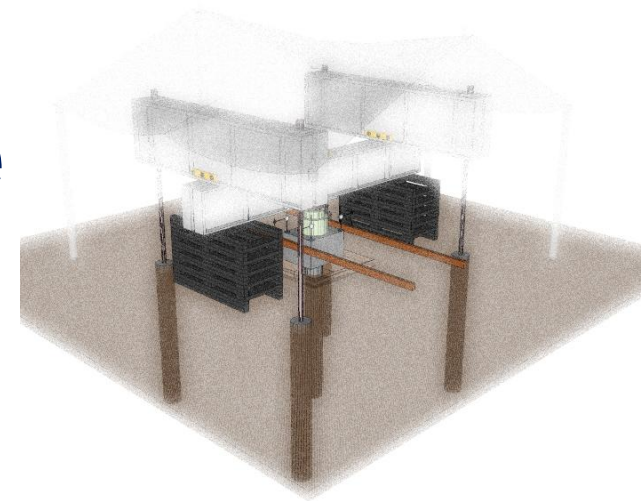


Como e quando contratar ensaios de PDA ou PCE

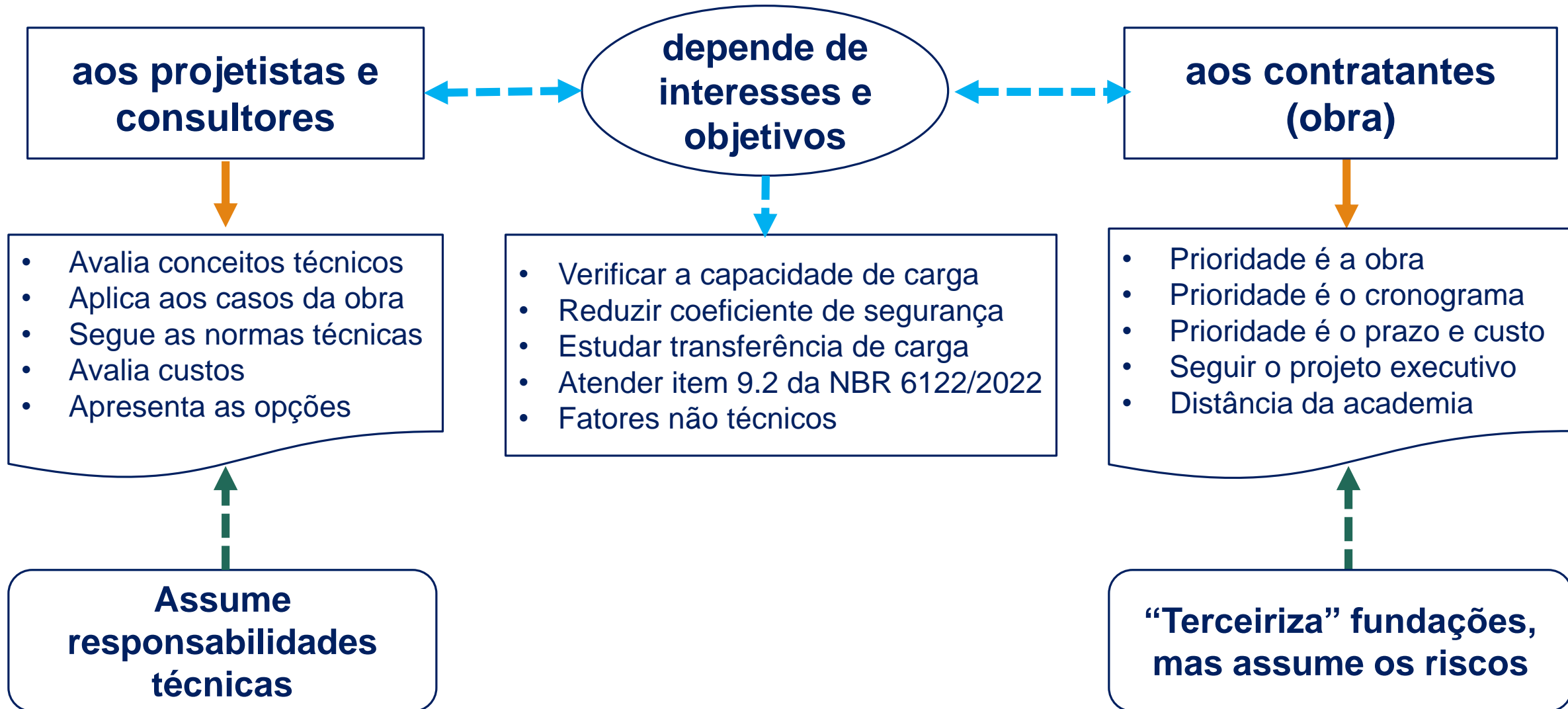


**PDA: Estacas - ensaio de carregamento dinâmico
(NBR 13.208/2007)**

**PCE: Solo - prova de carga estática em fundação profunda
(NBR 16.903/2020)**

Quando? Se nas fases de Projeto e de Obra

É uma questão que se coloca:



O uso do teste Bidirecional, na norma NBR6122/2022, atualmente em revisão, é previsto no item 9.2.2.4 (do capítulo de Desempenho das fundações), como segue:

A critério do projetista, são aceitos outros ensaios de carga, por exemplo, teste bidirecional, devendo-se levar em conta as particularidades de sua interpretação para o estabelecimento da quantidade e avaliação de desempenho.

**depende de
interesses e
objetivos**

- Verificar a capacidade de carga
- Reduzir coeficiente de segurança
- Estudar transferência de carga
- Atender item 9.2 da NBR 6122/2022
- Fatores não técnicos

Fase de Projeto ou de Obra:
PDA
PCE
Bidirecional

Fase de Projeto:
PCE (item 6.2.1.2.2 da NBR 6122)

Fase de Projeto ou de Obra:
PDA
PCE
Bidirecional

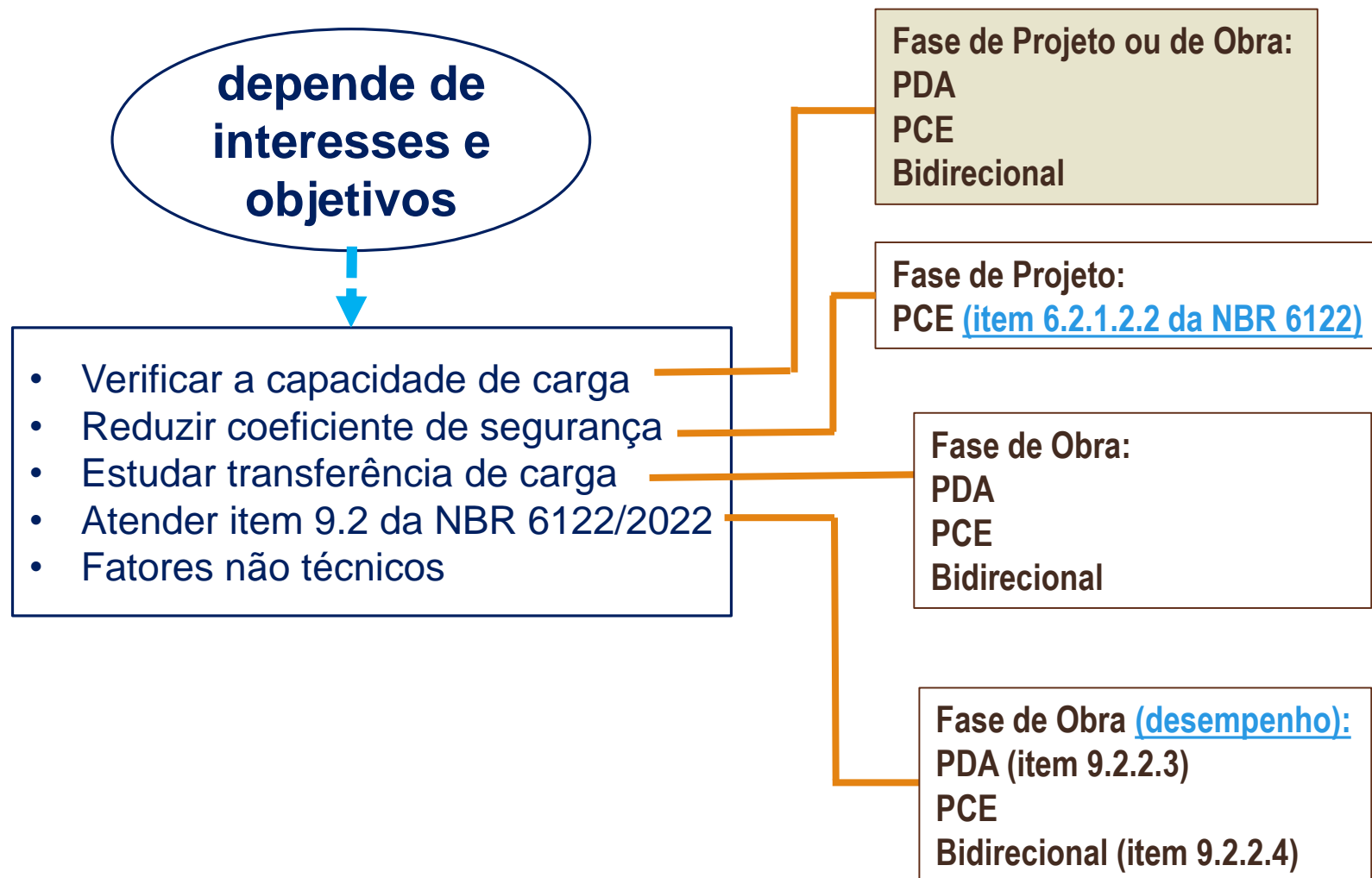
Fase de Obra (desempenho):
PDA (item 9.2.2.3)
PCE
Bidirecional (item 9.2.2.4)

Na Fase de Projeto permite:

- Obter parâmetros de dimensionamento (atrito lateral, resistência de ponta, distribuição das resistências, no caso da PCE se for instrumentada;
- Confirmar premissas de projeto;
- Otimizar projetos;

Na Fase de Obra:

- Avaliação de Desempenho



Na Fase de Projeto:

- 6.2.1.2.2 permite usar resistência determinada por PCE (conforme NBR 16903) executadas na fase de projeto para reduzir o fator de segurança global para carga admissível para 1,6.



- Os testes bidirecionais e os ensaios de carregamento dinâmico não são aceitos para redução de Fator de Segurança Global.

**depende de
interesses e
objetivos**

- Verificar a capacidade de carga
- Reduzir coeficiente de segurança
- Estudar transferência de carga
- Atender item 9.2 da NBR 6122/2022
- Fatores não técnicos

Fase de Projeto ou de Obra:
PDA
PCE
Bidirecional

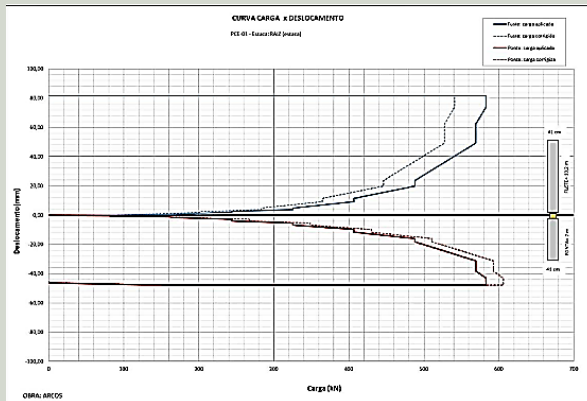
Fase de Projeto:
PCE (item 6.2.1.2.2 da NBR 6122)

Fase de Projeto ou de Obra:
PDA
PCE
Bidirecional

Fase de Obra (desempenho):
PDA (item 9.2.2.3)
PCE
Bidirecional (item 9.2.2.4)

Na Fase de Projeto permite:

- PDA → CAPWAP permite sempre avaliar a distribuição de resistências em profundidade;
- PCE desde que seja em estaca instrumentada em profundidade;
- Bidirecional permite avaliar parte resistências por atrito lateral e por ponta.



Na Fase de Obra:

- Verificar as premissas de projeto.

depende de
interesses e
objetivos

- Verificar a capacidade de carga
- Reduzir coeficiente de segurança
- Estudar transferência de carga
- Atender item 9.2 da NBR 6122/2022
- Fatores não técnicos

Fase de Projeto ou de Obra:
PDA
PCE
Bidirecional

Fase de Projeto:
PCE (item 6.2.1.2.2 da NBR 6122)

Fase de Projeto ou de Obra:
PDA
PCE
Bidirecional

Fase de Obra (desempenho):
PDA (item 9.2.2.3)
PCE
Bidirecional (item 9.2.2.4)

Na Fase de Obra:

O uso maior destas ferramentas ocorre por conta da NBR 6122/2022, no capítulo 9. Desempenho das fundações.

- Em 9.1, obriga ao menos o controle de recalques de estruturas em 4 casos específicos (como altura acima de 55 m).
- Em 9.2, estabelece critérios para avaliação de desempenho de elementos de fundações:
- 9.2.1 – Fundações em sapatas ou tubulões; e
- 9.2.2 – Fundações em estacas

**depende de
interesses e
objetivos**

- Verificar a capacidade de carga
- Reduzir coeficiente de segurança
- Estudar transferência de carga
- Atender item 9.2 da NBR 6122/2022
- Fatores não técnicos

Fase de Projeto ou de Obra:
PDA
PCE
Bidirecional

Fase de Projeto:
PCE (item 6.2.1.2.2 da NBR 6122)

Fase de Projeto ou de Obra:
PDA
PCE
Bidirecional

Fase de Obra (desempenho):
PDA (item 9.2.2.3)
PCE
Bidirecional (item 9.2.2.4)

Vantagens e desvantagens de cada ensaio

ASPECTOS	PCE	PDA	Bidirecional
Norma da ABNT específico	NBR 13.208/2007	NBR 16.903/2020	Menção na NBR6122/2022
Cuidados /limitação de resultados dos ensaios	São diretos. Extrapolação se não atinge a ruptura	Função de procedimentos dos ensaios	Interpretação de resultados
Preparos necessários para execução dos ensaios	Sistemas de reações e preparo de bloco sobre estacas	Sistema de aplicação de impacto e preparo no caso de estacas moldadas in loco	Instalação de célula de expansão durante a execução das estacas
Prazos de execução do ensaio	Depende de tipo de carregamento e exige obra parada (mínimo 1 dia)	Extremamente rápido para uma estaca	Semelhante à PCE
Custo dos ensaios	Depende muito das cargas exigidas para o sistema de reação.	Depende do nível de energia exigida para o impacto (estacas moldadas in loco). Para cravadas não haveria esse custo.	Depende de cargas para dimensionamento das células de expansão.

Comparações entre de resultados do PDA (CAPWAP) e da PCE

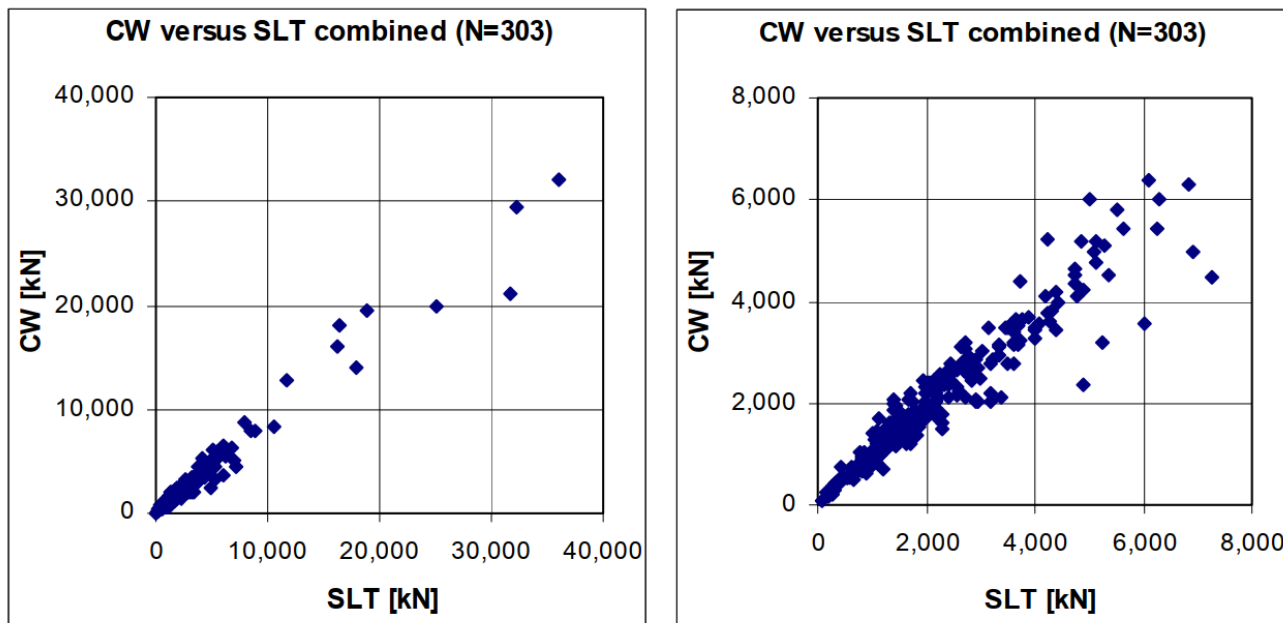


Figure 8: Combined results of previous and current correlation studies of CAPWAP versus SLT

Likins, G. e Rausche em “*Correlation of CAPWAP with Static Load Tests*”, *Conf. Intl. Application of Stress Wave Theory to Piles* (2004). Compilação de 303 casos (estacas cravadas e moldadas in loco) de estudos publicados em 1980 e 1996.

Principais conclusões dos autores (“pais” do PDA) em 2004:

- Ensaios em recravações mostram maior confiabilidade tanto em estacas cravadas como moldadas in loco;
- Ligeiramente melhor correlação para estacas cravadas;
- Diferenças estão na mesma margem de variação da definição de cargas de ruptura por diferentes métodos de extrapolação;
- A relação média CAPWAP/PCE para 303 casos foi de 0,98 com Coef. Variação de 0,169;
- A correlação melhora para ensaios realizados com no mínimo 6 dias de descanso para recuperação do atrito após a cravação;

Jorge Beim (2024):

- Atualmente estou sugerindo comparar PDA com PCE em estacas “irmãs”, não na mesma estaca; e
- Importante estabelecer o critério de ruptura a usar na PCE, do contrário não há como comparar. Melhor comparar as curvas carga – recalque.

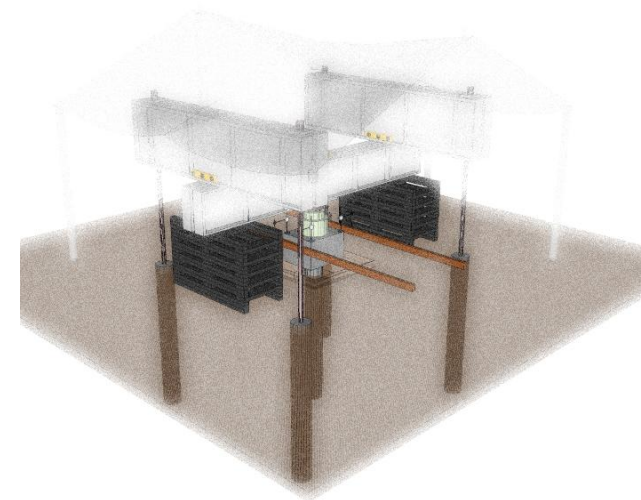


Premissas:

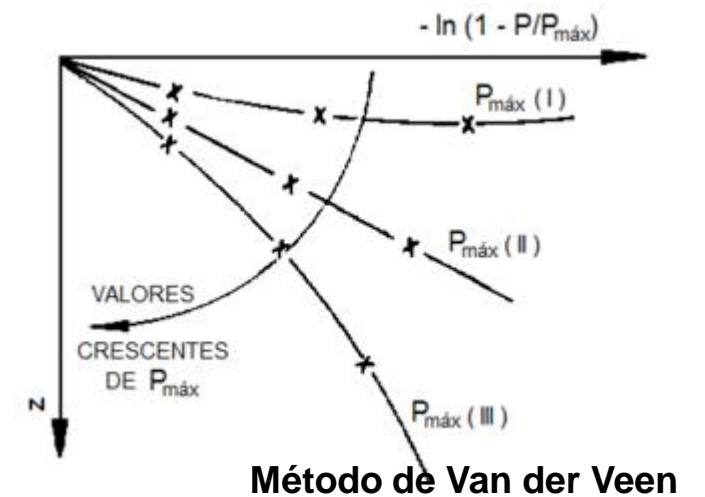
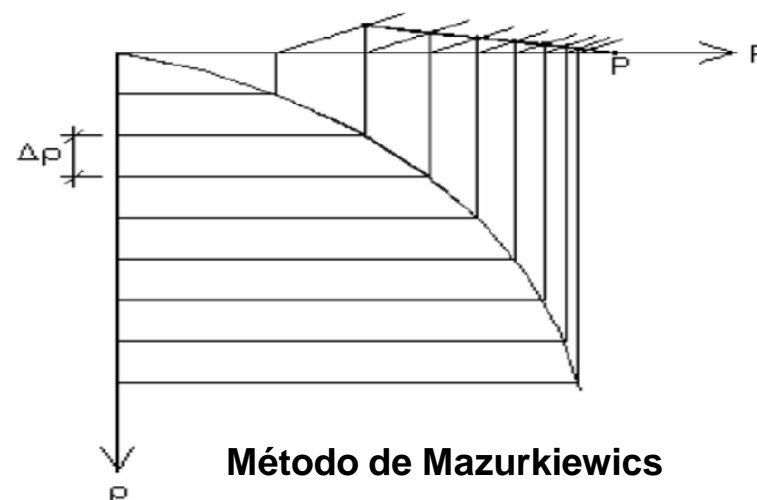
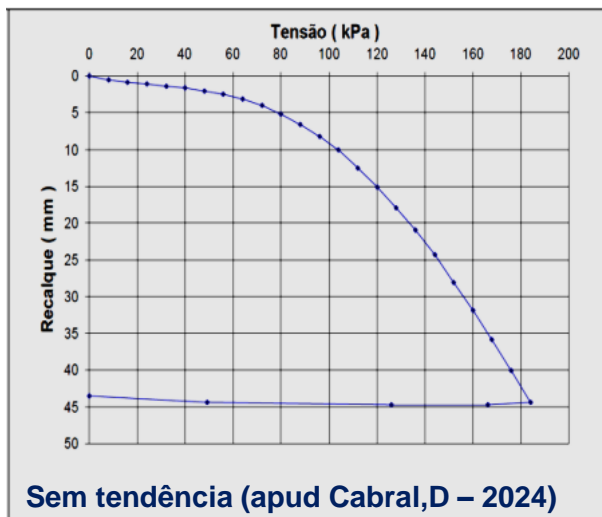
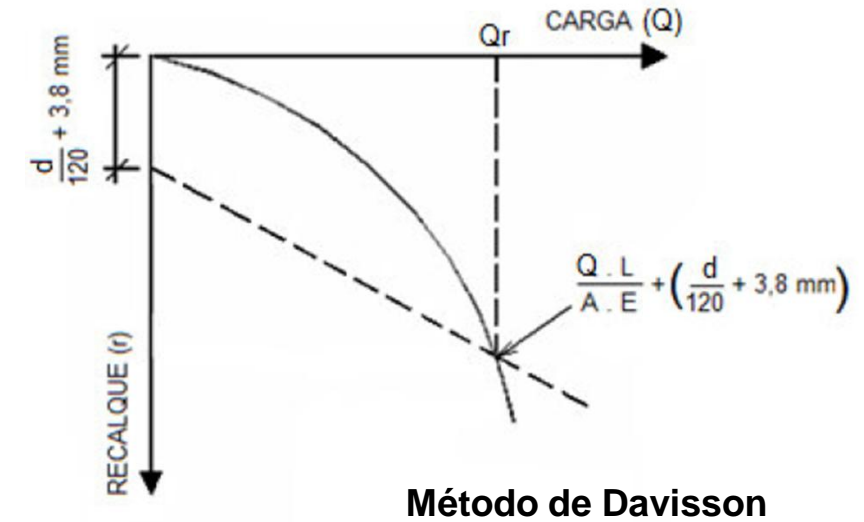
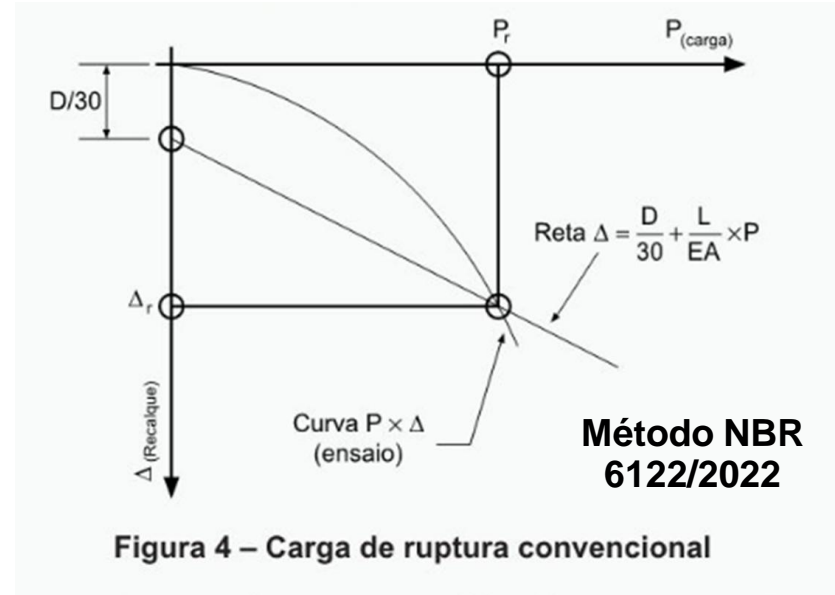
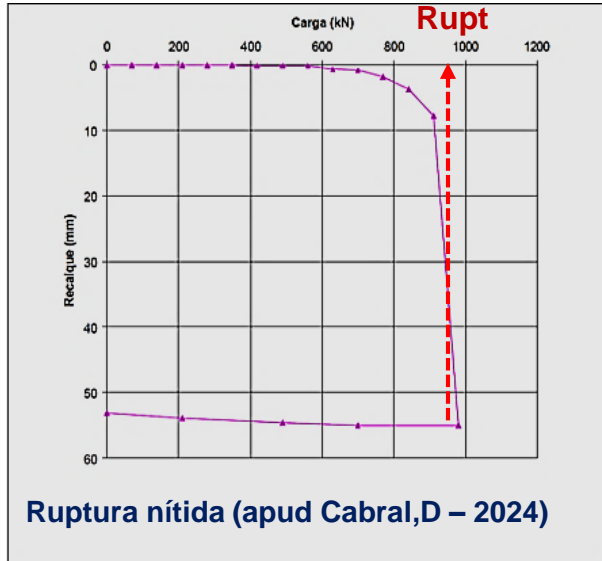
- Prova de carga estática (PCE) é a referência;
- Não se questiona mais a correlação do ensaio de carregamento dinâmico (PDA) com a PCE; e
- O ensaio bidirecional é reconhecido dentro das especificações da norma NBR 6122/2022.

Particularidades:

- Cada ensaio tem as suas particularidades.



Particularidades dos resultados de ensaios PCE



Particularidade dos resultados de ensaios PDA (CAPWAP)

Resistência medida depende da energia aplicada com mobilização da reação do solo em profundidade



Ensaio de energia crescente
DIET – Dynamic Increasing Energy (Aoki, 2000)

Resistência medida depende do grau de degeneração ou regeneração do atrito lateral durante e após a cravação

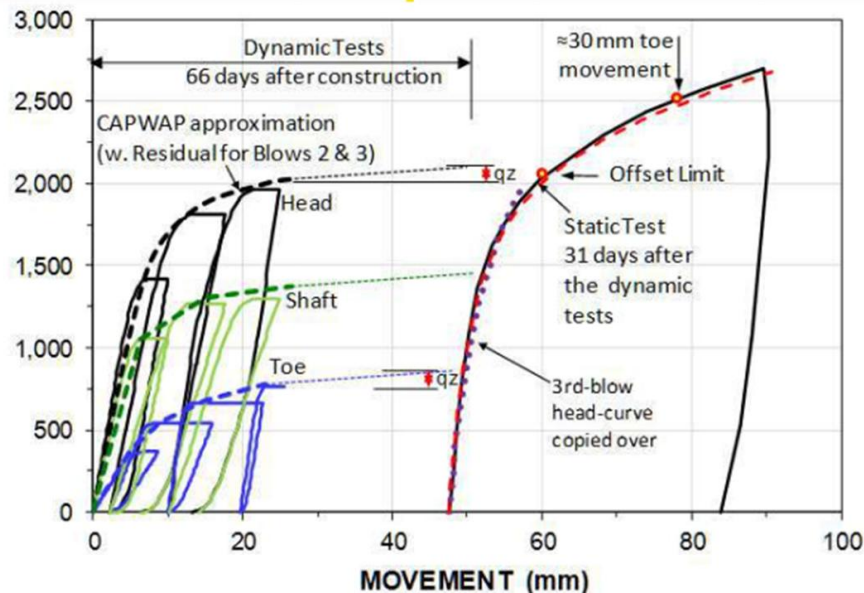


Ensaio na recravação, após um período de regeneração do atrito lateral (“set up”) em estacas cravadas

Resistência calculada pode depender de operador?



Treinamento e Exames de Proficiência podem excluir essa possibilidade



Load-movement curves for CAPWAP analyses and the static loading test (Fellenius, 2014)

Fellenius: Resultados da envoltória DIET propicia resultado mais próximo da prova de carga estática do que com análise de um golpe CAPWAP.

Bengt H. Fellenius, Basucs if Foundation Design – Electronic Edition, January 2019. www.fellenius.net



Particularidade: degeneração e regeneração do atrito lateral unitário

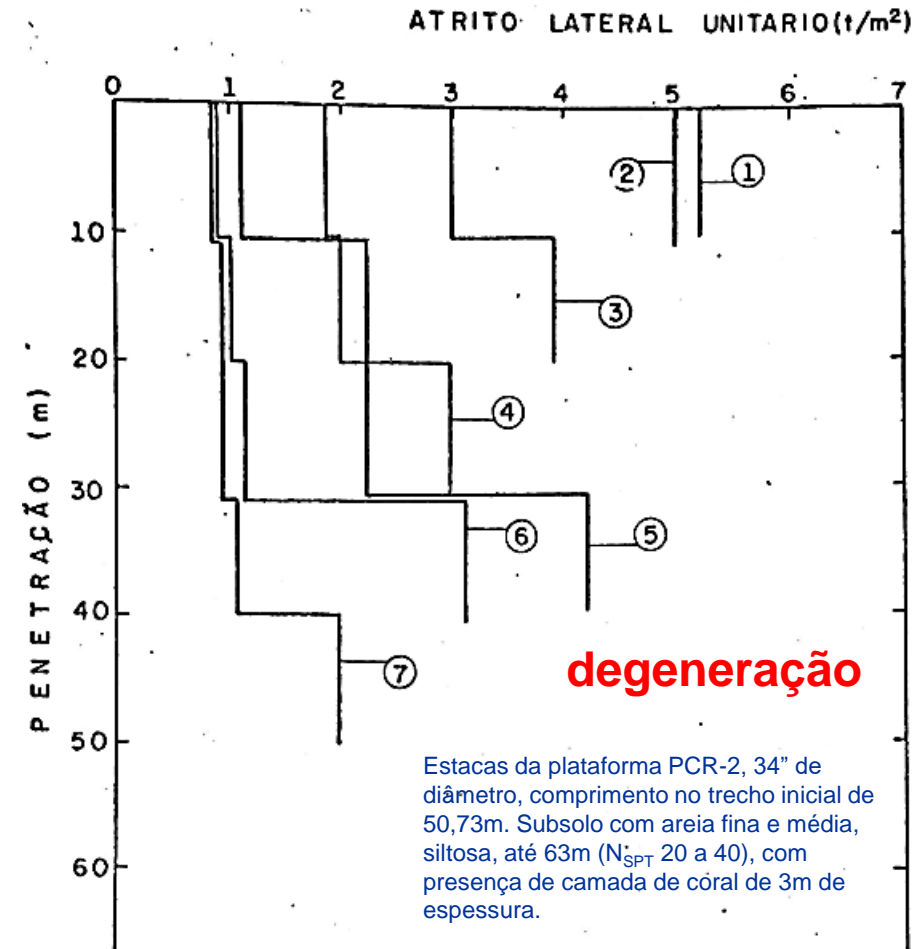


FIGURA 5- VARIAÇÃO DO ATRITO LATERAL UNITARIO A PARTIR DOS RESULTADOS DO "CAPWAP"



Fenômenos já conhecidos desde antigamente

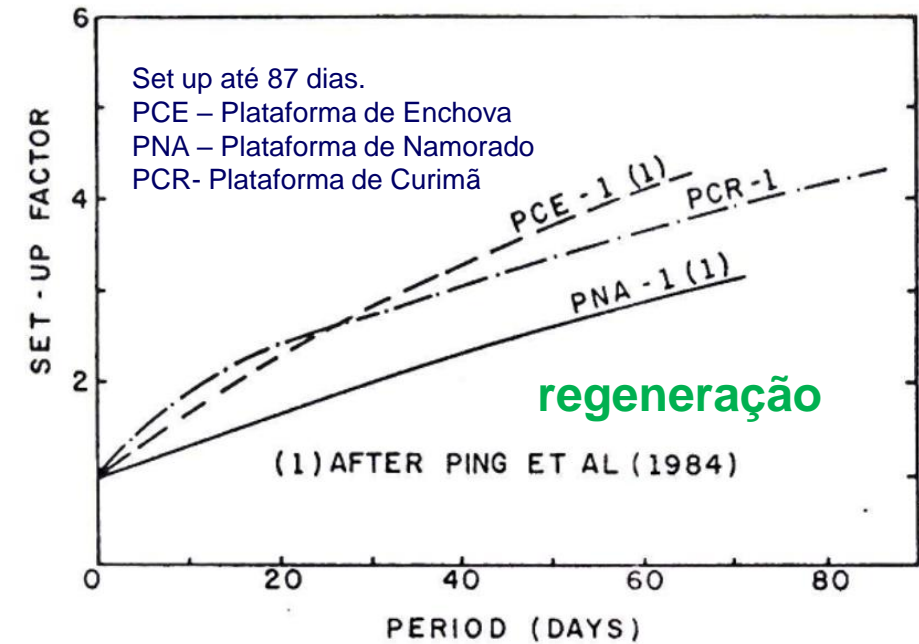
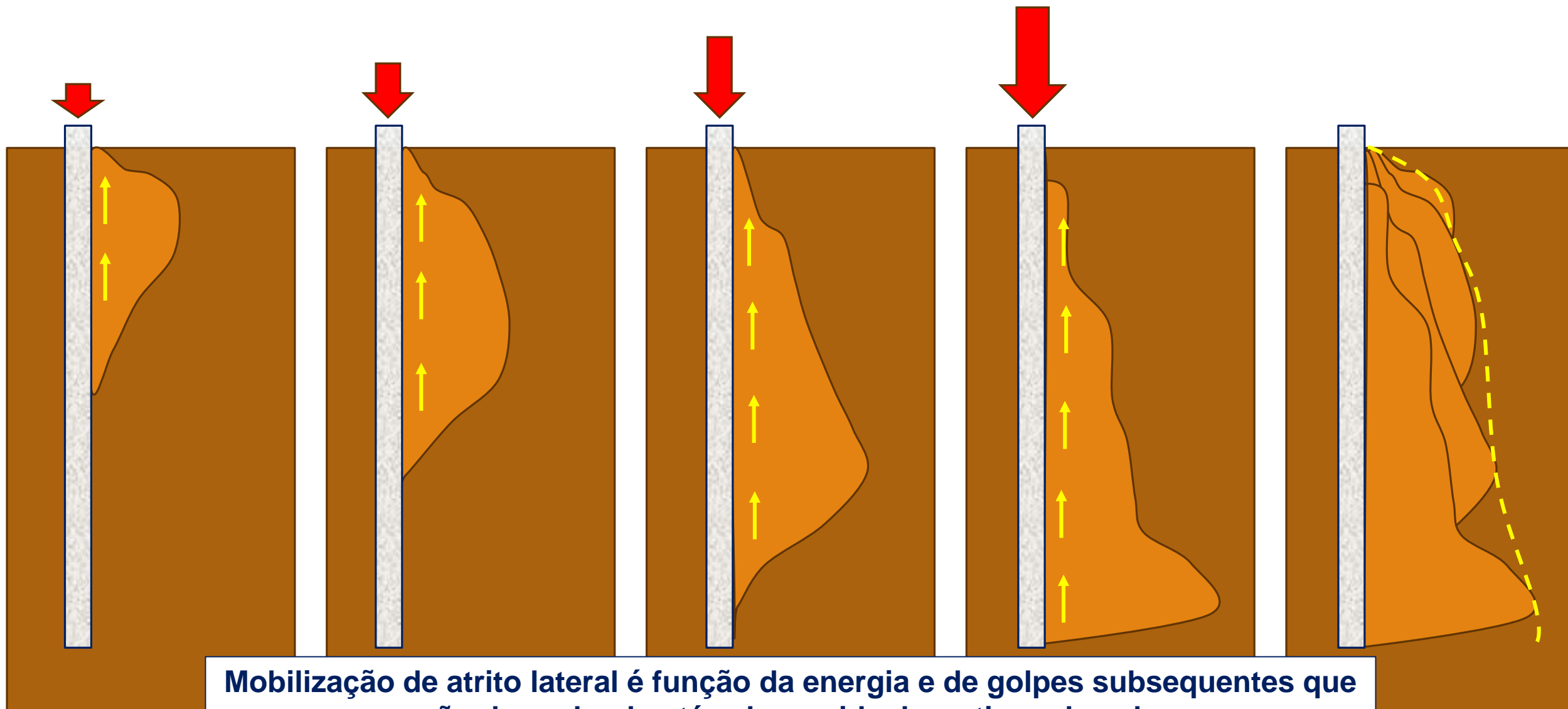


Fig. 3 - Set-Up Trend in Some Fields

1. Ping, W.C.; de Mello J.R. & Matos, S.F.D. (1984). Performance Assessment of Deep Penetration Offshore Piles Driven into Calcareous Soils. Proc. 16th Offshore Technology Conference, May, 513/526. Houston.

Rocha, J.R.R.; Niyama, S. e da Silva, A.B.. Dynamic Measurements on a Control for Offshore Piling. XI ICSMFE, San Francisco, 1985.

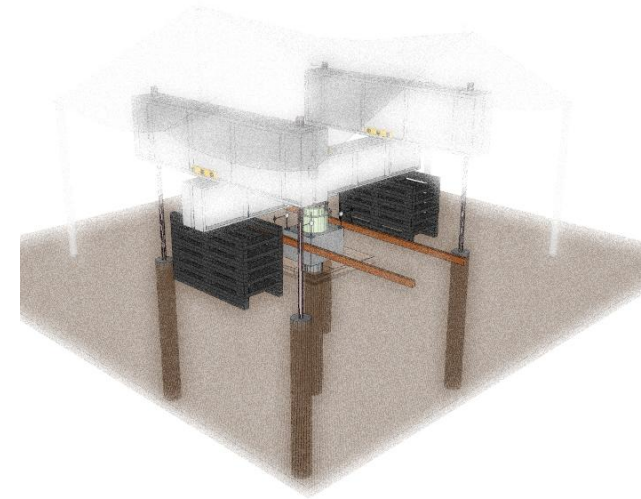
Particularidade: mobilização progressivo do atrito lateral no ensaio DIET



Mobilização de atrito lateral é função da energia e de golpes subsequentes que vão degradando até valor residual por tipos de solo



Casos de Obra



Otimizar custo de fundações – ensaios PDA na fase de projeto

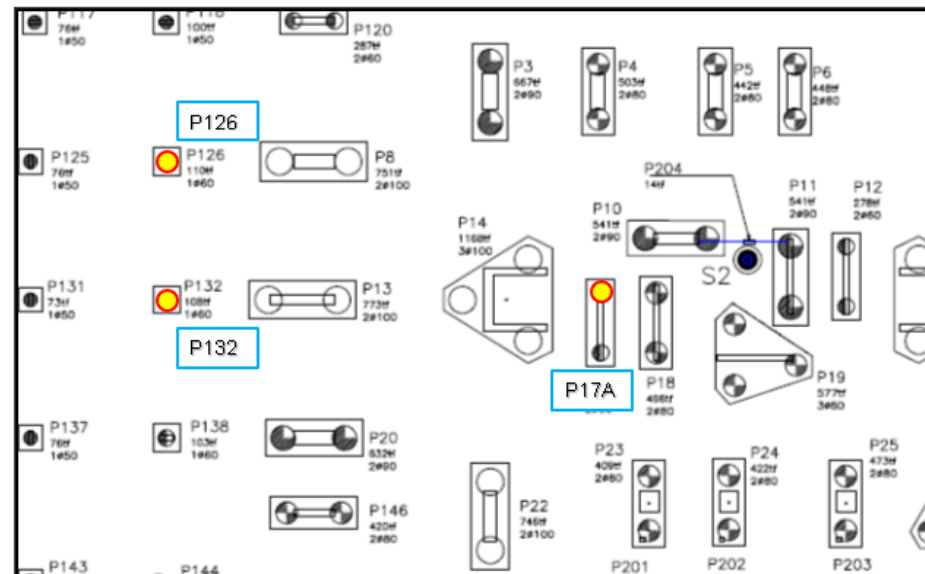


Empreendimento de 24 pavimentos fundações em Hélice Contínua



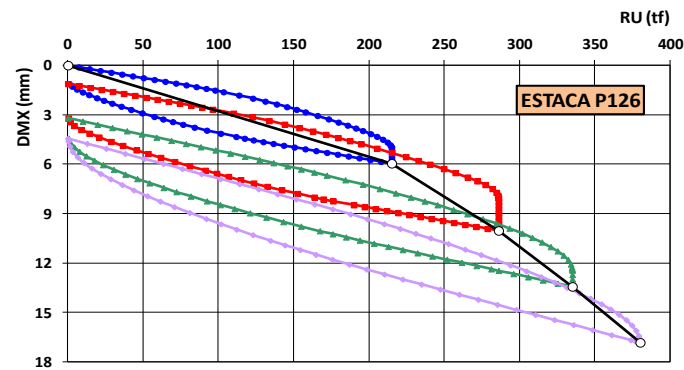
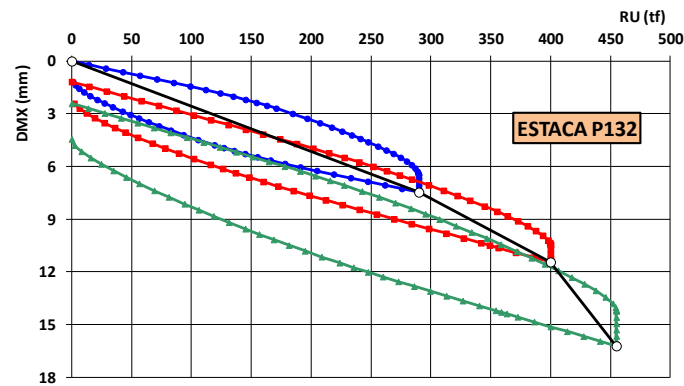
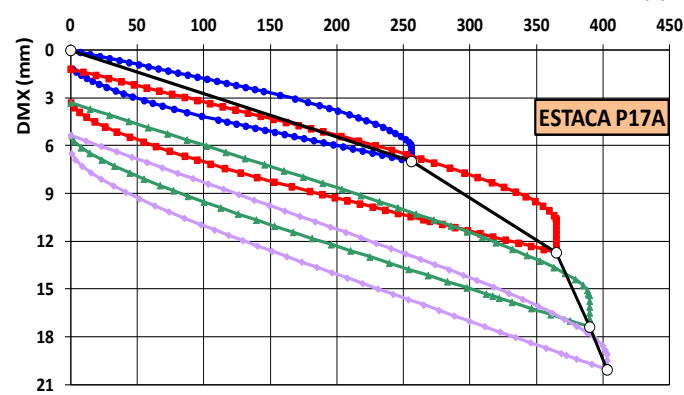
ESTACAS TESTE (60 cm):
P17A, P126 (2m curta) e P132

Estaca	Q adm (tf)	Golpe	H (m)	RMX (tf)
P17A	140	1	0,3	251
		2	0,5	355
		3	0,7	375
		4	0,9	409
P126	110	1	0,3	219
		2	0,5	281
		3	0,7	340
		4	0,9	379
P132	108	1	0,3	286
		2	0,5	402
		3	0,7	436



Análise CAPWAP de todos os golpes no ensaio DIET

Deslocamentos acumulados



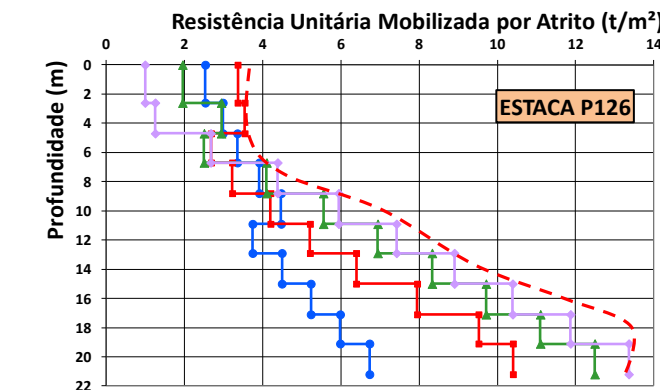
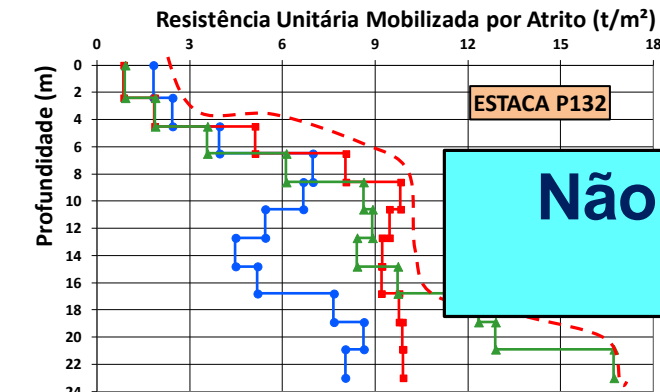
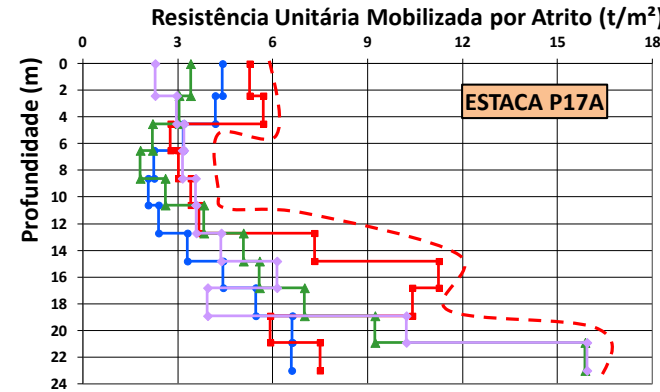
— CAPWAP GOLPE 3

— CAPWAP GOLPE 2

○ ENVOLTÓRIA

— CAPWAP GOLPE 1

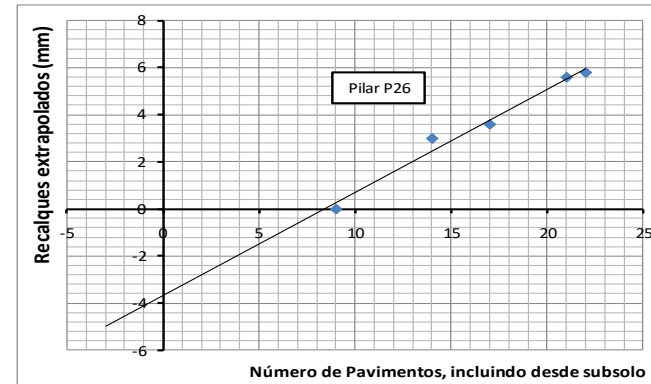
— CAPWAP GOLPE 4



Nº estacas	Diâmetro (cm)	Redução de comprimento/ estaca (m)	Redução de comprimento total (m)
8	40	4	32
21	50	4	84
26	60	2	52
19	80	2	38
4	90	1	4
22	100	1	22

Redução total (economia): 232m de estacas

Não foi para reduzir coeficiente de segurança para 1,6



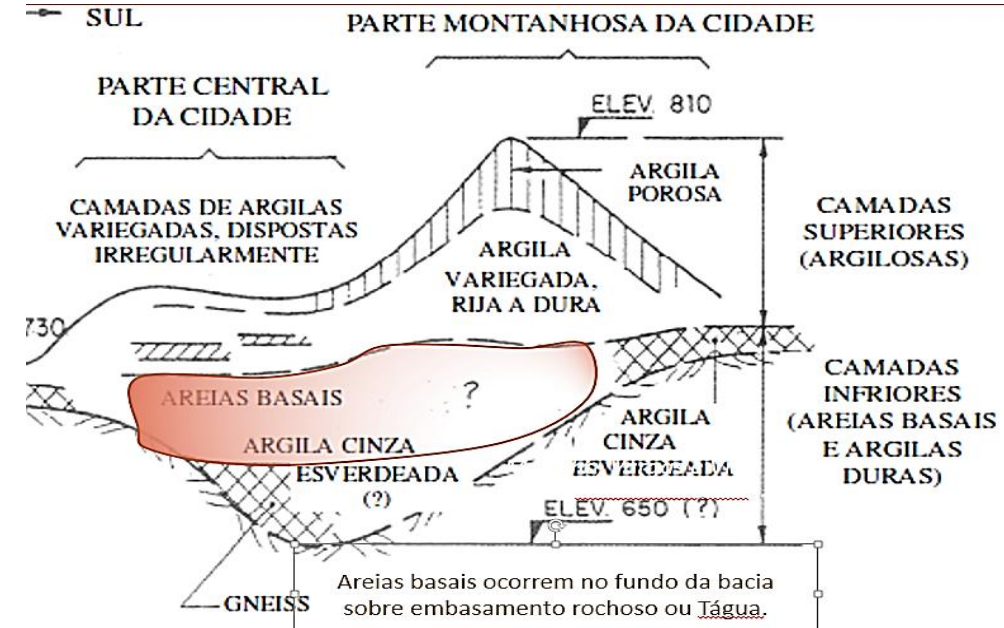
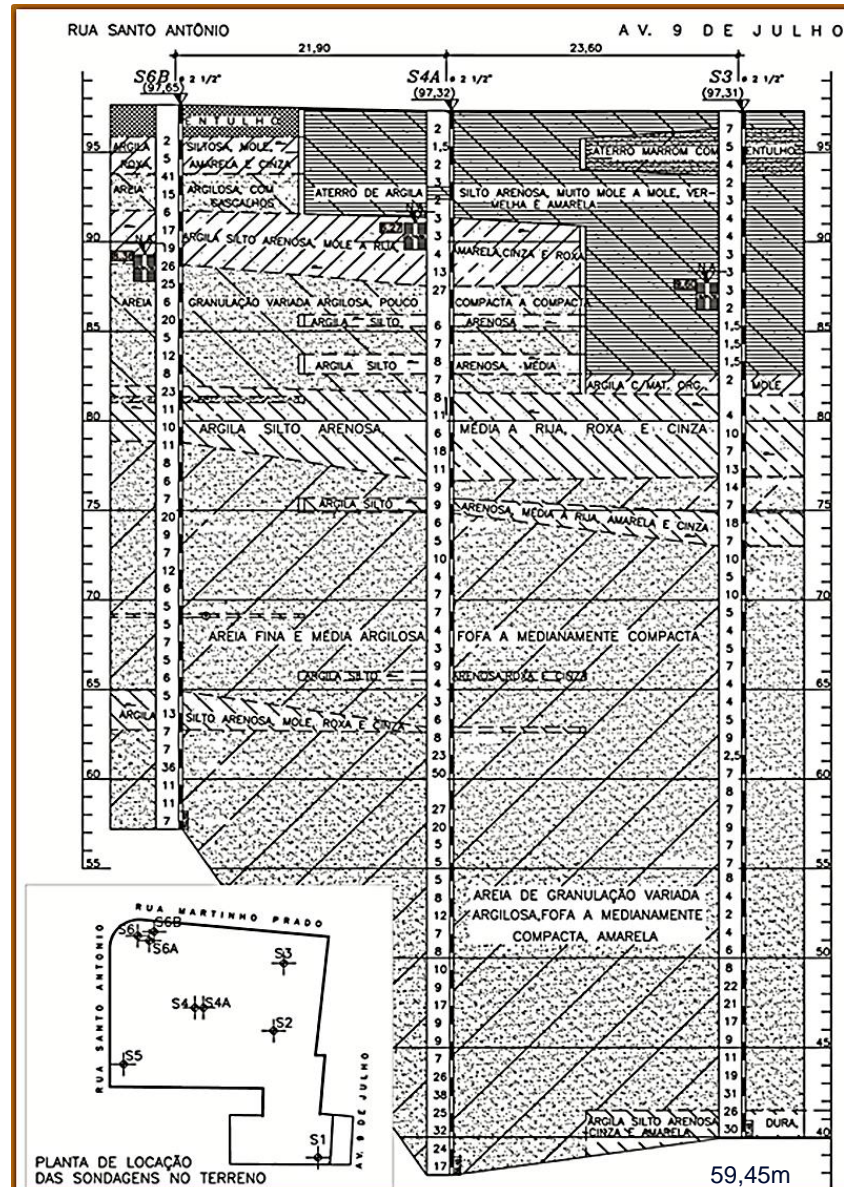
(Apud, Niyama et ali, SEFE 7, 2012)



PCE para redução de coeficiente de segurança



Edifício Brasil, empreendimento de 29 andares, Centro, São Paulo,



Projeto de Fundações

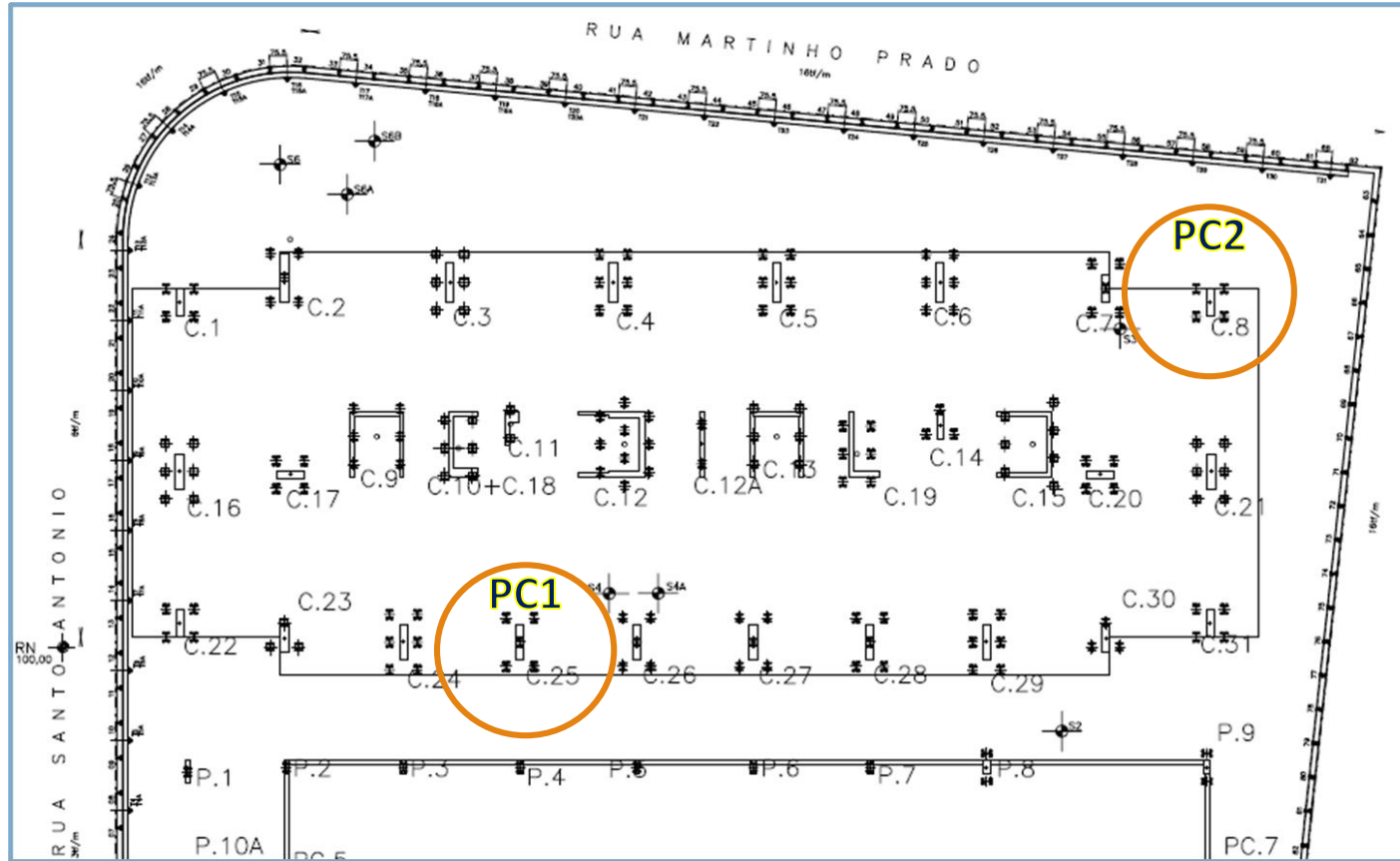
Opção inicial:

Estacas escavadas $\Phi 70\text{cm}$ a 120cm e $L=42\text{m}$ a 49m

Solução final:

Perfis metálicos de HP310x125 a W310x97, L=50m a 52m

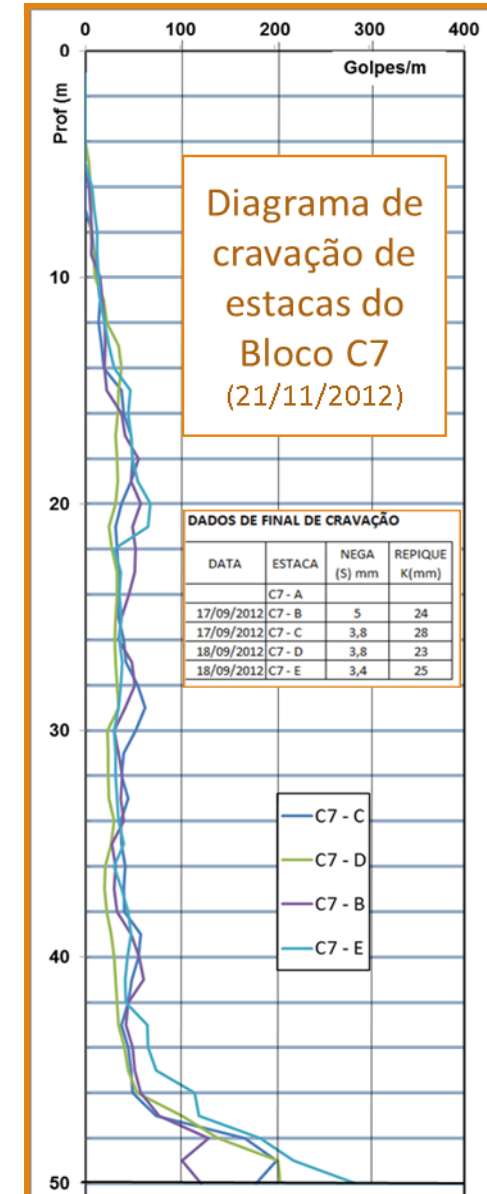
PERFIS METÁLICOS COM 50 a 52 m DE COMPRIMENTO



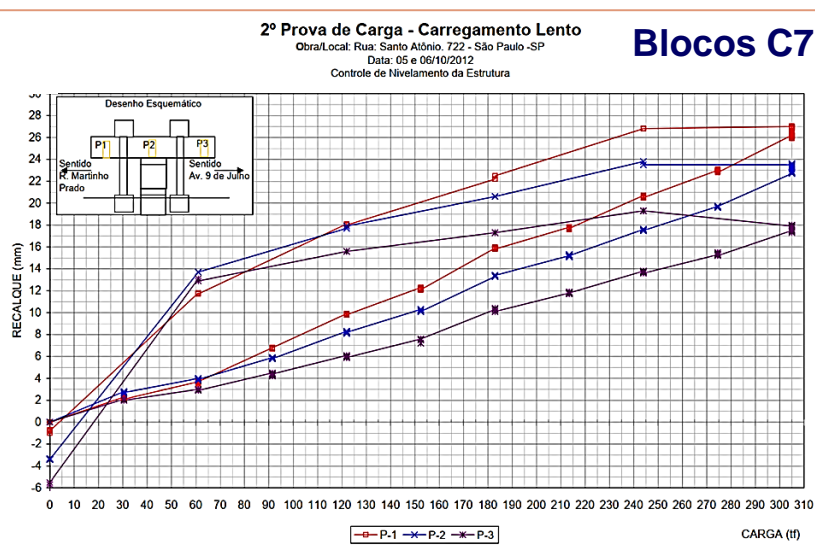
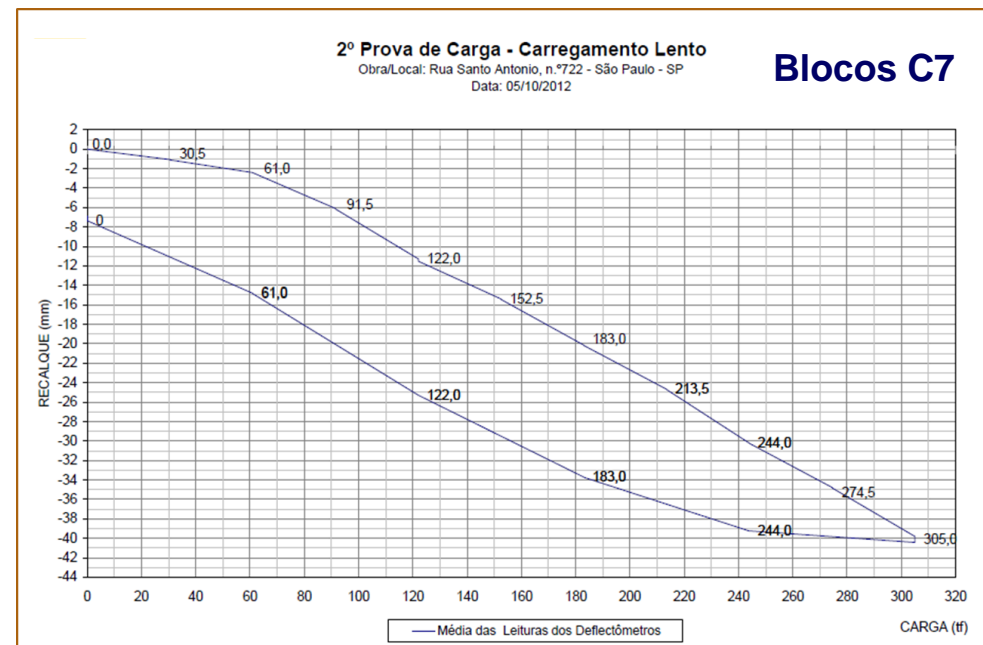
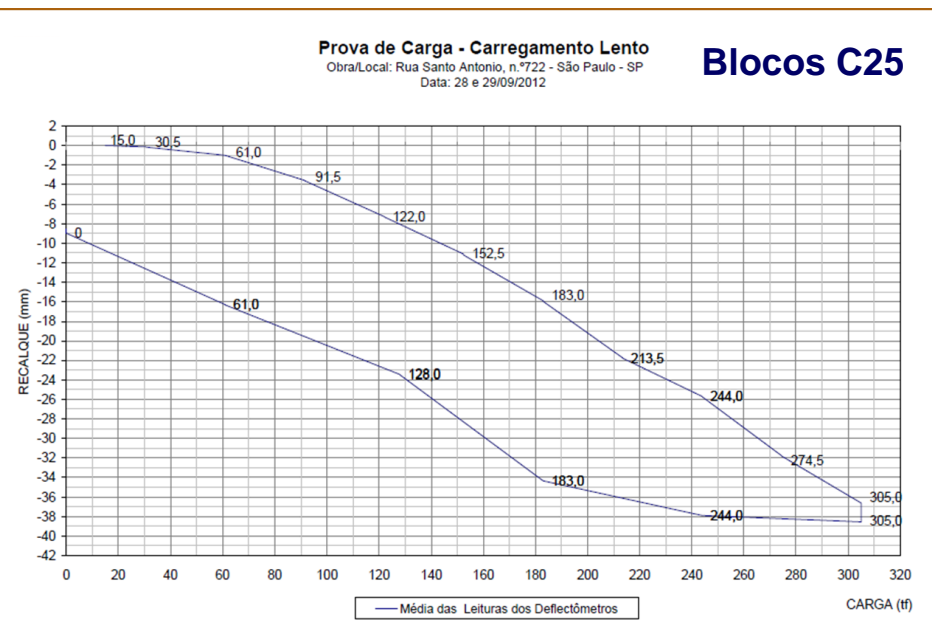
Planta de projeto de fundações (parcial) e posição dos blocos de estacas teste C25 e C7 submetidos a ensaios PDA e PCE

Composição	Tipo 1 (215tf)	Tipo 2 (202 tf)	Tipo 3 (191 tf)
4º Perfil (12m)	HP310X125	W310X117	W310X110
3º Perfil (12m)	W310X117	W310X110	W310X107
2º Perfil (12m)	W310X110	W310X107	W310X97
1º Perfil (12m)	W310X107	W310X97	W310X93
Ponta	W310X97 (4m)	W310X97 (3m)	W310X93 (2m)

Estacas de seção variável (telescópicas)



CONTROLES DE CRAVAÇÃO DE ESTACAS TESTE PARA PCE (Blocos C7 e C25)



PC (estaca)	Data	Q _{max} (MN)	R _{max} (mm)	R _{res} (mm)
PC1(C25C)	28/09/12	2,99	39,3	9,5
PC2 (C7C)	05/10/12	2,99	40,1	8,7

Prova de Carga	Van der Veen (MN)	NBR 6122* (MN)	Rigidez de Décourt** (MN)		
			Total	Lateral	Ponta
PC1	4,19	3,43	4,01	3,54	0,47
PC2	4,49	3,43	4,57	3,92	0,65

* aplicada sobre curva extrapolada por Van der Veen

** estimativas a partir do método

Coefficiente de segurança reduzido para 1,6, de acordo com NBR 6122/2019.

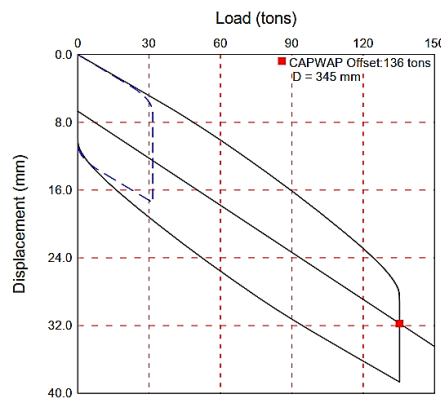
ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO PDA (Blocos C7 e C25)



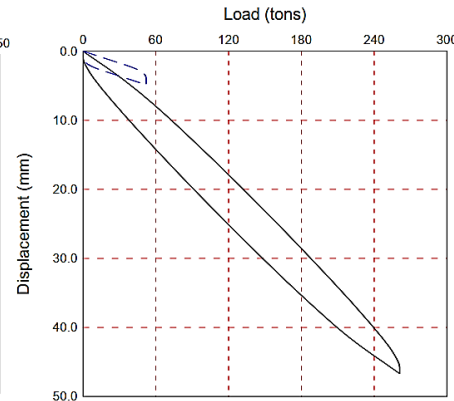
Bloco	Estaca	Tempo de repouso (dias)	Número de golpes	Alturas de Queda (cm)	Capacidade máxima mobilizada (tf)
C25	C	Final crav	129	40	105
	A	Final crav	304	40	135
	A _R	4	5	40/60/80/90/100	261
	B	4	5	40/60/80/90/100	226
	B	22	3	120/120/120	232
	E	5	3	40/70/90	214
C7	D	21	3	120/120/120	252
				40/50/60/80/100/100/10	
	B	2	7	0	274
c17	E	1	5	40/60/80/100/120	232
	A	4	3	100/100/100	225



Relação de estacas ensaiadas e resultados CAPWAP

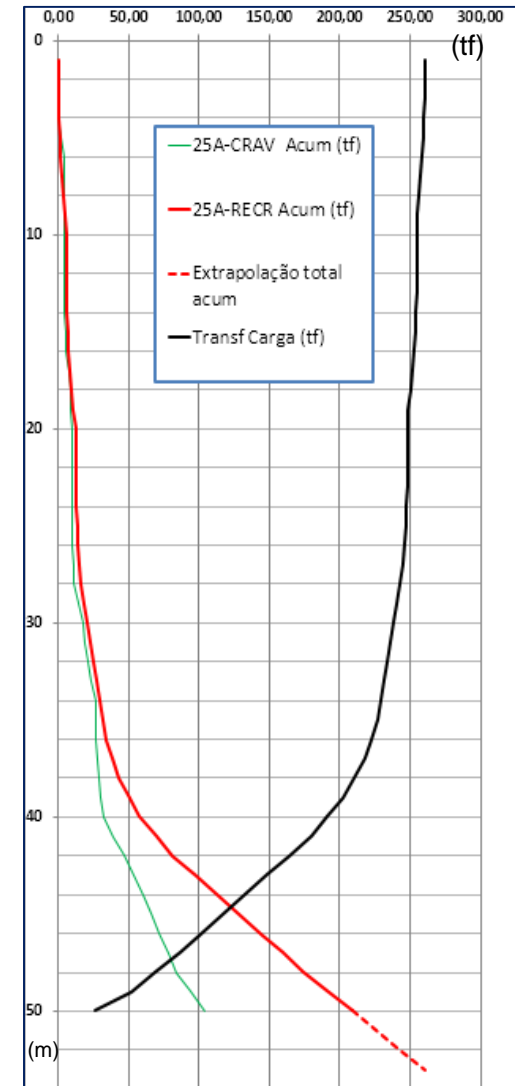
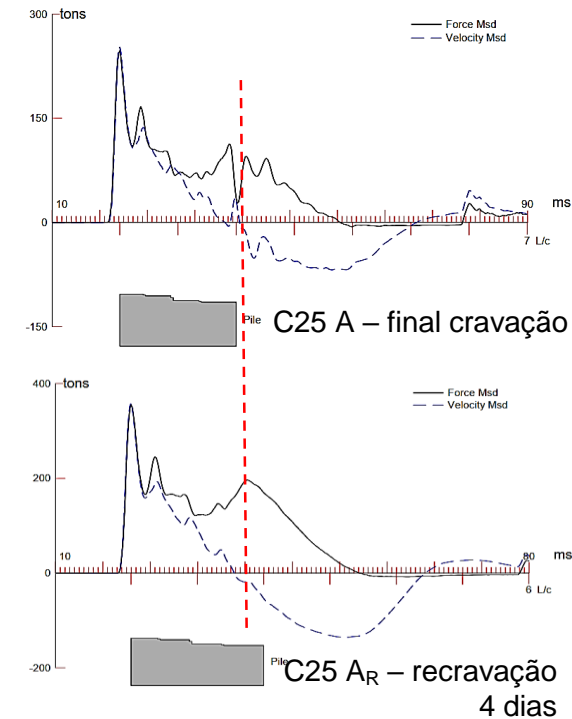


C25 A – final cravação



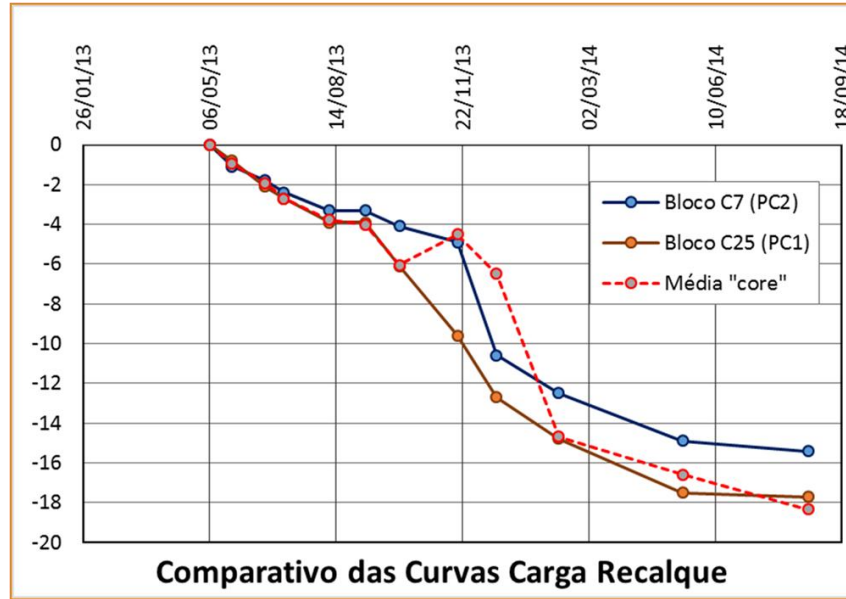
C25 A_R – recravação 4 dias

Curvas de carga - deslocamento via CAPWAP



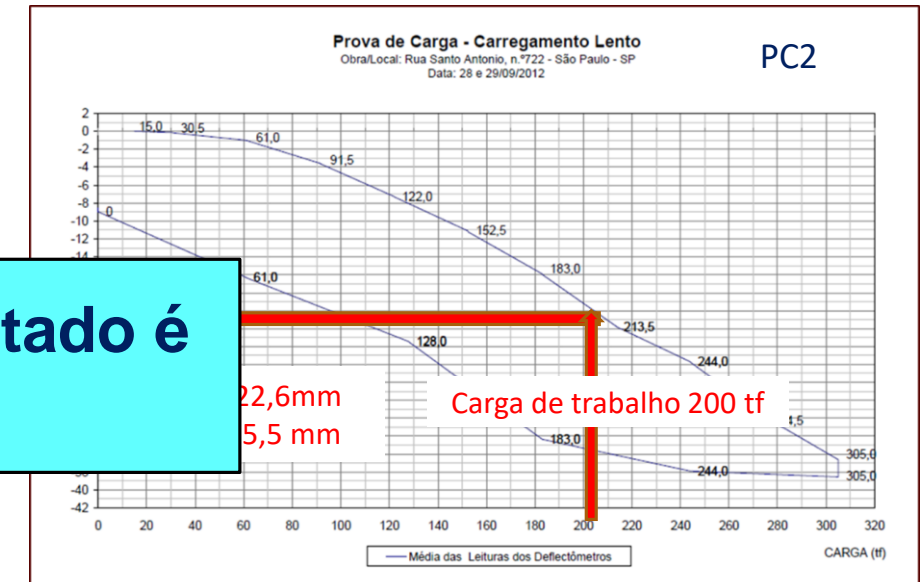
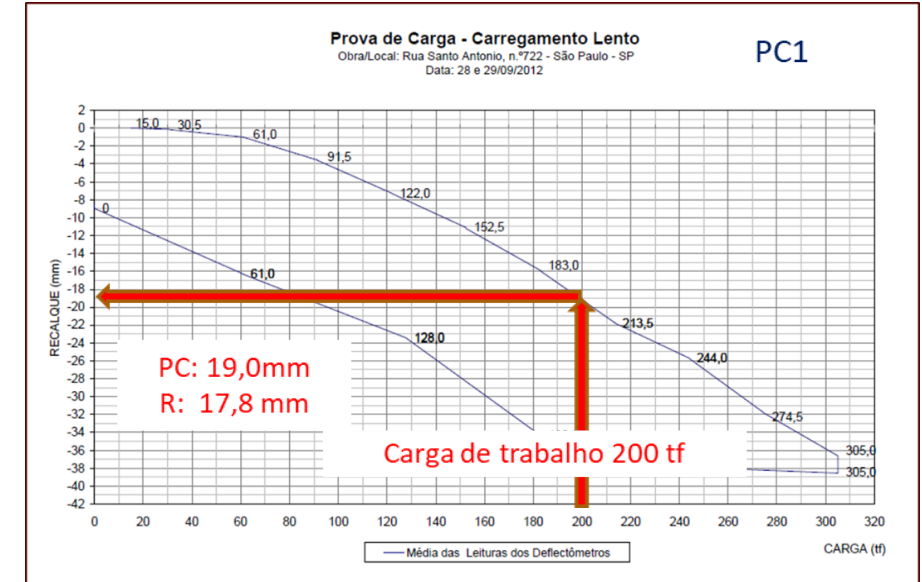
Atrito Lateral por metro e acumulada (cravação e recravação)

COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE CONTROLE DE RECALQUE COM AS DE PCE

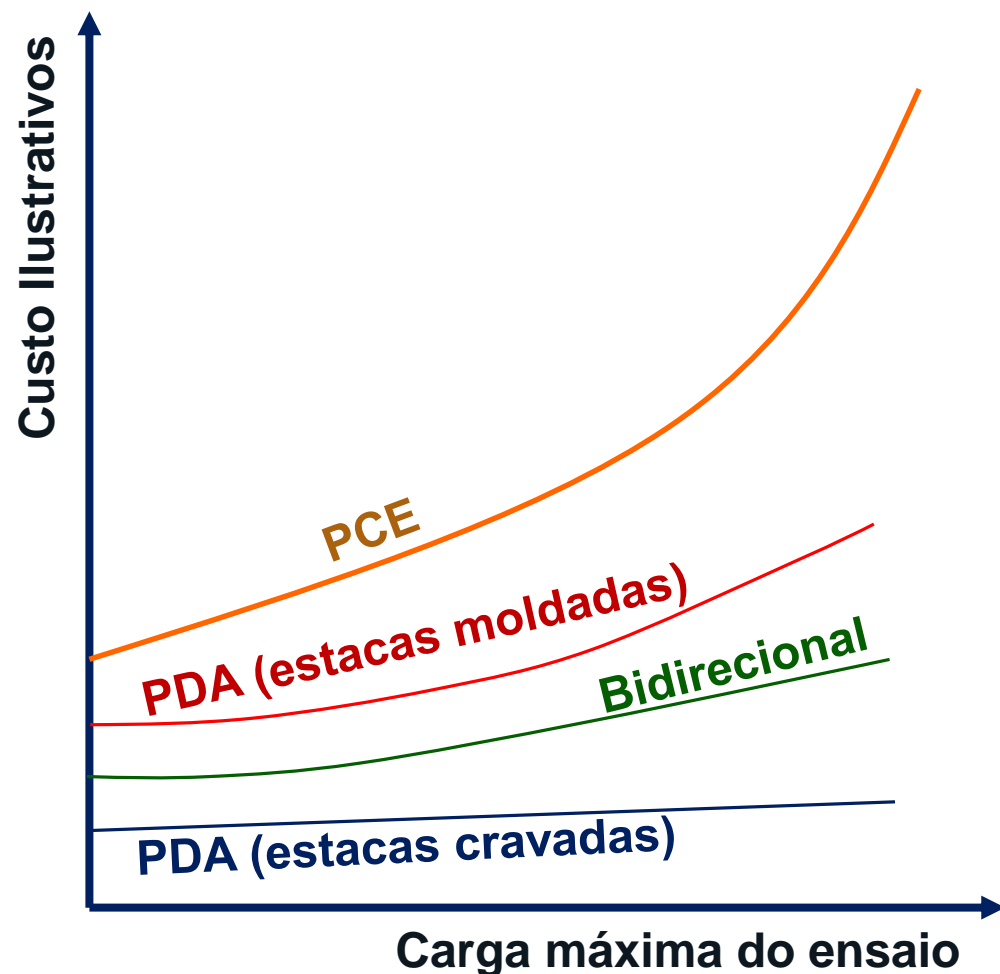


Medidas de Recalque durante subida da obra

Controle de recalque bem executado é prova de carga em V.G.

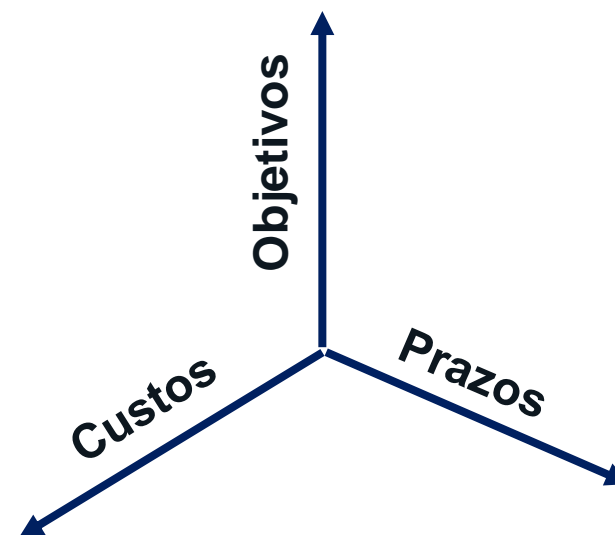


Análise genérica de custos entre ensaios PDA e PCE



Aspectos a considerar além do custo direto

- Prazos de Execução
- Interferências na obra
- Atendem aos objetivos e às necessidades?



Custos Estimativos – Caso Hipotético

Ensaio de estaca Hélice Contínua com carga de trabalho de **100 tf**, em São Paulo

Prova de Carga Estática

Num único ponto:

1. Ensaio R\$ 15.000,00 a R\$ 20.000,00

2. Sistema de Reação*.. R\$ 25.000,00 a R\$ 40.000,00

Custo Total R\$ 40.000,00 a R\$ 60.000,00

* Com trado helicoidal (muitas vezes, a obra pode dispor de outras formas de montar o sistema de reação com estacas de reação, o que pode minimizar este custo)

Bidirecional

1. Ensaio R\$ 23.000,00

Ensaio de Carregamento Dinâmico

Uma diária considerando 5 ensaios:

1. Diária de equipe de PDA..... R\$ 4.000,00

2. Mobilização..... R\$ 1.200,00

3. Análises Capwap (R\$ 1.200,00 x 5).. R\$ 6.000,00

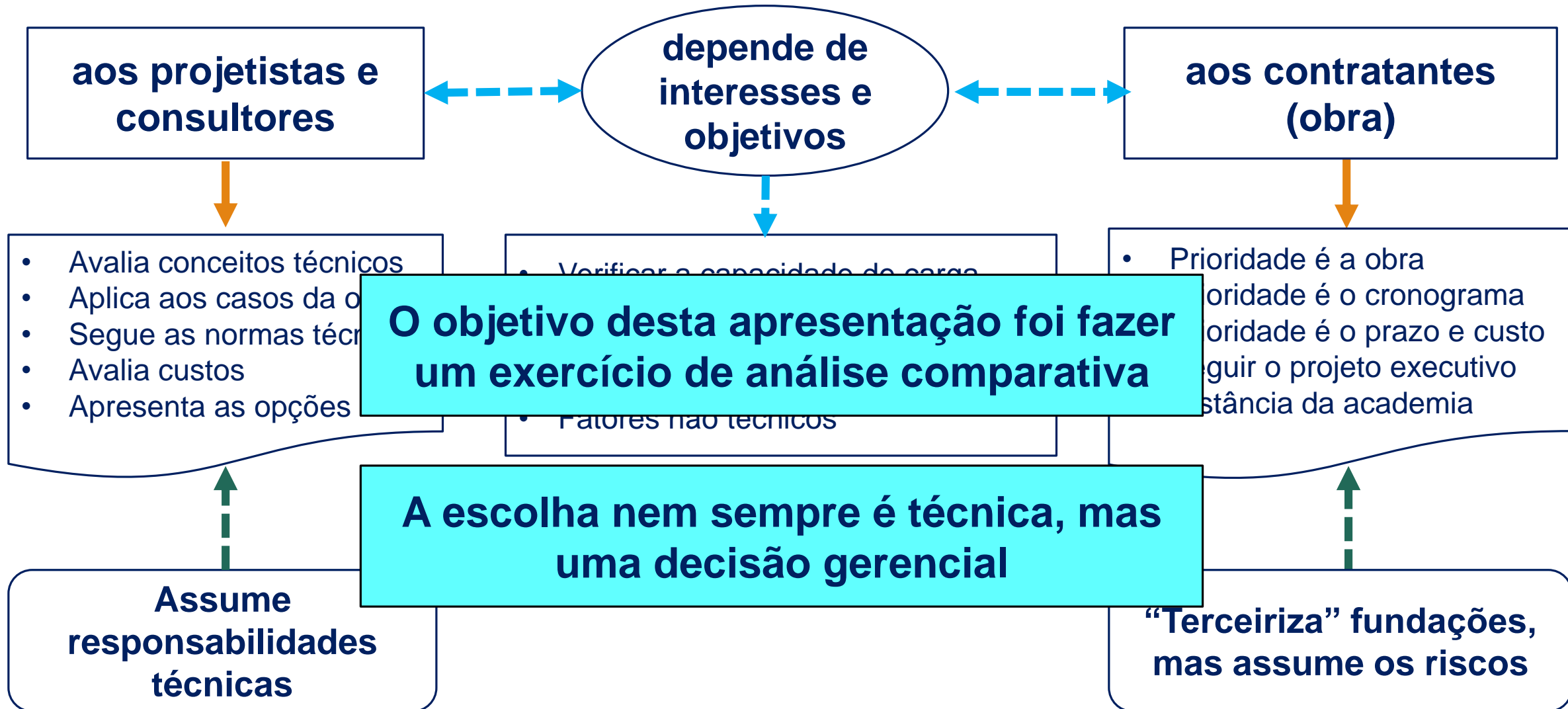
4. Relatório R\$ 2.000,00

5. Locação de “Martelo”* R\$ 15.000,00

Custo Total R\$ 28.200,00

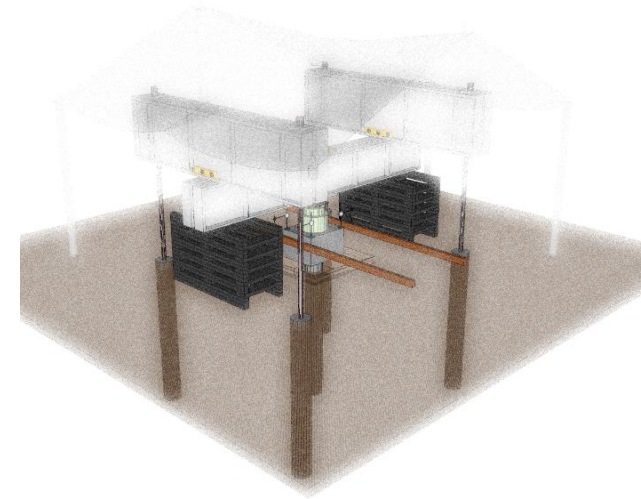
* No caso de estacas cravadas não há esse custo.

É uma questão que se coloca:





FIM



**Agradecimentos à Comissão Organizadora
e aos participantes**



SIMPÓSIO DE PC, BIDIRECIONAL E PDA + CAMPO DE TESTES IE – 12 DE AGOSTO DE 2025 – SÃO PAULO

9h às 9h30 – Evolução das PC

Palestrante: **Urbano Alonso** – Engenheiro, consultor e ex-professor

9h30 às 10h – Montagem e dimensionamento da PC

Palestrante: **Dirney Cury** – Engenheiro na G2 Base

10h às 10h30 – Curva Carga x Recalque

Palestrante: **David de Carvalho** – Professor da UNICAMP

10h30 às 10h40 – Mesa Redonda

Moderação: **Arthur T. Askinis** – Coordenador da Divisão Técnica de Geotecnia do IE

10h40 às 10h50 – Coffee Break

Bloco Célula Expansiva

10h50 às 11h20 – Apresentação do ensaio

Palestrante: **Alysson Resende** – Engenheiro Civil na Arcos Engenharia de Solos

11h20 às 11h50 – Casos de obra

Palestrante: **Celso Corrêa** – Engenheiro na ZF Engenheiros Associados

11h50 às 12h – Mesa Redonda

Moderação: **Roberto Kochen** – Diretor da Geocompany

Almoço

Bloco PDA

13h às 13h30 – Ensaio PDA

Palestrante: Sergio Valverde – Diretor da PDI Engenharia

13h30 às 14h – Como e quando contratar ensaio PDA e PCE

Palestrante: Sussumu Niyama – Diretor da TECNUM Construtora

14h às 14h15 – Mesa redonda

Moderação: **Tiago Souza** – Engenheiro na Solotechnique

9h às 9h30 – Evolução das PC

Bloco Concurso de Prova de Carga

14h15 às 14h30 – Abertura do Concurso de Prova de Carga

Moderador: Eng. Arthur Askinis

14h30 às 14h45 – Ensaio SPT com medida do torque

Palestrante: **Artur Quaresma** – Sócio da Engesolos

14h45 às 15h – Ensaio SCPTu e SDMT

Palestrante: **Antonio Penna** – Diretor da Damasco Penna

15h às 15h15 – Ensaio Cross Hole

Palestrante: **Otávio Gandolfo** – Geofísico no IPT

15h15 às 15h30 – Armadura – Barra Rocsolo

Palestrante: Eng. **Cassio Moura**

15h30 às 15h45 – Estaca raiz

Palestrante: **Marcio Santos** – CEO da FundSolo

15h45 às 16h – Montagem PCE

Palestrante: **Tiago Rodriguez** – Diretor da GeoProva

16h às 16h30 – Visita ao campo de prova e sistema da PC (SOMENTE PRESENCIAL!)

16h30 às 16h45 – Coffee Break

16h45 às 18h – Interpretação dos resultados do concurso

Palestrante: **Luciano Décourt** – Diretor da Luciano Décourt Consultoria

18h às 18h20 – Mesa Redonda

Participantes: **Luciano Décourt, David de Carvalho, Arthur Askinis e Roberto Kochen**

18h20 às 18h30 – Premiação com anúncio do 1º e 2º lugar

Palestrante: David de Carvalho – Professor da UNICAMP