

GEOPROVA

Simpósio de prova de carga e ensaios dinâmicos.

Palestra 2: Instrumentação na PCE

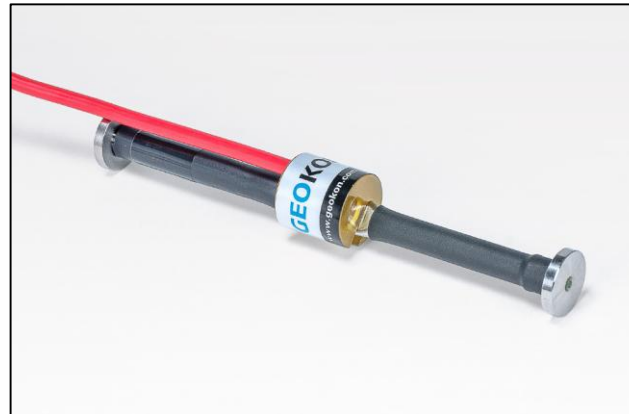
Eng. Tiago G. Rodriguez

12/08/2025

Instrumentação de PCE

Diversos tipos de instrumentação

- Telltales
- Extensômetro removível
- Inclínômetro (transversal)
- Extensômetros :
 - elétricos resistivos (*strain gages*)
 - Corda vibrante
 - Fibra ótica



Tipos de “sensores”

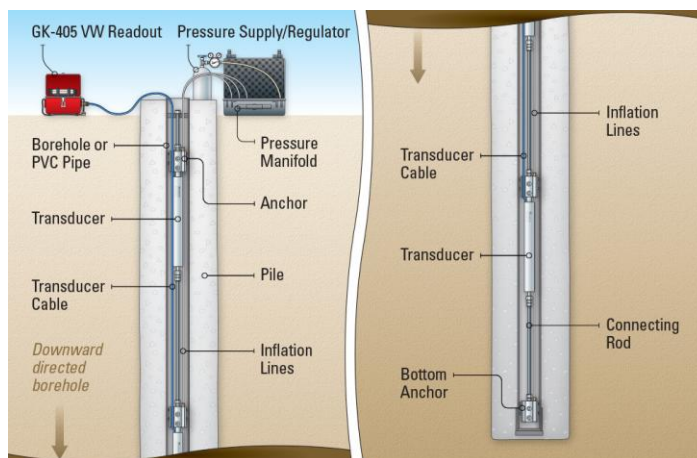
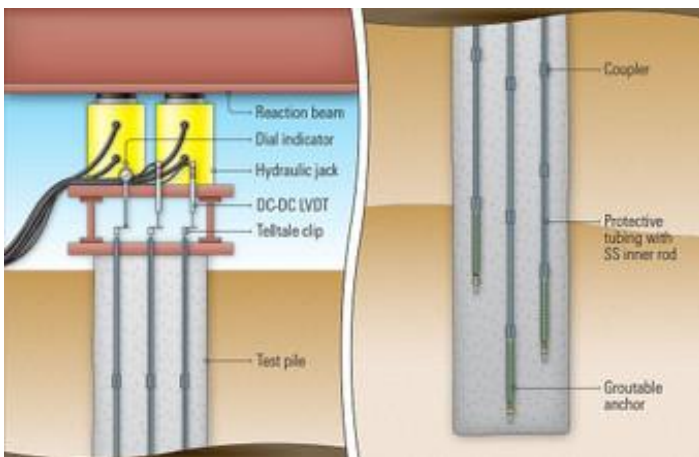
Telltale



Extensômetros Removíveis

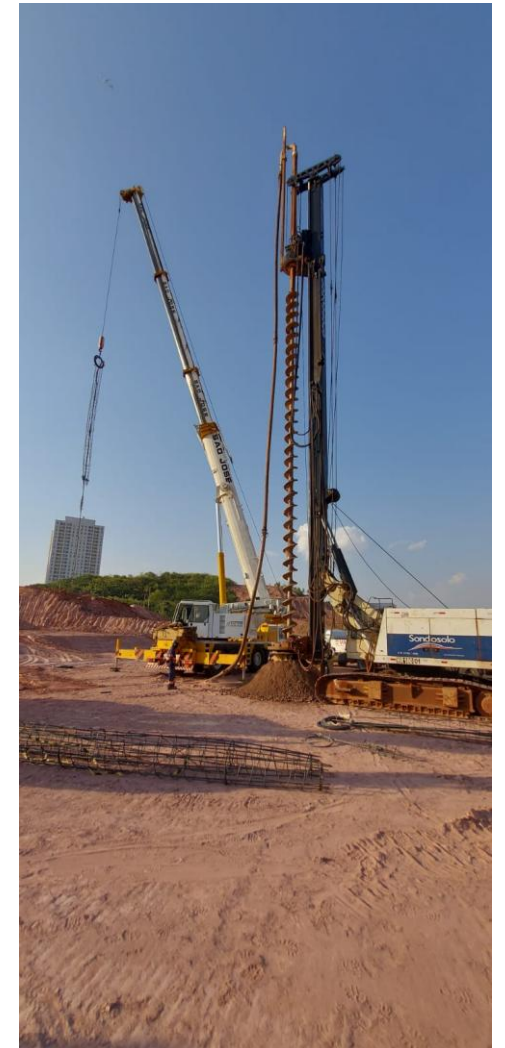


inclinômetro de torpedo

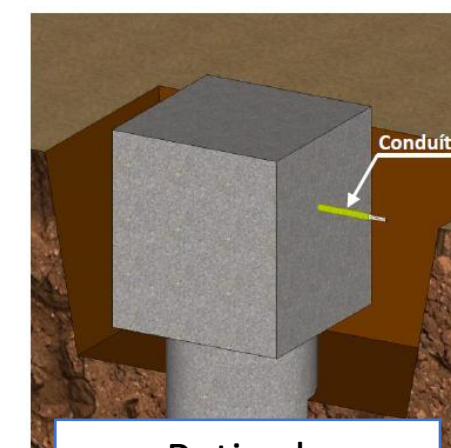
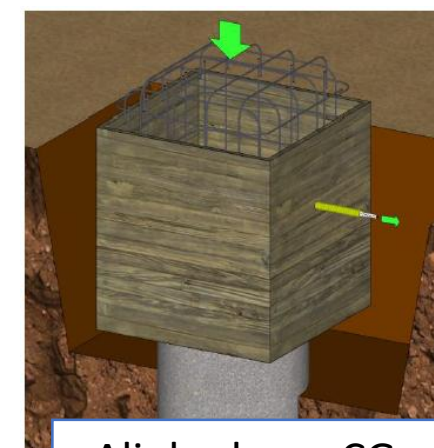
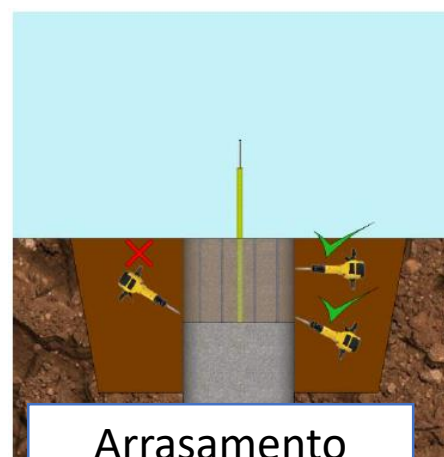
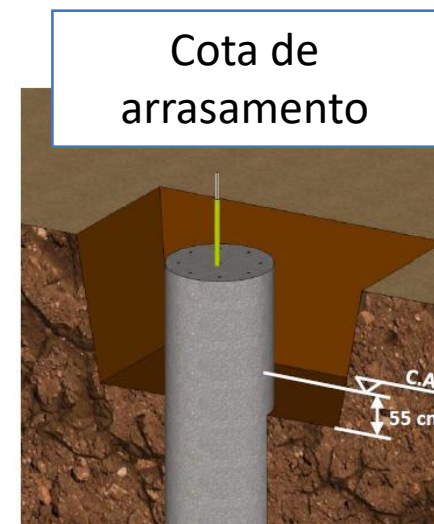
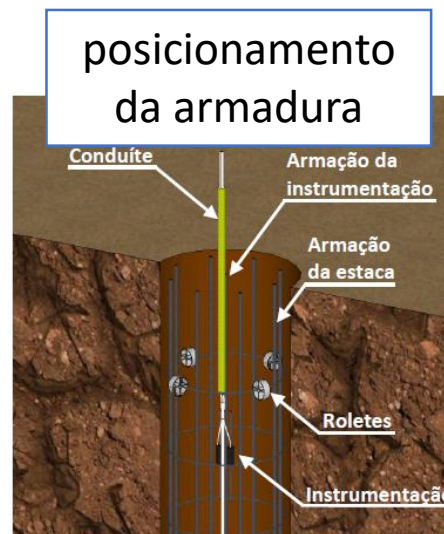
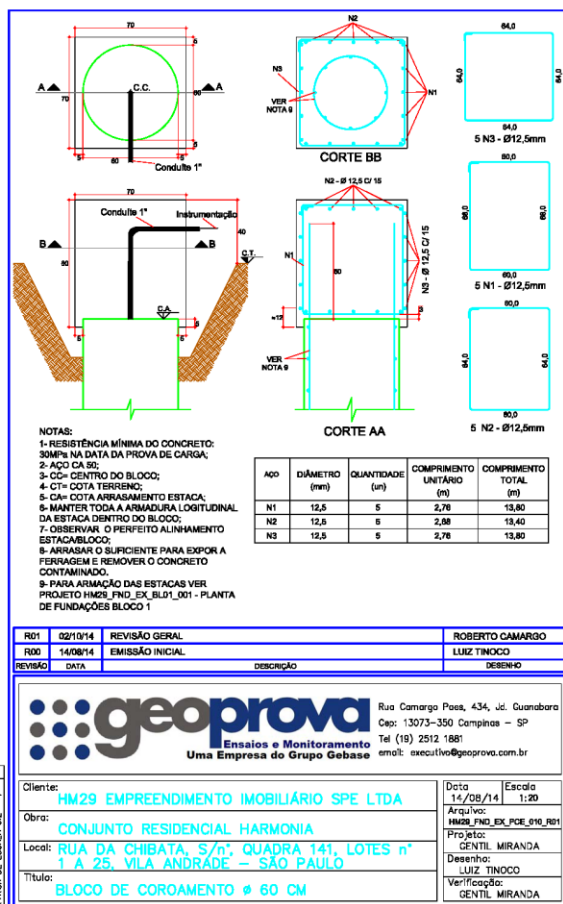


Na prática: strain-gauge

GEOPROVA



Cuidados adicionais - bloco



Cuidados adicionais



Isolamento/proteção



Arrasamento / CG



Cota de arrasamento



Proteção dos cabos

Valores e medidas

Os strain gages medem deformação:

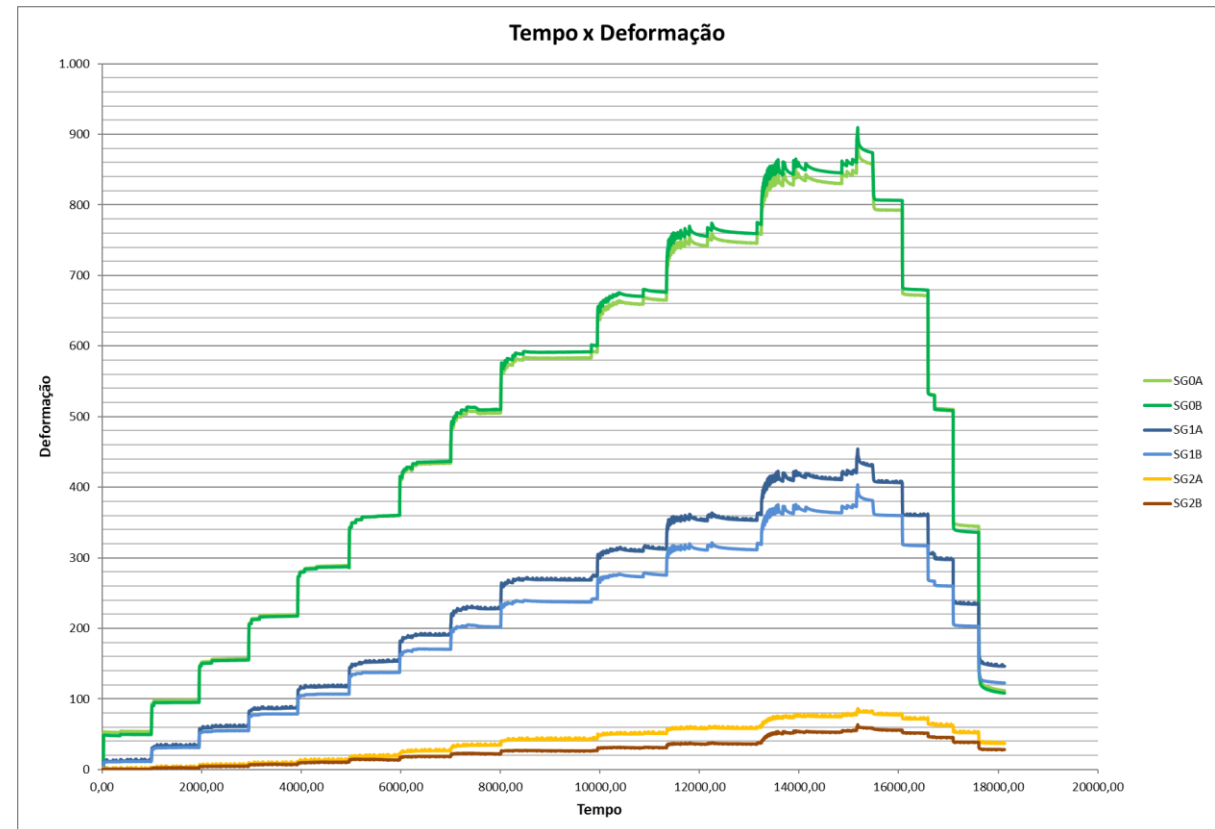
$$Q = \varepsilon \cdot E \cdot A$$

Q = força

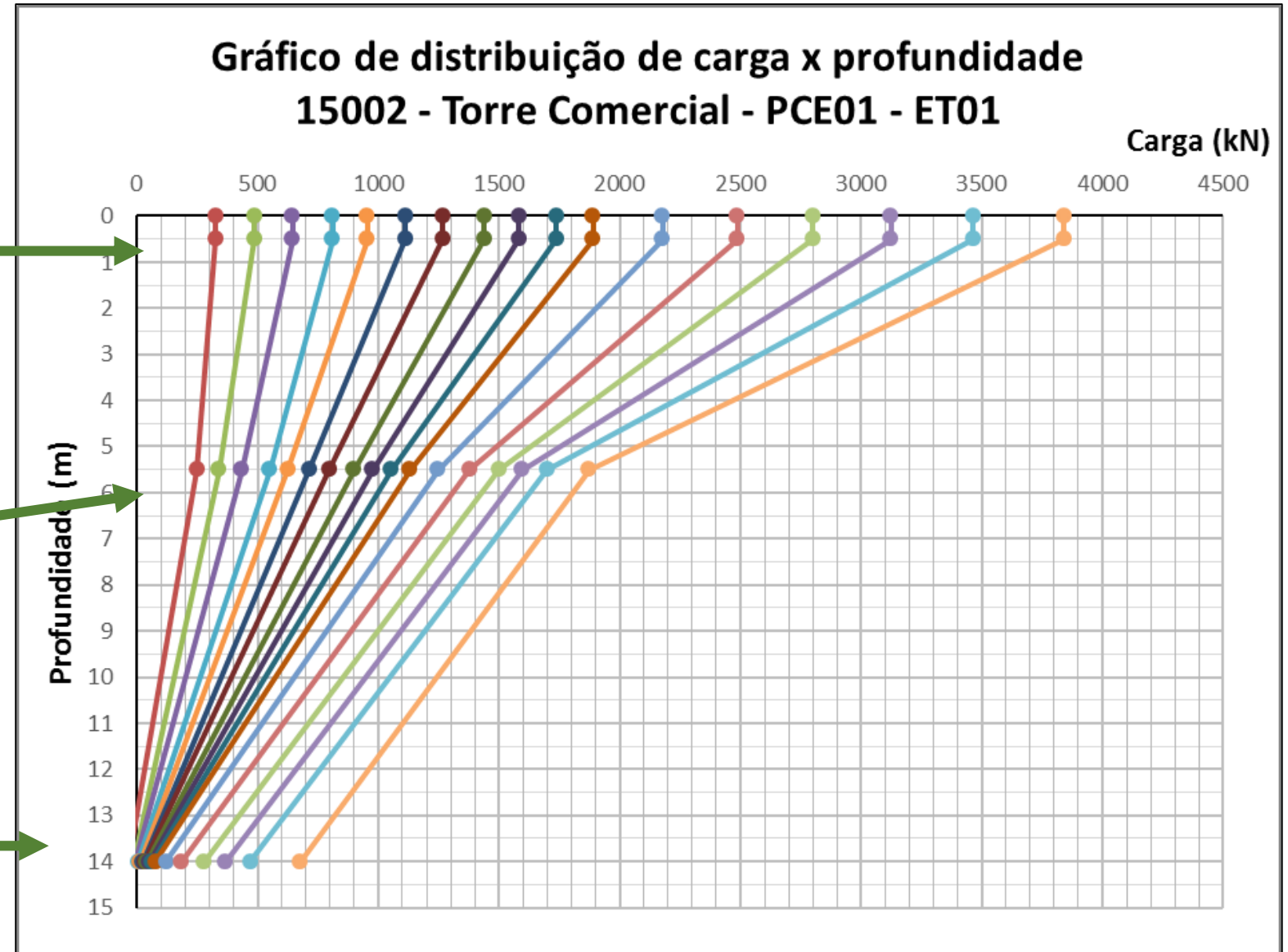
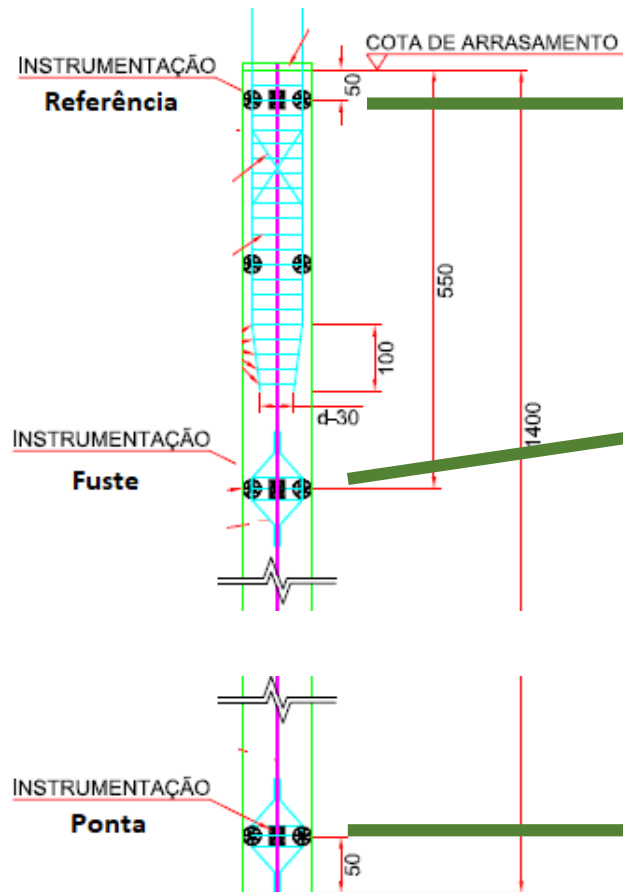
ε = deformação

E = módulo de elasticidade do concreto

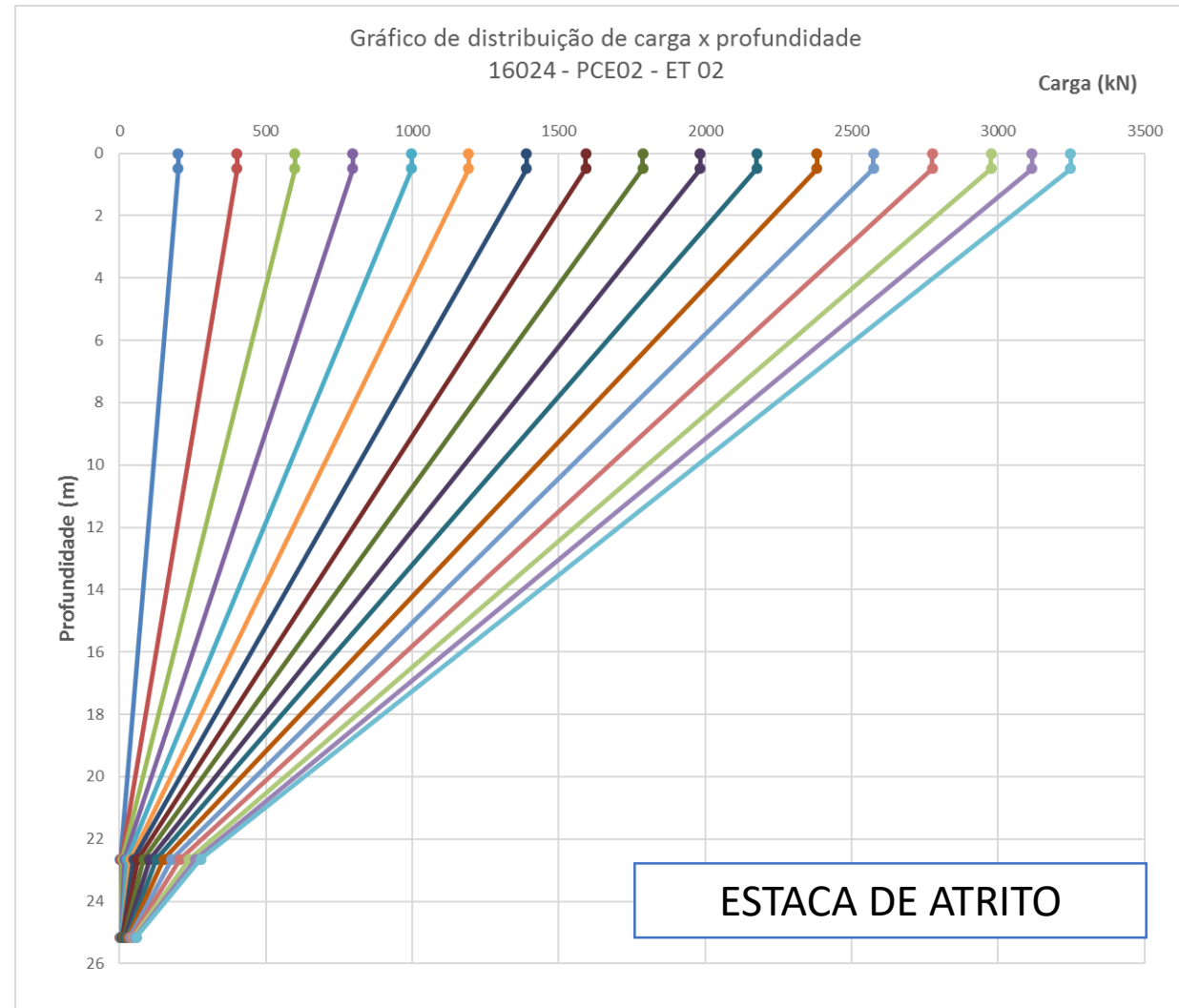
A = área da seção transversal da estaca



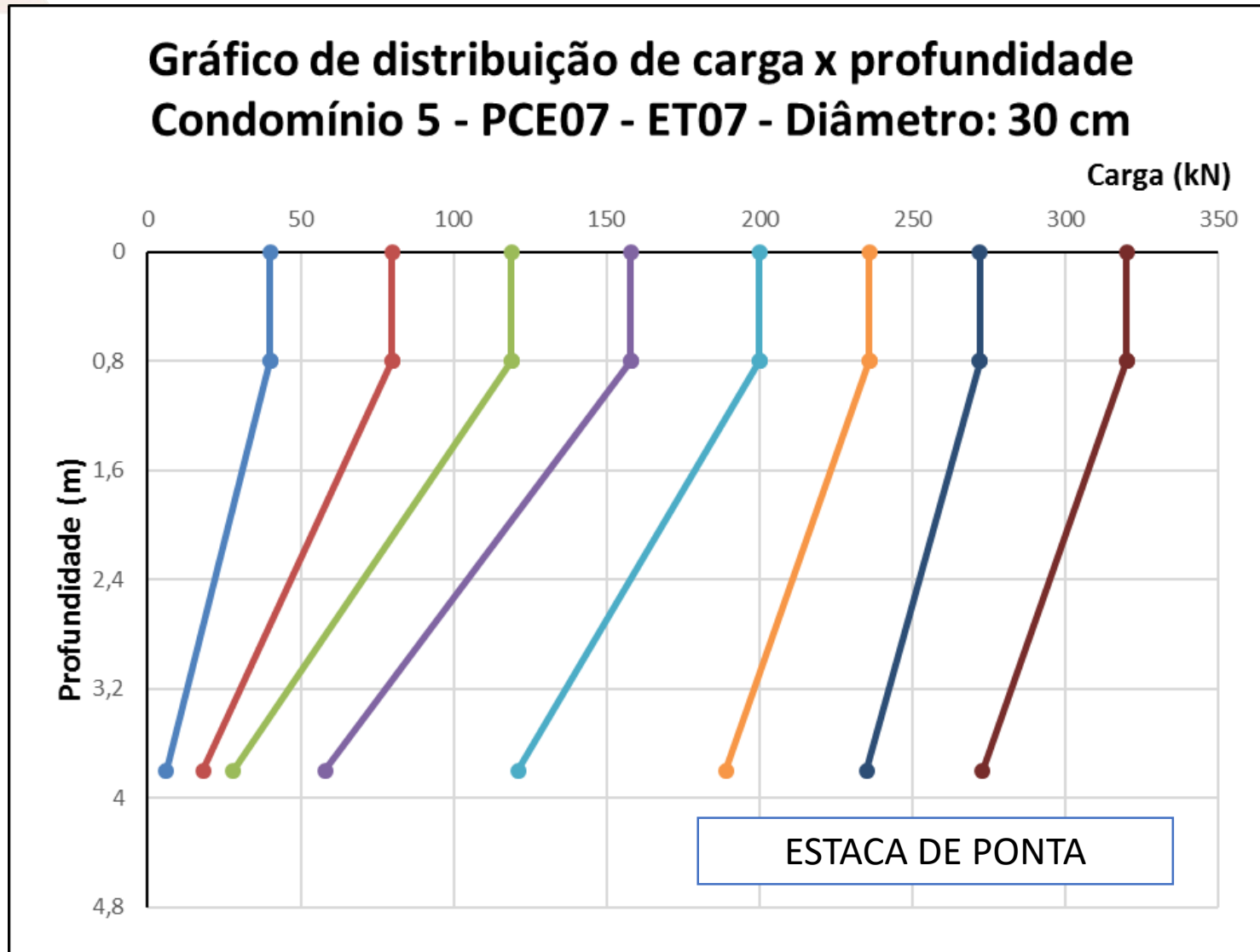
Curva de distribuição de carga



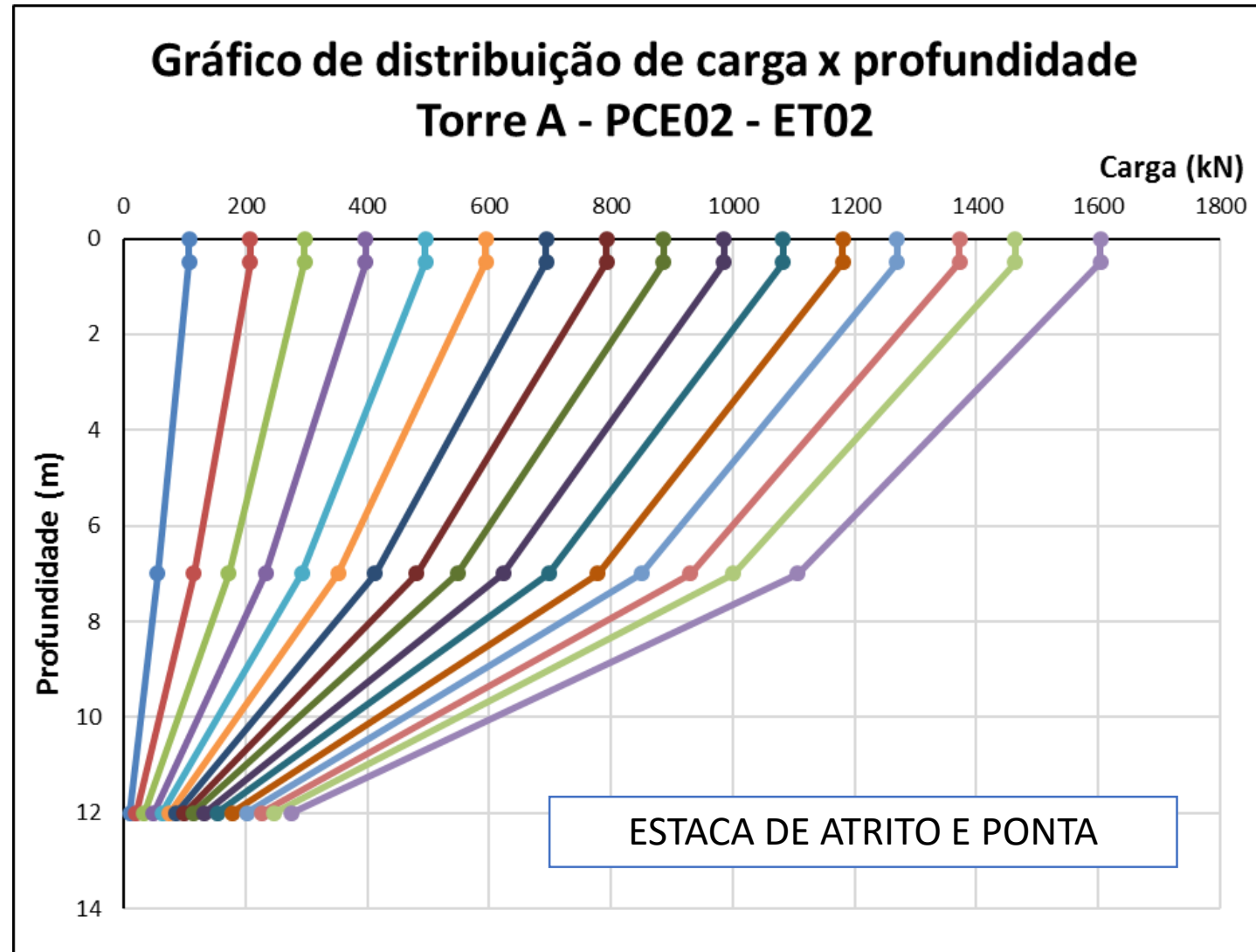
Curva de distribuição de carga



Curva de distribuição de carga

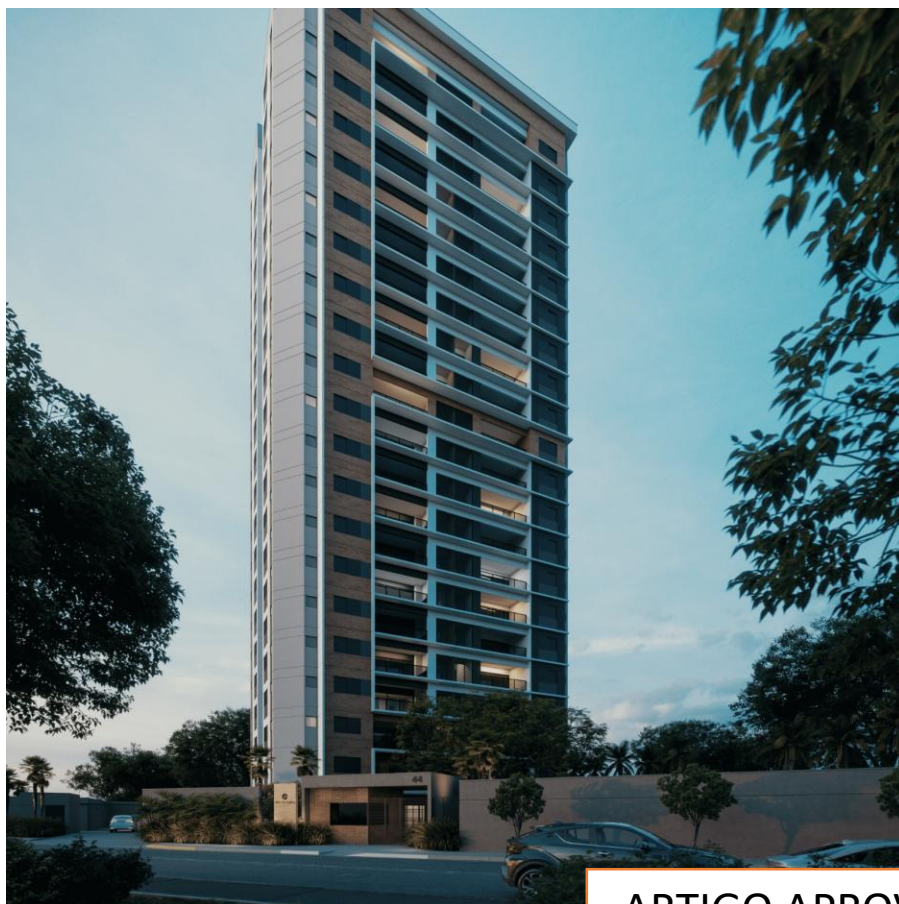


Curva de distribuição de carga



Caso de obra 1

Ajustando os modelos de carga



Ed. Residencial
Local: Americana/SP

1 Torre de 20 andares + Periferia
80 unidades

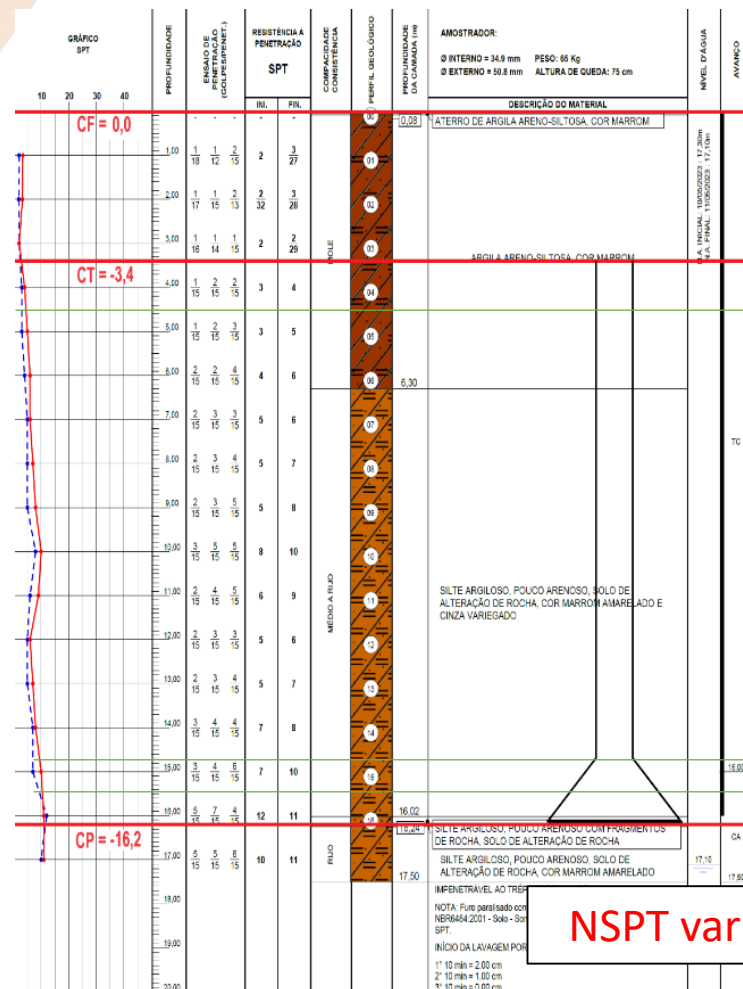
Solução de fundação:
Estacas e Tubulões

Proj. Fund.
Kaiz Eng.

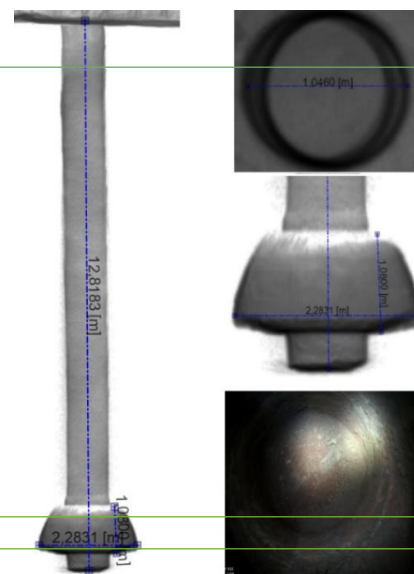
ARTIGO APROVADO – SEFE 11

Interpretação – case 1

Perfil Geotécnico



Tubulão Mecanizado
 $d = 0,9 \text{ m}$
 $D = 2,30 \text{ m}$
 $H_b = 1,10 \text{ m}$
 Cota da base: $-12,80 \text{ m}$

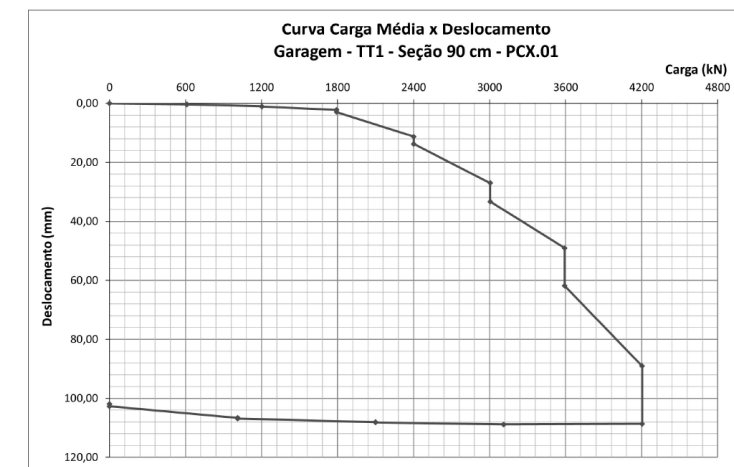


$N_0 = -1,8 \text{ m}$

$N_1 = -11,2 \text{ m}$

$N_2 = -12,4 \text{ m}$

1 PCE com 20 reações
 no sistema SAP



Interpretação

Estágio de carga - período	Carga [kN]	SG médio Nível 0 [μm/m]	E sec Nível 0 [GPa]
01-030	613,3	30,9	31,19
02-030	1210,0	64,4	29,53
03-030	1908,6	101,6	29,53
04-030	2321,6	129,8	28,11
05-030	2869,3	165,7	27,22
06-030	3496,6	205,8	26,71
07-030	4147,1	247,4	26,35

Q = força

ε = deformação

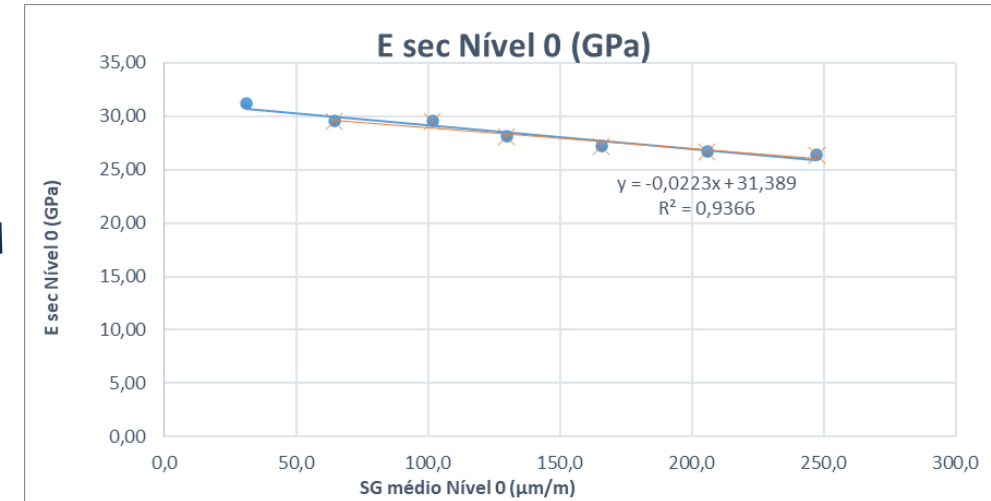
E = módulo de elasticidade do concreto

A = área da seção transversal da estaca

$$E_{sec} = \frac{Q}{\varepsilon \cdot A}$$

Atrito lateral 1 [kN]	Atrito lateral 2 [kN]	“Ponta” (atrito + ponta) [kN]
564,1	43,9	5,4
1087,9	86,7	35,5
1657,0	148,0	103,6
1478,5	462,1	381,0
1516,3	741,0	612,1
1791,9	815,6	889,1
1970,6	936,8	1239,7

SG médio Nível 1 [μm/m]	SG médio Nível 2 [μm/m]	Estágio de carga - período	E sec Nível 0 [GPa]	E sec Nível 1 [GPa]	E sec Nível 2 [GPa]
2,5	0,3	01-030	31,19	31,33	31,38
6,1	1,8	02-030	29,53	31,25	31,35
12,7	5,2	03-030	29,53	31,11	31,27
43,6	19,3	04-030	28,11	30,42	30,96
71,4	31,3	05-030	27,22	29,80	30,69
91,3	46,0	06-030	26,71	29,35	30,36
119,1	65,1	07-030	26,35	28,73	29,94

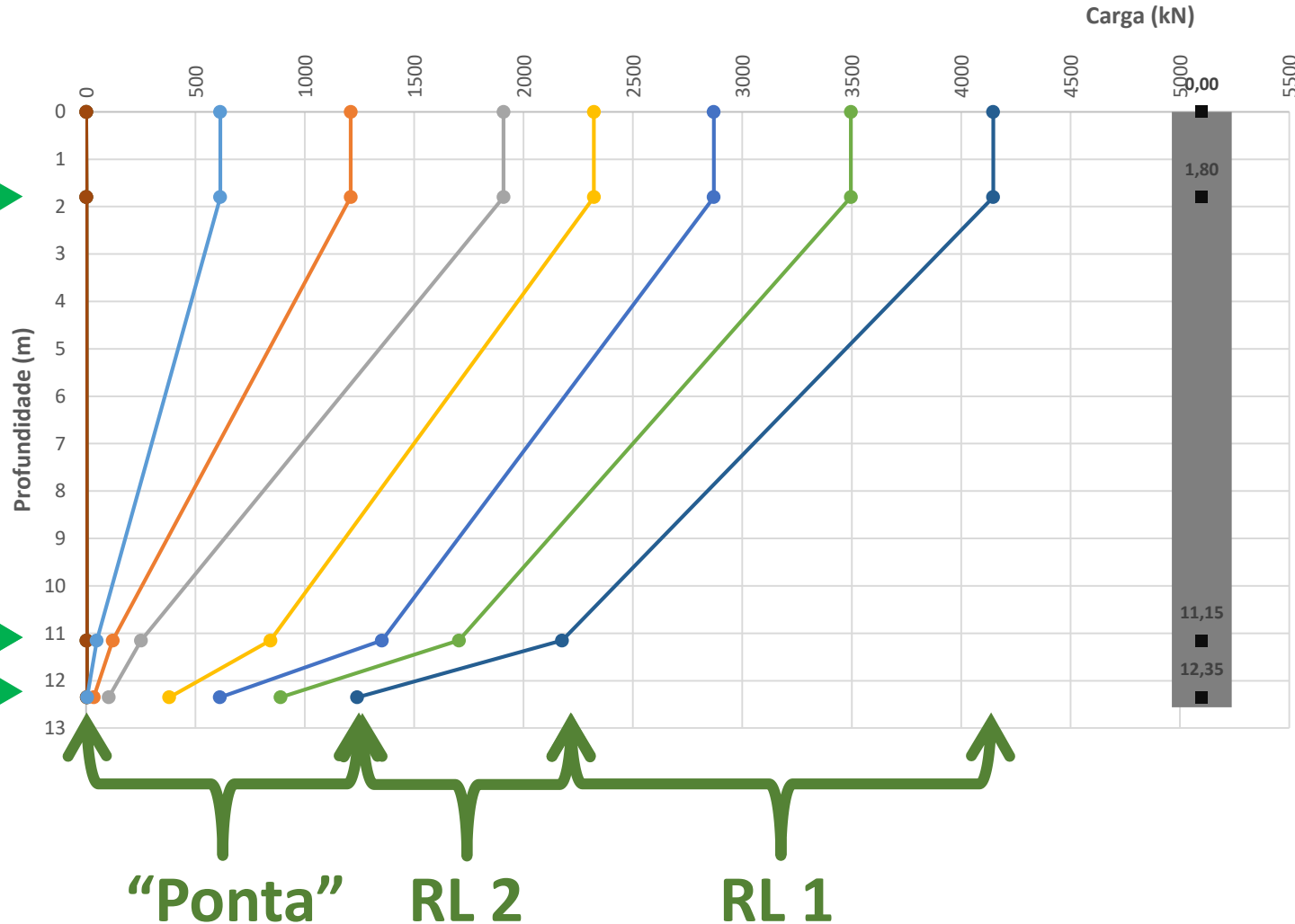


$$E_{sec} = -0,2229 \cdot \varepsilon + 31,3892$$

Gráfico de distribuição de força x profundida

GEOPROVA

Gráfico de distribuição de carga x profundidade



Estágio de carga - período	Tensão na base [kgf/cm²]
01-030	0,14
02-030	0,27
03-030	0,47
04-030	1,46
05-030	2,34
06-030	2,58
07-030	2,96

**A INSTRUMENTAÇÃO
POSSIBILITOU AO PROJETISTA A
AFERIÇÃO DOS CÁLCULOS DE
ATRITO LATERAL NO FUSTE E
TENSÃO ADMISSÍVEL NA BASE
DO TUBULÃO!**

Caso de obra 2

Ajustando o modelo de recalques



Cond. Misto Residencial / Comercial
Local: Itatiba/SP

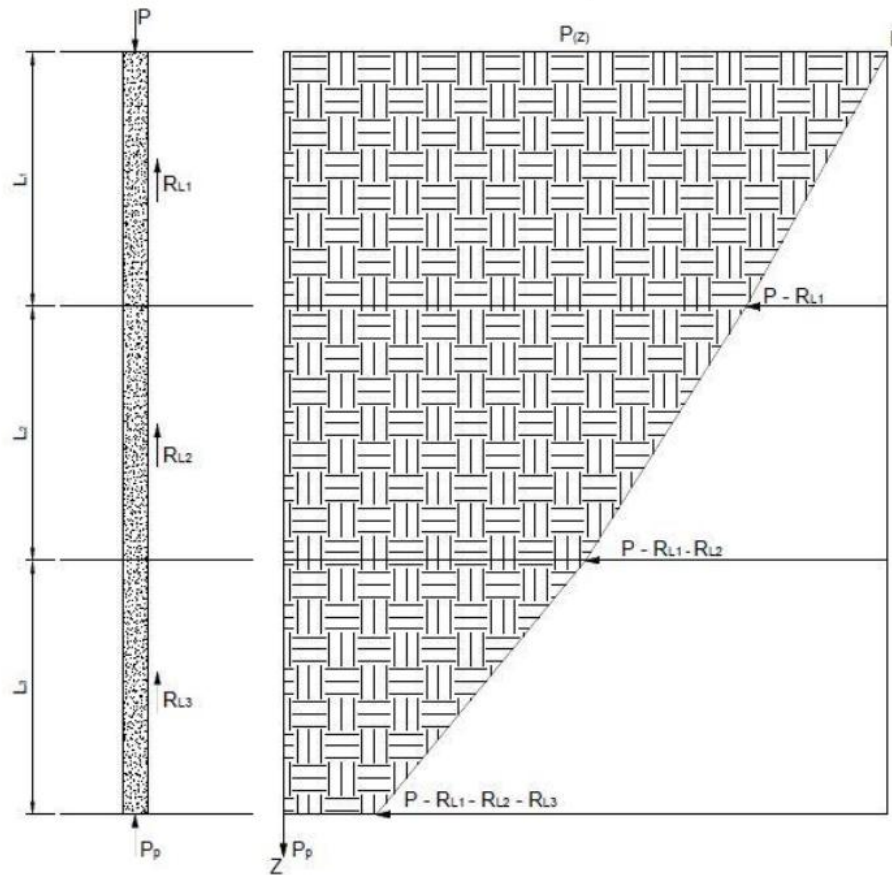
4 Torres de 15 andares + Sobresolo
180 unidades habitacionais + 15
lajes corporativas

Solução de fundação:
Estaca hélice contínua monitorada

Proj. Fund.
Gibase

Interpretação – case 2

- Cálculo de recalques em estacas
 - Encurtamento elástico do fuste



$$P_i = P - \frac{R_{Li}}{2}$$

Sendo:

P_i = esforço normal médio da camada “i”

P = carga aplicada na estaca;

i = número da camada.

$$\rho_e = \frac{1}{A * E_c} * \Sigma(P_i * L_i)$$

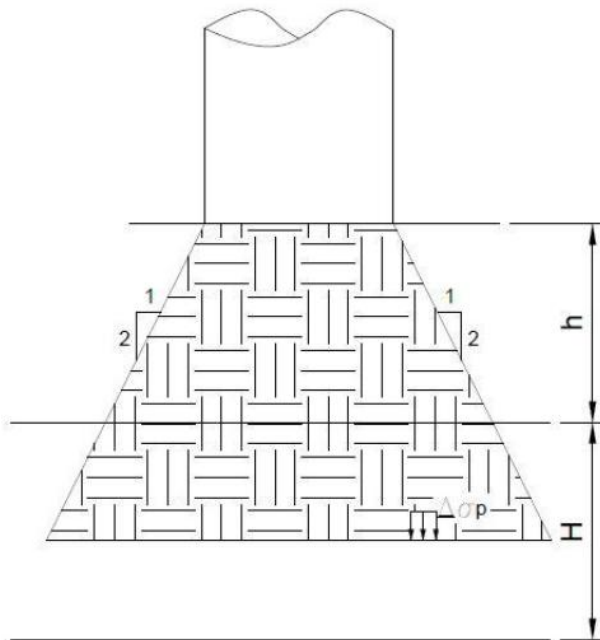
Em que:

A = área da seção transversal do fuste da estaca;

E_c = módulo de deformabilidade do concreto

Interpretação – case 2

- Cálculo de recalques em estacas
 - Recalque do solo abaixo da ponta da estaca (camadas compressíveis)



Recalque gerado pela
carga de ponta da estaca

$$\Delta\sigma_p = \frac{4P_p}{\pi(D + h + \frac{H}{2})^2}$$

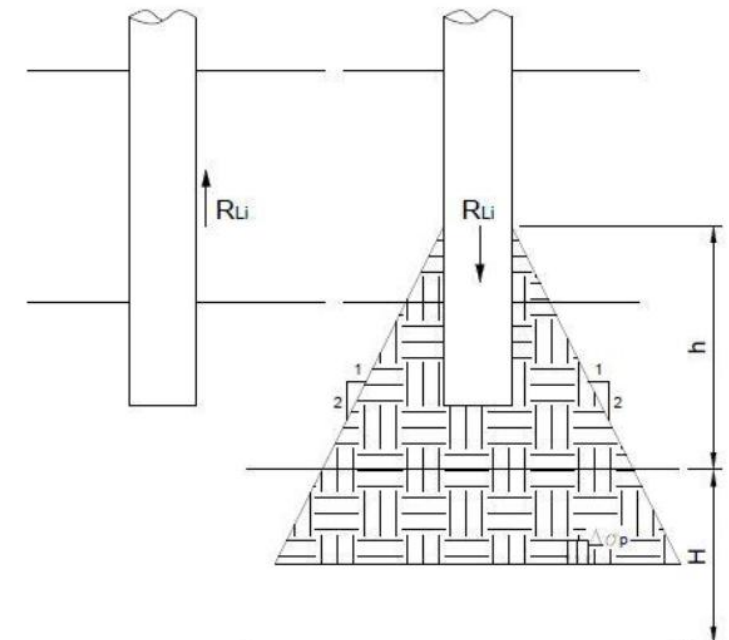
$\Delta\sigma_p$ = acréscimo de tensões

D = diâmetro da base da estaca

$$\Delta\sigma_i = \frac{4R_{Li}}{\pi(D + h + \frac{H}{2})^2}$$

$\Delta\sigma_i$ = acréscimo de tensões

D = diâmetro do fuste da estaca



Recalque gerado pelo
atrito lateral da estaca

Interpretação – case 2

- Cálculo de recalques em estacas
 - Recalque do solo abaixo da ponta da estaca (camadas compressíveis)

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_p + \Sigma\Delta\sigma_i$$

Para o valor de E_0 , Aoki (1984) propõe a seguinte utilização:

$E_0 = 6 \cdot K \cdot N_{SPT}$; para estacas cravadas

$E_0 = 4 \cdot K \cdot N_{SPT}$; para estacas hélice contínua

$E_0 = 3 \cdot K \cdot N_{SPT}$; para estacas escavadas

SOLO	K (MPa)
Areia	1,00
Areia siltosa	0,80
Areia siltoargilosa	0,70
Areia argilosa	0,60
Areia argilosiltosa	0,50
Silte	0,40
Silte arenoso	0,55
Silte arenoargiloso	0,45
Silte argiloso	0,23
Silte argiloarenoso	0,25
Argila	0,20
Argila arenosa	0,35
Argila arenossiltosa	0,30
Argila siltosa	0,22
Argila siltoarenosa	0,33

$$E_s = E_0 * \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right)^n$$

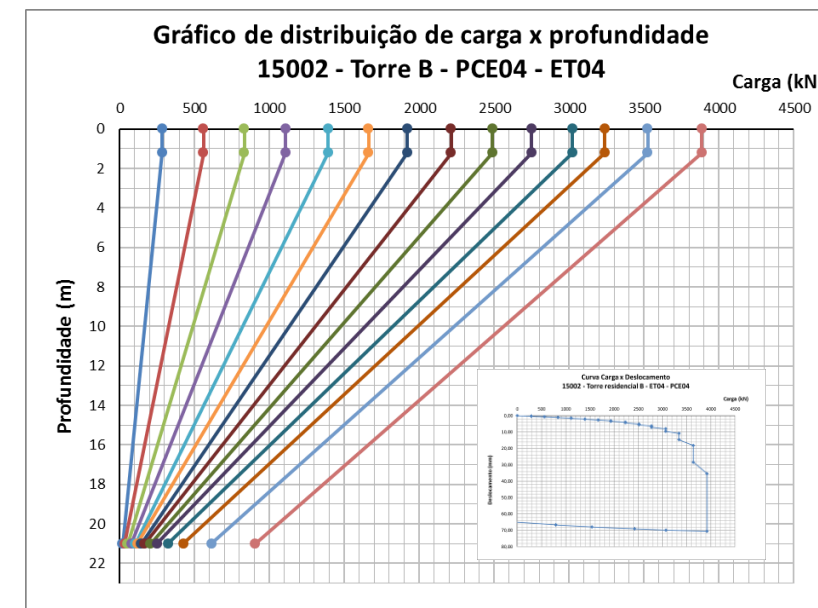
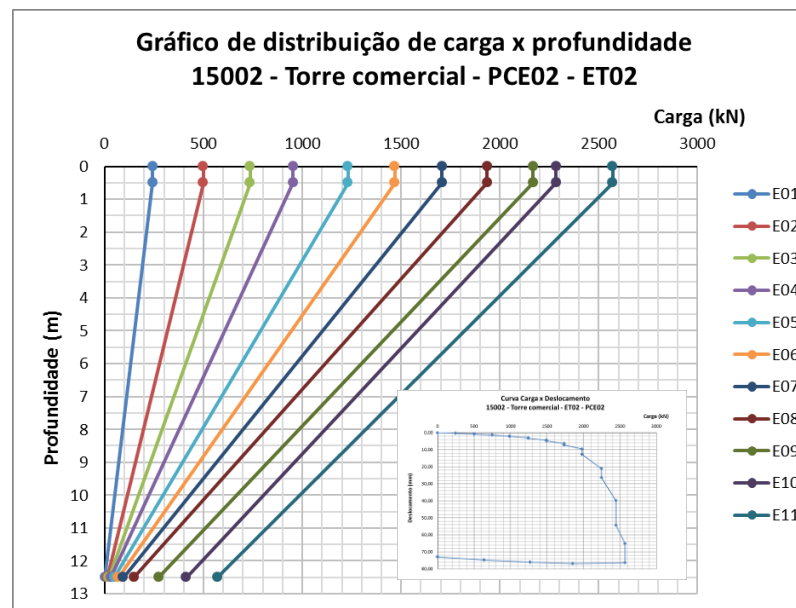
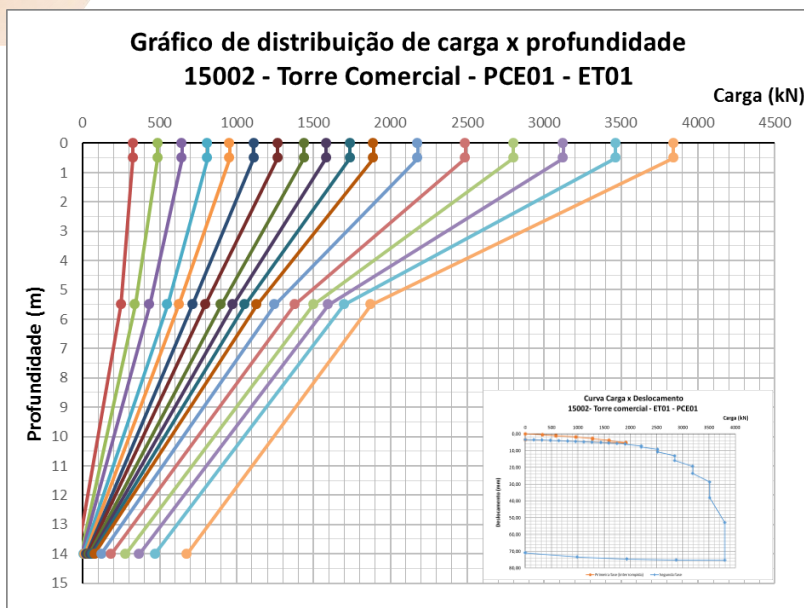
$$\rho_s = \Sigma \left(\frac{\Delta\sigma}{E_s} * H \right)$$

- Recalque total

$$\rho_{tot} = \rho_e + \rho_s$$

Interpretação – case 2

- Cálculo de recalques em estacas



No case distribuição de cargas em profundidade acima permitiu uma excelente estimativa de recalques elásticos, uma vez que o módulo do concreto foi aferido na seção de referência. Os recalques elásticos foram os dominantes no comportamento devido a estaca estar “pinada” em material competente.

Já o recalque do solo abaixo da ponta teve pouca influência, uma vez que os módulos oriundos da correlação com o N_{SPT} eram muito significativos.

Caso de obra 3

Ajuste de modelos de carga transversal



Cond. Logístico
Local: Cajamar/SP

1 galpão

Solução de fundação:
Estaca escavada a seco.

Proj. Fund.
Damasco Penna

Cases e aplicações

- Instrumentação Inclínômetro: Ajuste de modelos de carga transversal



Cases e aplicações

- Instrumentação Inclínômetro: Ajuste de modelos de carga transversal

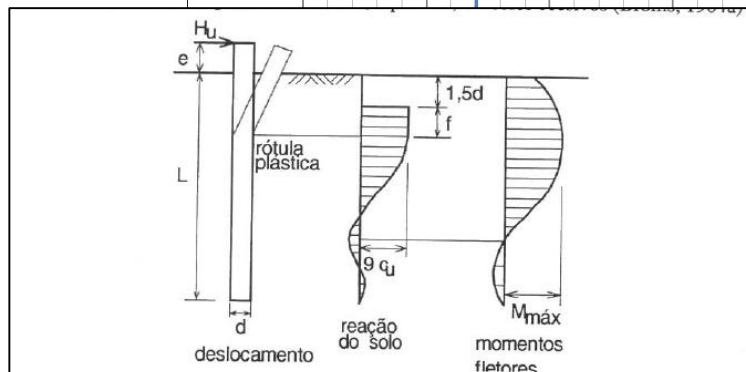
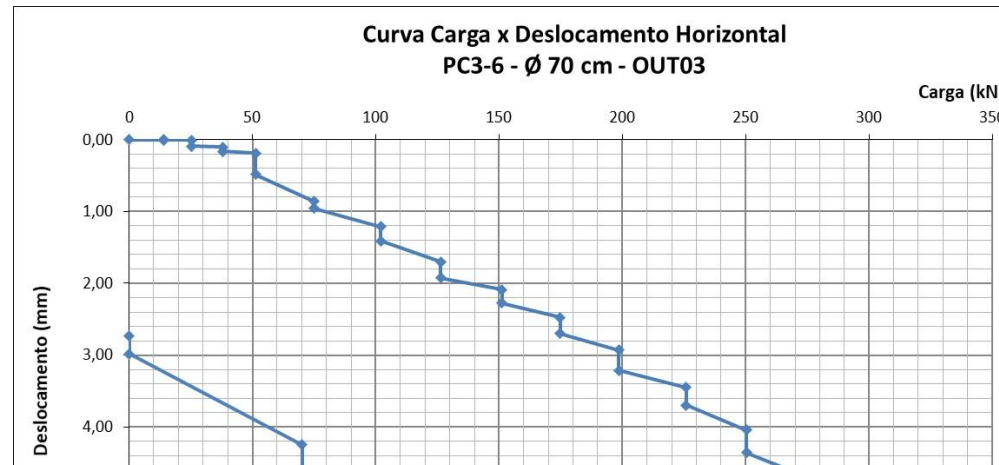
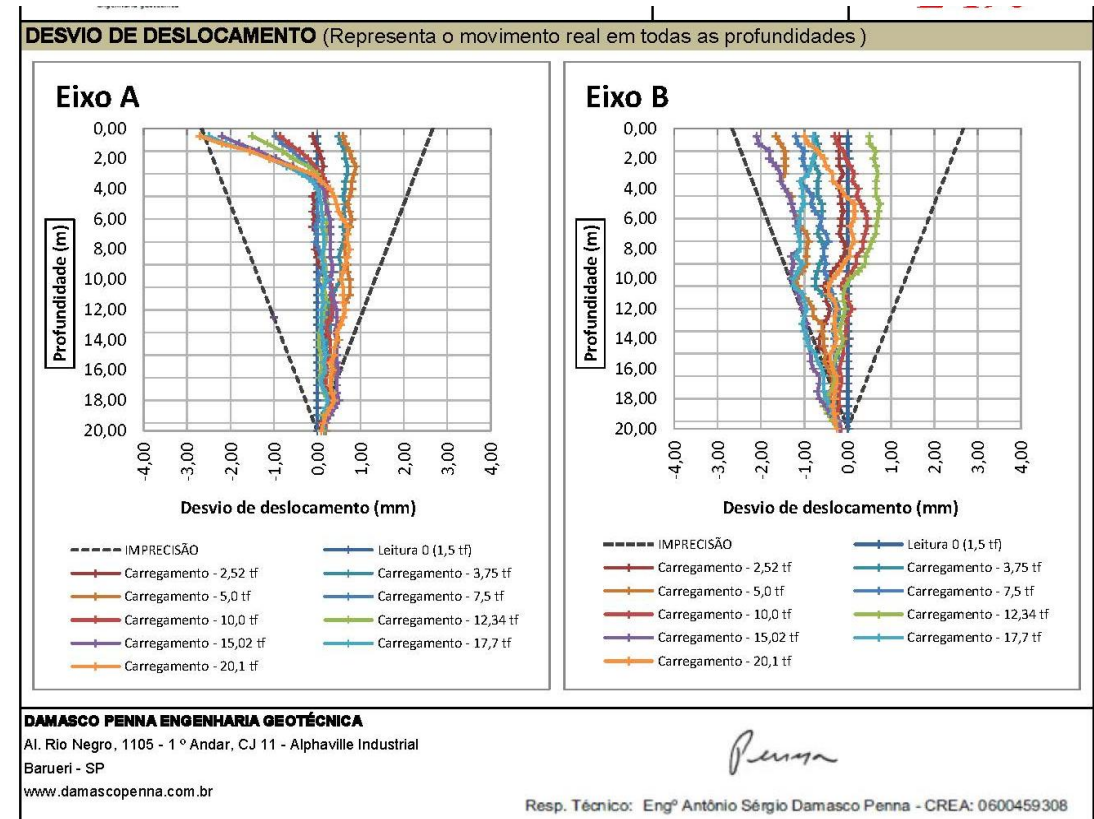


Figura 2.42 - Ruptura para estacas longas, topo livre, em solos coesivos (Broms, 1964a)



Caso de obra 4

Subsidiando a otimização



Cond. Misto Residencial
Local: São Paulo/SP
Ano: 2015

2 Torres de 15 andares
233 unidades

Solução de fundação:
Estaca hélice contínua monitorada
Projeto inicial: estaca raiz

Proj. Fund.
Gibase

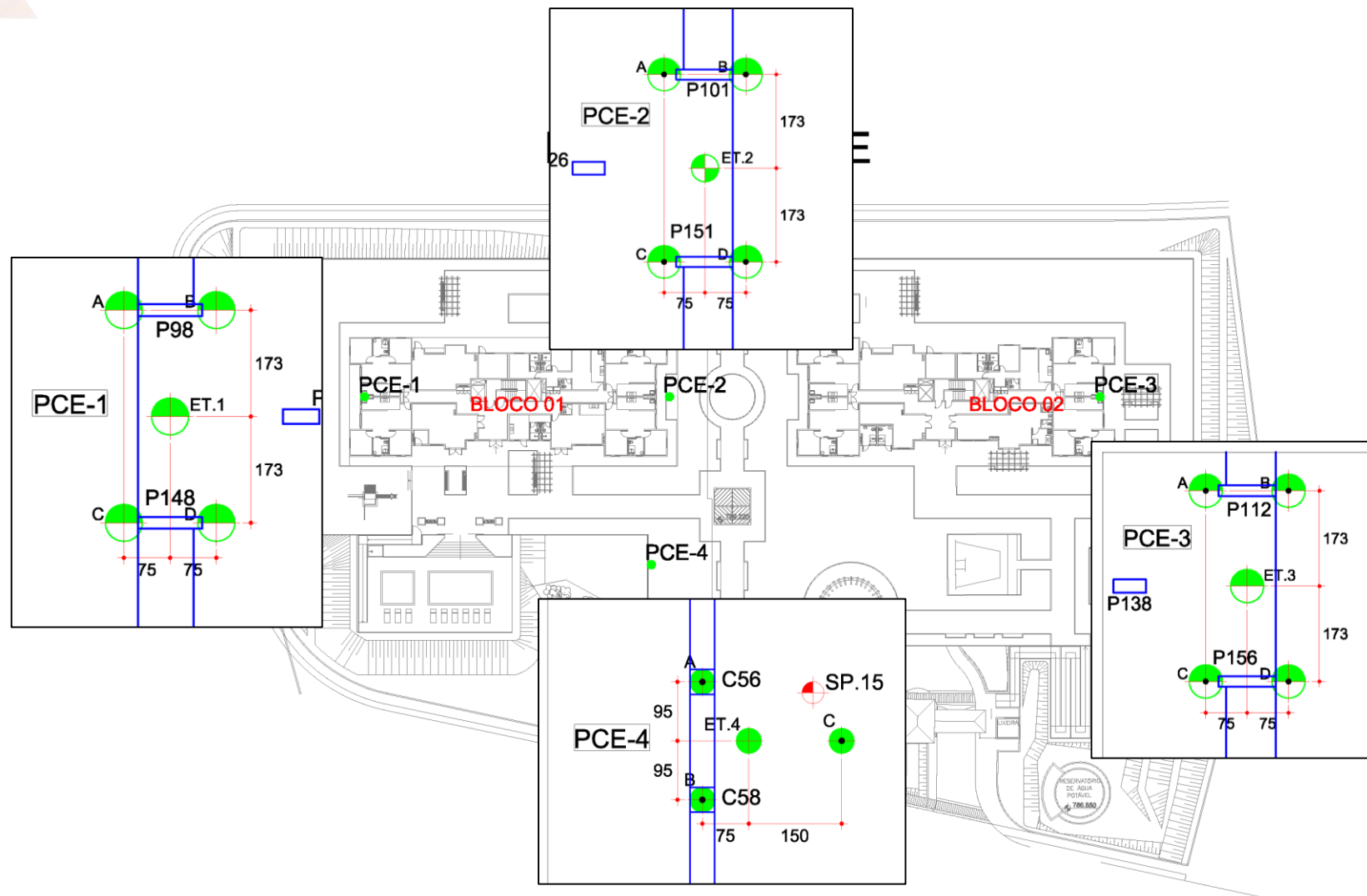
OBJETIVOS DAS PROVAS DE CARGA DE PROJETO

- Ensaiar o elemento a ser adotado nas fundações do empreendimento;
- Permitir uma avaliação do desempenho mecânico do elemento no solo do empreendimento (correlacionando com SPT);
- Obter ou chegar o mais próximo possível da carga de ruptura física do sistema estaca-solo;
- Avaliar os recalques obtidos;

PARA ATINGIR OS OBJETIVOS

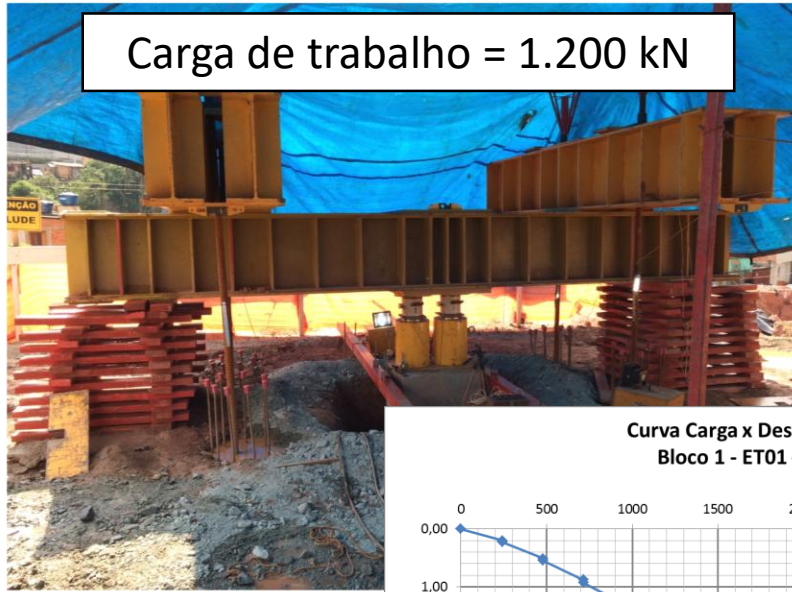
- Procurou-se atingir, ao menos, 3x a carga de trabalho (anteprojeto);
- Foram realizadas quatro provas de carga estáticas de projeto PCEP, contemplando os diâmetros de 40, 50 e 60 cm;
- Procedeu-se o carregamento através da metodologia lenta (com estabilização de deslocamentos) conforme NBR 12131/06;

PROJETOS DAS PROVAS DE CARGA

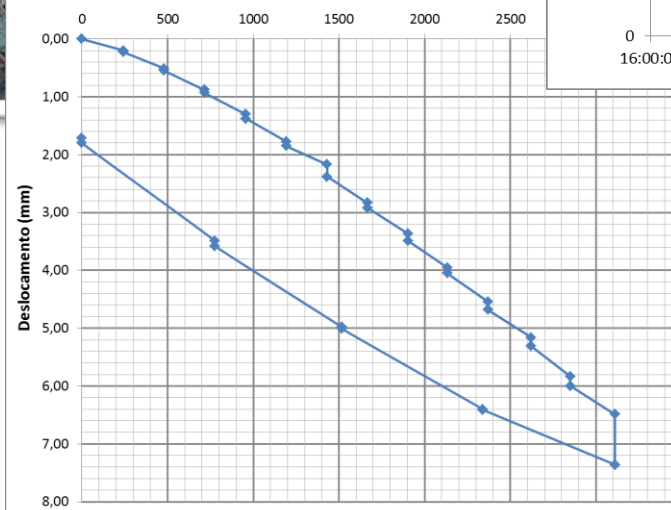


PCE-01 – BLOCO 01 – Ø60 cm

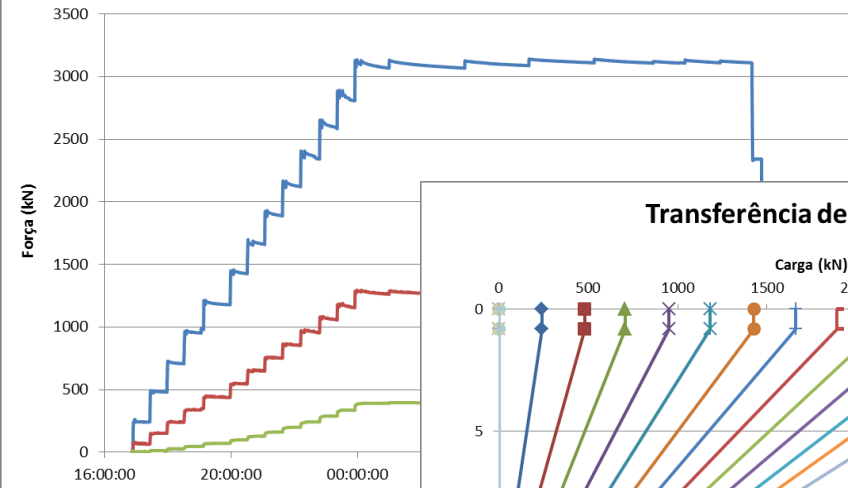
Carga de trabalho = 1.200 kN



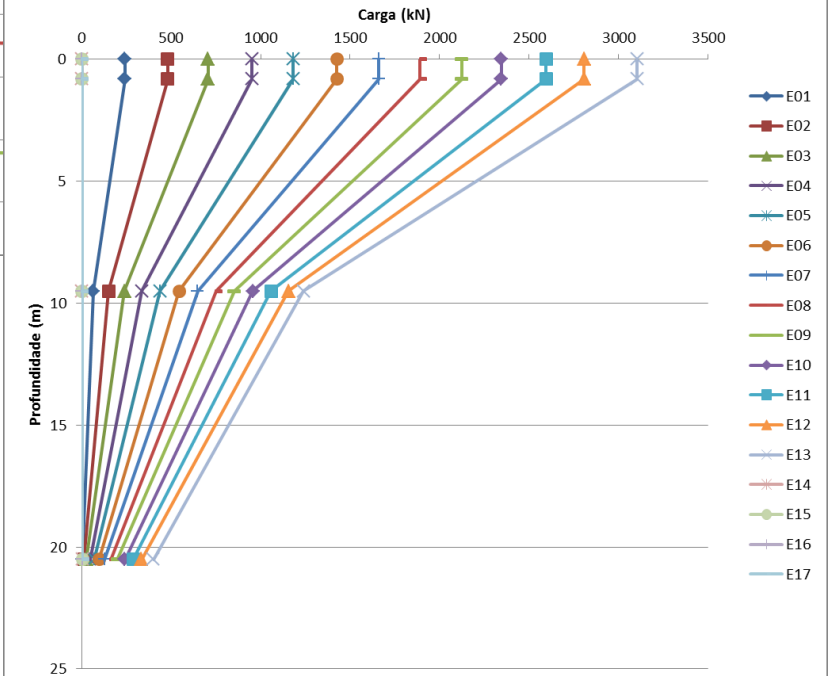
Curva Carga x Deslocamento
Bloco 1 - ET01 - PCE01



Força calculada pela seção de referência
Bloco 1 - ET01 - PCE

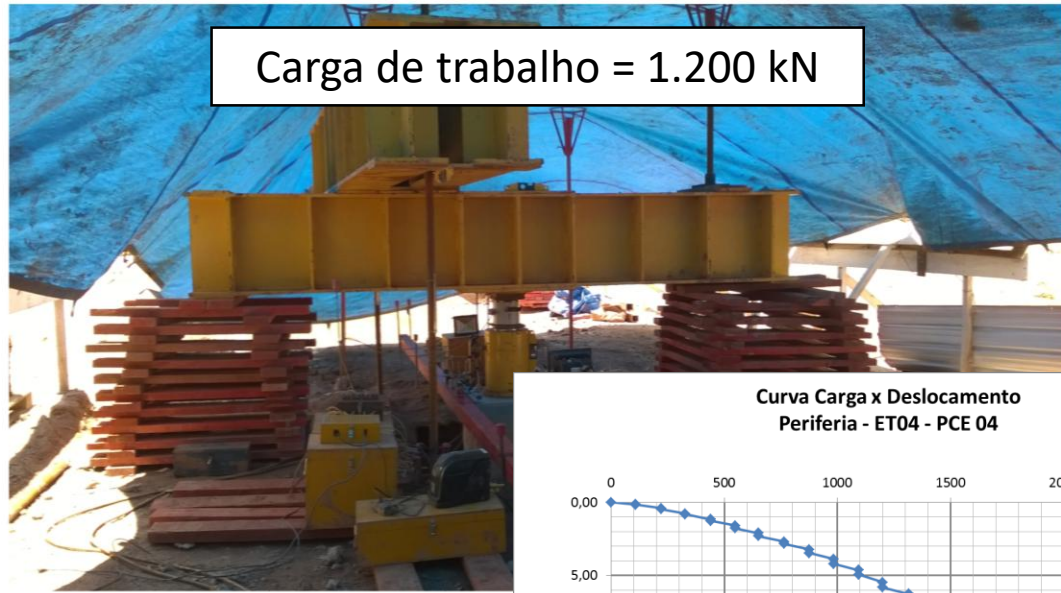


Transferência de carga - PCE01

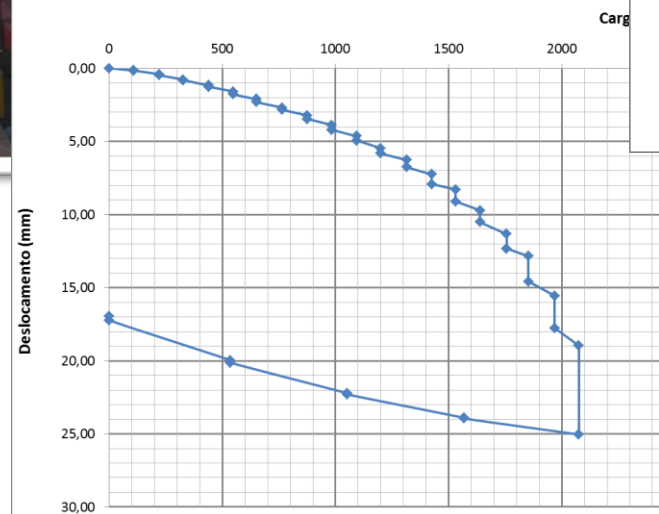


PCE-04 – PERIFERIA – Ø 40 cm

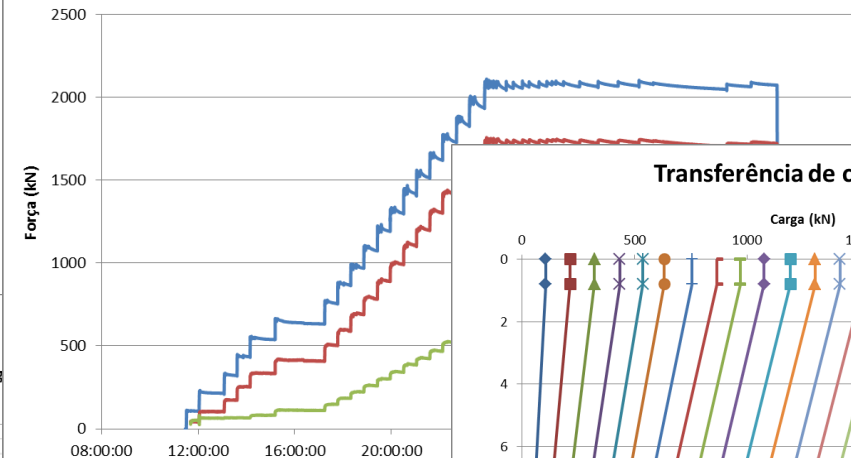
Carga de trabalho = 1.200 kN



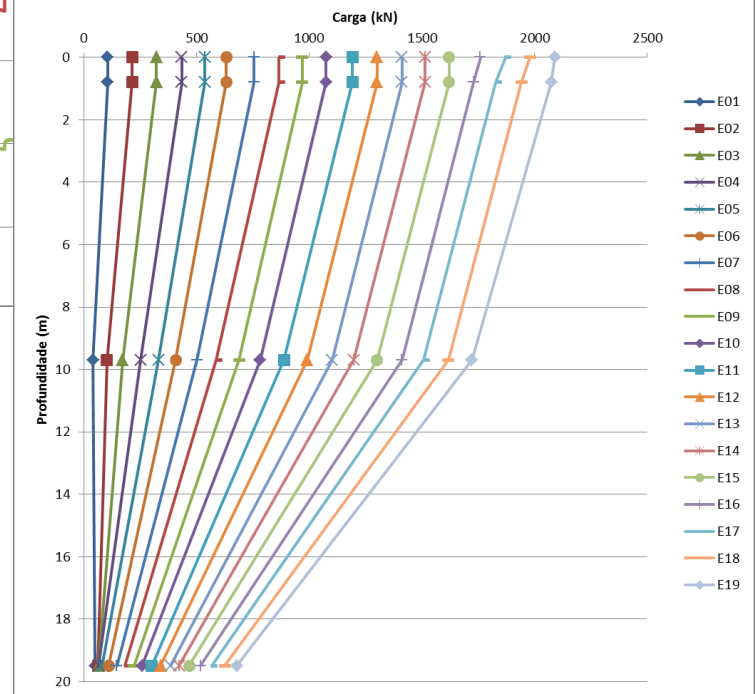
Curva Carga x Deslocamento
Periferia - ET04 - PCE 04



Força calculada pela seção de referência
Periferia - ET04 - PCE04



Transferência de carga - PCE04



UTILIZANDO OS RESULTADOS

- A racionalização do estaqueamento, à partir das PCEs de projeto, pode ser realizada por três caminhos:
 - Ajuste do modelo físico-matemático e redução do FS global
 - e/ou aumento da carga das estacas
 - e/ou redução dos comprimentos (EVITAR!!! RISCOS AO ELS!)

UTILIZANDO OS RESULTADOS AUMENTANDO CARGAS E REDUZINDO COMPRIMENTOS

AUMENTA CARGA DE
TRABALHO

REDUÇÃO FS GLOBAL
PARA 1.6

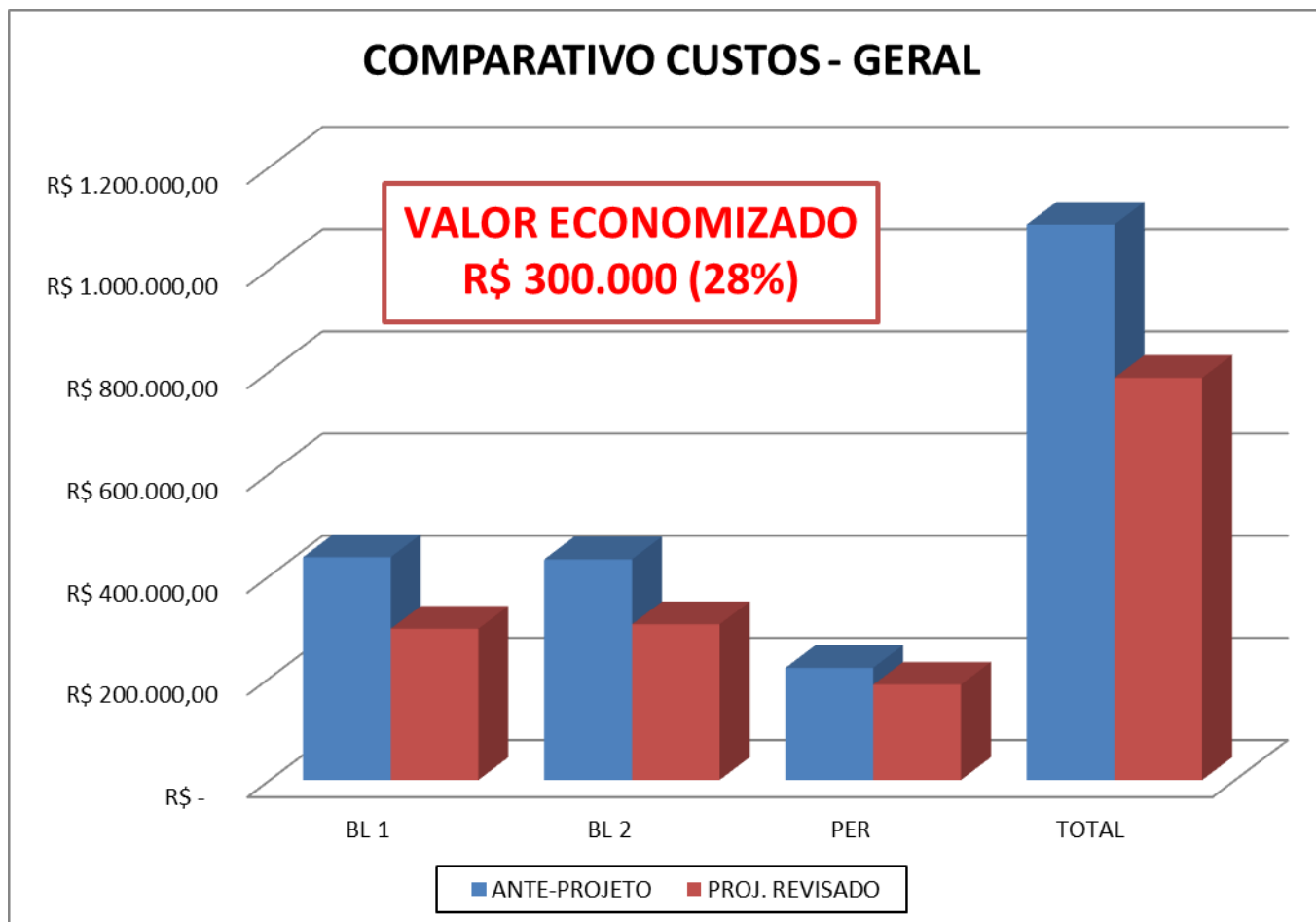
ESTACAS	ANTEPROJETO		PROJ. REVISADO	
	C. TRABALHO	C. RUPTURA	C. TRABALHO	C. RUPTURA
φ 40	600	1.200	900	1.440
φ 50	900	1.800	1200	1.920
φ 60	1200	2.400	1.700	2.720
φ 70	1700	3.400	-	-
	FS GLOBAL = 2.0		FS GLOBAL = 1.6	

UTILIZANDO OS RESULTADOS AUMENTANDO CARGAS E REDUZINDO QUANTIDADES

BLOCO 1	ANTEPROJETO		PROJ. REVISADO			PERIF. 1	ANTEPROJETO		PROJ. REVISADO	
DIÂMETROS	C. TRABALHO	N ESTACAS	N ESTACAS	C. TRABALHO		DIÂMETROS	C. TRABALHO	N ESTACAS	N ESTACAS	C. TRABALHO
φ 40			26	900		φ 40 C			38	450
φ 50	900	39	57	1200		φ 40 L	550	48	24	650
φ 60	1200	66	41	1.700		φ 50	900	18		
φ 70	1700	32				φ 60				
TOTAL		137	124			TOTAL		66	62	
BLOCO 2	ANTEPROJETO		PROJ. REVISADO			PERIF. 2	ANTEPROJETO		PROJ. REVISADO	
DIÂMETROS	C. TRABALHO	N ESTACAS	N ESTACAS	C. TRABALHO		DIÂMETROS	C. TRABALHO	N ESTACAS	N ESTACAS	C. TRABALHO
φ 40			26	900		φ 40 C			29	450
φ 50	900	39	61	1200		φ 40 L	550	44	43	650
φ 60	1200	72	41	1.700		φ 50	900	28		
φ 70	1700	27				φ 60				
TOTAL		138	128			TOTAL		72	72	

GERAL	ANTEPROJETO	PROJ. REVISADO
DIÂMETROS	N ESTACAS	N ESTACAS
φ 40	0	119
φ 50	170	185
φ 60	184	82
φ 70	59	0
TOTAL	413	386

Solução racionalizada geral



VALORES REFERENTES
AO ANO DE EXECUÇÃO
DO EMPREENDIMENTO:
2015.

MUITO OBRIGADO!

📞 (19) 99337-0955

✉️ tiago@geoprova.com.br

🌐 www.geoprova.com.br



meu contato