
HÉLICE CONTÍNUA: ESTUDO DE CASO DA MONITORAÇÃO ELETRÔNICA COM AS CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS

Gustavo Urenha Toscano

Matheus da Silva Hubeda

Renan Henrique de Oliveira

Alberto Alonso Lazaro

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

No Brasil, as estacas hélice contínua são utilizadas de forma crescente desde 1987, e, por isso, diversos estudos foram realizados. Com o avanço tecnológico, houve um aperfeiçoamento da técnica e coleta dos dados com o intuito de estudar o comportamento dessas estacas. Este artigo apresenta resultados de uma pesquisa experimental que relaciona a monitoração de 21 estacas com três sondagens executadas na fundação de uma obra localizada na cidade de São Paulo, com o objetivo de formular duas equações, uma para a sondagem e outra para a monitoração, de modo que, quando se aplicam os seus respectivos dados, ambas resultem em valores semelhantes. Por meio de dados empíricos, obteve-se uma equação que correlaciona levemente a monitoração e sondagem, e concluiu-se que não há uma ligação clara entre os estudos, por conta dos diversos fatores que podem alterar os resultados dos dados.

Palavras-chave: Estacas hélice contínua. Sondagens. Fundações.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a NBR 6122:2019 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), estaca hélice contínua é uma estaca de concreto moldada *in loco* executada mediante a introdução no terreno, por rotação de um trado helicoidal contínuo e injeção de concreto pela própria haste central do trado, simultaneamente à sua retirada. Existem vantagens na sua metodologia executiva, como o fato de não produzir vibrações e a possibilidade de ser executada em solos resistentes, atingindo camadas mais profundas. Presente no Brasil desde 1987, tornou-se a estaca mais executada no país.

Além das vantagens técnicas, as estacas hélice contínua têm custos de mão de obra competitivos, e seu principal problema é a impossibilidade de controle de arrasamento das estacas e perdas excessivas de concreto que giram em torno de 20%. As estacas são executadas com máquinas perfuratrizes equipadas com trado contínuo com comprimento entre 18 e 24 metros, dependendo do torque da máquina, as bitolas das estacas variam de 25 a 120 centímetros, e estacas com bitolas acima de 90 centímetros necessitam de equipamentos mais potentes (JOPPERT JUNIOR, 2007)

Com seu grande crescimento, houve uma ampla pesquisa de diversos artigos técnicos que relataram a execução de estacas em todo o país, o que levou a um aperfeiçoamento do método executivo por meio da tecnologia disponibilizada no mercado.

Atualmente, as estacas hélice contínua são monitoradas durante todo o processo de execução por meio de um computador instalado na cabine, de fácil visualização para o operador. O computador dispõe de sensores colocados em pontos estratégicos do equipamento, o que facilita o registro do processo executivo. Podem-se obter pelos sensores a profundidade, a velocidade de rotação, o torque, a inclinação da torre e a pressão do concreto (HACHICH *et al.*, 2016).

O presente trabalho tem como objetivo analisar a congruência entre os dados coletados durante a investigação geotécnica, por meio do relatório de sondagem, com as informações fornecidas pelo monitoramento da estaca hélice. Analisaram-se os relatórios relacionados a esse tipo de fundação da obra Exto Inspire Ibirapuera Park, executada pela construtora Exto. A execução das estacas foi feita pela empresa Tecnogeo Fundações Ltda, com a máquina modelo Mait HC260 e computador da empresa Compugeo Instrumentação para Construção Civil Ltda., a ser comparado com os dados de sondagem fornecidos pela empresa Engesonda Solos e Fundações Ltda. no mesmo empreendimento.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (ABEF, 2012), propõe-se uma listagem de equipamentos, acessórios e ferramentas para a execução da estaca hélice contínua, com exceção da equipe:

- Máquina perfuratriz;
- Trado contínuo;
- Bomba de injeção do concreto;
- Mangueiras de acoplagem à bomba de injeção;
- Instrumento de medida (computador);
- Elemento de memória;
- Sensores;
- Centralizador do trado;
- Limpador do trado;
- Pá carregadeira.

As fases de execução de uma estaca hélice contínua obedecem ao seguinte roteiro: perfuração, que é a introdução da hélice no terreno, concretagem simultânea à extração da hélice e colocação da armadura após a concretagem, conforme o esquema apresentado a seguir (HACHICH *et al.*, 2016). Na Figura 1, é apresentada a sequência executiva da estaca hélice contínua.

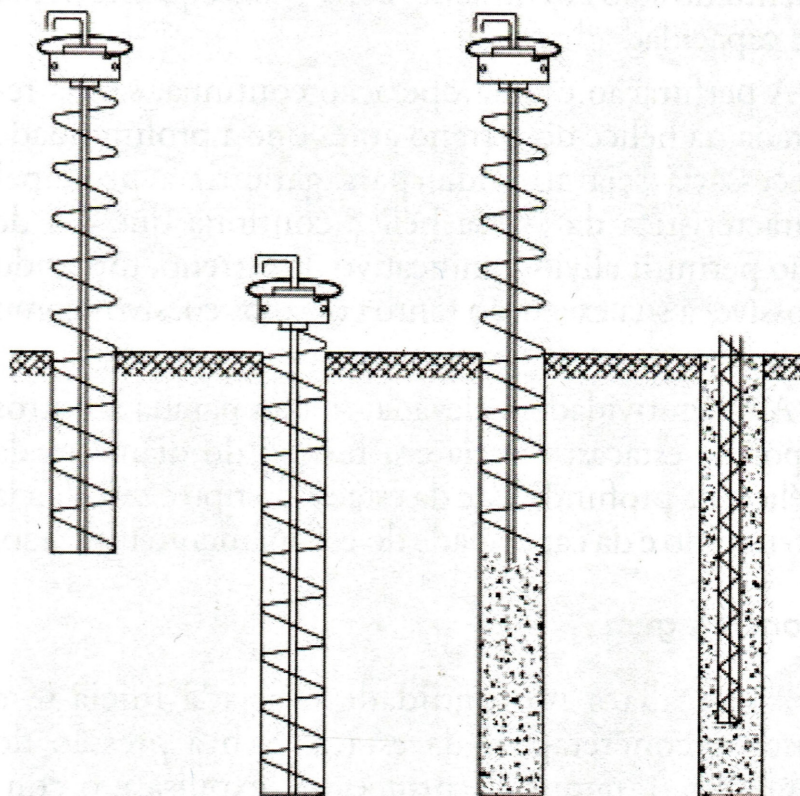


Figura 1 Sequência executiva da estaca hélice contínua

Fonte: Hachich et al. (2016, p. 341).

Toda a execução da estaca é monitorada com computador de bordo, que é alimentado com dados específicos da estaca e da bomba de concreto. Todos os dados da execução das estacas devem ser fornecidos de forma impressa em relatórios, para compor a documentação do acompanhamento das fundações. Por meio do computador de bordo, é feito o controle de qualidade da estaca (JOPPERT JUNIOR, 2007). Na Figura 2, temos uma visão da cabine de equipamento de execução da estaca hélice contínua.



Figura 2 Cabine do operador da máquina Mait HC260

Fonte: Elaborada pelos autores.

2.1 Perfuração da estaca hélice contínua

A perfuração da estaca consiste em introduzir o trado no solo através de seu movimento de rotação. É importante que sua locação esteja correta e que a perfuratriz esteja nivelada para garantir o prumo da estaca.

Segundo Lázaro (2003), devem-se adotar os seguintes passos para o posicionamento do eixo da hélice no ponto de locação:

- Posicionamento do centro da ponta da hélice, nas proximidades do ponto de locação da estaca;
- Colocação da torre na posição vertical, com auxílio dos sensores de prumo do equipamento de monitoração;
- Aproximação final do centro da ponta da hélice ao ponto de locação com auxílio de um prumo de centro;
- Apoio da torre na superfície do terreno, verificando se ocorre algum deslocamento horizontal da hélice nessa operação por falta de resistência da superfície do terreno, alterando a verticalidade dela.

A haste de perfuração é composta por uma hélice espiral, que é introduzida por rotação, realizada pelo sistema hidráulico da mesa rotativa. No centro da hélice, há um tubo para transporte do concreto com uma tampa metálica para evitar a entrada de água ou solo. Posteriormente o próprio concreto expulsa essa tampa.

Durante a perfuração, a única força vertical presente é o próprio peso da haste de perfuração somado ao peso do solo desagregado que preenche os espaços da hélice espiral. A perfuração deve ser contínua, e a hélice não deve ser retirada do terreno até que a profundidade do projeto seja atingida, pois não pode haver alívio na pressão lateral da estaca. Na Figura 3, ilustra-se a introdução do trado na execução da estaca hélice contínua.

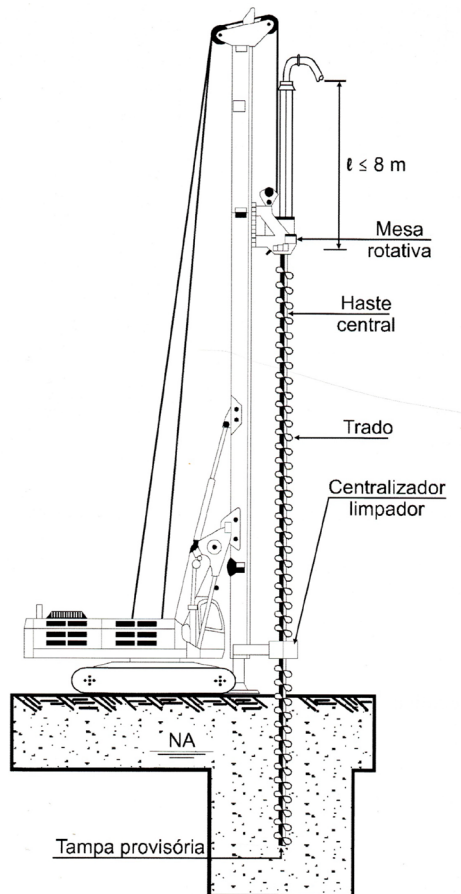


Figura 3 Introdução do trado no solo

Fonte: Abef (2012).

2.2 Concretagem da estaca hélice contínua

Após a perfuração da estaca e alcançada a profundidade desejada, o concreto é bombeado continuamente, sem interrupções, através do tubo central, ao mesmo tempo que a hélice é retirada, sem girar, ou girando lentamente no mesmo sentido da perfuração. A velocidade de extração da hélice do terreno deve ser tal que a pressão no concreto introduzido no furo seja mantida positiva, e, acima de um certo valor mínimo desejado, há evidências de que uma maior pressão de bombeamento do concreto leva a uma melhoria do atrito lateral, e a resistência de ponta é pequena nesse tipo de estaca e deve ser considerada com cautela. A pressão do concreto deve garantir que ele preencha todos os vazios deixados pela extração da hélice (VELLOSO; LOPES, 2010).

Durante a extração da hélice, a limpeza do solo contido nas lâminas pode ser feita manualmente ou por limpador mecânico acoplado ao equipamento. O solo decorrente dessa limpeza deve ser removido das proximidades da estaca por uma pá carregadeira (HACHICH *et al.*, 2016), e esses fatores devem ser levados em conta para realizar uma concretagem consistente. A Figura 4 ilustra a concretagem da estaca hélice contínua.

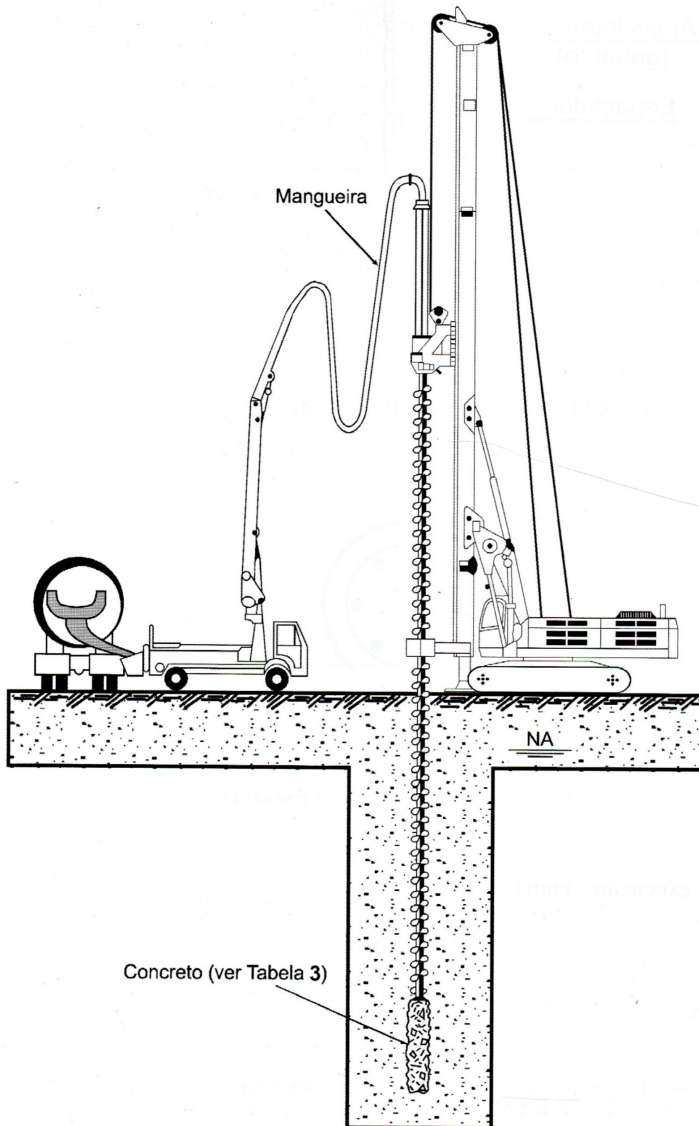


Figura 4 Concretagem da estaca hélice contínua

Fonte: Abef (2012).

A concretagem é executada até a superfície do terreno, e é ideal levá-la acima da cota de arrasamento para facilitar o estaqueamento da estaca ajustando seu devido nível posteriormente. Quando a cota de arrasamento fica muito abaixo da superfície do terreno, é preciso cuidar da estabilidade do furo no trecho não concretado.

Existem normas quanto às características do concreto a ser utilizado nas estacas:

- No caso de C30, o fator água/cimento deve ser inferior ou igual a 0,6 para consumo mínimo de cimento 400 kg/m^3 .
- No caso de C40, fator água/cimento deve ser inferior ou igual a 0,45 com consumo mínimo de cimento 400 kg/m^3 , com *slump* entre 220 mm e 260 mm medido conforme a NBR 6122:2019 da ABNT (2019) e resistência conforme projeto, classe 30 ou 40, e em função da classe de agressividade ambiental.

O tempo de início de pega do concreto deve ser superior a três horas e possuir uma exsudação inferior a 4% (ABEF, 2012).

A Figura 5 mostra a limpeza do topo da estaca logo após a concretagem.



Figura 5 Estaca em obra após retirada da perfuratriz

Fonte: Elaborada pelos autores.

2.3 Colocação da armadura da estaca hélice contínua

A armadura, montada previamente, deve ser introduzida imediatamente após concretagem e limpeza da estaca. É dotada de barras longitudinais e estribos, atribuindo-se a ela o nome de gaiola. A extremidade inferior da armação deve ser enrijecida para facilitar e evitar a sua deformação durante a introdução no concreto (HACHICH *et al.*, 2016). A armadura deve conter roletes nas laterais para garantir o cobrimento mínimo de concreto sobre a armação.

A introdução da armadura deve ser realizada manualmente e pode ser auxiliada por peso ou vibrador; essa operação está ilustrada na Figura 6.



Figura 6 Introdução de armadura da estaca.

Fonte: Elaborada pelos autores.

2.4 Monitoração da estaca hélice contínua

A monitoração da estaca hélice contínua durante a sua execução é feita por meio do computador de bordo com mostrador digital, instalado no painel de operação do

equipamento, e, através de sensores colocados na máquina, é possível obter dados referentes à execução da estaca.

A seguir, apresentam-se os sensores e suas funções (HACHICH *et al.*, 2016):

- *Profundidade*: Possibilita conhecer a posição da ponta da hélice em relação ao nível do terreno, no tempo. O computador registra o comprimento da estaca e calcula as velocidades de avanço e de extração da hélice.

- *Velocidade de rotação*: Conta o número de voltas da hélice, o que é traduzido em rotações por minuto. Tem relação direta com a velocidade de avanço e o torque do equipamento.

- *Torque*: É medido por um transdutor de pressão que está instalado na tubulação de óleo do sistema hidráulico do motor da cabeça de rotação. A pressão medida deve ser correlacionada com o torque aplicado na haste do trado por meio de um gráfico fornecido pelo catálogo técnico do fabricante do equipamento.

- *Inclinação da torre*: Esse sensor está localizado na torre da máquina e registra a cada instante a inclinação da torre em relação à vertical, a partir de um sistema de eixos, o que permite controlar a verticalidade da estaca.

- *Pressão do concreto*: O sensor é um transdutor de pressão, instalado no topo da haste do trado na junção com o mangote de concreto que mede a pressão do concreto de forma indireta. Por meio da medida de pressão de um fluido que se encontra em um tubo de borracha comprimido pelo concreto na sua passagem, o sensor capta o número de golpes da bomba de concreto e o transmite ao computador para a determinação do volume de concreto injetado.

Para a obra a ser estudada, foi utilizado o computador Compugeo S.I.M.E.h.C., que possui três telas para avaliação durante a operação da estaca.

A primeira tela mostra a indicação da torre em relação à posição da máquina. Através dessa tela, o operador pode movimentar a torre para obter uma verticalidade e o alinhamento desejado.

Na segunda tela, mostrada na Figura 7, avaliada durante a perfuração, são apresentados dados referentes a leituras dos sensores em tempo real. Segundo Mucheti (2008), podem-se observar nessa tela os seguintes parâmetros:

- *Torque*: Campo gráfico e alfanumérico da pressão em bars que está sendo aplicada ao motor de rotação.

- *Rotação*: Campo gráfico e alfanumérico da velocidade de rotação do trado em rotações por minuto.

- *Velocidade de perfuração*: Campo gráfico e alfanumérico da velocidade de descida da hélice em m/h.

- *Máquina perfuratriz (ilustração)*: Representativo da operação da perfuração.
- *X e Y*: Inclinação da torre nos dois eixos com precisão de 0,1°.
- *Hora*: Indicativo da hora local de trabalho.
- *Execução*: Campo representativo do tempo real empregado na execução da estaca. O valor é apresentado em horas/minutos.
- *Profundidade*: Profundidade da ponta da hélice em metros com uma precisão de 1 cm.
- *Penetração*: Indicativo da penetração do trado de perfuração. O valor é dado em centímetros por rotação.



Figura 7 Computador Compugeo durante operação da perfuração.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na terceira tela, avaliada durante a concretagem, é ilustrada de maneira semelhante à segunda, só que com dados referentes à fase de concretagem. Segundo Mucheti (2008), podem-se observar nessa tela os seguintes parâmetros:

- *Concreto*: Campo gráfico e alfanumérico representativo da pressão de concreto existente na rede de concretagem (mangotes e trados) no momento de concretagem da estaca perfurada. O dado numérico é fornecido em bar.
- *Consumo*: Campo gráfico e alfanumérico representativo do superconsumo de concreto empregado para o preenchimento da estaca perfurada. O índice aplicado é em porcentagem (%).

- *Velocidade de subida*: A velocidade de subida da hélice em m/h.
- *Pressão teórica*: Indica a pressão teórica da linha de concretagem, levando-se em conta a força exercida pelo peso da coluna de concreto, a ser calculado e inserido em campo específico da tela de configurações da bomba de concreto. O dado numérico é fornecido em bar. Esse dado é teórico, pois resulta de cálculos matemáticos, utilizando como variáveis o peso do concreto empregado, o diâmetro interno do trado de perfuração, seu comprimento, calculando-se a pressão provável na ponta do trado de perfuração.
- *Velocidade ideal*: Indica a velocidade ideal de subida do trado de perfuração para que ocorra o preenchimento ideal de concreto da estaca perfurada. Campo resultante de cálculos matemáticos utilizando como variável principal o coeficiente para superconsumo desejado. É fornecido em m/h.
- *Volume*: Indicativo do volume de concreto aplicado na estaca perfurada. O volume de concreto é calculado de acordo com a contagem dos pulsos de bomba. O sensor de concreto tem dupla função: apresentar a pressão do concreto em tempo real e calcular de acordo com a variação de pressão dos pulsos da bomba de concreto.

Além desses parâmetros, é possível ver a inclinação da torre, hora, execução e profundidade de maneira análoga à segunda tela, além de dados ilustrativos.

Os dados gerados durante a execução da estaca podem ser armazenados e transferidos para um outro computador, que, ao processar a informação, permite a observação dos resultados na tela dele ou a impressão de gráficos, conforme ilustra a Figura 8.

A monitoração eletrônica da execução das estacas hélice contínua, se bem usada e interpretada, é uma ferramenta de grande utilidade e capaz de trazer confiabilidade à qualidade da estaca (HACHICH *et al.*, 2016).

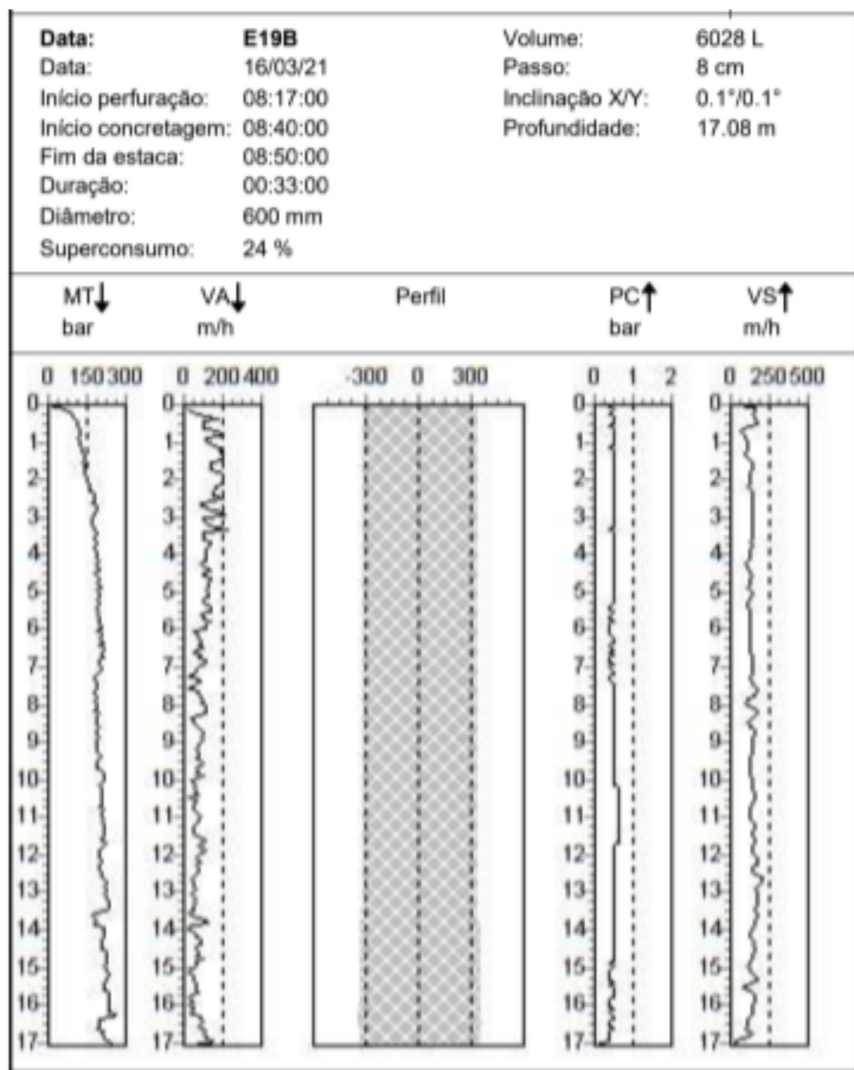


Figura 8 Exemplo de relatório fornecido pela Compugeo

Fonte: Tecnogeo (2021).

3 METODOLOGIA

Para comparar os dados do estudo de sondagem com a monitoração realizada por meio dos sensores instalados no equipamento de execução de estacas hélice contínua, foram coletados dados em uma obra de um empreendimento residencial localizado na capital de São Paulo. No terreno, realizaram-se seis furos de sondagem, e há um total de 95 estacas.

A sondagem registrou valores de *Standard Penetration Test* (SPT) a cada metro e caracterizou o solo de acordo com os dados obtidos. Sua execução foi realizada em janeiro de 2020 (ENGESONDA, 2020). Por meio dos relatórios do monitoramento da execução das estacas, foi possível obter os dados de momento de torção, velocidade de avanço, pressão do concreto e velocidade de subida (TECNOGEO, 2021). As estacas foram realizadas entre fevereiro e março de 2021.

Para o estudo de caso, utilizaram-se os dados da monitoração de estacas de 60 a 100 cm de diâmetro próximas aos furos SP-1, SP-2 e SP-3 do estudo de sondagem.

Analisaram-se 21 estacas, sendo quatro estacas com 60 cm de diâmetro, quatro com 70 cm, duas com 80 cm, oito com 90 cm e três estacas com 100 cm. A seguir, a Tabela 1 exprime os resultados obtidos por meio da sondagem SP-1 e dos resultados do boletim da estaca 23A. Os números 1, 2, 3 e 4 que caracterizam o solo significam, respectivamente, areia, silte argiloso, silte arenoso e argila.

TABELA 1

Dados da sondagem SP-1 e do boletim de monitoramento de execução da estaca 23A

Sondagem SP-1 - Pilar 23 / Estaca A / Diâmetro 90 cm / Cota 798,5					
Amostra	Cota (m)	SPT	Solo	MT (bar)	VA (m/h)
0	807,02	-	-	-	-
1	805,72	3	4	-	-
2	804,72	5	4	-	-
3	803,72	5	4	-	-
4	802,72	5	4	-	-
5	801,72	5	4	-	-
6	800,72	6	4	-	-
7	799,72	6	4	-	-
8	798,72	7	4	-	-
9	797,72	7	4	68	71
10	796,72	8	4	124	118
11	795,72	9	4	152	80
12	794,72	15	4	170	90
13	793,72	16	4	198	62
14	792,72	17	4	205	43
15	791,72	17	4	233	33
16	790,72	17	4	233	24
17	789,72	28	4	233	43
18	788,72	31	4	251	29
19	787,72	35	4	262	33
20	786,72	43	1	262	24
21	785,72	103	4	251	24
22	784,72	141	4	262	29
23	783,72	102	4	262	24

Fonte: Elaborada pelos autores.

Foi executada uma tabela para cada estaca. As quatro primeiras colunas se referem ao estudo de sondagem, e as colunas de momento torsor (MT) e velocidade de avanço (VA) foram obtidas por meio de envoltória dos dados de monitoração das estacas.

A partir da aquisição dos dados das estacas, buscou-se desenvolver uma formulação empírica correlacionando esses dados. Para isso, foram criados dois índices: S_n , que representa o resultado da sondagem em um ponto n , e M_n , que representa o resultado da monitoração em um ponto n de profundidade da estaca.

Esses índices, quando se aplicam suas formulações e são comparados com as estacas analisadas, devem possuir valores semelhantes, a fim de elucidar uma correlação entre os dados de monitoração e sondagem. Como consequência, pode-se afirmar que a correlação será notada se a divisão entre esses índices resultar em um, pois ambos seriam iguais. A partir dessa afirmação, é possível comparar se a fórmula empírica, para S_n e M_n , mostra uma semelhança entre os resultados de monitoração e sondagem.

A equação que representa a parcela da monitoração utiliza os dados de momento torsor ou pressão hidráulica, a velocidade de avanço e o diâmetro da estaca executada, em uma profundidade n analisada. Enquanto a equação referente à sondagem utiliza o SPT na mesma profundidade, e o fator $F_{\text{solo-n}}$, que é uma correção decorrente do tipo de solo, esse fator é de 8,4 para areias e 9,4 para solos argilosos.

Para o índice M_n , a fórmula com melhores resultados é representada pela Equação 1:

$$M_n = \frac{(6,35 \cdot MT_n^{0,54} + 10) \cdot (0,5 \cdot VA_n^{0,5} + 10)}{(0,5 \cdot D^{0,5} + 10)} \quad (1)$$

em que:

M_n = resultado da monitoração no ponto n ;

MT_n = pressão hidráulica no ponto n (bar);

VA_n = velocidade de avanço no ponto n (m/h);

D = diâmetro da estaca (cm).

Para o índice S_n , a equação com melhores resultados é representada pela Equação 2:

$$S_n = [(0,5 \cdot SPT_n^{0,5} + 10) \cdot F_{\text{solo-n}}] \quad (2)$$

em que:

S_n = resultado da sondagem no ponto n ;

SPT_n = SPT no ponto n ;

$F_{\text{solo-n}}$ = tipo de solo no ponto n .

$F_{\text{solo-n}} = 8,4$ para areias;

$F_{\text{solo-n}} = 9,4$ para argilas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação dessas duas equações, em que se utilizaram os dados obtidos na monitoração e no estudo de sondagem a cada metro das 21 estacas estudadas, e dividindo S_n por M_n , quantificaram-se os pontos que possuem diferença entre os índices inferior a 10%, entre 10% e 20%, entre 20% e 30% e superior a 30%. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2

Dispersão da relação entre S_n e M_n das estacas, em porcentagem e quantidade

Dispersão entre os valores de S_n e M_n				
	< 10%	> 10% e < 20%	> 20% e < 30%	> 30%
Dispersão	61%	23%	9%	7%
	205	79	32	22

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme visto na pesquisa realizada por Lázaro (2003), de forma semelhante, o objetivo era buscar relações entre resultados obtidos na monitoração, durante a perfuração da estaca hélice contínua, e as sondagens executadas nas proximidades dessas estacas. O autor obteve resultados acima da média em diversas obras quando utilizou em seus coeficientes a velocidade de avanço e o momento tursor de forma diretamente proporcional.

Entretanto, para a obra estudada neste artigo, a melhor formulação obtida foi com a utilização da velocidade de avanço e do momento tursor de forma inversamente proporcional, em que se obteve uma dispersão inferior a 20% em 84% das amostras quando se compararam monitoração e sondagem, indicando uma correlação, não tão precisa, entre os estudos.

Outras formas de formulação foram consideradas, alternando de forma inversa ou diretamente proporcional, ou isoladamente cada um dos fatores, sendo eles o diâmetro, o momento tursor e a velocidade de avanço. O melhor resultado obtido foi o momento tursor e a velocidade de avanço inversamente proporcional e diretamente proporcional ao diâmetro.

Uma possível resposta para a discrepância entre a relação vista em Lázaro (2003) e o presente artigo seria o fato de que existem fatores que interferem nos resultados da monitoração e da sondagem que podem alterar essa correlação entre os fatores da

fórmula e até mesmo justificar os pontos fora da curva como os que possuem uma dispersão superior a 30%.

Esses fatores, segundo Lázaro (2003), se subdividem em fatores relativos aos solos e às sondagens. Os fatores relacionados aos aspectos mecânicos e aos aspectos executivos, de forma mais detalhada, seriam:

- Fatores relativos aos solos:
 - 1) Heterogeneidade dos solos;
 - 2) Execução de estacas em cotas diferentes das de execução da sondagem;
 - 3) Energia de cravação do ensaio SPT.

- Fatores relacionados aos aspectos mecânicos:
 - 1) A precisão dos sensores e sua variação entre equipamentos;
 - 2) Desgaste dos motores propulsores dos equipamentos e do sistema hidráulico;
 - 3) Desgaste ferramental.

- Fatores relacionados aos aspectos executivos:
 - 1) A experiência do operador;
 - 2) Execução de estacas em solos com resistência alta e muito coesivos;
 - 3) Uso do prolongador.

Alguns desses fatores ocorreram na obra presente neste artigo, um exemplo seria a execução de estacas em solos com resistência alta e muito coesivos, como visto na Figura 9. Existem trechos com a velocidade de avanço tendendo a zero, o que acaba por indicar a existência de um trecho com solo de alta resistência.

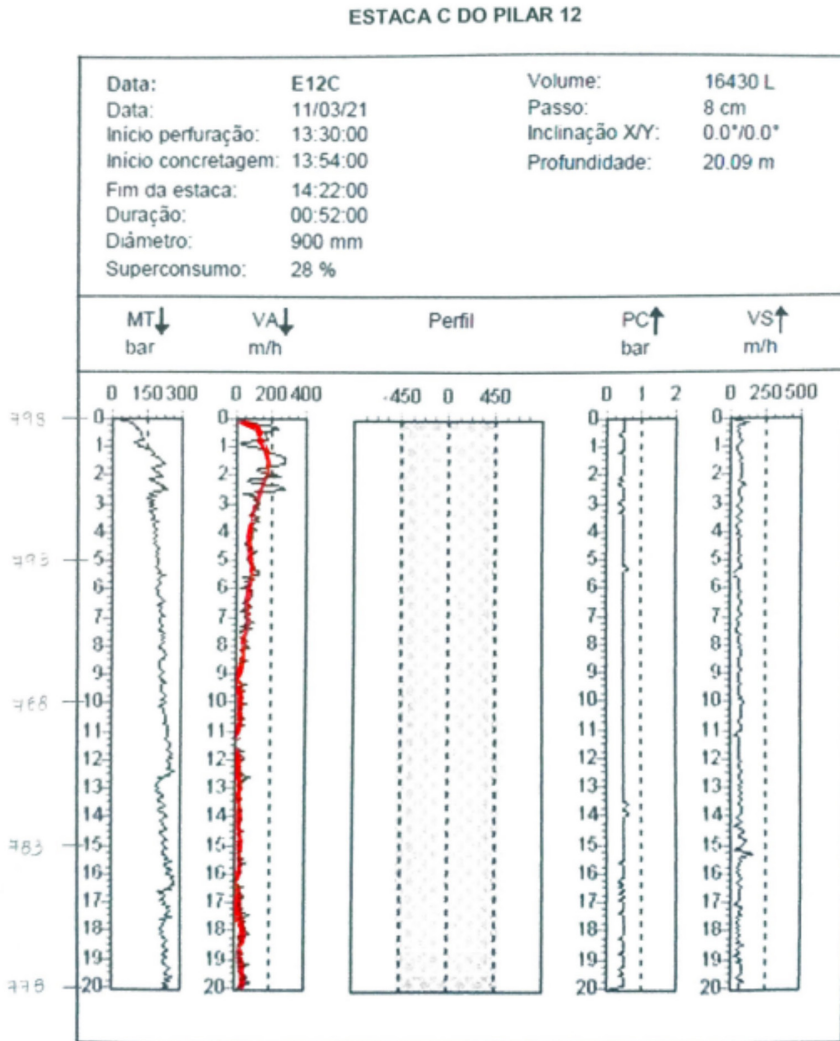


Figura 9 Monitoração da estaca C do pilar 12 com envoltória na velocidade de avanço

Fonte: Tecnogeo (2021).

Durante a aquisição de dados dessa estaca, nota-se que, nos trechos onde há uma baixa ou nula velocidade de avanço, existe uma dispersão superior a 30% entre os índices S_n e M_n , conforme demonstra a Tabela 3.

TABELA 3

Dados da sondagem SP-3 e do boletim de monitoramento de execução da estaca 12C com dispersão

Sondagem SP-3 - Pilar 12 / Estaca C / Diâmetro 90cm / Cota 798,5						
Amostra	Cota	SPT	Solo	MT (bar)	VA (m/h)	S_v/M_n
0	805,96	-	-	-	-	-
1	804,66	3	4	-	-	-
2	803,66	4	4	-	-	-
3	802,66	5	4	-	-	-
4	801,66	8	4	-	-	-
5	800,66	11	4	-	-	-
6	799,66	13	4	-	-	-
7	798,66	13	4	-	-	-
8	797,66	15	4	112,5	100	1,21
9	796,66	10	4	187,5	175	0,82
10	795,66	9	4	206,25	150	0,80
11	794,66	10	4	168,75	100	0,96
12	793,66	13	4	187,5	75	0,97
13	792,66	16	4	187,5	100	0,95
14	791,66	14	4	206,25	50	0,99
15	790,66	15	4	206,25	50	1,00
16	789,66	15	4	225	50	0,95
17	788,66	15	4	225	25	1,03
18	787,66	16	4	225	25	1,04
19	786,66	16	4	206,25	0	1,35
20	785,66	24	1	243,75	25	0,92
21	784,66	26	1	225	25	0,97
22	783,66	31	1	225	25	0,99
23	782,66	43	4	225	25	1,15
24	781,66	54	4	262,5	0	1,37
25	780,66	52	4	243,75	25	1,13
26	779,66		4	225	50	0,00
27	778,66		4	225	50	0,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

De forma similar, houve casos de estacas com uma alta oscilação da velocidade de avanço no início da execução, o que provocou, na maioria dessas estacas, uma dispersão superior a 30%, que pode ter ocorrido por conta da execução de estacas em cotas diferentes das de execução da sondagem. No caso da obra do presente artigo, a sondagem foi executada antes da escavação do terreno, o que poderia infligir uma discrepância nos resultados por conta de um possível alívio do terreno que alterou a resistência dos solos nessas camadas iniciais de execução da monitoração.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados expostos, pode-se chegar às seguintes considerações:

- Os índices S_n e M_n conseguem relacionar de forma coerente o estudo de sondagem e os resultados da monitoração eletrônica, visto que a velocidade de avanço é inversamente proporcional ao momento torsor e ao índice SPT, resultando em uma dispersão de menos de 20% em 84% das amostras.
- As dispersões entre os índices podem ser atribuídas à alta resistência e coesão do solo, uma vez que a velocidade de avanço em alguns trechos dos boletins de monitoração ficou nula.
- Como a pesquisa se aplica somente à obra Exto Inspire Ibirapuera, os índices e foram elaborados com base nos projetos, relatórios e boletins fornecidos pela obra.

Sugere-se que o estudo de caso seja replicado em outras obras, com diferentes solos, operadores e equipamentos, adotando-se os mesmos índices S_n e M_n para validação e comparação dos resultados.

CONTINUOUS FLIGHT AUGER: CASE STUDY OF ELECTRONIC MONITORING WITH SOIL CHARACTERISTICS

Abstract

The continuous flight auger has had a growing adoption in Brazil since 1987 due to several studies that were carried out. Simultaneously with technological advancements,

it resulted in technique improvement and data collection in order to study the behavior of these piles. This article presents the results of an experimental research that relates the monitoring data of 21 piles with three soil investigations carried out at the foundation of a building in São Paulo, intending to formulate two equations: one for the soil investigation and the other for the monitoring, and both result in similar values when using their respective data. Through empirical data, an equation is obtained that slightly correlates monitoring and soil investigation, concluding that there is no clear link between the studies due to several factors that can change the data results.

Keywords: Continuous flight auger. Soil investigation. Foundations.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. *Manual de execução de fundações e geotecnia: práticas recomendadas*. São Paulo: ABEF, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6122:2019: projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 108 p.
- ENGESONDA. Relatório de sondagem nº TEM-153/19. Engesonda Solos e Fundações Ltda. São Paulo, 2020.
- HACHICH, W. *et al* (ed.). *Fundações: teoria e prática*. São Paulo: Pini, 2016.
- JOPPERT JUNIOR, I. *Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução*. São Paulo: Pini, 2007.
- LÁZARO, A. A. *Estacas hélice contínua: correlações entre a monitoração e características dos solos*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- MUCHETI, A. S. *Estacas hélice segmentada: execução, verificação de integridade e estudo de comportamento*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- TECNOGEO. *Relatório de monitoração de estacas da obra Exto Inspire Ibirapuera Park*. Tecnogeo Fundações Ltda. São Paulo, 2021.
- VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. *Fundações: fundações profundas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. v. 2.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à engenheira Mariana Ranna e à Exto Incorporação e Construção S. A. o apoio e a contribuição que foram decisivos para a realização deste trabalho.

Contato

Alberto Alonso Lazaro
1150001@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em março de 2022.
Aprovado em maio de 2022.