

## DEFINIÇÃO DE COMPRIMENTO DE ESTACAS TIPO PERFIL METÁLICO NA OBRA DE FUNDAÇÃO DO ED TORRE EVIDENCE

---

### MINUTA

#### **Victor Teles**

Engenheiro Civil, Const. Leal Moreira, Belém, Brasil

#### **Luciano**

Engenheiro Civil-Dr., G2Base, Gerdau

#### **Fernando Navarro**

Eng. Civil, M.Sc.- FN Fundações

#### **Gabriel Banha**

Eng. Civil, Esp Geotecnia, Solos Consultoria

#### **Júlio Augusto de Alencar Júnior**

Engenheiro Civil, Ph.D. UFPa, Belém, Brasil, julioalencar.1957@gmail.com

### RESUMO:

### PALAVRAS-CHAVE:

### 1 INTRODUÇÃO

A definição do tipo e comprimento de estacas para fundação de qualquer estrutura, na maioria dos casos, no Brasil, tem como base sondagens tipo SPT, a partir das quais, utilizando-se fórmulas semi empíricas, define-se a capacidade de carga geotécnica das estacas. Em certos casos, como as argilas muito moles, tem sido crescente o uso de ensaios cone penetrométricos, com medição de pressões neutras para avaliar a resistência não drenada do material. Em outros casos tem sido executadas provas de carga estáticas para definir cargas de ruptura e/ou cargas admissíveis. Independentemente do método utilizado, nos casos de estacas cravadas, a definição do método de controle de cravação, na maioria dos casos, é feito pelo controle da "nega", definida como a penetração da estaca para um determinado número de golpes de martelo aplicando energia aproximadamente constante à estaca. Deve-se observar, contudo, que a Norma NBR 6122-2019, em seu item 8.2.1.3 - "Equações Dinâmicas", expressa que "Equações dinâmicas baseadas na nega ou repique elástico visam principalmente assegurar a homogeneidade das estacas cravadas". Assim, esse tipo de verificação deve ser validado como elemento de controle de comprimento mínimo de cravação por prova de carga estática ou ensaio dinâmico, que ateste se a "nega" ou "repique elástico" especificado atende às exigências de carregamento admissível especificado em projeto.

No projeto em questão a definição do critério de paralização da cravação foi definido com base em ensaios dinâmicos usando PDA ("Pile Driving Analyzer"), o que gerou uma redução significativa dos custos pela redução do comprimento das estacas em, aproximadamente, 12%.

## 2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OBRA E DEFINIÇÃO DO TIPO DE ESTACA

O empreendimento envolve uma torre residencial de 34 placas, localizado na Av Alcindo Cacela, nº 2549, na cidade de Belém-PA. Foram executadas 05 sondagens tipo SPT na área de projeção da torre do prédio. A figura 1.a mostra a localização aproximada dos furos de sondagem e uma vista geral da área de implantação do empreendimento. O relatório apresentado na figura 1.b mostra a estratigrafia representativa da área.



Fig. 1.a - Localização aproximada dos furos de sondagem

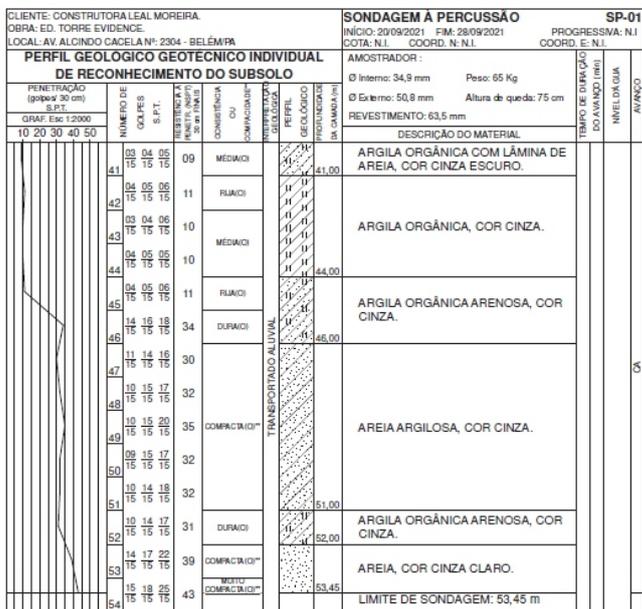
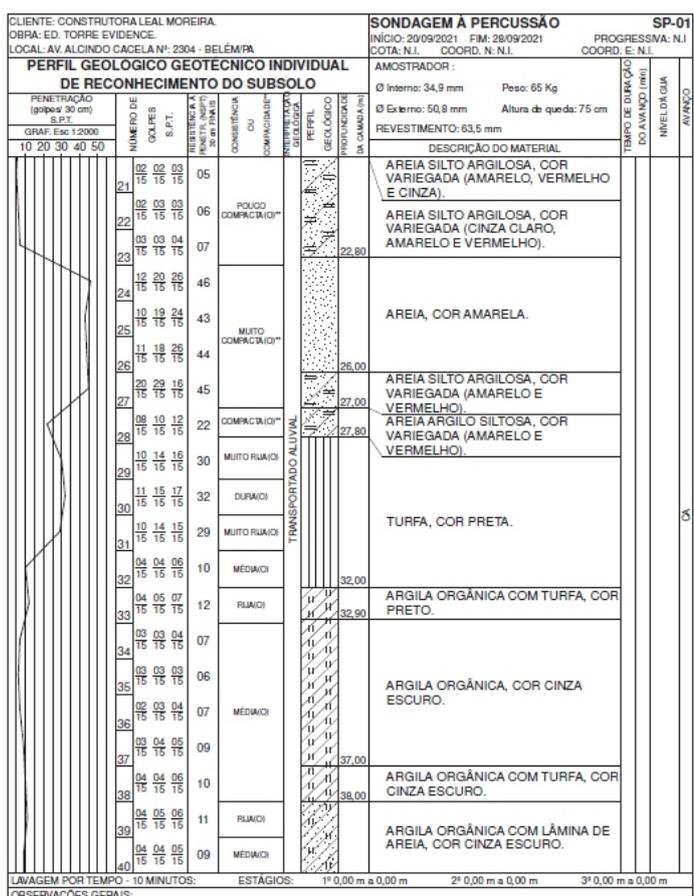
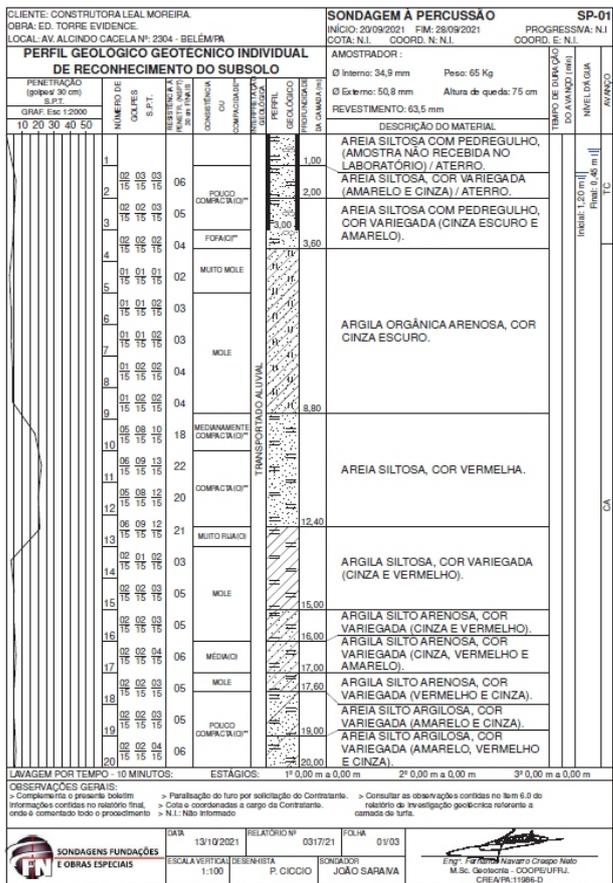


Fig. 1.b - Sonda em tipo SPT - Furo 01 - Estratigrafia típica da área

## 2.1 Definição do tipo de fundação

Foram considerados dois projetos, a nível preliminar, para a torre do prédio, um deles utilizando estacas tipo hélice contínua monitorada, apresentado na figura 02 e o outro com perfis metálicos laminados da Gerdau Aço Minas, apresentado na figura 03.

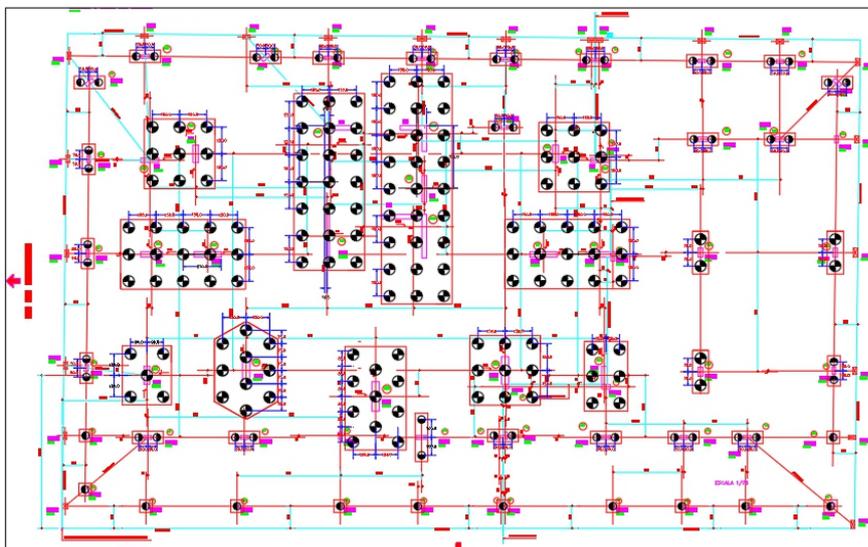


Fig. 02: Projeto preliminar em estacas tipo hélice contínua monitorada

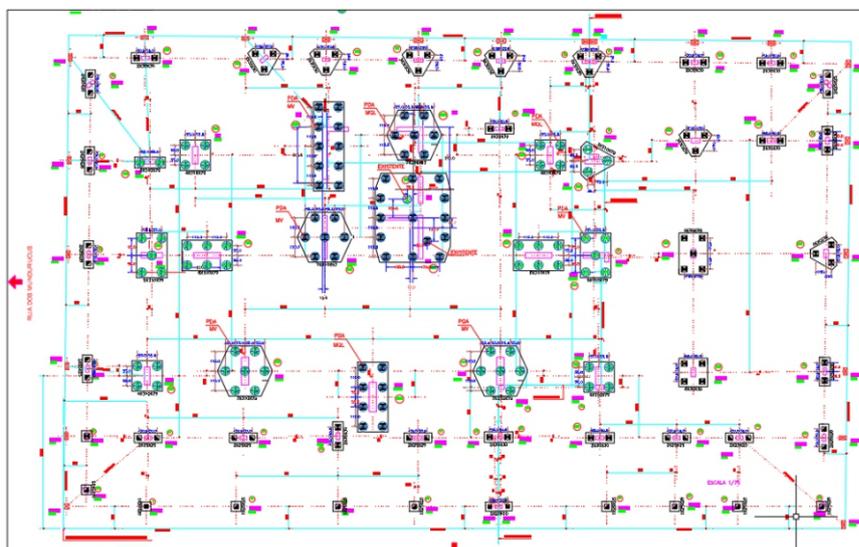


Fig. 03: Projeto preliminar em estacas tipo hélice contínua monitorada

O projeto escolhido pela empresa empreendedora, juntamente com a projetista das fundações, foi a opção em estacas metálicas devido a três razões fatores básicos:

- O comprimento das estacas hélice contínua da torre envolviam estacas de 28m de comprimento, exigindo, portanto, equipamento de elevado num terreno relativamente pequeno e com camada superficial de baixa capacidade de suporte, o que acarretaria nível de risco muito elevado quando à sua estabilidade.

- O projeto em hélice contínua envolveria escavações de grande volume e profundidade, especialmente na região dos elevadores, o que exigiria elevado custo de contenção e escavação, além de aumentar o prazo de execução dos serviços ligados à fundação.

- Os custos entre as duas opções, considerando-se os prazos e custo de execução dos blocos, ficaram na mesma faixa de valores.

Assim, por envolver menor risco do ponto de vista da estabilidade do equipamento, menor prazo de obra e menores volumes e profundidade de escavação, a execução foi feita em perfis metálicos

## 2.2 Estimativa do comprimento das estacas e controle de cravação

O cálculo de capacidade de carga foi elaborado considerando-se o método proposto por Decourt e Quaresma (1982) e utilizando-se a área cheia do perfil (31 x 31cm). A resistência de ponta foi desprezada. A carga admissível máxima permanente dos perfis foi estimada em 150tf, para o comprimento do perfil de 48m.

O critério de "nega" ( penetração máxima para 10golpes do martelo), foi usado como elemento de controle de cravação. O valor da penetração máxima da estaca, se considerado o peso de 4.5tf, caindo em queda livre de uma altura de 1m, utilizando-se a fórmula dos holandeses, é de, aproximadamente, 16mm.

Para otimização do projeto, decidiu-se realizar ensaios dinâmicos e relacioná-los com a penetração para 10 golpes do martelo de maneira a se ter um critério objetivo de controle de cravação que envolvesse a resistência à penetração e comprimento de estaca. Assim, foram executados 10 ensaios dinâmicos distribuídos na área da torre , conforme mostrado na figura 03, apresentada acima. Os resultados são mostrados a seguir.

## 3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DINÂMICOS

Tabela 1 – Estacas ensaiadas e características dos golpes utilizados para análise CAPWAP®

Estaca	Comprimento			Cravação				Data		Idade
	Total	Sens.	Solo	Pilão	Tipo	Queda	Nega	Ensaio	Concretagem ou cravação	
	(m)	(m)	(m)	(tf)		(cm)	(mm)			(dias)
P11-E3	37,25	36,75	35,65	4,50	Queda Livre	-	Vibrada	31/08/2021	09/08/2021	22
P3-EI	45,20	44,50	43,70	4,50	Queda Livre	100	35	06/09/2021	10/08/2021	27
P15-EI	42,10	40,60	40,00	4,50	Queda Livre	-	Vibrada	13/08/2021	12/08/2021	1
P2-E3	38,90	37,90	36,90	4,50	Queda Livre	100	30	29/09/2021	26/08/2021	34
P7/8-E4	43,20	41,70	41,20	4,50	Queda Livre	100	35	28/08/2021	11/08/2021	17

Tab.1.a - Estacas ensaiadas na primeira fase de ensaios

Tabela 2 – Resistências mobilizadas (Modelo CAPWAP®)

Estaca	Energia (tf.m)	Resistência (tf)			Resistência (%)		Jc (adm)	Match (adm)	Desl. (mm)	Golpe núm.
		Total	Ponta	Lateral	Ponta	Lateral				
P11-E3	4,94	194,83	66,94	127,89	34%	66%	0,69	2,36	6	2
P3-EI	6,75	271,86	46,53	225,33	17%	83%	0,67	1,45	1	3
P15-EI	2,89	100,28	3,45	96,83	3%	97%	0,92	3,19	7	3
P2-E3	8,38	306,61	112,83	193,78	37%	63%	0,67	1,77	3	5
P7/8-E4	7,48	349,14	53,13	296,01	15%	85%	0,41	1,55	1	4

Tab.1.b - Resultados das análises CAPWAP® - ensaios da primeira fase

Estaca	Comprimento			Cravação				Data		Idade (dias)
	Total	Sens .	Solo	Pilão	Tipo	Queda	Nega	Ensaio	Concretagem ou cravação	
	(m)	(m)	(m)	(tf)	Fabr.	(cm)	(mm)			
P11 - E3 -1*	43.90	43.30	42.20	4.50	Queda Livre	100	30	10/09/2021	31/08/2021	10
P7/8 - E10	43.20	42.60	42.00	4.50	Queda Livre	-	-	02/09/2021	13/08/2021	20
P2 - E6	45.70	44.80	43.50	4.50	Queda Livre	100	30	26/01/2022	03/01/2022	23
P1 - E6	45.40	44.50	43.20	4.50	Queda Livre	100	30	26/01/2022	30/12/2021	27
P3 - E1	44.90	44.30	43.70	4.50	Queda Livre	100	30	26/01/2022	22/12/2021	35
P15 - E1 -1*	47.50	46.60	45.50	4.50	Queda Livre	100	15	09/02/2022	10/09/2021	152

Tab.2.a - Estacas ensaiadas na segunda fase de ensaios

\* Os termos P11-E3-1 e P15-E1-1 significam que essas estacas já foram testadas anteriormente, com um período de tempo menor e comprimentos menores, anteriormente. Os resultados dos testes anteriores estão apresentados no relatório dos ensaios da primeira fase

Tabela 2 – Resistências mobilizados (modelo CAPWAP®)

Estaca	Energia (tf.m)	Resistência (tf)			Resistência (%)		Jc (adm)	Match (adm)	Desl. (mm)	Golpe núm.
		Total	Ponta	Lateral	Ponta	Lateral				
P11 - E3 -1	4.12	252.35	33.45	218.9	13%	87%	0.34	2.00	1	2
P7/8 - E10	6.16	316.49	45.92	270.57	15%	85%	0.54	1.64	1	4
P2 - E6	8.97	326.46	88.03	238.43	27%	73%	0.66	1.52	1	5
P1 - E6	8.81	334.02	28.89	305.13	9%	91%	0.63	1.96	1	4
P3 - E1	6.79	283.75	39.07	244.68	14%	86%	0.62	0.75	1	3
P15 - E1 -1	6.80	275.45	81.78	193.67	30%	70%	0.66	1.98	1	3

Tab.2.b - Resultados das análises CAPWAP® - ensaios da segunda fase

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Definição do critério de paralização

Observa-se que estacas com comprimento em torno de 42m, com 35mm de penetração para 10 golpes, cujo tempo de "set up" superou 25 dias, apresentaram resistências aceitáveis para as exigências do projeto. Assim, definiu-se que o critério de paralização da cravação deveria ser de penetração de aproximadamente 35mm para 10 golpes do martelo de 4.5tf, caindo de altura de 1m e comprimento em torno de 42m.

Os ensaios dinâmicos cujas curvas resistências mobilizadas x deslocamentos permanentes indicam que os valores mobilizados estão próximos à ruptura, são apresentados abaixo. Tais valores são relativos aos ensaios executados na primeira fase de ensaios

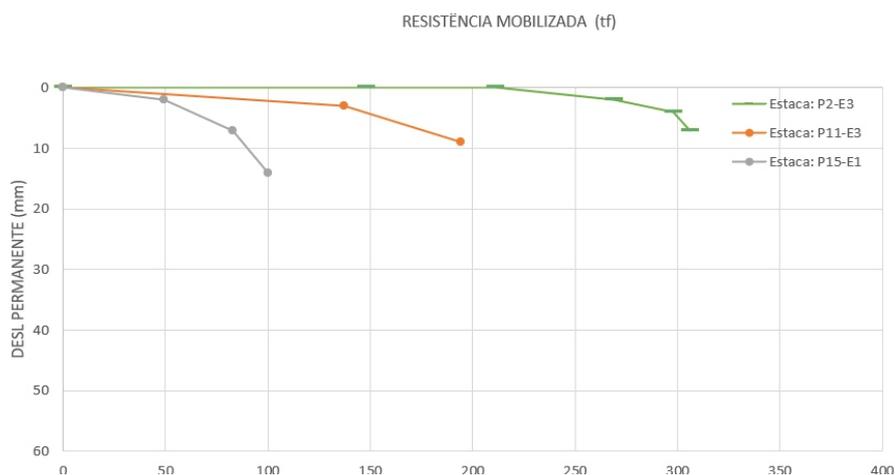


Fig. 5 - Resistência mobilizada x deslocamento permanente

Observe-se que as estacs P2-E3 e P11-E3, foram testadas com tempos de “set up” acima de 20 dias, e a estaca P15 - E1 foi testada com período de “set up” de apenas 1 dia, ou seja, praticamente, condição de final de cravação. As distribuições de atrito lateral ao longo do comprimento dessas estacas estão apresentadas abaixo.

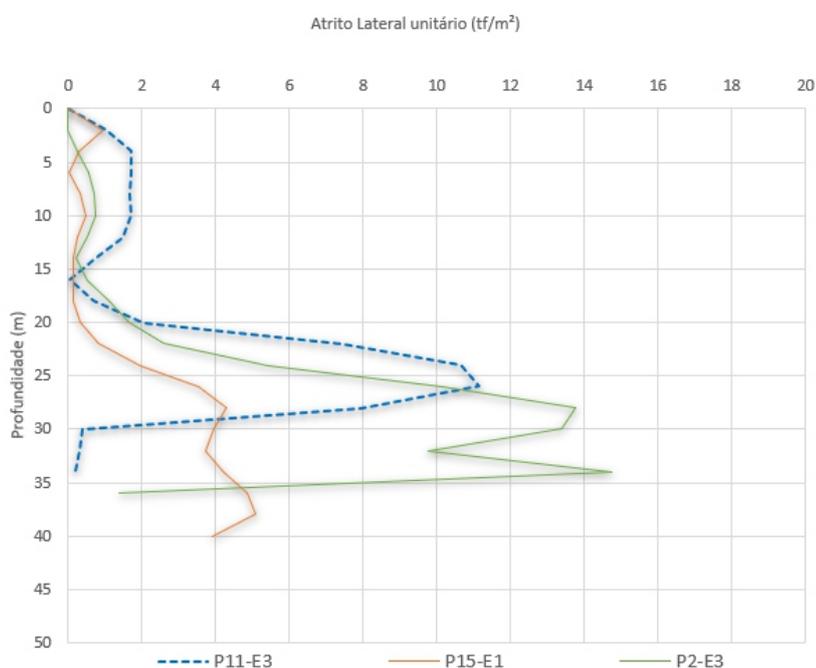


Fig. 6 - Distribuição de atrito lateral ao longo do comprimento das estacas

Os valores médios do atrito lateral mobilizados próximos à ruptura são:

- Estaca P2-E3: comprimento cravado de 36.90m; tempo de “set up” de 34 dias: atrito lateral médio de 4.56tf/m<sup>2</sup>
- Estaca P11-E3: comprimento cravado de 35.65m; tempo de “set up” de 22 dias: atrito lateral médio de 3tf/m<sup>2</sup>

- Estaca P15-E1: comprimento cravado de 40.0m; tempo de "set up" de 1 dia: atrito lateral médio de  $1.97\text{tf/m}^2$

Considerando-se o método de Decourt e Quaresma (1982), os valores médios, aproximados, de resistência à ruptura para os comprimentos de estaca acima apresentados, considerando os 05 furos de sondagem executados é de:

- Comprimento de estaca de 36m: Atrito lateral médio =  $4,8\text{tf/m}^2$
- Comprimento de estaca de 40m: Atrito Lateral médio =  $5.0\text{tf/m}^2$

Observe-se que o valor do atrito lateral médio para o comprimento de 36m de estaca medido nos ensaios ( $4.56\text{tf/m}^2$ ), para o caso em que o "set up" é longo, é muito semelhante aos valores médios calculado pelo método de Decourt e Quaresma para este caso ( $4.8\text{tf/m}^2$  a  $5.0\text{tf/m}^2$ ).

O valor médio obtido no ensaio da estaca P15-E1 permite calcular o valor aproximado do ganho de resistência com o "set up", comparando-o ao valor obtido para o ensaio da estaca P2-E3. O valor estimado de "set up" neste caso é de 131% de ganho de resistência ao longo do tempo.

## 5 CONCLUSÕES

A execução dos ensaios dinâmicos foi fundamental para definição de critério de critério de controle de cravação e definição de comprimento mínimo das estacas, permitindo uma economia de aproximadamente 12% em relação à estimativas iniciais de comprimento, baseadas em formulação semi empírica.

A comparação entre os valores médios de resistência por atrito lateral calculados a partir dos ensaios dinâmicos para o comprimento aproximado de 36m de estaca foram muito próximos aos valores calculados pelo método de Decourt e Quaresma (1982).

Os valores de ganho de resistência ao longo do tempo estimados com base em ensaios com diferentes períodos de "set up" atingiu valor aproximado de 131% em relação ao valor médio de resistência mobilizado no final da cravação.

As estacas com maior comprimento, testadas na segunda fase de ensaios não foram utilizadas nas comparações de resistência por atrito lateral com a formulação semi empírica proposta por Decourt e Quaresma (1982) porque, em nenhum caso, as curvas resistência mobilizada x deslocamentos permanentes indicava suficiente proximidade da ruptura geotécnica para validar a comparação.