

# Fundações

e Obras Geotécnicas

Ano 7  
Nº 83  
R\$ 27,00

Julho de 2017  
**Rudder**  
www.rudderfundacoes.com.br



## PROJETO PARA A EXPANSÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE CARIOCA

Ideia propõe práticas de planejamento  
operacional, urbano e regional

**GEOSSINTÉTICOS**  
na geotecnia  
ambiental

**BELO MONTE:**  
seminário sobre a  
usina hidrelétrica

Manutenção e  
reforço de **PONTES**  
**E VIADUTOS**

# DETECÇÃO DE PATOLOGIAS EM ESTACAS MOLDADAS *IN LOCO* COM FLUIDO ESTABILIZANTE ATRAVÉS DE ENSAIOS DE DESEMPENHO (BIDIRECIONAL E ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO) E CONTROLE DE INTEGRIDADE (*CROSSHOLE*) E AVALIAÇÃO DOS TRATAMENTOS DEFINIDOS

**Carlos Augusto Malachias Filho** – Diretor  
Fundatest – Projetos e Ensaios Geotécnicos Ltda.  
carlos@fundatest.com.br

**Alysson Santos Resende**  
Arcos Engenharia de Solos  
alysson@arcos.eng.br

**Wagner Agnelo Porfírio**  
Consórcio CST Linha 13 – JADE  
wagner.agnelo@gmail.com

**Jorge William Beim** – Consultor  
Pile Dynamics, Inc.  
jorgebeim@terra.com.br

**Sérgio Paulino Mourthé de Araujo** – Diretor  
Fundatest – Projetos e Ensaios Geotécnicos Ltda.  
sergio@fundatest.com.br

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho é apresentar a metodologia adotada para tratar patologias detectadas em estaca do tipo escavada moldada *in loco* com fluido estabilizante e avaliar a eficiência do tratamento.

As estacas avaliadas, com comprimento projetado de 26 m e diâmetro de 1.800 mm, fazem parte da Linha 13 – Jade da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos), mais especificamente do bloco 71A, integrante do Viaduto Estaçado de transposição sobre as rodovias Ayrton Senna e Hélio Smidt, executado pelo Consórcio CST.

No projeto inicial foram especificados ensaios de capacidade de carga estática do tipo bidirecional e ensaios de integridade do tipo *Crosshole*. Como houve falhas executivas no plano inicial, foram acrescentados ao processo os ensaios dinâmicos (PDA).

A estaca E25 foi escolhida em fase de projeto (OUTEC Engenharia) para verificação de desempenho através do

ensaio estático bidirecional executado pela empresa Arcos. Ao iniciar o ensaio, as células bidirecionais apresentaram pouca reação e deslocamentos excessivos, indicando uma provável falha de preenchimento de concreto abaixo do conjunto de células expansivas sem diagnóstico do motivo que originou tal deficiência.

Foram então realizadas duas sondagens rotativas no eixo da estaca E25 para o entendimento da falha do ensaio bidirecional e constatou-se que houve problema na concretagem na região das células que, em seguida seguiu um plano de recuperação através da limpeza do dano e injeção de calda de cimento para recuperação da estaca. Adicionalmente, decidiu-se executar o ensaio de carregamento dinâmico PDA, executado pela empresa Fundatest, para confirmação do desempenho e integridade da estaca na região das células.

O ensaio *Crosshole* tem o objetivo principal de verificar a integridade da estaca, as estacas E17, E24 e E31 foram escolhidas também em fase de projeto para realização deste ensaio. Os resultados apresentados pelo ensaio mostraram uma redução significativa na energia e na velocidade da onda em torno dos 23 metros até o final do tubo, ou seja, dano na ponta da estaca, decidindo-se então por executar um ensaio dinâmico também na estaca E31, com o mesmo objetivo anteriormente citado.

Diante do disposto acima, este trabalho mostrará como as patologias foram solucionadas e detalhar os resultados dos ensaios executados.

## INTRODUÇÃO

Este artigo trata das fundações do viaduto estaiado situado em Guarulhos (SP) sobre as rodovias Ayrton Senna e Hélio Smidt (apoio 71A e apoio 76A) projetado em estacas escavadas de grande diâmetro, moldadas *in loco* com fluido estabilizante no diâmetro de 1.800 mm e carga compressiva igual a 1.425 toneladas força. Cada apoio contempla 18 estacas de mesma seção conforme apresentado na Figura 1. Uma estaca com dano estrutural e/ou falha de execução, neste caso, poderia gerar elevados custos ao aumentar o bloco de coroamento. Desse modo, a recuperação de uma estaca torna-se economicamente viável.

## 1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

O subsolo local é constituído por solo sedimentar, com primeira camada de argila arenosa de consistência muito

mole e espessura igual 4,68 metros cor cinza, sobrejacente a uma camada de areia média-a compacta, com pedregulhos e espessura de 5,27 metros, e uma terceira camada de argila siltosa de consistência dura e espessura 1,72 metros cor cinza. Sob esta camada tem-se areia média argilosa, muito compacta de espessura 2,99 metros e por último uma camada de argila siltosa dura, cor cinza de espessura 15,64 metros. O índice  $N_{SPT}$  (Índice de Resistência à Penetração) começa a apresentar valores muitos elevados já a partir dos 5 metros de profundidade na primeira camada de areia. O perfil geotécnico está apresentado na Figura 2 abaixo.

## 2 ENSAIOS CROSSHOLE

As estacas E17, E24 e E31 foram submetidas a ensaio de integridade tipo *Crosshole*. Para estes ensaios, em cada estaca foram instalados seis tubos metálicos com diâmetro de 5,3 cm,

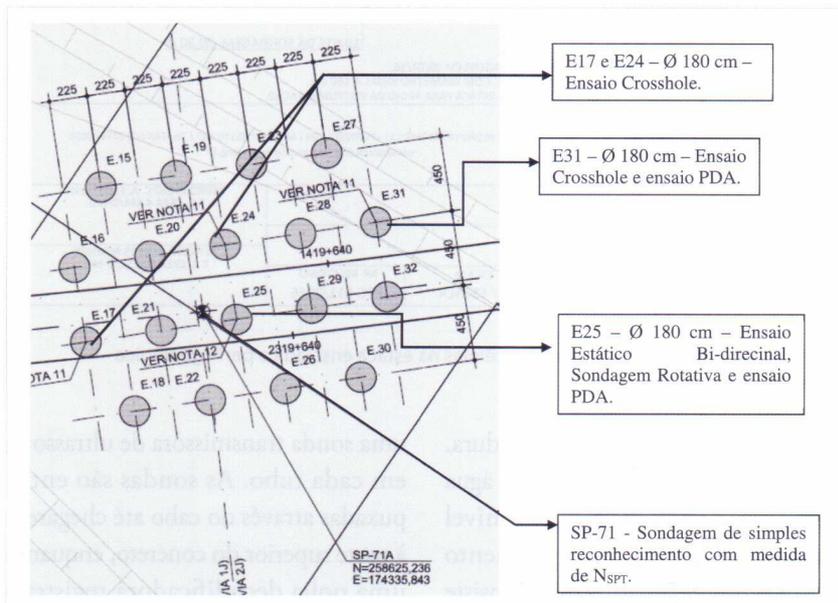


Figura 1 – Planta esquemática do apoio 71A

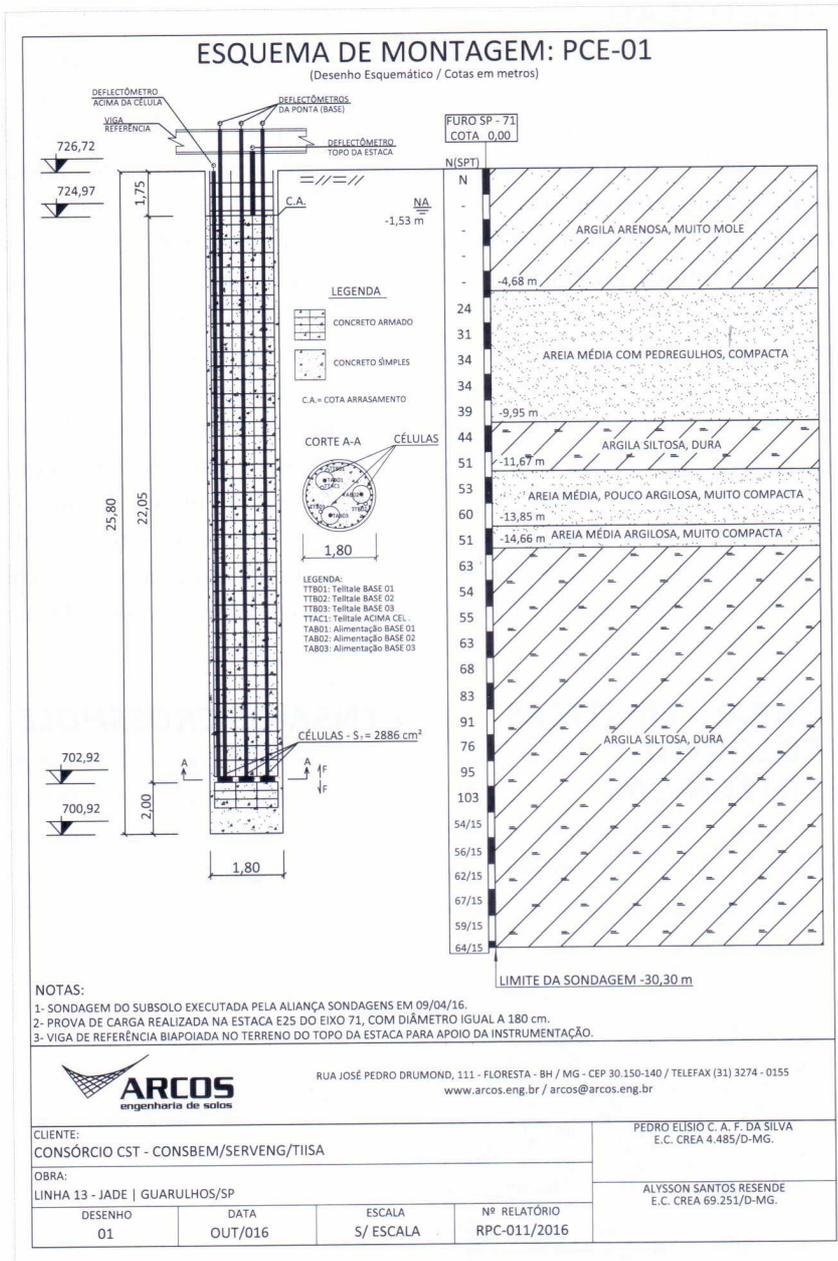


Figura 2 – Esquema de montagem das células na estaca ensaiada e perfil geológico  
Fonte: Arcos Engenharia de Solos

presos no lado de dentro da armadura. Os tubos foram preenchidos com água logo após a concretagem, e o nível d'água foi mantido até o momento da execução do ensaio, o qual consiste na inserção de uma sonda emissora e

uma sonda transmissora de ultrassom, em cada tubo. As sondas são então puxadas através do cabo até chegarem à parte superior do concreto, enquanto uma polia decodificadora registra a posição das sondas a cada momento.

Ao mesmo tempo são feitos registros do tempo de transmissão da onda entre as duas sondas (denominado FAT<sub>r</sub> de “First Arrival Time”), e da energia do sinal que chega na sonda receptora. Caso haja qualquer obstrução ou diminuição da qualidade do concreto entre os dois tubos haverá um aumento no tempo de transmissão do ultrassom, e uma queda na energia recebida, ambos indicando a presença de alguma anomalia entre aquele par de tubos naquela profundidade. O procedimento é repetido para todas as combinações possíveis de tubos.

A Figura 3 abaixo mostra um diagrama esquemático (fora de escala) da posição dos tubos, e mostra o chamado “diagrama cascata” (em verde), que mostra a chegada do ultrassom na sonda receptora, bem como a intensidade do sinal, ao longo da profundidade, em duas das varreduras efetuadas na estaca E17 (tubos 1-2 e tubos 1-3, de um total de 15 varreduras). É possível ver a perda significativa de sinal a partir de 22,3 m de profundidade nestas duas varreduras. Este mesmo nível de redução foi verificado em todas as outras varreduras para esta estaca, e também abaixo de 23 m em todas as varreduras da estaca E24, e abaixo de 23,1 m em todas as varreduras da estaca E31. Estas reduções são indicativas de ausência de material bom condutor de ultrassom (concreto de boa qualidade) na região afetada.

### 3 PROVA DE CARGA COM CÉLULA EXPANSIVA, ENSAIO BIDIRECIONAL

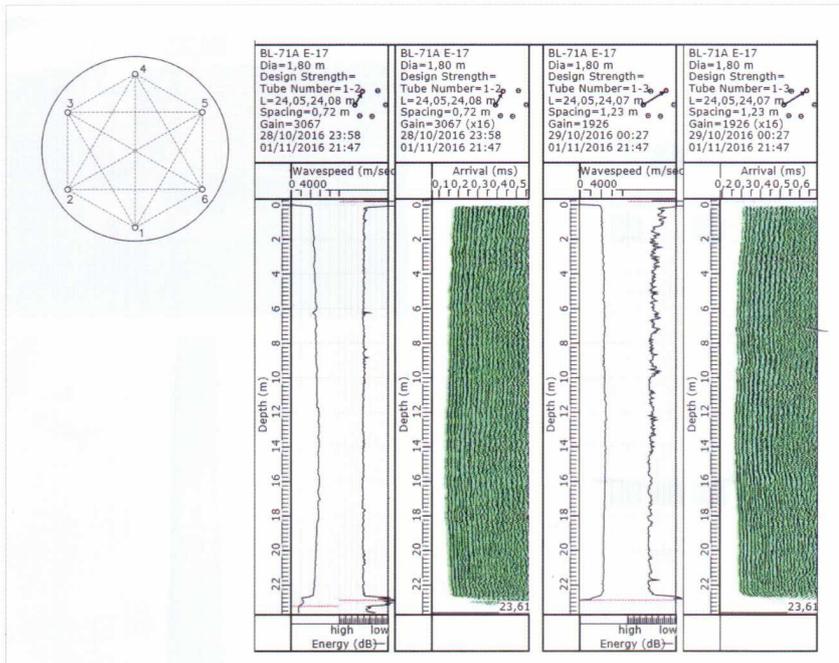


Figura 3 – Esquema de montagem dos tubos metálicos para realização dos ensaios *Crosshole*, gráficos de velocidade de onda e energia, e “diagrama cascata” (em verde) para a varredura dos tubos 1-2 (esquerda) e 1-3 (direita), estaca E17

Fonte: *Fugro In-Situ Geotecnia*

A prova de carga com células expansivas consiste na instalação destas, previamente aferidas, dentro do fuste da estaca engastadas à armação. Para o esquema de montagem busque o equilíbrio entre a resistência ao atrito lateral do fuste mais o peso próprio contra o atrito lateral da ponta mais sua resistência. Para a realização do ensaio, aguarda-se a cura do concreto e endurecimento deste até se atingir resistência mínima suficiente para sua realização e para que haja a interação entre solo-elemento de fundação. Os deslocamentos da ponta são medidos por meio de hastes metálicas previamente instaladas na ponta da estaca. O deslocamento do fuste é medido por meio do movimento ascendente da parte superior da

estaca. Os deflectômetros utilizados para medição dos deslocamentos apresentam leitura direta com precisão de 0,01 mm.

Os ensaios são executados por meio de carregamento rápido, conforme o item 3.5.3, da norma ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 12.131:2006 em estágios iguais e sucessivos limitados a 10% da carga de trabalho da estaca testada, sendo as cargas transmitidas utilizando-se uma ou um conjunto de células expansivas, situadas no interior da estaca, reagindo a ponta contra seu respectivo fuste, solicitando-a a compressão verticalmente. Em cada estágio a carga deve ser mantida durante 10 minutos, independentemente da estabilização dos deslocamentos e devem-se promover estágios até se chegar a duas vezes a carga de trabalho.

### 3.1 PREPARAÇÃO DO EQUIPAMENTO

As células de carga são preparadas conforme o tipo de estaca podendo ser individuais ou um conjunto de células no caso de estacas escavadas. Nesse caso, as células expansivas se encontram em uma gaiola metálica denominada “suporte para células expansivas”. O suporte é projetado especialmente para cada obra, o qual se adequa à armação da estaca. Existem células expansivas simetricamente posicionadas e espaço circular central para passagem da tremonha de concretagem, conforme pode ser visualizado na Figura 4 e Fotos 1a e 1b que também apresentam detalhes da montagem do conjunto na estaca ensaiada.

### 3.2 EXECUÇÃO DO PRIMEIRO ENSAIO E PATOLOGIA DIAGNOSTICADA – E25

O teste se iniciou normalmente, conforme procedimento executivo, em que o concreto é rompido à tração através da expansão das células acionadas simultaneamente por uma mesma bomba, para que os trechos acima e abaixo das células se separem. Com 40 kg/cm<sup>2</sup>, o equivalente a 230 t.f. dois deflectômetros da ponta da estaca já apresentavam grandes deslocamentos. Como as células são ligadas em paralelo e a estaca é de grande diâmetro, para garantir que a separação do concreto ocorra em toda sua extensão, cada célula foi acionada separadamente. Todas células apresentaram grandes deslocamentos quando submetidas à aplicação de carga. Após

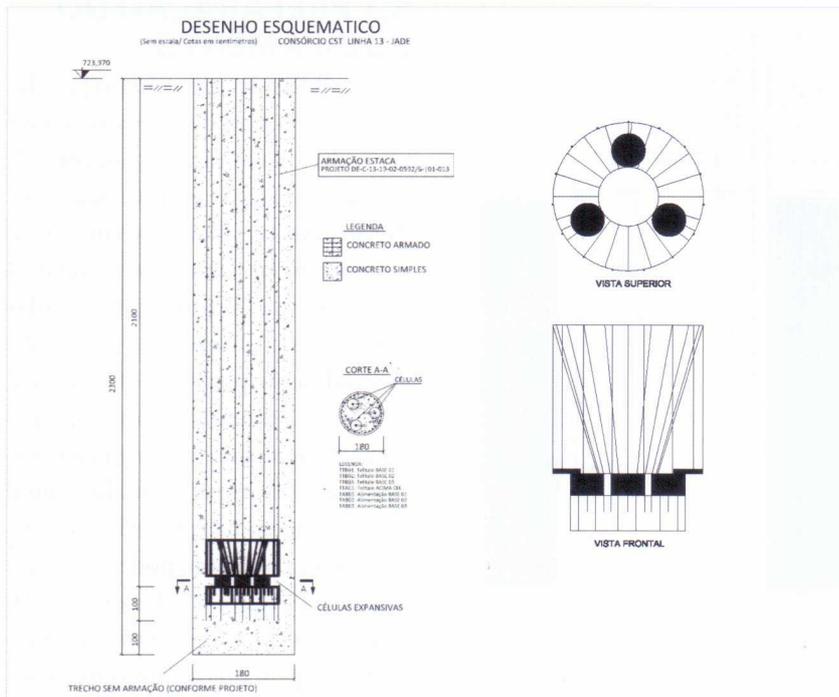


Figura 4 – Modelo de suporte com três células expansivas  
Fonte: Arcos Engenharia de Solos

verificação da abertura de todas as células foi feito o descarregamento para que o teste fosse iniciado.

A Foto 2 representa a instrumentação montada para o ensaio.



Foto 2 – Detalhe instrumentação para execução da prova de carga estática bidirecional

No momento da primeira carga do ensaio, a bomba teve dificuldades para atingir a pressão almejada de 24 kg/cm<sup>2</sup>, o equivalente a carga de 138 tf. A dificuldade foi devida

ao deslocamento excessivo da parte inferior das células expansivas, onde no primeiro estágio já foi registrado um deslocamento médio de 76,20 mm. Todas as células apresentaram deslocamentos próximos (73,54 mm, 76,94 mm e 78,13 mm).

Foi verificado se havia presença de vazamentos nos dutos de alimentação ou algum problema na bomba hidráulica. Não foram constatados vazamentos e a bomba estava funcionando corretamente. Ao avançar para o segundo estágio, o deslocamento da parte inferior se manteve excessivo e também apresentou dificuldades para chegar à pressão de 48 kg/cm<sup>2</sup>. Diferente do primeiro estágio, as células apresentaram diferenças de deslocamento (120,93 mm, 80,25 mm e 103,66 mm). O teste foi paralisado



Fotos 1 (a) – Detalhe células-armadura finalizado e Foto 1 (b) – Descida do conjunto células-armadura  
Fonte: Arcos Engenharia de Solos

por atingir o curso máximo do conjunto de células (aproximadamente 130 mm) na carga de 280 tf. Tal fato indica uma provável falha de preenchimento de concreto abaixo do conjunto de células expansivas sem diagnóstico do motivo que originou tal deficiência, procedeu-se então a desmontagem da instrumentação conforme procedimento específico da empresa Arcos.

#### 4 DIAGNÓSTICO DA DEFICIÊNCIA APRESENTADA PELO ENSAIO BIDIRECIONAL – SONDAÇÃO ROTATIVA

Após a verificação da impossibilidade de conclusão do ensaio bidirecional, provavelmente por falha de preenchimento de concreto junto às células de carga, reuniram-se executores da obra, executores dos ensaios de carregamento estático e *Crosshole*, projetistas e consultores em busca de um diagnóstico e possível correção da falha. Analisando-se os resultados do *Crosshole*, boletins executivos e metodologias de recuperação ou reforço, optou-se pela execução de sondagens rotativas para avaliação da integridade da estaca através da extração de testemunhos.

As sondagens rotativas são realizadas em materiais rochosos (blocos ou afloramentos rochosos), para a obtenção de testemunhos, isto é, amostras de rocha e identificação das descontinuidades do maciço rochoso. A sondagem puramente rotativa só se justifica quando a rocha aflora ou quando

não há a necessidade de classificação das camadas de solo que recobrem o maciço rochoso. Os resultados obtidos a partir de uma sondagem rotativa são: classificação litológica; estado de alteração; grau de faturamento; percentagem de recuperação e RQD (*Rock Quality Designation*).

No entanto, neste caso utilizou-se deste procedimento para perfurar o eixo longitudinal da estaca e verificar visualmente através dos testemunhos de concreto a integridade do fuste da estaca executando-se dois furos no eixo central, na Figura 5, fugindo assim da região da chapa base das células de carga do ensaio bidirecional, o que confirmou dois pontos importantes: o primeiro foi que o sistema de injeção das células não estava danificado conforme teste citado anteriormente e o segundo confirmou a falha de concretagem abaixo da chapa metálica da gaiola metálica do “suporte para células expansivas”.

As Figuras 6 e 7 mostra os resultados das sondagens a partir de 20 metros de profundidade, visto que acima deste ponto os RQDs obtidos foram iguais a 100%, indicando a integridade do fuste da estaca nos pontos escolhidos e logo abaixo as falhas de concretagem na estaca começam a aparecer, não sendo possível diagnosticar o motivo.

#### 4.1 RECUPERAÇÃO DA ESTACA TESTADA

Para a recuperação da estaca, utilizou-se dos furos das sondagens rotativas para lavagem e injeção de calda de cimento. Obturando-se um dos furos e injetando-se água com 2 kg/cm<sup>2</sup> de pressão, lavou-se os vazios presentes no fundo da estaca, circulando-se água até não notar qualquer carreamento de material. Após a conclusão da limpeza, todos os vazios por falha de concretagem e furos de sondagem foram preenchidos com

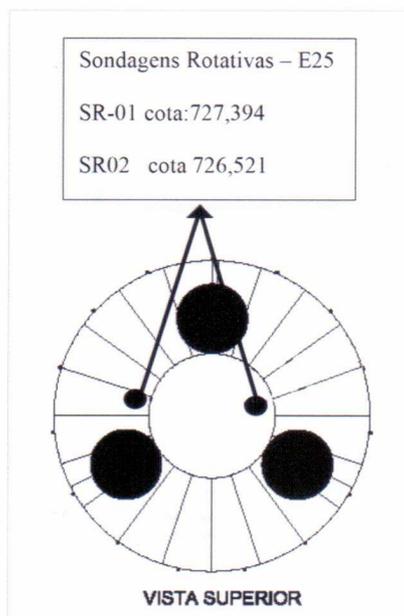


Figura 5 – Posição das sondagens rotativas

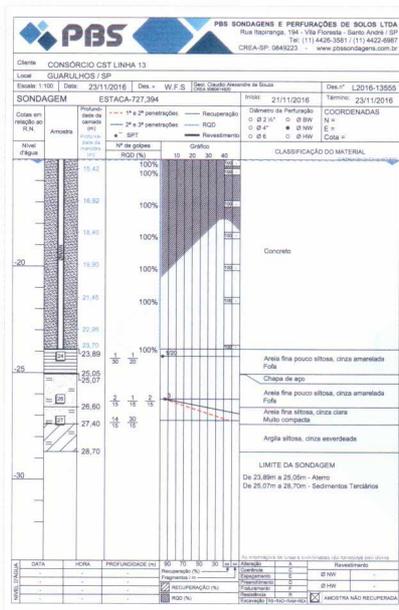


Figura 6 – SR-1

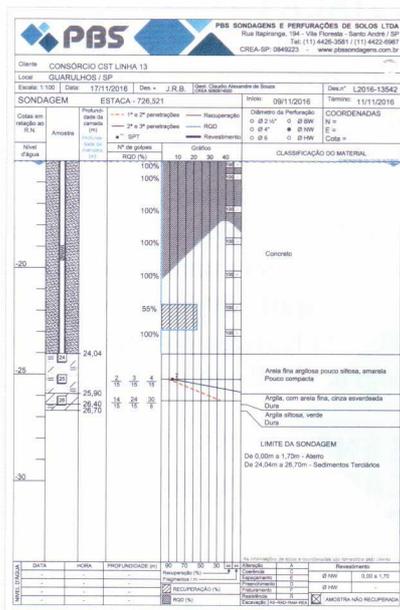


Figura 7 – SR-2

calda de cimento, do mesmo modo que foi executada a lavagem, ou seja, até o expurgo por um dos furos. Quando foi constatada a eliminação dos vazios, obturou-se o outro furo e aplicou-se 25 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão até a estabilização, cessando-se o consumo de calda com total de 12 sacos de cimento, para preenchimento dos vazios de concretagem e furos rotativos de investigação (Fotos 3a, 3b e 3c).

Na injeção foi utilizado o cimento CPV-ARI Fácil da Holcim, com a/c 0,60, obtendo-se resistência média à compressão de 24,6 MPa, com 48h, momento da execução da prova de carga dinâmica.

Para verificação da efetividade do tratamento executado, foi proposta a execução de prova de carga dinâmica (PDA), com uso de martelo de queda livre.

## 5 RESULTADO DO ENSAIO BIDIRECIONAL ESTACA E45 APOIO 76

A segunda estaca ensaiada seguiu todas as recomendações sugeridas e todo o ensaio ocorreu conforme procedimentos e os resultados. Fuste 1.425 t.f sem deslocamento e ponta da estaca mais 2 metros de atrito lateral, parte inferior, obteve um deslocamento residual igual a 20 mm e carga igual a 1.425 t.f., chegando a duas vezes a carga de trabalho da estaca (Figura 8).

## 6 ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO

A empresa Fundatest foi contratada para a realização dos ensaios PDAs utilizando um equipamento



Fotos 3 (a), (b) e (c) – Injeção da calda de cimento para recuperação da estaca E25

modelo PAX de fabricação da PDI com a parceria da empresa Dynamic Hammers que utilizou um martelo do tipo queda livre com peso igual a 24.500 kg.f (Foto 4a). Foram afixados quatro pares de sensores posicionados diametralmente opostos a cada 90 graus (Fotos 4b e 4c), sendo quatro medidores de deformação e quatro acelerômetros, devidamente calibrados. A fixação destes sensores ocorreu a uma distância de 2,70 metros do topo do bloco de impacto

(Foto 5), dimensionado pela empresa Fundatest com materiais de mesma característica da estaca e de forma a reduzir possíveis efeitos de flexão no impacto dinâmico.

Foi utilizada de forma preliminar a capacidade de carga mobilizada através do método Case (no momento do ensaio), e posteriormente, com o processamento dos sinais de força x velocidade através da análise CAPWAP<sup>®</sup> 14 (Case Pile Wave Analysis Program / 2014) que determinou



Figura 8 – Resultados da prova de carga estaca 45 – Eixo 76

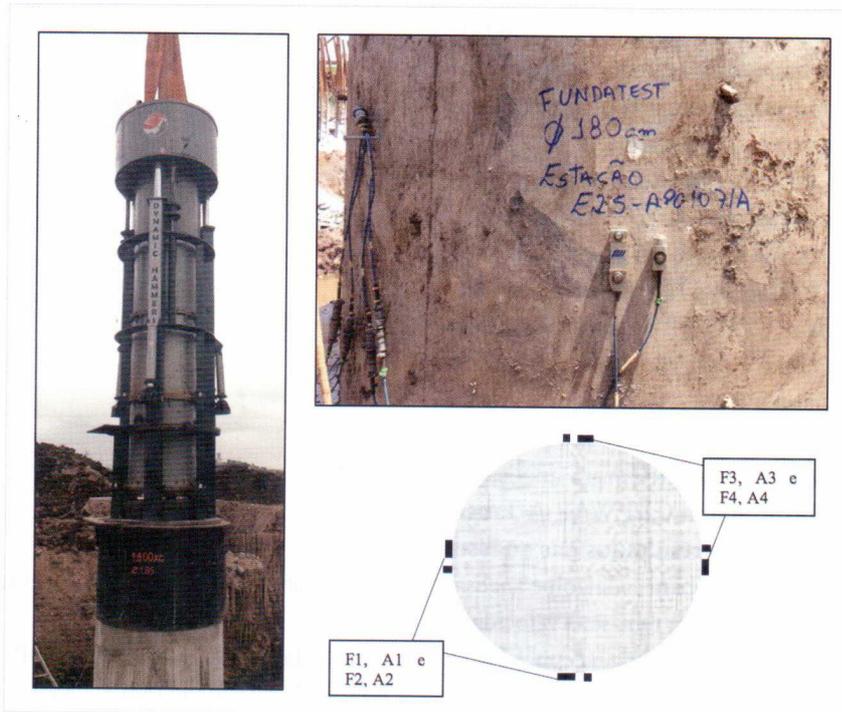
as parcelas de resistência por atrito lateral, resistência de ponta, cargas máximas mobilizadas e constante de amortecimento  $J_c$  em resultado apresentado na Tabela 2. Este programa usa um processo iterativo para modelar o solo a partir dos sinais de força e velocidade coletados pelo PDA. Para modelagem da estaca, o programa a divide em elementos de aproximadamente 1 metro, cada um com sua respectiva impedância (o que permite a modelagem de estacas não-uniformes). A versão 2014 do programa acrescentou a possibilidade de modelar alterações na velocidade de propagação da onda ao longo do tempo durante um golpe. Isso permite modelar melhor o comportamento de estacas de concreto com fissuras ao longo do fuste, em que estas fissuras permanecem “fechadas” durante o início do golpe, quando a força ao longo da estaca é compressiva, porém se abrem (retardando assim a propagação da onda) posteriormente quando a estaca é submetida a esforço de tração. O ensaio de carregamento dinâmico foi executado conforme prescreve a NBR 13.208/2006.

A aplicação da energia cinética foi de forma crescente no topo do bloco de coroamento, através de golpes do martelo citado acima, com alturas de queda variáveis e crescentes até mobilização da carga máxima na interação estaca-solo e/ou no limite de tensões dinâmicas do concreto que constitui as estacas e limite de altura de queda do sistema de impacto utilizado. Durante os impactos, eram verificadas as tensões máximas de tração (TSI) e compressão (CSI) aplicadas às estacas

para limitar a energia aplicada. As negas foram medidas por dois aparelhos óticos, uma estação total e um nível ótico.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos em campo durante o ensaio,

cujos valores obtidos, para cada golpe são: energia líquida máxima transferida ao nível dos sensores (EMX); deslocamento máximo medido ao nível dos sensores da estaca ( $DMX = K+s$ ), sendo  $K$  igual ao repique elástico e  $s$  igual a



Fotos 4 (a) – Martelo de impacto “queda-livre” – 24.500 kg (*Dynamic Hammers*) / (b) e (c) Transdutores de Força e Acelerômetro instalados na estaca E25



Foto 5 – Bloco de impacto e fixação dos sensores

nega; deformação permanente da estaca (nega); tensão de compressão média medida ao nível dos sensores (CSX); tensão de tração média calculada ao longo do fuste (TSX) e proporcionalidade da força x velocidade no primeiro pico das curvas (FVP), sendo este último um indicador da qualidade dos dados e correção da velocidade de onda usada para o concreto, quanto mais próximo for de 1.

A Figura 9 apresenta a curvas força-velocidade e curvas força medida x força calculada do golpe 5 da estaca E25.

A fabricante PDI sugere não efetuar análise CAPWAP do sinal referente ao primeiro golpe, devido à acomodação do sistema amortecedor e aos ajustes iniciais dos sensores. Todos os demais golpes do martelo foram analisados pelo programa CAPWAP. A Tabela 2 resume os resultados das análises CAPWAP/14 para cada golpe analisado. Nesta tabela tem-se: a velocidade de propagação da onda na estaca (WS); a resistência última (RU); a parcela da resistência por atrito disponível (QAL);

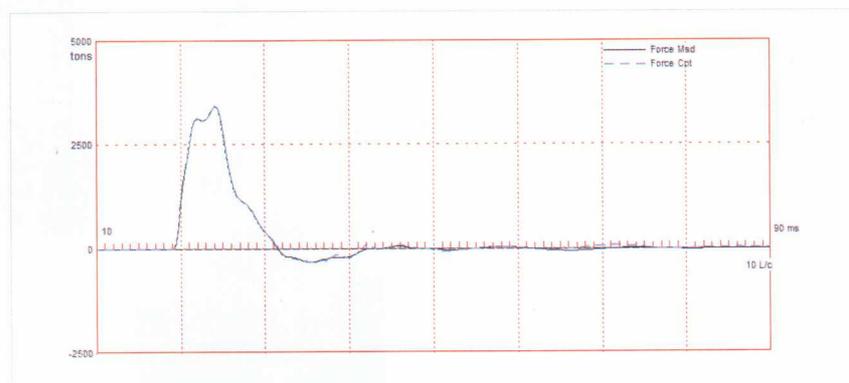
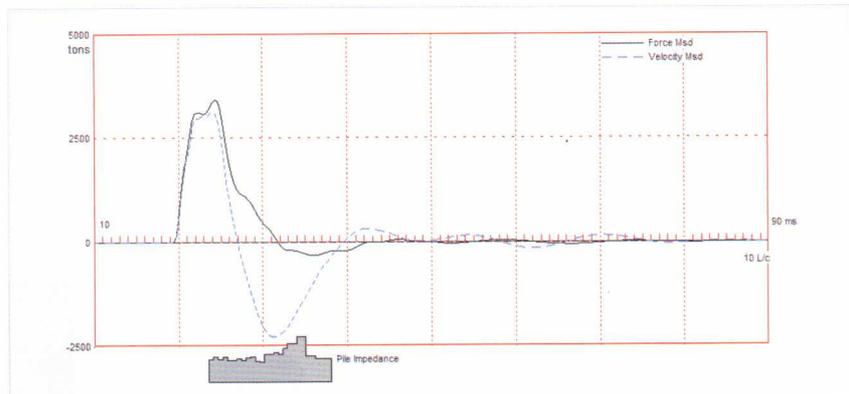


Figura 9 – Curvas força-velocidade (a) e curvas força medida x força calculada (b)

a parcela da resistência de ponta (QP) e o fator de qualidade (MQ – Match Quality). Este último é um indicador

de erro, que mede o grau de convergência da análise, a qual é melhor quanto mais o MQ se aproximar de zero.

**Tabela 1 – Medições de campo**

Estaca E25 – Eixo 71A / Carga admissível = 1.425,0 toneladas							
Golpe	Altura do golpe (cm)	EMX (t.f x m)	DMX (mm)	Nega (mm)	CSX (Mpa)	TSX (Mpa)	FVP
1	80	3,28	2,50	0,00	6,00	1,80	1,0
2	120	6,43	3,55	0,00	8,40	2,90	1,1
3	160	10,39	4,64	1,00	10,40	3,90	1,0
4	200	14,36	5,54	0,00	11,90	4,90	1,0
5	240	18,77	6,44	1,00	13,20	5,20	1,0

Estaca E31 – Eixo 71A / Carga admissível = 1.425,0 toneladas							
Golpe	Altura do golpe (cm)	EMX (t.f x m)	DMX (mm)	Nega (mm)	CSX (Mpa)	TSX (Mpa)	FVP
1	60	2,99	2,40	1,00	5,80	1,50	1,3
2	100	5,67	3,49	0,00	7,50	2,40	1,1
3	140	9,22	4,48	0,00	9,40	2,90	1,1
4	200	12,68	5,38	0,00	10,70	3,20	1,0
5	220	14,95	5,80	2,00	11,50	3,60	1,0

**Tabela 2 – Resultado das análises CAPWAP**

Estaca	Ø (mm)	Carga Trabalho (tf)	Golpes	WS (m/s)	RU (tf)	QAL (tf)	% QAL	QP (tf)	% QP	MQ
1800	1425		2	3650	2.611,59	2.369,19	90,7	242,40	9,3	2,06
			3	3650	2.801,64	2.360,64	84,3	441,00	15,7	1,92
			4	3650	3.124,99	2.588,63	82,8	536,36	17,2	1,95
			5	3650	3.214,31	2.653,60	82,6	560,71	17,4	1,39
Estaca	Ø (mm)	Carga Trabalho (tf)	Golpes	WS (m/s)	RU (tf)	QAL (tf)	% QAL	QP (tf)	% QP	MQ
1800	1425		2	3650	2.579,99	2.242,98	86,9	337,01	13,1	2,59
			3	3650	2.728,13	2.384,97	87,4	343,16	12,6	1,82
			4	3650	2.904,99	2.456,73	84,6	448,26	15,4	1,13
			5	3650	3.045,05	2.505,05	82,3	540,00	17,7	1,71

Pode-se observar na Tabela 2 que os coeficientes de segurança obtidos nas análises CAPWAP para as estacas E25 e E31, foram iguais a 2,25 e 2,14, respectivamente, maior que 2 conforme prescreve a NBR 6.122/10.

Na Figura 10, apresentam-se as curvas da prova de carga simuladas pelo CAPWAP/14 das estacas E25 e E31, RU (carga máxima mobilizada pelo ensaio PDA) em relação ao deslocamento máximo, acumulando-se as deformações permanentes medidas durante o ensaio a cada golpe de energia crescente. Observa-se que para os golpes aplicados, o deslocamento acumulado é de 2 mm para E25 e 3 mm para E31.

A Tabela 3 abaixo, apresenta a distribuição de resistência ao longo do fuste de cada estaca em relação à posição dos sensores e sua respectiva

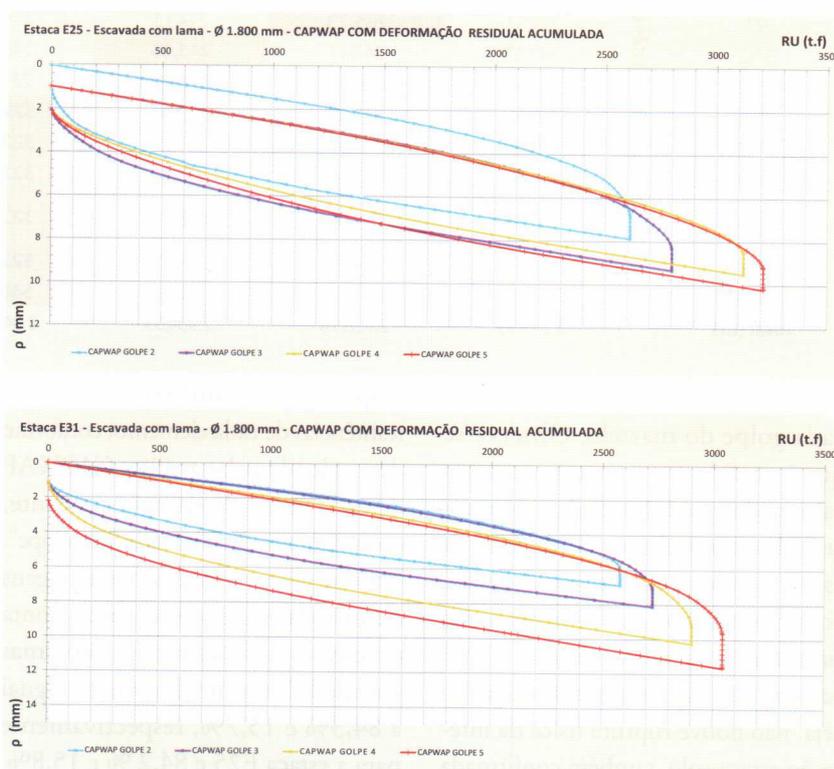


Figura 10 – Resultado das análises CAPWAP com deformação residual acumulada

Tabela 3 – Resultado individual das análises CAPWAP – “ENVELOPE”

Distribuição resistência CAPWAP - E25					
Distribuição dos Sensores (m)	GOLPE 2	GOLPE 3	GOLPE 4	GOLPE 5	ENVELOPE
3,1	0	0	0	0	0
5,1	161,60	130,00	93,02	92,11	161,60
7,2	262,60	181,87	174,49	183,57	262,60
9,2	324,39	299,56	287,40	269,69	324,39
11,3	324,39	342,35	307,96	279,30	342,35
13,3	308,04	342,35	352,74	288,95	342,35
15,4	198,35	342,35	362,81	298,60	342,35
17,4	197,96	267,47	287,40	308,23	308,23
19,5	197,96	160,48	266,88	309,18	308,18
21,5	196,95	149,78	243,87	311,73	311,73
23,6	196,95	144,43	212,06	312,24	312,24
Ponta (t.f)	242,40	441,00	536,36	560,71	560,71
Total (t.f)	2.611,59	2.801,64	3.124,99	3.214,31	3.576,73
					Σ Atrito Lateral (Envelope) 3.016,02

Distribuição resistência CAPWAP - E31					
Distribuição dos Sensores (m)	GOLPE 2	GOLPE 3	GOLPE 4	GOLPE 5	ENVELOPE
3	48,18	0	0	0	48,18
5,1	228,74	183,97	163,37	0	228,74
7,1	247,48	231,59	213,17	160,75	247,48
9,1	259,51	265,73	224,13	214,94	265,73
11,2	243,47	247,27	245,05	243,73	245,05
13,2	237,46	260,61	278,92	271,98	278,92
15,2	204,65	260,61	283,90	322,73	322,73
17,3	201,50	255,52	311,05	322,73	322,73
19,3	201,50	255,52	278,92	322,73	322,73
21,4	197,31	229,96	239,07	322,73	322,73
23,4	173,18	194,19	219,15	322,73	322,73
Ponta (t.f)	337,01	343,16	448,26	540,00	540,00
Total (t.f)	2.579,99	2.728,13	2.904,99	3.045,05	3.419,57
					Σ Atrito Lateral (Envelope) 2.879,57

capacidade de carga de ponta para cada golpe do martelo. Observa-se que à medida que a energia aumenta (altura de queda) mobiliza-se mais atrito lateral nos elementos inferiores da estaca e aumenta a resistência de ponta, ao mesmo tempo que se perde atrito nas camadas superiores do solo. Como não houve o esgotamento da carga, ou seja, não houve ruptura física da interação estaca-solo, também confirmada pelas baixas negas medidas durante os

golpes, pode-se utilizar as máximas resistências de cada elemento, conforme determinado pelas análises CAPWAP de cada golpe de energia crescente, procedimento denominado “envelope”. Pode-se observar que as porcentagens de atrito lateral e resistência de ponta do envelope ficaram bem próximas aos medidos individualmente, igual a 84,3% e 15,7%, respectivamente para a estaca E25 e 84,2 % e 15,8%, respectivamente para a estaca E31.

## CONCLUSÕES

Ao se comparar os resultados obtidos nos ensaios PDAs (estacas E25 e E31) com os resultados obtidos na prova de carga estática bidirecional da estaca E45, pode-se concluir que:

1) No ensaio bidirecional o fuste da estaca com deslocamento igual a zero à carga de 1.425 t.f. e a ponta da estaca mais 2 metros de atrito lateral com deslocamento residual igual a 20 mm à carga igual a 1.425 t.f.,

totalizando 2.850 t.f, o ensaio chegou a duas vezes a carga de trabalho da estaca sem que houvesse recalques representativos, não ocorrendo a ruptura física da interação estaca-solo.

2) Assim que se determinou a causa da patologia da estaca E25 através dos furos de sondagem rotativa e como solução a injeção de calda de cimento sob pressão objetivando-se o melhoramento de ponta e garantia de integridade da estaca, o ensaio de carregamento dinâmico (PDA) não detectou variação de impedância significativa confirmado assim a integridade da estaca no local da patologia após o tratamento.

3) A incitação da força (impacto do martelo) no ensaio PDA ocorre de cima para baixo, ao contrário do que acontece no ensaio estático bidirecional,

e como a energia disponível durante o ensaio PDA não atingiu a ruptura física da interação estaca-solo (confirmadas pelas baixas negas medidas no ensaio) pode-se observar que os resultados do “Envelope – PDA”, cujo atrito lateral resultou em torno de 3.000 t.f., e no ensaio bidirecional 1.425 t.f., o atrito lateral ficou subestimado pelo ensaio estático, ao contrário do ensaio PDA que subestimou a carga de ponta da estaca, quase um terço do ensaio estático.

Não se deve, em hipótese alguma, condenar uma estaca sem realmente estudar a patologia. Após o entendimento da patologia envolvida, alguns cuidados foram adotados para os ensaios subsequentes: primeiro, a abertura de mais pontos de passagem de concreto pela chapa de distribuição de esforços das células para os ensaios das estacas do

eixo 76A de modo a garantir preenchimento de concreto no entorno da célula, segundo, instalação de tubo-guia para “tell tale” de medição do deslocamento na ponta das estacas do eixo 76, e cuidados extras no momento de concretagem principalmente no trecho onde está localizada as células. Com as precauções adotadas, os ensaios do eixo 76A foram bem-sucedidos, obtendo-se resultados satisfatórios.

O leigo tende apenas a criticar os resultados dos ensaios utilizados, mas quando bem executados, mesmo com patologias envolvidas, deve-se esgotar ao máximo as informações e particularidades de cada um deles, sejam eles: ensaios estáticos bidirecionais, ensaios dinâmicos (PDA), *crosshole* (integridade), PIT (integridade), prova de carga estática (PCE) convencional etc. ■

## REFERÊNCIAS

- De Oliveira, Marco Aurélio; Falconi, Frederico; Perez Júnior, Wanderley; SEFE VIII – 2015, *Estaca Hélice Contínua e Prova de Carga Estática*.
- Soares, F.L., Aoki, N. – SEFE V – 2004 – *Análise de Provas de Carga Dinâmica em Tubulões a Céu Aberto*.
- Patrick Vessaro; Carlos José Marques da Costa; José Carlos A. Cintra; Nelson Aoki – SEFE V – 2004 – *Provas de Carga Dinâmica em Estacas Escavadas com Trado Mecânico*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – *NBR 6.122*; Projeto e Execução de Fundações, Rio de Janeiro; ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – *NBR 13.208*; Estacas – Ensaio de Carregamento Dinâmico, Rio de Janeiro; ABNT, 2007.
- Niyama, Sussumo; Golombek, Milton; Paraíso, Sérgio; Lodi, José Eduardo; SEFE VIII – 2015, *Ensaio de Carregamento Dinâmico como Verificação de Desempenho e Economia de Fundações*.
- Morgano, C.M., June 1989. *Capabilities of Pile Integrity Testing*. PDA User's Day: Cleveland, OH.
- Hussein, M.H., Garlanger, J., June 1992. *Damage Detection for Concrete Piles Using a Simple Nondestructive Method*. Proceedings of the First International Conference on Fracture Mechanics of Concrete Structures: Breckenridge, CO.
- Hussein, M.H., Morgano, M., June 1993. *Structural Integrity Evaluation of Concrete Piles from Stress Wave Measurements*. Society for Experimental Mechanics Conference on Nondestructive Testing of Concrete in the Infrastructure: Dearborn, MI.