



Medição e Análise da Pressão de Concreto na Ponta do Trado em Estacas Hélice Contínua: Valor na Ponta *versus* Valor no Topo

Marcelo A. Batista

Diretor Comercial da Geodigitus, Filiação Abef, Belo Hte., Brasil, marcelo@geodigitus.com.br

Francisco Teodoro A. e Silva

Diretor Técnico da Geodigitus, Filiação Abef, Belo Hte., Brasil, francisco@geodigitus.com.br

Carlos Medeiros Silva

Diretor Técnico da Embre Engenharia, Filiação ABMS, Brasília, Brasil, carlos@embre.com.br

Dalvio Emílio T. Cló

Diretor Técnico da CZM, Filiação Abef e ABMS, Belo Hte., Brasil, dalvio@czm.com.br

André Lobato de Paula

Diretor Técnico da TEC GEO, Filiação ABMS, Belo Hte., Brasil, andre@tecgeo.com.br

RESUMO: A execução de estacas hélice contínua envolve a medição e monitoramento de várias grandezas, sendo a pressão de injeção do concreto um dos fatores que influencia no desempenho e qualidade da estaca. Devido às características do processo executivo de estacas hélice contínua, a medição da pressão de concreto é efetuada no topo do prolongador, sendo que o ideal seria na ponta do trado, onde efetivamente ocorre a injeção de concreto. Com esse artigo, pretendemos mostrar e analisar a correlação entre a pressão medida no topo e a pressão aplicada na ponteira da hélice. Por meio de equipamentos especiais desenvolvidos especificamente para essa finalidade, foram executadas estacas hélice contínua medindo-se a pressão de concreto em dois pontos distintos: no ponto usado tradicionalmente (topo do prolongador) e na ponta do trado (ponteira da hélice). Os resultados apresentam evidências da diferença entre as duas pressões medidas que deve ser levada em consideração em projetos de fundação e na análise dos relatórios gerados na execução da estaca utilizando-se monitoramento tradicional.

PALAVRAS-CHAVE: Sensor de pressão, estacas tipo hélice contínua monitorada, integridade, pressão de injeção, ponta das estacas, pressão de concreto na ponta do trado.

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



sefe 10

ABSTRACT: The execution of Continuous Flight Auger (CFA) piles involves the measurement and monitoring of several magnitudes, with the concrete injection pressure being one of the most influential factors in the performance and quality of the pile. Due to the characteristics of the executive process of CFA piles, the measurement of the concrete pressure is carried out at the top of the auger, while the ideal would be at bottom of the auger, where the concrete injection actually takes place. With this article, we intend to show and analyze the correlation between the pressure measured at the top and the pressure applied at the bottom. Through special equipment developed specifically for this purpose, CFA piles were made measuring the concrete pressure at 2 different points: at the point traditionally used (top of the auger) and at the bottom of the auger. The results show evidence of the difference between the two measured pressures and that should be taken into account in foundation projects, and in the analysis of the reports generated in the execution of the pile using traditional monitoring.

KEYWORDS: Pressure sensor, CFA monitored, integrity, injection pressure, concrete pressure at auger far end.

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



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900
Telefone: (11) 3052-1284
E-mail: abef@abef.org.br

Organização:



Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220
E-mail: secretaria@qeeventos.com.br
Site: www.qeeventos.com.br

1 Introdução

Na Engenharia de Fundações, têm-se procurado técnicas e ferramentas que garantam a avaliação e bom desempenho das fundações, em relação à integridade, à resistência e à deformabilidade. O controle de qualidade, na execução das estacas tipo hélice contínua, exige ferramentas que identifiquem a necessidade ou não de intervenção preferencialmente durante a execução e que garantam a qualidade da estaca quanto a sua integridade e desempenho. Em termos mais abrangentes, pode-se dizer que a adoção de um rígido controle de qualidade nos estaqueamentos tipo hélice contínua, durante a fase de execução, trará garantia quanto à conformidade do estaqueamento (SILVA, 2011).

Pode-se destacar três fatores que contribuem para a qualidade das estacas tipo hélice contínua, que são garantidos por meio de hardware e software específicos. São eles: durante a escavação, o fuste da estaca não deve ser desconfinado; durante a concretagem, a integridade da estaca ao longo do fuste deve ser garantida; a capacidade de carga da estaca deve ser avaliada, por exemplo, por meio da análise da energia de instalação da estaca.

Segundo Almeida Neto (2002), talvez o mais importante fator que influencia o desempenho de uma estaca é a concretagem, principalmente quanto à pressão de injeção. Entretanto, existe uma frágil correlação entre as pressões do topo do helicóide e da ponta do trado, fenômeno abordado em BRONS & KOOL (1988) e SILVA (2011). Esse fenômeno também foi verificado durante a execução das 20 estacas tipo hélice contínua, onde registramos as pressões de injeção na ponta do trado por meio de um sensor desenvolvido para essa finalidade. Na figura 1, os valores médios registrados nas 20 estacas no topo do helicóide e na ponta do trado, apresentam dispersão em razão da diferença na plasticidade do concreto, diâmetro do tubo de concretagem, rugosidade do tubo, diâmetro da estaca, velocidade de extração do trado, outras propriedades do concreto e outros fatores. Entretanto, verifica-se pela figura 1 que a pressão na ponta do trado é sempre superior à pressão no topo do trado, pois todos os valores da pressão média na ponta do trado encontram-se à direita da reta de 45 graus, linha onde as 2 pressões são iguais. BRONS & KOOL (1988) e SILVA (2011) salientaram que, em nenhum caso, a pressão na ponta do helicóide será a soma da pressão aplicada no topo mais a pressão exercida pela altura da coluna de concreto, representada na figura 1 pela reta vermelha.

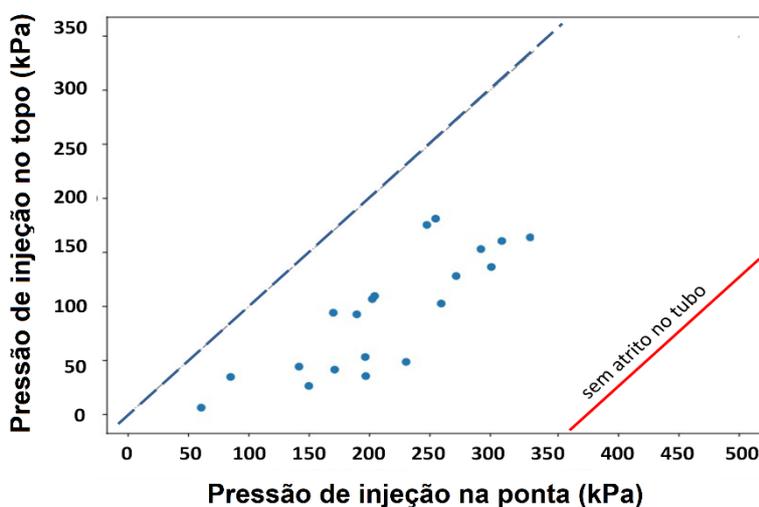


Figura 1. Pressão no topo *versus* pressão na ponta do helicóide.

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



Fica evidente que registrar as pressões de injeção na ponta do trado auxiliará o projetista e o executor na adoção de uma rotina de concretagem para conferir à estaca ganhos de capacidade de carga e redução de consumo de concreto, por exemplo em solos moles onde se verifica a redução da pressão de injeção.

Na figura 2, apresentam-se algumas inovações que foram introduzidas no software de análise de dados coletados durante o monitoramento das estacas tipo hélice contínua na última década. Destacam-se três inovações: no canto superior esquerdo, tem-se a energia de instalação da estaca em tempo real que, segundo SILVA & CAMAPUM DE CARVALHO (2020), está diretamente relacionada com a capacidade de carga da estaca; no gráfico de velocidade de perfuração, apresenta-se a velocidade crítica de perfuração proposta por SILVA (2011), que garante à estaca o confinamento do fuste durante a execução; no gráfico de pressão de injeção, apresenta-se a pressão de injeção na ponta do trado, cuja aquisição dos dados é realizada pelo sensor especificamente desenvolvido para essa função e objeto de análise nesse artigo.

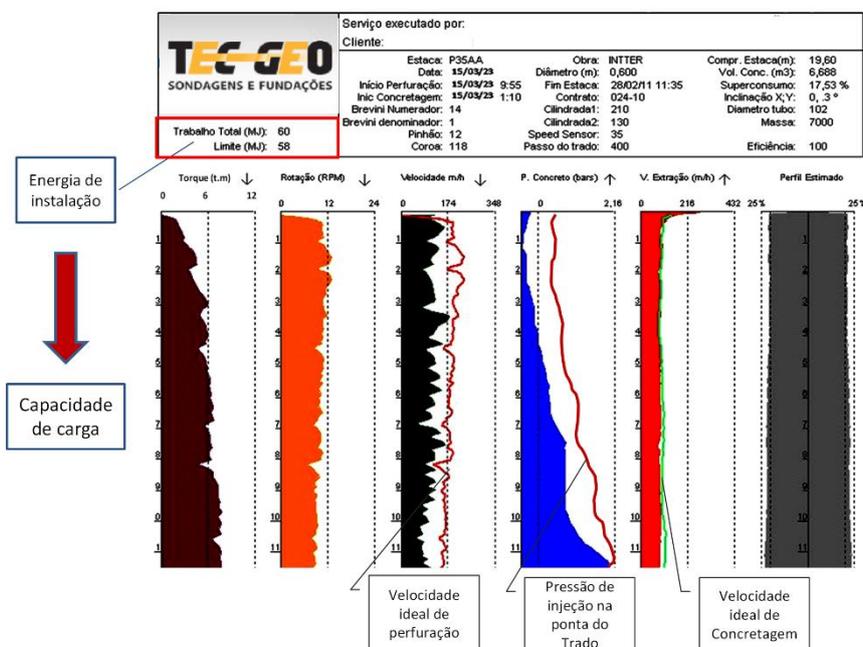


Figura 2. Monitoramento das estacas tipo hélice contínua, SoftSaci V7.12, Geodigitus.

A aquisição dos dados de pressão de injeção de concreto na ponta do trado da estaca tipo hélice contínua soluciona e responde aos questionamentos referentes a integridade da estaca durante a sua execução. Por exemplo, na figura 2, observa-se o registro de duas pressões: a do topo do helicóide (preenchido em azul) e a da ponta do trado (linha vermelha). No caso, verifica-se que a estaca foi totalmente concretada com pressões positivas na ponta do trado, em contraste ao gráfico do sensor de pressão instalado no topo do helicóide, que registrou pressões negativas. O registro da pressão de injeção de concreto na ponta do trado das estacas tipo hélice contínua, entre outras aplicabilidades, contribui para a execução das estacas em horizontes de solos moles, onde a única ferramenta de auditoria, quando do registro de pressões negativas, é o ensaio de integridade que, em muitos casos, fica à mercê de interpretações nem sempre precisas.

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



2 Sensor de Concreto na Ponta do Trado - SCPT

Para garantir a integridade da estaca é desejável manter pressões de concreto positivas medidas na extremidade superior do helicóide. Tal recomendação nem sempre é possível de ser atendida durante a execução, devido às condições de contornos geotécnicos, quando, por exemplo, as estacas são executadas em solos moles. Este fato não significa necessariamente que a estaca apresentará problemas quanto a sua integridade, pois, idealmente, dever-se-ia medir as pressões no ponto de injeção de concreto, ou seja, na extremidade inferior do helicóide e não na extremidade superior, conforme pode ser visualizado na figura 3.



Figura 3. Posição dos sensores de concreto; sensor SCPT; sensor SCPT instalado no trado.

O dispositivo apresentado na figura 3, Sensor de Concreto na Ponta do Trado – SCPT, é instalado no tubo central do trado. Com acesso direto ao fluxo de concreto, o SCPT pode registrar a pressão de injeção do concreto com a qual efetivamente a estaca está sendo executada. Isso possibilita o esclarecimento de dúvidas quanto à magnitude das pressões reais de injeção de concreto e quanto à integridade da estaca.

Para que fosse possível a utilização do SCPT, o equipamento foi desenvolvido observando-se a fácil instalação e manutenção, a necessidade de resistência mecânica em relação ao solo, impactos comuns durante a limpeza do trado e resistência à abrasão (resolvidos com design mecânico, chapa de aço de 1/2” e borracha protetora de 1/4”). A eletrônica do sensor SCPT atendeu aos seguintes requisitos: dimensões reduzidas; baixo consumo e bateria de longa duração; transferência de dados rápida e segura; grau de proteção IP69. Com hardware específico e *firmware* em linguagem C++, o dispositivo SCPT faz a aquisição de 16 leituras de pressão por segundo e registra 3 valores: a média das 16 leituras e os valores máximo e mínimo.

3 Aquisição de dados e análises

Para este artigo foram executadas e monitoradas 20 estacas utilizando-se equipamento modelo CZM EM400, cuja capacidade máxima de perfuração é de 18 m. As obras em estudo encontram-se localizadas em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil e região metropolitana.

Apresenta-se neste artigo 5 das 20 estacas executadas com leituras obtidas pelo SCPT instalado. O solo da região é resultado da evolução intempérica de rochas metassedimentares, o

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



filito e o quartzito, com perfil geotécnico representado pela sondagem a percussão com ensaio SPT apresentada neste artigo.

Nas 20 estacas analisadas utilizou-se o software de monitoramento SACI da Geodigitus (SoftSaci V7.12). No *firmware* do sistema de monitoramento utilizado, a velocidade ideal de extração (ou de concretagem) é calculada sem sobreconsumo.

A instalação do SCPT é mostrada na figura 3. Em um trado de 18 m de comprimento e diâmetro interno de 10 cm, o volume de concreto em seu interior é de cerca de 0,14 m³. Desta forma, leituras negativas de pressão de concreto no topo do helicóide não necessariamente significam descontinuidade do fluxo de concreto na ponta do trado. As pressões registradas na ponta do trado são mais confiáveis em relação a esse quesito.

3.1 Análise da estaca de teste ET01

Na figura 4 apresenta-se a estaca teste ET01, de 40 cm de diâmetro, executada em obra localizada na Praça Raul Soares, Belo Horizonte, e concretada em acordo com as especificações da NBR 6122/22, apresentando sobreconsumo de 35%. Em alguns trechos, foi concretada com velocidade de extração (linha vermelha) maior que a velocidade ideal (linha azul).

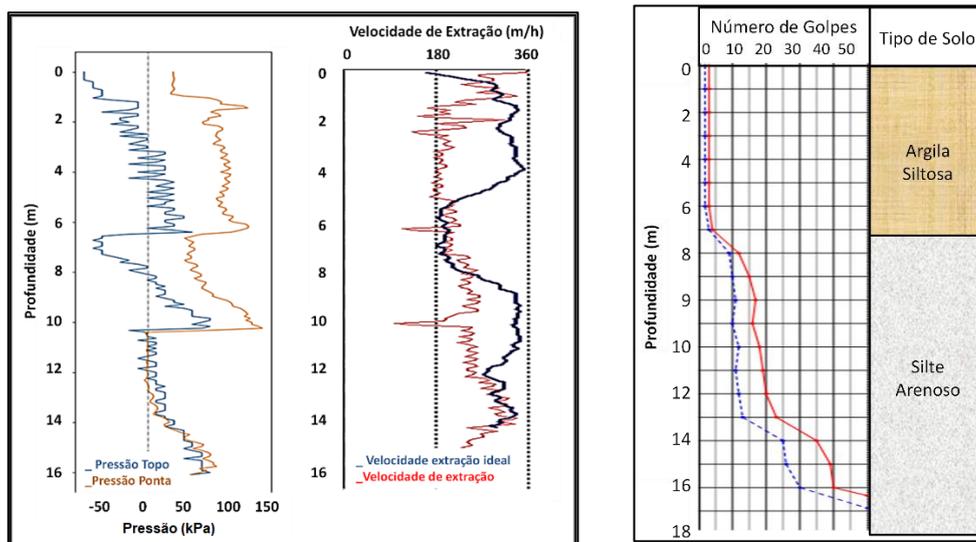


Figura 4. Estaca ET01; sondagem SPT na Praça Raul Soares

Teoricamente, a coluna de concreto existente no interior do trado deveria adicionar às pressões registradas pelo sensor SCPT ao menos 360 kPa. Entretanto, a pressão registrada pelo sensor SCPT apresenta variabilidade em função do diâmetro e rugosidade do tubo de concretagem, do diâmetro da estaca, da velocidade de extração do trado, das propriedades do concreto (*slump*) e da velocidade do fluxo de concreto.

Entre 16 m e 10,5 m a velocidade de extração aumentou gradualmente e ultrapassou a velocidade ideal de extração em 14,2 m. Neste ponto, a pressão de concreto na ponta reduziu até atingir valor inferior à pressão de concreto no topo, permanecendo até 10,5 m quando, por razões operacionais, a extração do trado foi paralisada e permitiu que as pressões de concreto aumentassem tanto no topo quanto na ponta do trado.

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



A velocidade ideal de extração, representada no gráfico da figura 4 pela linha vermelha, é uma média dos últimos 1,5 m, enquanto no computador de monitoramento, a velocidade ideal de extração (linha azul) é ajustada a cada pulso da bomba. Importante ressaltar que a velocidade de extração está fortemente correlacionada ao fluxo de concreto necessário para o completo preenchimento do fuste.

Entre 10,5 m e 9 m, o fluxo da bomba de concreto manteve-se constante quando então ocorreu grande redução deste fluxo (evento devidamente registrado pelo monitoramento), provocando uma pressão negativa no topo do trado. Por outro lado, no mesmo instante, o SCPT registrou pressão positiva de cerca de 75 kPa. Vale ressaltar que essa pressão positiva registrada pelo SCPT dirime todas as dúvidas em relação à pressão de injeção nesse trecho, objetivo maior deste estudo.

A partir de 6 m de profundidade, ocorreu um aumento do fluxo de concreto, conseqüentemente a velocidade ideal de extração do trado ficou acima da velocidade executada, conferindo qualidade à estaca nesse trecho. Como esperado, ao final da concretagem (últimos 2 m), o concreto perdeu confinamento. O sensor SCPT, no entanto, registrou pressões positivas, corroborando a validação da estaca também nesse trecho.

Nessa estaca, executada intencionalmente com velocidade de extração e fluxo de concreto variáveis, para permitir análises quanto a integridade da estaca, ficou evidente a importância do sensor SCPT instalado na ponta do trado, pois foram registradas pressões positivas de injeção de concreto na estaca mesmo quando o sensor do topo registrava pressões negativas.

3.2 Análise das estacas D01 E15A, D26 E55, D26 E61 e D12 E14

Neste artigo, apresenta-se outras três estacas com diâmetro de 40 cm e uma outra estaca com diâmetro de 50 cm, executadas em Belo Horizonte, Minas Gerais, e na região metropolitana. As estacas são: D01 E15A, D26 E55 e D26 E61, executadas com diâmetro de 40 cm na obra da Praça Raul Soares e D12 E14, executada com diâmetro de 50 cm na obra de Contagem. As 4 estacas foram realizadas utilizando-se equipamento modelo CZM EM400 equipado com trado de 18 m.

Ao analisar o processo de execução da estaca D01 E15A e os gráficos de pressões de injeção no topo do helicóide e na ponta do trado, apresentados na figura 5, verifica-se que a estaca foi concretada com pressões positivas ao longo de todo o seu comprimento se considerado os registros do sensor SCPT instalado na ponta do trado, o que aprimora as avaliações de integridade da estaca. Com o fluxo de concreto inicialmente baixo, entre 18 m e 15 m, a não redução da velocidade de extração provocou pressões de injeção próximas de zero, medidas pelo sensor instalado no topo do helicóide. A partir dos 15 m, o fluxo de concreto foi normalizado e, conseqüentemente, a velocidade ideal de concretagem aumentou e manteve-se sempre acima da velocidade de extração, garantindo registros positivos de pressão pelos sensores até próximo à superfície. A partir de 4 m, o sensor de concreto instalado no topo do helicóide registrou pressões negativas devido à perda de confinamento do concreto, fato comumente observado na Engenharia de Fundações durante a execução de estacas tipo hélice contínua.

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



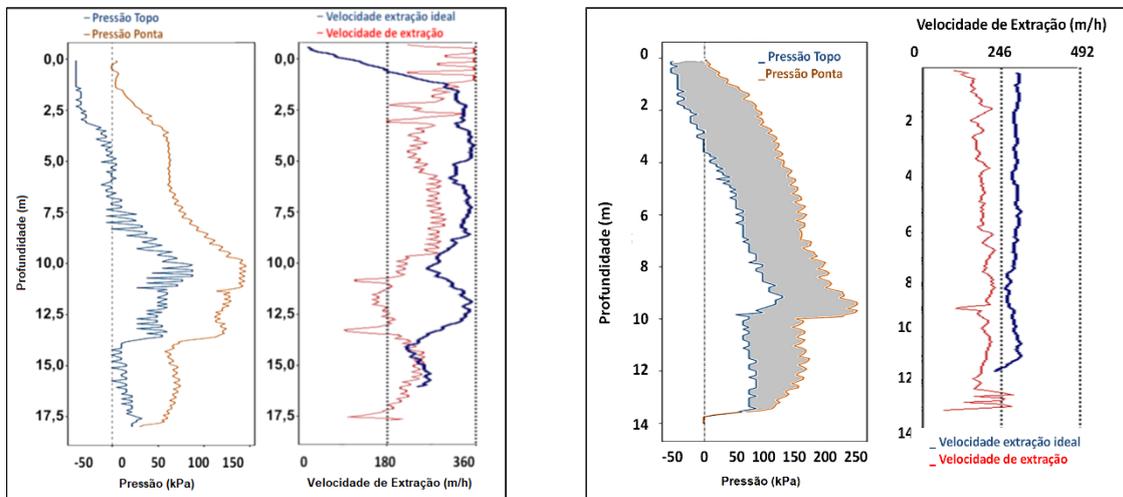


Figura 5. Estaca D01 E15A e estaca D26 E55.

A concretagem da estaca D26 E55, apresentada na figura 5, teve fluxo e velocidade de extração do trado constantes. Observa-se aqui a importância do controle da velocidade de extração do trado durante a concretagem. A área em cinza do gráfico representa o ganho de pressão na ponta do trado em comparação à pressão do topo. Apesar da manutenção do fluxo de concreto e da velocidade de extração ao longo da concretagem, a pressão de concreto no topo e na ponta do trado caiu gradativamente, provavelmente pelo horizonte de solo mole ter oferecido menor resistência.

A estaca D26 E61, figura 6, também apresentou pressão de injeção sempre positiva registrada pelo sensor SCPT, aprimorando as análises de integridade e aceitação da estaca. Observou-se grande variabilidade na velocidade de extração do trado entre 10 m e 9 m e, conseqüentemente, em sentido oposto, a variabilidade das pressões de injeção registradas no topo do helicóide e na ponta do trado. Aproximadamente em 4,2 m, a pressão de concreto registrada no topo ficou negativa, mas não impactou na qualidade da estaca em termos de integridade, pois o concreto existente no tubo de concretagem, de aproximadamente 0,14 m³, foi suficiente para garantir a continuidade do fluxo de concreto e sua pressão positiva, fato registrado pelo sensor SCPT.

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



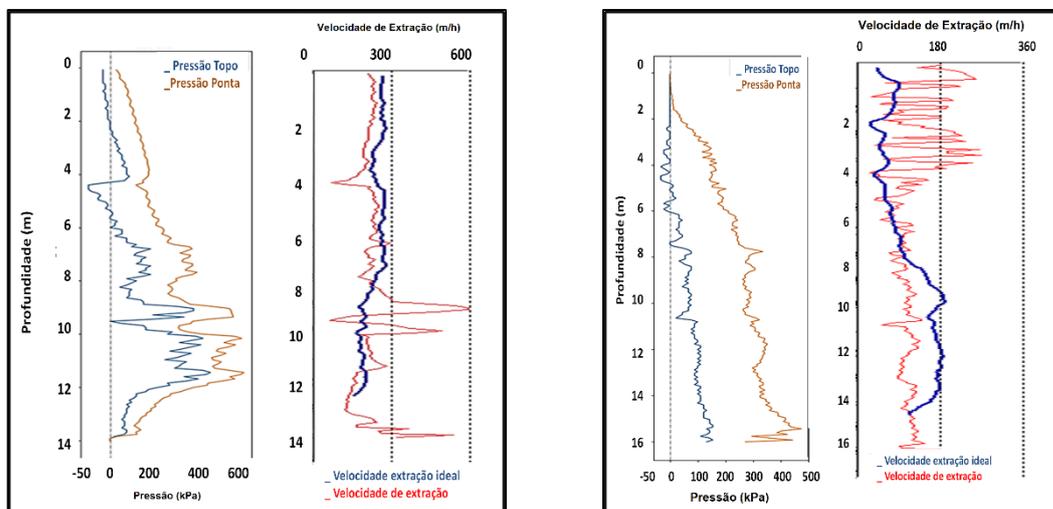


Figura 6. Estaca D26 E61 e estaca D12 E14.

Na execução da estaca D12 E14, figura 6, utilizou-se concreto com *slump* 26, com maior plasticidade. Comparando-se os registros das pressões nos sensores instalados no topo e na ponta, a diferença média verificada nesta estaca foi de 200 kPa, contra 100 kPa nas demais estacas. Tendo em vista que todas as estacas foram executadas pelo mesmo conjunto perfuratríz-operador, com procedimentos sistematizados, a plasticidade e trabalhabilidade do concreto apresentam-se como únicas variáveis responsáveis pela redução do atrito entre o concreto e o tubo central de injeção.

A análise dos gráficos da execução dessa estaca mostra a importância do constante acompanhamento da velocidade ideal calculada automaticamente pelo computador, permitindo ao operador estabelecer a velocidade de extração. Enquanto a velocidade de extração ficou abaixo da velocidade ideal (entre 16 m e 8 m), as pressões no topo e na ponta ficaram em valores elevados e ideais. No entanto, assim que a velocidade de extração ultrapassou a velocidade ideal (devido a uma menor frequência da bomba de concreto – RPM), ambas as pressões caíram significativamente, ocasionando pressões negativas no topo a partir dos 6 m. Tal fato não foi visualizado pelo o operador, prosseguindo a concretagem com velocidade superior à adotada até aquele momento.

4 Conclusões e Sugestões

O sensor SCPT, instalado na ponta do trado, foi importante para validação e aceitação das estacas em termos de integridade, pois registrou as reais pressões de injeção de concreto na estaca. O sensor SCPT pode dirimir ou mitigar dúvidas quanto à integridade da estaca ao longo do fuste. Nos raros casos em que a pressão de concreto na ponta do trado é muito próxima a zero, poder-se-á, com assertividade, verificar e validar a integridade da estaca por outros métodos, como, por exemplo, ensaio de integridade e ensaio dinâmico.

As pressões de injeção variam durante a concretagem da estaca, pois dependem do fluxo de concreto, da velocidade de extração do helicóide, do *slump* do concreto e das características geotécnicas locais. Para maior confiança do operador, a velocidade de extração do trado, que é dependente do fluxo de concreto, pode ser automatizada como acontece em outros tipos de estaca. A incorporação de um medidor de fluxo de concreto (*flowmeter*), que é mais preciso e

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





direto, em substituição ao fluxo obtido por algoritmo a partir do pulso da bomba, pode representar um grande avanço tecnológico na precisão e confiabilidade do processo de execução de estacas hélice contínua. A incorporação nos sistemas de monitoramento da pressão de concreto na ponta do trado, sensor SCPT, é uma inovação valiosa para a análise de aceitabilidade da estaca em termos de integridade. Embora a pressão de concreto na ponta do trado só possa ser conhecida após o término da concretagem da estaca, devido ao problema de comunicação enquanto o sensor SCPT está abaixo do nível do terreno, ainda assim, essa valiosa informação pode auxiliar o executor a decidir sobre a reescavação da estaca enquanto o concreto estiver em estado plástico, em casos de nítido seccionamento, e também auxiliará o projetista na tomada de decisão quanto à necessidade de verificações complementares por meio de ensaios de integridade, ensaios dinâmicos e provas de carga.

Os próximos passos seriam a integração do sensor SCPT ao sistema de monitoramento das estacas tipo hélice contínua e o desenvolvimento de sistema e equipamento que automatize a extração do trado.

Essas inovações contribuirão, em muito, para o controle da execução, do monitoramento e da aceitabilidade da estaca quanto à sua integridade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Geodigitus, a CZM e a TEC GEO Sondagens e Fundações pelo financiamento e apoio ao desenvolvimento do dispositivo sensor SCPT para medição de pressões na ponta do trado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 6122 (2022). Projeto e execução de fundações. Design and construction of foundations. ISBN 978-85-07-08283
- Almeida Neto, J. (2002) Análise do desempenho de estacas hélice contínua e ômega – Aspectos executivos. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 187p.
- Brons, K.F.; Kool, A.F. (1988). Methods to improve the quality of auger piles. In: International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles, 1st, Ghent-Belgium. Proceedings. Rotterdam: A. A. Balkema. p. 269-272.
- Silva, C.M. (2011). Energia e Confiabilidade Aplicadas aos Estaqueamentos Tipo Hélice Contínua. Universidade de Brasília. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/10456>.
- Silva, C.M. & Camapum de Carvalho, J. (2020). Método Semi Empírico para a Capacidade de Carga das Estacas Tipo Hélice Contínua com base na Energia de Instalação. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica São Paulo: ABMS. ISBN: 978-65-89463-30-6

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

