

Estacas a toda prova

Testes dinâmicos e estáticos ajudam a confirmar capacidade de suporte dos elementos de fundação executados *in loco*



Fotos: Giseline Coelho de Campos

A melhoria do projeto e processo executivo das estacas moldadas *in loco* está relacionada à realização de ensaios que comprovam a capacidade de carga e a integridade das peças executadas. Para isso, três ensaios são apontados pelos especialistas como importantes nesse processo: a prova de carga estática, os ensaios de carregamento dinâmico (ambos previstos em norma) e o PIT (Pile Integrity Test), que oferece dados sobre a integridade da estaca executada. Entre as estacas moldadas *in loco*, que necessitam de controle de capacidade de carga e de integridade, a mais executada atualmente é a hélice contínua, em razão da redução de ruído, já que não necessita de bate-estacas, e da eliminação de vibrações, responsáveis por danos em edificações vizinhas.

Em áreas urbanas, densamente povoadas e quase totalmente construídas, como é o caso de São Paulo, Rio de Janeiro e outras grandes cidades do País, esse tipo de estaca se difundiu, nos últimos anos, pelo fato de evitar transtornos à vizinhança. Parente próximo da hélice contínua, só que um pouco mais cara, existem ainda as estacas Ômega, que são executadas de maneira semelhante, com a diferença de não retirar a terra da escavação e sim compactá-la promovendo o melhoramento do solo. Mais utilizadas para fundações de porte maior, com grandes solicitações de carga, outros tipos de estacas

moldadas *in loco*, tais como as escavadas, estações e estacas barrete, também requerem realização de ensaios para o controle de execução.

E como na medicina, em que cada caso é um caso e para cada paciente existe um remédio distinto, para a área de fundações vale o mesmo axioma. Dessa maneira, os vários intervenientes no processo vão ter um comportamento conjunto. A interação solo–elemento estrutural da fundação é um conjunto que deve ser avaliado com o controle pós-execução. Para tanto, é necessário passar por ensaios para determinar como essa interação funciona na prática.

A prova de carga estática é preconizada pela NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações, norma do setor que está sendo revisada, assim como o ensaio de carregamento dinâmico. Ambos os ensaios também estão normalizados. Já o PIT, que mede a integridade, não é exigido pela NBR 6122 e não é normalizado no Brasil (segue procedimentos básicos e normas internacionais), o que não quer dizer que não seja necessário e muito menos que os dados fornecidos por ele não sejam importantes.

Cruzamento de dados

Segundo a engenheira Gisleine Coelho de Campos, responsável pela Seção de Fundações da Divisão de Engenharia Civil do IPT, os ensaios são todos importantes e a execução de um não exclui a dos dois outros. "Os resultados se complementam", diz Gisleine. "E como sabemos que em matéria de fundações existe mais exceção do que regra, é preciso estudar caso a caso, pois cada um merece investigação particular." De acordo com a norma é preciso confrontar os resultados da prova de carga estática com os do ensaio de carregamento dinâmico, comparando-os.

O PIT completa a checagem com dados a respeito da integridade das estacas. Qualquer valor discrepante que apareça num desses três ensaios indica problemas. Nesse caso, os resultados dos ensaios, embora não

Prova de carga estática

O que é

Trata-se de um ensaio em verdadeira grandeza que permite avaliar a capacidade de carga de uma fundação pela simulação de carregamentos.

Preparo

Sobre a estaca a ser ensaiada monta-se um sistema de reação – pode ser uma cargueira, estacas de reação, tirantes ou outras montagens especiais – com capacidade de suporte superior às cargas previstas no ensaio. Para a medida dos deslocamentos monta-se um sistema de referência, fixado fora da área de influência do ensaio. São ainda necessários os sistemas de cobertura e iluminação do local.

Como é feito

Com um macaco hidráulico, bomba, manômetro e célula de carga. Aplica-se o carregamento à estaca em estágios de no máximo 20% da carga máxima prevista. A cada estágio, registram-se os deslocamentos resultantes por meio de dispositivos especiais, até verificar-se a estabilização dos recalques (deve-se seguir os critérios de estabilização recomendados pela norma brasileira). Após a estabilização aplica-se novo estágio de carregamento até atingir-se a ruptura ou a carga máxima (duas vezes a carga de trabalho de projeto).

Fonte: IPT

sejam conclusivos, indicarão que precisam ser tomadas providências para se conhecer as causas dos desvios.

A prova de carga estática é a mais cara e a mais demorada e, por isso mesmo, mais rara, realizada em obras como pontes, viadutos e edifícios de grande porte. Prepara-se uma estaca teste e sobre ela coloca-se um carregamento (cargueiro, tirantes ou outras estacas) que deve ter o dobro do valor especificado no projeto. A carga é medida pelo deslocamento resultante (recalque) da estaca (*veja detalhes no boxe*). A partir disso associa-se

Valores e parâmetros

O ensaio possibilita o registro das cargas aplicadas e dos deslocamentos resultantes. Caso seja empregada instrumentação ao longo da profundidade, outras informações podem ser obtidas, tais como distribuição do atrito lateral e carga e deslocamento na ponta da estaca.

Dados obtidos

O principal resultado obtido é a chamada curva carga x recalque, que mostra o comportamento da fundação sob carregamentos estáticos crescentes.

Como são utilizados os dados

Esses dados permitem assegurar a capacidade de carga da fundação ensaiada, confirmando o fator de segurança definido pelo projetista. Pode ainda levar a uma otimização do projeto, quando realizado em estaca teste antes do início efetivo da obra.

Vantagens e desvantagens

A principal vantagem reside no fato de se conseguir simular, em verdadeira grandeza, os carregamentos reais de uma construção, observando a resposta da fundação a essas cargas. A principal desvantagem está na necessidade de um aparato especial para ensaio (sistemas de reação, referência, iluminação e cobertura), que demandam tempo e recursos financeiros para serem montados.

a curva de resultados às especificações de projeto. Se estiver dentro das tolerâncias, as outras estacas podem ser executadas.

Caso contrário, recorre-se ao redimensionamento mudando-se a seção ou comprimento das estacas, na maior parte dos casos. Entre os vários empecilhos desse tipo de ensaio está o tempo demandado para sua execução, cerca de dois dias. Além disso, a montagem é complexa e requer a interrupção da obra. Sem falar do seu alto custo, cerca de R\$ 15 mil para uma estaca. »

Ensaio de carregamento dinâmico

O que é

Conhecido como ensaio dinâmico tem como função determinar a capacidade de ruptura da interação estaca-solo para carregamentos estáticos axiais. Difere das provas de carga estáticas pelo fato de o carregamento ser aplicado dinamicamente, com golpes de um sistema de percussão adequado.

Preparo

Em estacas moldadas *in loco*, é necessário fazer um preparo que consiste na execução de um bloco de concreto armado ($f_{ck} > 30$ MPa), para receber os impactos. O bloco deverá ter seção transversal parecida com a da estaca e altura de cerca de 1 m. Os sensores devem ser instalados no fuste da estaca, e não no bloco. Os golpes são aplicados por qualquer sistema capaz de liberar um peso em queda livre. O pilão a ser utilizado deverá ter um peso correspondente de 2% a 3% da carga de trabalho prevista para a estaca. Deve-se usar chapas de madeira compensada, que podem ser encimadas por uma chapa metálica, para amortecimento dos golpes.

Como é feito

São usados dois pares de sensores. Um deles é um transdutor de deformação

específica. Gera uma tensão proporcional à deformação sofrida pelo material da estaca durante o golpe. O outro sensor é um acelerômetro, que gera uma tensão proporcional à aceleração das partículas da estaca.

Valores e parâmetros

O ensaio é baseado na teoria da onda. Quando uma estaca é atingida por um golpe gera-se uma onda de tensão. Essa onda trafega com uma velocidade fixa e dependente apenas das características do material. O sinal de cada um dos transdutores de deformação é multiplicado pelo módulo de elasticidade do material da estaca e pela área de seção na região dos sensores, para obtenção da evolução da força em relação ao tempo. O PDA tira a média dos dois sinais de força assim obtidos, a fim de detectar e compensar os efeitos da excentricidade do golpe.

Dados obtidos

O PDA leva em consideração que o deslocamento rápido da estaca num meio viscoso como o solo produz uma resistência estática e uma dinâmica. Essa última é subtraída da resistência total medida, sendo sempre informado apenas o valor da resistência estática.

A capacidade de carga é calculada pelo PDA entre dois golpes sucessivos. O PDA fornece outros resultados em campo, como máximas tensões durante o golpe e energia máxima transferida.

Para que servem os dados

O PDA fornece dados sobre a capacidade de ruptura do solo. Mas outros dados são obtidos pelo ensaio, tais como as tensões máximas de compressão e de tração no material da estaca durante os golpes, nível de flexão sofrido pela estaca durante o golpe, informações sobre a integridade da estaca, com localização de eventual dano, e estimativa de sua intensidade, energia efetivamente transferida para a estaca, permitindo estimar a eficiência do sistema de cravação, velocidade de aplicação dos golpes, e estimativa de altura de queda para martelos diesel de ação simples e deslocamento máximo da estaca durante o golpe.

Vantagens e desvantagens

Trata-se de um ensaio mais rápido do que as provas estáticas, com custo mais baixo e independente da carga que se vai medir. Tem também a vantagem de causar pouco transtorno à obra, pois não exige a parada de equipamentos ao redor da estaca sob teste.

Fonte: PDI

Projeto otimizado

Segundo Gisleine, a maior vantagem da prova de carga estática é poder verificar *in loco* o real comportamento da estaca. Com os resultados em mãos torna-se possível otimizar o projeto de fundações e reduzir custos. Por exemplo, se for verificado que a capacidade de carga está acima da determinada em projeto, pode-se reduzir o número de estacas, ou especificar seção ou comprimento menores. "O ideal é realizar o ensaio na estaca teste antes de executar as fundações, pois dessa maneira consegue-se otimizar em muito o projeto. Mas o objetivo é determinar a capacidade

de carga para saber se é a especificada em projeto", ressalta Gisleine.

Mesmo sendo uma exigência da norma, esse ensaio é cada vez menos executado. Em uma cidade como São Paulo, por exemplo, quase totalmente construída, as consequências são menos drásticas, pois existe um conhecimento prévio do solo, das fundações vizinhas e o conhecimento acumulado dos consultores. Mas, sempre que os outros ensaios gerarem alguma desconfiança, recomenda-se a prova de carga estática.

Segundo o engenheiro Jorge William Beim, da PDI, empresa de consultoria especializada em ensaios dinâmicos em estacas, o ideal seria executar os

ensaio em obras de qualquer porte. Na prática, porém, isso nem sempre é possível. "A própria norma NBR 6122, no capítulo referente a estacas pré-moldadas de concreto, exige ensaios apenas se a carga de trabalho corresponder a uma tensão no concreto maior do que 6 MPa. Assim, o projetista tem a alternativa de usar uma carga baixa por estaca e conseqüentemente maior número de estacas, porém sem ensaios, ou uma carga maior por estaca, menor número total de estacas, porém com execução de ensaios", informa.

Carregamento dinâmico

O ensaio de carregamento dinâmico, PDA (*veja box*), desenvolvido

Ensaio de integridade PIT

O que é

O PIT é um ensaio que visa determinar a variação ao longo da profundidade das características do concreto de estacas de fundação. É usado para detectar falhas na concretagem de estacas moldadas *in loco*. No entanto, o ensaio pode também ser usado para determinar ou confirmar o comprimento de estacas.

Preparo

Retira-se o concreto de má qualidade porventura existente no topo. Em seguida, lixa-se a superfície do topo da estaca, que deverá estar acessível e seco. Caso já tenha sido lançado o concreto da base do bloco (magro), a estaca terá que ser isolada dessa base, mediante a quebra de uma estreita região em volta da estaca. Pode haver água ao redor da estaca, contanto que o topo esteja seco, e que seja possível o acesso do operador. O acelerômetro e os golpes têm de ser aplicados em material idêntico ao do restante da estaca.

Como é feito

O ensaio consiste na colocação de um acelerômetro de alta sensibilidade no topo da estaca, e na aplicação de golpes com um martelo de mão. O acelerômetro é fixado com cera de petróleo. Os golpes

geram uma onda de tensão, que trafega ao longo da estaca, e sofre reflexões ao encontrar qualquer variação nas características do material (área de seção, peso específico ou módulo de elasticidade).

Valores e parâmetros

O ensaio também é baseado na teoria da onda. As reflexões registradas acima causam variações na aceleração medida pelo sensor. Assim, é feito o registro da evolução dessa aceleração com o tempo. Como a onda trafega com uma velocidade fixa, conhecendo-se a velocidade de propagação da onda, e o tempo transcorrido entre a aplicação do golpe e a chegada da reflexão correspondente à variação de características, pode-se determinar a localização dessa variação.

Dados obtidos

À medida que se propaga, a onda sofre reflexões em seu trajeto. Essas reflexões podem ser provocadas por variações nas características do material da estaca, pela presença de atrito lateral ou resistência de ponta, ou pela própria ponta da estaca. Qualquer variação de impedância ao longo da estaca provoca reflexões da onda. Essas reflexões, ao atingirem o ponto onde está

instalado o sensor, provocam uma variação brusca na velocidade de deslocamento da partícula nesse ponto. Um aumento de impedância causa uma queda na velocidade, e uma diminuição de impedância causa seu aumento.

Para que servem os dados

O PIT oferece informações sobre a integridade das estacas, se há fissuras, estrangulamentos e alargamento de seção. Porém, não fornece nenhuma informação quanto à capacidade de carga da estaca.

Vantagens e desvantagens

A execução é barata e rápida e podem ser realizados até 50 ensaios por dia. O equipamento é leve e portátil. É uma das poucas maneiras de se obter informações sobre a integridade das estacas. É capaz de detectar danos na superfície do fuste. Porém, apresenta pouca precisão na avaliação da intensidade do dano e isso pode fazer com que sejam detectados problemas que não comprometeriam a utilização da estaca. Além disso, em alguns casos, a interpretação dos sinais obtidos se torna difícil por influência do atrito lateral (que também provoca reflexões da onda).

Fonte: PDI

inicialmente para estacas pré-moldadas, mas usado para as moldadas *in loco*, é menos oneroso (cerca de R\$ 5 mil para cinco a seis estacas). Prevê a aplicação de uma carga dinâmica por meio de um tipo de bate-estaca num prolongamento da estaca acima do solo. Dessa maneira, é possível colocar nessa parte externa da estaca, mais especificamente no seu fuste, dois tipos de sensores: acelerômetros e transdutores de deformação.

Esses sensores estão ligados a um equipamento eletrônico de análise de dados que faz registros das ondas. Por meio da Teoria de Equação da Onda esses dados são depois interpretados. "Esse ensaio consegue verificar a capa-

cidade de carga mobilizada e também fornece dados sobre integridade e resistência. Ele serve para validar a prova de carga estática, mas não a substitui porque não determina a carga de ruptura", alerta Gisleine.

A vantagem é que o tempo de execução é mais curto e a produtividade maior: consegue-se ensaiar de cinco a seis estacas em um dia, além de não ser necessário interromper a obra. Mas exige um conhecimento teórico prévio para a interpretação das ondas, ainda pouco dominado pelo meio técnico, segundo Gisleine. Quanto ao fato de o ECD substituir as provas estáticas, Beim explica que se por algum motivo for necessário determinar a

real carga de ruptura de uma estaca é preciso efetuar uma prova de carga estática, necessariamente levada à ruptura. Para ele, em solos com características incomuns ou desconhecidas, é sempre aconselhável fazer pelo menos uma prova estática de aferição para verificar se a metodologia adotada para os ECD está correta.

"É o caso, por exemplo, de solos que exibem relaxação, onde o ECD deve ser preferencialmente feito bastante tempo após a cravação das estacas. A capacidade é determinada com um golpe de alta energia", explica. Mas, se for apenas para confirmar se as estacas atendem aos requisitos de projeto, o ECD sozinho pode ser suficien- >>

te, com a vantagem de ser mais rápido do que as provas estáticas, e ter um custo mais baixo e praticamente independente da carga que se vai medir.

Pile Integrity Test

Já no ensaio de integridade, PIT (veja *boxe*), é colocado um acelerômetro no topo da estaca, que é previamente preparada para receber golpes de um martelo instrumental. Dessa maneira são registradas ondas para fazer um perfil da estaca. Com esse perfil é possível verificar se há estrangulamento, alargamento de seção, trincas, fissuras ou vazios na estaca moldada. Permite realizar de 30 a 40 ensaios diários e tem custo de cerca de R\$ 100 por estaca.

Por essa razão, acaba sendo o mais utilizado. Tornou-se uma ferramenta de controle para a execução de estacas hélice contínua. Gisleine alerta, porém, que nem sempre os resultados são conclusivos, pois o ensaio detecta que há problema, mas não qual é, servindo para adoção de outras providências. Pode ser útil para rever o projeto de fundações ao verificar que o tipo de estaca escolhida não é compatível com o solo encontrado na obra.



Posicionamento do macaco hidráulico e defletômetros para prova de carga estática. Resultado mostra o recalque em função da curva de carga sob carregamentos constantes

As informações sobre o tipo de solo fornecidas pelas sondagens e os boletins de execução, que fazem parte do controle executivo, trazem informações vitais para ajudar na interpretação do PIT. "É preciso ter o maior número de informações confiáveis sobre a execução das estacas e sobre o solo, caso haja algum problema revelado pelos ensaios. Quando eles ocorrem, pode-se fazer uma sondagem destrutiva da estaca, abrir um poço ao lado para verificações e executar uma estaca vizinha de reforço que vai trabalhar com as outras, ou desprezar a estaca com problema e redistribuir os esforços. O que deve ser feito dependerá das informações disponíveis", explica Gisleine.

Vantagens do PIT

Para Jorge Beim, entre as diversas vantagens do PIT estão a rapidez, a possibilidade de se fazer mais de 50 ensaios por dia, a capacidade de detectar danos na superfície do fuste da estaca, e o fato de não exigir preparo durante a execução. Possui equipamento leve e portátil, mobilizando um mínimo de recursos da obra durante os ensaios, além de ser a maneira mais rápida e barata entre as poucas existentes para se obter informações sobre a integridade das estacas.

Mas a precisão dos resultados do PIT é um tema controverso. "Alguns consultores são entusiastas do método e outros o vêem com reservas. Existem histórias de sucessos e fracassos para justificar essas duas atitudes. Acreditamos que o PIT é uma ferramenta útil, mas não pode ser visto como uma verdade absoluta", destaca Beim. Para ele, a precisão do PIT é em geral muito boa na determinação da localização do dano, principalmente se for possível ver uma clara reflexão de ponta, e se o comprimento da estaca for conhecido com exatidão. "Com isso, será possível determinar a exata velocidade de propagação da onda no material da estaca. Caso essa velocidade não possa ser determinada, pode-se usar uma velocidade típica para as estacas da obra, com pequena diminuição da precisão", esclarece.



O ensaio de carregamento dinâmico aplica-se tanto a estacas pré-moldadas como estacas moldadas *in loco*. A repercussão das ondas após a batida com o martelo mostra a integridade da estaca e a interação com o solo

Beim explica que caso se deseje saber o comprimento de uma estaca, uma maneira de determinar a velocidade de propagação da onda com precisão é instalar um segundo acelerômetro no fuste, a uma distância conhecida do topo. Se ao se aplicar um golpe no topo da estaca for possível ver a reflexão da ponta, será possível medir o tempo decorrido entre a passagem da onda pelo acelerômetro e a chegada da reflexão de ponta. Esse tempo é o que a onda leva para percorrer o comprimento total da estaca menos a distância abaixo do topo onde foi instalado o sensor. Pelo sensor colocado no topo tem-se o tempo decorrido entre o golpe e a reflexão de ponta, para o comprimento total da estaca. "Isso permite montar um sistema de duas equações com duas incógnitas (comprimento da estaca e velocidade de propagação da onda). Quanto mais distante do topo for instalado o segundo sensor, maior a precisão da medida. Existem acelerômetros especiais, dotados de um anel que permite sua fixação por parafuso no fuste da estaca", explica.

Cross Hole: tomografia para estacas

No mundo todo a avaliação da integridade das estacas moldadas *in loco* tem seguido uma tendência do uso de métodos indiretos e não-destrutivos, baseados em fundamentos de emissão e recepção de ondas acústicas. Entre os ensaios que empregam esse recurso o mais conhecido é o PIT (*veja quadro*). O mais recente deles, no entanto, o Cross Hole Sonic Logging (CSL), está disponível no Brasil desde o ano passado. Conhecida como tomografia, essa tecnologia é uma importante ferramenta para a verificação da qualidade de fundações profundas. Segundo a engenheira Cristiana Sanches Andreo, da In Situ Geotecnia, empresa que trouxe o equipamento ao País, o ensaio tem como objetivo a verificação da qualidade da concretagem do fuste. A tecnologia envolve a geração de pulsos elétricos em uma unidade de controle e aquisição de dados. Em uma sonda transmissora, os pulsos são convertidos em ondas ultra-sônicas, que são captadas por uma sonda receptora e convertidas novamente em sinais elétricos. A resposta da sonda receptora é filtrada em torno de sua frequência de ressonância, procedimento que permite minimizar o ruído eletrônico. O transmissor e o receptor operam no interior de tubos preenchidos com água,

previamente incorporados à fundação durante a concretagem. Para garantir uma varredura completa do interior do fuste, são empregados tubos dispostos em círculo (geralmente um tubo para cada 25 a 30 cm de diâmetro), instalados próximos à periferia da estaca e ao longo de todo seu comprimento. Os tubos podem ser metálicos ou de PVC, sendo usualmente fixados na própria armadura da fundação.

A execução do ensaio envolve o posicionamento do transmissor e do receptor na porção inferior de dois tubos. Em seguida, faz-se com que as sondas percorram simultaneamente a estaca, registrando-se continuamente a profundidade, o tempo transcorrido entre a emissão do pulso e sua chegada no receptor e a energia do sinal recebido. O movimento ascendente das sondas dentro dos tubos se dá mediante o acionamento manual ou mecânico de cabos apropriados. O ensaio é repetido diversas vezes, selecionando-se novas combinações de tubos. Com isso, possíveis regiões defeituosas poderão ser mapeadas espacialmente ao longo da profundidade e também por quadrante. Os sinais monitorados em campo são analisados com software específicos. A interpretação é efetuada com base no

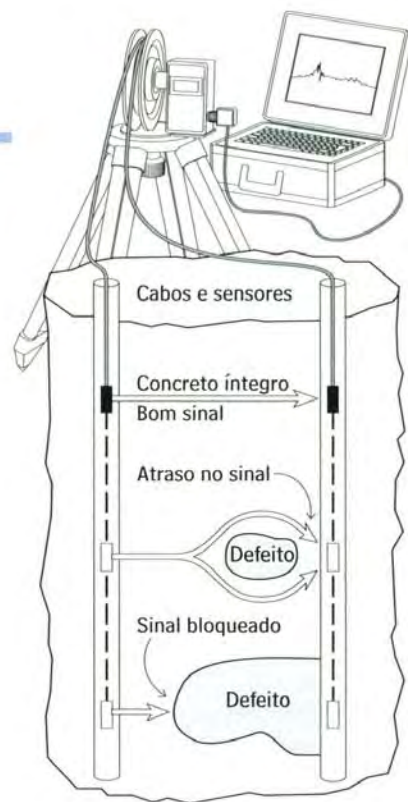


Ilustração: Sergio Coletto

tempo de transmissão do pulso de ultra-som. O princípio físico consiste no fato de que a presença de material de má qualidade no fuste retardará ou impedirá a chegada do sinal emitido. Muitos dos fatores que podem causar um atraso na chegada do pulso de ultra-som – tais com o intrusões de solo (ou lama bentonítica), concreto de baixa qualidade ou formação de vazios – levam também a uma diminuição da energia do sinal transmitido, de modo que esta grandeza também é considerada na análise.

Fonte: In Situ Geotecnia

Resultados inconclusos

No entanto, ele acrescenta que não se pode exigir que o PIT forneça resultados sempre conclusivos e incontesteáveis. Em sua avaliação, é um ensaio muito útil para detectar falhas que de outra maneira passariam despercebidas, muitas vezes, com grave risco para a estabilidade da construção. De acordo com o consultor Luciano Decourt pode acontecer o oposto. "O PIT pode indicar problema de integridade e este não existir. Além disso, tem limitações de profundidade (no máximo 10 m)", afirma. Para ele, os ensaios, sejam quais forem, embora importantíssimos, são sempre indicativos, mas não conclusivos.

Essa foi a conclusão do Congresso Internacional sobre Fundações Escavadas, realizado na Bélgica, em 2003. "O processo executivo é o que manda na capacidade de carga das estacas e esse assunto é ignorado por 90% do mercado da construção", revela Decourt. Para compensar essa "incerteza" nas informações ele lembra que o coeficiente de segurança adotado em fundações no Brasil se situa entre oito e dez vezes, quando o preconizado em norma é duas. "Isso se reflete nos custos que proporcionalmente acabam sendo de oito a dez vezes mais caros do que poderiam ser. O desperdício em fundações equivale a dizer que um carro precisaria de 20 rodas e não de quatro", argumenta.

Para Decourt, as estacas moldadas *in loco* precisam de controle efetivo de execução e dos ensaios, para que se possa obter o maior número possível de informações e reduzir o desperdício de recursos. "Em uma obra em que fui consultor, consegui fazer 12 provas de carga antes de concluir o projeto de fundações. Isso é um feito inédito, pois em geral as provas de carga estáticas, quando realizadas, são feitas depois de a obra já ter sido iniciada. Dessa maneira, tivemos a oportunidade de otimizar o projeto, economizando cerca de 25% do custo total da obra", ressalta. <<

Heloisa Medeiros