e há mais de duas décadas tem sido possível obter-se o treinamento inicial em português. Mais recentemente *workshops* e *webinars* em português vêm sendo oferecidos, concedendo aos engenheiros e engenheiras do Brasil e Portugal a oportunidade de atualizar os seus conhecimentos na sua língua natal. Os profissionais que adquirem o *background* teórico em mecânica das ondas, que aprendem a utilizar os equipamentos de ensaios dinâmicos, que executam os ensaios com regularidade e seguindo as normas apropriadas e que se mantêm atualizados, serão capazes de realizar Ensaio de Carregamento Dinâmico de qualidade. Ao mesmo tempo, estes profissionais concluem que são responsáveis pela credibilidade dos ensaios de carregamento dinâmicos. É de seu interesse que todos aqueles que executem os ensaios sejam competentes – até mesmo os seus concorrentes no mercado. Se a qualidade dos profissionais



Workshop Ensaios de Carregamento Dinâmico e Monitoração de Cravação de Estacas realizado em São Paulo em março de 2014

não for mantida, resultados incoerentes, inúteis e errôneos afetarão a reputação dos métodos e procedimentos, prejudicando não só aos responsáveis pelos ensaios mal executados, mas a todos os que atuam neste ramo. Como podem aqueles que especificam ou contratam os ensaios dinâmicos se assegurarem que a firma contratada é adequadamente capacitada?

Recentemente, a ABMS (Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica) e a ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental) propuseram a criação de uma certificação das empresas de sondagens à percussão tipo SPT (*Standard Penetration Test*) com o objetivo de distinguir as empresas qualificadas e certificadas e desta forma melhorar a qualidade das sondagens no Brasil (Silva, 2014). Considerações semelhantes levaram à criação, há alguns anos, dos primeiros exames de qualificação para engenheiros envolvidos em ensaios dinâmicos. Inicialmente, a entidade Australiana Foundation QA desenvolveu um teste de proficiência; mais recentemente a organização americana PDCA (*Pile Driving Contractors Association*), associou-se à empresa Pile Dynamics, Inc. e desenvolveu o “*Dynamic Measurement and Analysis Proficiency Test*”. Embora as entidades que desenvolveram

o teste deixem claro que não assumem responsabilidade pelos ensaios executados pelos que passam no exame, os certificados emitidos identificam claramente o nível de proficiência atingido pelo profissional, consistindo desta forma de uma indicação da sua capacitação. Em 2012, este exame foi traduzido para o português (Teste de proficiência em medições e análises dinâmicas da PDI – PDCA), para que pudesse medir objetivamente o nível de competência dos profissionais brasileiros e portugueses sem que fosse necessária a fluência na língua inglesa.

A qualidade dos ensaios de verificação é um assunto importante, considerando-se as decisões tomadas em função do seu resultado. Rausche *et al.* (2008) sugerem que, em caso de dúvidas, os profissionais obtenham uma opinião adicional. Os autores vão mais além, definindo o ensaio como responsabilidade de todos os profissionais envolvidos: não só daqueles que executam os ensaios, como detalhado neste artigo, mas também daqueles que solicitam e avaliam os relatórios fornecidos. Estes últimos devem estar cientes não só das suas muitas vantagens dos ensaios PDA, mas também das suas limitações, e devem procurar reduzir as pressões de custo ou prazo.

A verificação da qualidade dos ensaios de verificação é um desafio. É essencial

para o progresso da engenharia de fundações e para a segurança da infraestrutura do país. 🌐

BIBLIOGRAFIA

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010), *Norma Brasileira NBR-6122 Projeto e Execução de Fundações*, ABNT, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007, r12), *Norma Brasileira NBR-13208, Estacas – Ensaios de Carregamento Dinâmico*, ABNT, Brasil.
- ASTM International (2012) Standard D4945 *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles*, ASTM Int., USA.
- Beim, G, Likins, G. E., (2008). *Worldwide Dynamic Foundation Testing Codes and Standards*. Proceedings of the Eighth International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles 2008: Lisbon, Portugal; 689-697.
- Coduto, D. P (2001), *Foundation Design, Principles and Practice*, second edition, Chapter 15, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Duzceer, R. and Saglamer, A., (2002.) *Evaluation of Pile Load Test Results*, Proceedings of the 9th International Conference on Piling and Deep Foundations, Deep Foundations Institute, Nice France.
- Fellenius, B., (1980). *The analysis of results from routine pile load tests*, Ground Engineering, Vol. 13, No. 6, Foundation Publication Ltd, UK, pp 19-31.
- Likins, G. E. (2011). *The Need for Quality Testing*. PileDriver Magazine, Q2 2011; PDCA, USA 59-62.
- Likins, G. and Rausche, F., (2008). *What establishes a good pile test*, Proc. of the 8th International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles, Lisbon, Portugal.
- Rausche, F., Nagy, M., Likins, G. E., (2008). *Mastering the Art of Pile Testing*. Proceedings of the Eighth International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles 2008: Lisbon, Portugal; 19-32.
- Salgado, R., (2008.) *The Engineering of Foundations*, Chapter 14; McGraw-Hill, New York, NY 10020, USA.
- Silva, C.M. (2014) *A Importância Da Certificação Na Engenharia Geotécnica*. Revista Fundação e Obras Geotécnicas, nº. 44.
- Standards Association of Australia (2009), *Australian Standard Piling Code AS2159-2009 Piling – Design and Installation Code*, SAA. Australia.