

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/297

# Cravação Dinâmica de Estacas Moldadas “*In Loco*” para Restituir sua Capacidade de Carga Geotécnica

Urbano Rodriguez Alonso  
Engenheiro Consultor, São Paulo, SP, Brasil  
[u.rodriguez@uol.com.br](mailto:u.rodriguez@uol.com.br)

**RESUMO:** Neste trabalho apresentam-se casos de obra onde se restituiu a capacidade de carga geotécnica de estacas moldadas “*in loco*” através de cravação dinâmica quando essa carga não foi obtida ao se realizarem provas de carga estáticas e/ou ensaios de carregamento dinâmico nessas estacas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estacas moldadas *in loco*, Cravação de estacas moldadas *in loco*, Capacidade de carga.

**ABSTRACT:** This paper presents cases of jobs where the geotechnical load capacity of piles cast “*in situ*” was restored through dynamic driving when this load was not obtained when carrying out static load tests and/or dynamic load tests on these.

**KEYWORDS:** Cast-in-place piles, Driving of cast-in-place piles, Load capacity.

## 1 INTRODUÇÃO

O autor tem sido chamado para resolver problemas de estacas moldadas “*in loco*” (estacas raiz, estacas escavadas e estacas hélice contínua) quando ao se realizar provas de carga estáticas ou ensaios de carregamento dinâmico se constata que essas estacas estão com carga inferior ao exigido no projeto, decorrente da deficiência da carga de ponta.

A cravação dinâmica desse tipo de estacas tem sido uma alternativa adequada desde que essa cravação seja acompanhada com instrumentação a fim de não ultrapassar as tensões admissíveis de compressão e de tração do concreto dessas estacas. Para tanto, deve-se complementar essas estacas com um seguimento fretado de modo a que as tensões aplicadas pelo pilão ao corpo da estaca não ultrapassem essas tensões admissíveis. Para esse controle, as cravações devem ser realizadas com acompanhamento utilizando instrumentação (PDA – Pile Driving Analyser). Com este procedimento executivo de “cravação dinâmica” tem-se evitado realizar o reforço do estaqueamento ganhando-se prazo e custos que tal reforço requiriria.

## 2 HISTÓRICO

Este procedimento foi inicialmente usado nas estacas tipo Franki quando ocorria o levantamento do seu fuste separando-o da base alargada devido à cravação de estacas próximas, patologia bastante divulgada em nosso meio geotécnico.

No capítulo 9.1.1 do livro FUNDAÇÕES Teoria e Prática editado pela ABMS/ABEF/Oficina de Textos, o eng<sup>o</sup> Clovis Maia trata desse assunto especificamente quanto à recravação de estacas tipo Franki que sofreram esse levantamento citando.....*As estacas com dano comprovado devido a levantamento podem ser recravadas como elemento pré-moldado, para recuperar a capacidade de carga, usando a recravação estática (dispendiosa e fora de uso) ou a recravação dinâmica com golpes de pilão de queda livre.*

Em comunicado pessoal o eng<sup>o</sup> Clovis Maia me informou que esse procedimento de cravação das estacas tipo Franki foi por ele usado em 1968, durante o estaqueamento da fábrica da ALCOMINAS, em Poços de Caldas. A cravação dinâmica das estacas que haviam sofrido levantamento foi feita acertando-se seu topo e depositando-se areia sobre elas após a instalação de um tubo metálico que servia de guia ao pilão (Figura 1).

Ainda segundo o eng<sup>o</sup> Clovis Maia, ele não tinha muita certeza da qualidade final da estaca e por essa razão iniciou o processo de cravação pelo método estático, com cargueira móvel, similarmente à cravação de estacas tipo mega, mas também cravando outras dinamicamente. Utilizando essa cargueira, testou as estacas que haviam sido cravadas dinamicamente e constatou que não só essas estacas estavam íntegras, como também não “desciam” com a carga aplicada, mostrando a viabilidade da cravação dinâmica.

Após esta experiência na ALCOMINAS, o próprio eng<sup>o</sup> Clovis Maia, agora como diretor da empresa GODOY E MAIA, repetiu o processo de cravação dinâmica em 225 estacas tipo Franki, com 60 cm de diâmetro, na CARDOMINAS.

Calcado na experiência do eng<sup>o</sup> Clovis Maia, a CONSULTRIX, em 1977, cravou, dinamicamente, as estacas do tipo Franki que haviam sofrido levantamento do fuste durante a execução do estaqueamento de um prédio administrativo de um Banco na av. marginal do rio Tamanduateí, em SP. Segundo o eng<sup>o</sup> Sigmundo Golombek, diretor da CONSULTRIX, foram cravadas 161 das cerca de 700 estacas. Ainda segundo Golombek este número de cravação não foi maior, porque, após muita discussão, decidiu-se cravar apenas as estacas que tiveram levantamento superior a 25 mm. As estacas, com 60 cm de diâmetro para 170 tf, foram cravadas usando-se o próprio pilão de cravação do tubo Franki, com 4.100 kgf, caindo de altura de 1 a 2 m.

Em 1991, no SEFE II, volume 1, páginas 276 a 284, o eng<sup>o</sup> Paulo Frederico F. Monteiro, então gerente técnico da empresa Estacas Franki Ltda, apresentou um trabalho consolidando a experiência da cravação de estacas tipo Franki que sofrem “alto levantamento”, por ele citado como sendo 30 mm (um pouco superior ao citado pelo eng<sup>o</sup> Golombek, que era 25 mm) usando cravação dinâmica. Justifica este procedimento, analogamente ao exposto pelo eng<sup>o</sup> Clovis Maia, por apresentar um rendimento muito elevado e não causar dano ao elemento estrutural desde que se utilize um “capacete” conforme se mostra na Figura 1 extraída do seu trabalho similar ao utilizado pelo eng<sup>o</sup> Clovis Maia nas obras da ALCOMINAS e CARDOMINAS e Golombek em SP.

Para comprovar a eficiência do método de recravação dinâmica, o eng<sup>o</sup> Paulo Frederico realizou provas de carga estática nessas estacas cravadas dinamicamente mostrando o bom comportamento delas.

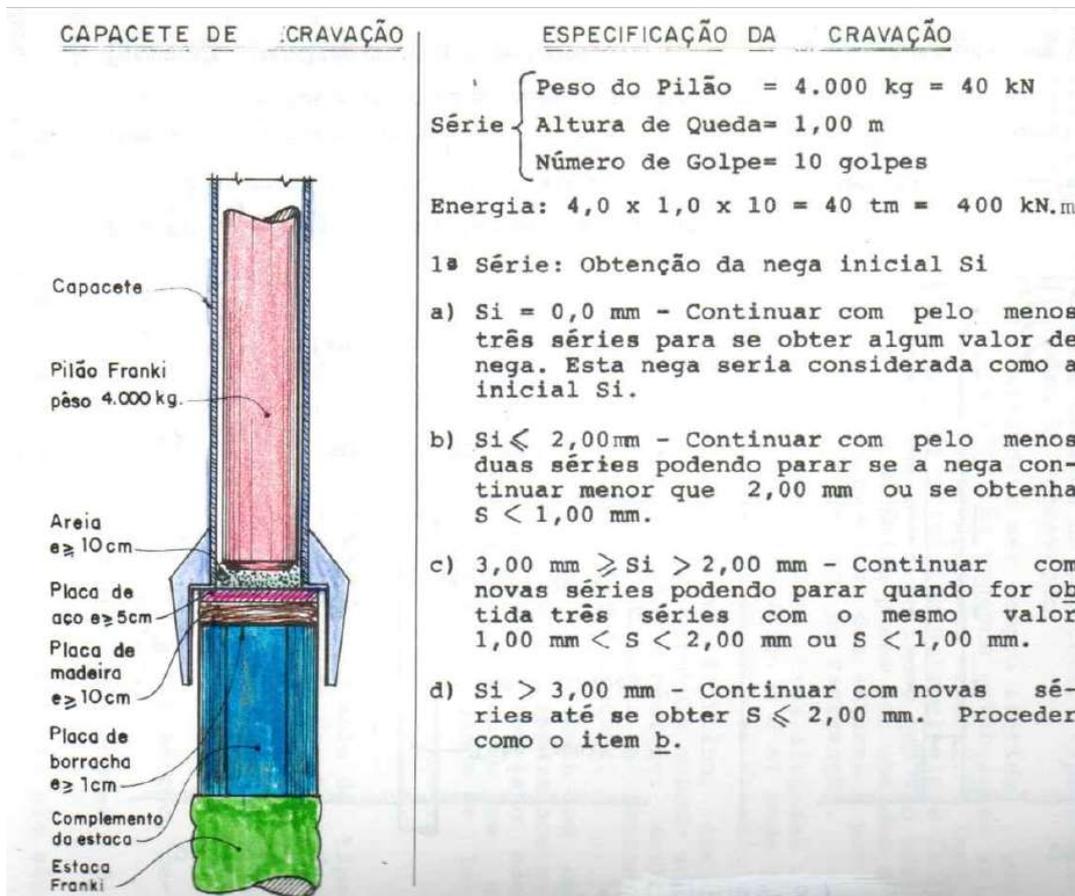


Figura 1: Detalhes do procedimento de cravação usado pelos eng<sup>os</sup> Clovis Maia e Paulo Frederico

**Nota:** É importante esclarecer que à época dessas obras (antes da década de 80) não se realizavam ensaios de carregamento dinâmico em obras “onshore” (estacas de obras em solo e não no mar – “off shore”) que permite, durante a cravação, medir, não só a carga mobilizada, como também as tensões dinâmicas de compressão e de tração decorrentes dos golpes do pilão, daí porque se criava um sistema de amortecimento conforme detalhado na Figura 1 extraída do trabalho do engº Paulo Frederico. Mas hoje em dia, ao se cravar uma estaca “moldada in loco” (Franki, raiz, escavada ou hélice contínua) que mostre deficiência na capacidade de carga de ponta, essa cravação é feita acompanhada da instrumentação que permite saber os níveis de tensão aplicada às estacas, bem como a carga mobilizada para cada golpe do pilão, como nos casos que se apresentam a seguir.

### 3 CASOS EM QUE USAMOS A CRAVAÇÃO DINÂMICA EM ESTACAS MOLDADAS “IN LOCO” PARA RESTABELECEMOS A CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA

A primeira obra onde usamos esse procedimento ocorreu em 2017 em uma obra de uma concessionária cujas fundações foram executadas com estacas escavadas com auxílio de fluido estabilizante com 120 cm de diâmetro e carga de trabalho de 490 e 520 tf onde se constatou, durante os ensaios de carregamento dinâmico, que algumas dessas estacas estavam com carga de ponta insuficiente.

Foram cravadas 8 estacas usando-se pilão de queda livre com 25 tf de peso guiado em uma torre apoiada no solo e o pilão suspenso por guindaste (Figura 2) (daí o tempo gasto nos ensaios, pois a cada golpe do pilão havia necessidade de se nivelar a torre do equipamento) cujas alturas de queda foram controladas usando-se o PDA (Pile Driving Analyser) de modo a não ultrapassar as tensões dinâmicas admissíveis (compressão e tração). Todas essas estacas foram cravadas até se obter um fator de segurança  $FS \geq 1,6$ . Na Tabela 1 apresenta-se um resumo dessas cravações dinâmicas controladas.



Figura 2: Equipamentos de queda livre usados nos testes da primeira e da terceira obra aqui citadas

Tabela 1. Resumo das cravações controladas com PDA e com FS > 1,6.

Estaca n°	Cargas (tf)		Comprimentos (m)			FS
	Projeto	Mobilizada	Projeto	Executado	Final	
E 5	520	1.204	15,00	15,00	15,23	2,3
E 6	520	1.136	15,00	15,00	15,17	2,2
E 7	520	927	15,00	15,00	15,05	1,8
E 8	520	878	15,00	15,00	16,04	1,7
E 9	490	993	15,00	15,00	16,16	1,9
E 10	490	786	15,00	15,00	15,33	1,6
E 11	520	967	15,00	15,00	15,48	1,9
E 12	520	892	15,00	15,00	15,06	1,7

A segunda obra onde usamos esse procedimento ocorreu em 2019 nas fundações de um viaduto no Rio de Janeiro cujas fundações foram executadas com estacas raiz com 40 cm de diâmetro para carga de 107 tf a 141 tf (Tabela 2). O caso em estudo foi um trecho desse viaduto onde foram executadas 488 estacas que durante as provas de carga e ensaios de carregamento dinâmico, 16 apresentaram capacidade de carga inferior ao exigido pelo projeto (fatores de segurança variando entre 0,85 e 1,22). Foram cravadas essas 16 estacas de três blocos que apresentaram capacidade de carga geotécnica inferior à de projeto cujos resultados estão apresentados na Tabela 2. Essa cravação foi realizada com martelo hidráulico de impacto.

Tabela 2: Resultados dos ensaios PDA nas estacas raiz dos grupos 1 a 3

Grupo	Apoio	Estaca	P <sub>trabalho</sub> (tf)	L (m)	Data ensaio	P <sub>mobilizado</sub> (tf)	FS
1	P335B	317	107	7,00	09/05/19	350	3,3
		318	107	7,00	17/04/19	490	4,6
		319	107	7,00	09/05/19	335	3,1
		320	107	7,00	09/05/19	338	3,2
2	P336A	321	141	8,00	08/05/19	209	1,5
		322	141	8,00	09/05/19	283	2,0
		323	141	8,00	09/05/19	307	2,2
		324	141	8,00	08/05/19	300	2,1
		325	141	8,00	10/05/19	350	2,5
		326	141	8,00	16/04/19	207	1,5
3	P337A	331	128	10,00	16/05/19	213	1,7
		332	128	10,00	16/05/19	261	2,0
		333	128	10,00	16/05/19	256	2,0
		334	128	10,00	16/04/19	253	2,0
		335	128	10,00	16/05/19	175	1,4
		336	128	10,00	10/05/19	230	1,8

A terceira obra aqui relatada ocorreu no ano passado (2023) nas fundações de um prédio residencial com duas torres, no bairro da Freguesia do Ó, em SP, cujas fundações foram executadas em estacas hélice contínua com diâmetros variando de 50 cm a 90 cm. Nesta obra usou-se o mesmo equipamento de queda livre usado na primeira obra aqui citada (Figura 2), porém usando pilão com peso de 13 tf. Nesta obra, analogamente às duas anteriores houve necessidade de se complementar as estacas com um segmento de concreto fortemente armado (Figura 3) para reduzir as tensões aplicadas ao corpo das estacas durante a aplicação dos golpes do pilão. Esses segmentos complementares das estacas tiveram que ser demolidos após os testes, conforme se mostra na Figura 4.



Figura 3: Armadura de fretagem do complemento das estacas



Figura 4: Serviços de demolição dos complementos das estacas

Na Figura 5 mostram-se alguns dos comprimentos cravados durante os ensaios dinâmicos, bem como as cargas mobilizadas sendo que no bloco denominado área 1 esses comprimentos cravados foram inferiores aos do bloco denominado área 2.

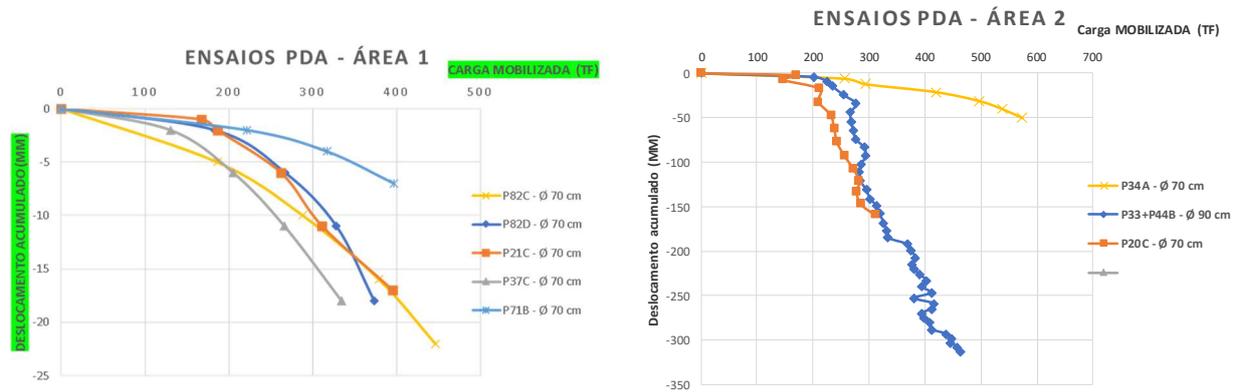


Figura 5: Cravações das estacas e suas cargas mobilizadas

### 3 CONCLUSÃO

O procedimento de “cravar” estacas do tipo moldadas “*in loco*” (estacas Franki, estacas escavadas, estacas raiz e estacas hélice contínua) tem sido um procedimento utilizado em nosso meio técnico como se mostra nos registros constantes do capítulo 9.1.1 do livro FUNDAÇÕES Teoria e Prática editado pela ABMS/ABEF/Oficina de Textos, no SEFE II, além de haver registro de obra em SP citado pelo prof. Sigmundo Golombek e por nós em algumas obras das quais separamos as três acima citadas.

Entretanto, ao contrário do passado, hoje em dia essas cravações devem ser acompanhadas com instrumentação (PDA – Pile Driving Analyser) a fim de aplicar alturas de queda do pilão que não imponham tensões superiores às admissíveis das estacas. Além disso, devem-se complementar as estacas com um trecho fretado conforme se mostra nas figuras 3 e 4 que será demolido após as cravações. A cravação tanto pode ser realizada com martelos de queda livre como aqui citado, também com martelos hidráulicos de impacto como ocorreu na segunda obra aqui citada.