

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DIEGO MARTINS PERES RODRIGUES  
EWERTON THALES BATISTA**

**EXECUÇÃO DE ESTACAS PROFUNDAS INJETADAS TIPO RAÍZ:  
O CASO DA OBRA DE ALINHAMENTO E ADEQUAÇÃO DO CAIS DE  
OUTEIRINHOS NO PORTO DE SANTOS**

Santos - SP  
Novembro de 2016

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DIEGO MARTINS PERES RODRIGUES  
EWERTON THALES BATISTA**

**EXECUÇÃO DE ESTACAS PROFUNDAS INJETADAS TIPO RAÍZ:  
O CASO DA OBRA DE ALINHAMENTO E ADEQUAÇÃO DO CAIS DE  
OUTEIRINHOS NO PORTO DE SANTOS**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como exigência parcial para  
obtenção do título de Bacharel à Faculdade  
de Engenharia Civil da Universidade Santa  
Cecília, sob a orientação do Professor Me.  
Pedro M. M. de Menezes Marcão.**

Santos - SP  
Novembro de 2016

DIEGO MARTINS PERES RODRIGUES  
EWERTON THALES BATISTA

**EXECUÇÃO DE ESTACAS PROFUNDAS INJETADAS TIPO RAÍZ:  
O CASO DA OBRA DE ALINHAMENTO E ADEQUAÇÃO DO CAIS DE  
OUTEIRINHOS NO PORTO DE SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Santa Cecília.

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Professor Me. Pedro M. M. de Menezes Marcão  
Orientador

---

AVALIADOR

---

AVALIADOR

## RESUMO

A estaca raiz é um elemento de infraestrutura extremamente presente nas diversas modalidades da construção civil. Sua alta empregabilidade se dá justamente pelo fato de apresentar um processo executivo relativamente incisivo, isto é, com poucas vibrações o que resguardam as edificações adjacentes de possíveis patologias, além de ser um método aceito em quaisquer condições de terreno ou tipo de solo. Este tipo de estaca apesar de ter sua origem há mais de 60 anos, ainda é um tema pouco explorado. Partindo desta premissa, este estudo tem como principal objetivo, entender, descrever, relatar e explicar de forma clara o método executivo da estaca raiz, a fim de comparar procedimentos discriminados na norma vigente NBR 6122/2010 e em referências bibliográficas com o realizado em campo na obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no Porto de Santos. Por meio destes estudos serão obtidos comparativos, planilhas, gráficos e dados que irão de maneira concreta exemplificar ambos os processos, permitindo até mesmo, caso constatado, uma proposta paralela, porém eficiente, como procedimento padrão. Em suma, este trabalho além de apresentar processos normativos e já reconhecidos, tem como proposta analisar dados e informações coletadas em campo para contrapor sua eficiência, levando evidentemente em consideração, os possíveis bônus e ônus gerados resultantes de sua aplicação.

**Palavras-chave: estaca raiz; método; comparativo; análise.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Perfuratriz.....	15
Figura 2: Tubos de revestimento.....	15
Figura 3: Perfuração com circulação d'água.....	16
Figura 4: Sapata de perfuração.....	16
Figura 5: Tricone.....	17
Figura 6: Martelo de fundo.....	18
Figura 7: Armadura da estaca raiz.....	19
Figura 8: Solda de segmentos de camisas perdidas.....	24
Figura 9: Execução da perfuração.....	26
Figura 10: Armação da estaca.....	28
Figura 11: Estaca após injeção de argamassa.....	29
Figura 12: Retirada apenas do revestimento.....	30
Figura 13: Detalhe da locação de projeto das estacas sob seus respectivos blocos (situação fora de escala).....	33
Figura 14: Detalhe da locação após execução das estacas sob seus respectivos blocos (situação fora de escala).....	34
Figura 15: Cabeço de atracção.....	38
Figura 16: Defesa.....	39
Figura 17: Média das camadas que compõe o perfil geológico de Outerinhos.....	40
Figura 18: Modelo do boletim de perfuração.....	43
Figura 19: Parcela útil e descartada após execução da estaca.....	45
Figura 20: Rompedor hidráulico removendo excedentes em torno da estaca.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tubos de revestimento usados em estacas-raiz e diâmetro de martelos de fundo .....	17
Tabela 2: Resultados dos relatórios de sondagem (furos SM-01 e SM-02).....	32
Tabela 3: Condições ambientais sofridas pela superestrutura.....	36
Tabela 4: Navios de projeto para atracação.....	37
Tabela 5: Quantificação das parcela úteis e descartáveis durante o processo executivo .....	45

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	7
1.1	OBJETIVO.....	7
1.1.1	Geral.....	7
1.1.2	Específico.....	8
1.2	HIPÓTESE.....	8
<b>2</b>	<b>DEFINIÇÃO</b> .....	9
<b>3</b>	<b>INFORMAÇÕES HISTÓRICAS</b> .....	11
<b>4</b>	<b>CAMPOS DE ATUAÇÃO</b> .....	12
4.1	VANTAGENS.....	12
<b>5</b>	<b>MÉTODO DO TRABALHO</b> .....	13
<b>6</b>	<b>PROCESSO EXECUTIVO</b> .....	14
6.1	PERFURAÇÃO.....	14
6.2	INSTALAÇÃO DA ARMADURA.....	18
6.3	PREENCHIMENTO COM ARGAMASSA.....	19
6.4	REMOÇÃO DO REVESTIMENTO.....	20
<b>7</b>	<b>O CASO DA OBRA DE OUTEIRINHOS</b> .....	21
7.1	A OBRA.....	21
7.2	O PROCEDIMENTO DE CAMPO DA ESTACA RAIZ.....	22
7.2.1	Materiais e equipamentos necessários.....	23
7.2.2	Perfuração.....	23
7.2.3	Instalação da armadura.....	27
7.2.4	Preenchimento com argamassa.....	28
7.2.5	Remoção do revestimento.....	29
<b>8</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	31
8.1	SONDAGEM.....	31

8.2 PROJETOS .....	33
<b>8.2.1 Locação das estacas</b> .....	33
<b>8.2.2 Considerações de projeto</b> .....	35
<b>8.2.3 Perfil das estacas</b> .....	39
8.3 BOLETINS DE PERFURAÇÃO .....	41
8.4 DESPESAS E DESPERDÍCIOS .....	43
<b>9 CONSEQUÊNCIAS</b> .....	47
<b>10 CONCLUSÃO</b> .....	50
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	51
<b>APÊNDICE 1</b> .....	52
<b>APÊNDICE 2</b> .....	53
<b>APÊNDICE 3</b> .....	54
<b>APÊNDICE 4</b> .....	55
<b>ANEXO 1</b> .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Define-se por estaca injetada do tipo raiz de acordo com a NBR6122 (2010, p.4) “estaca armada e preenchida com argamassa de cimento e areia, moldada *in loco* executada através de perfuração rotativa ou rotopercussiva, revestida integralmente, no trecho em solo, por um conjunto de tubos metálicos recuperáveis”.

Segundo Alonso (1996, p.361) “estacas-raiz: são aquelas em que se aplicam injeções de ar comprimido imediatamente após a moldagem do fuste e no topo do mesmo, concomitantemente com a remoção do revestimento”.

Pretende-se discorrer a respeito da execução da estaca tipo raiz, tomando como base a norma NBR6122:2010, bem como as informações coletadas na obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no porto de Santos. Será explanado, sucintamente, a respeito dos problemas gerados a partir desta execução e medidas adotadas como forma de correção.

O tema foi escolhido, uma vez que os membros do grupo trabalharam no local. Conseqüentemente, todo o tipo de informação necessária ao estudo poderá ser levantada com maior facilidade.

Expor a respeito de fundação de uma estrutura é sempre desafiador, mas com certeza uma atividade muito interessante e profissionalmente proveitosa para engenheiros do setor. Embasados nesses critérios, escolhemos o tema descrito.

### 1.1 OBJETIVO

#### 1.1.1 Geral

- Apresentar processo executivo da estaca tipo raiz baseado na norma NBR 6122:2010 – Projeto e execução de fundações;

### 1.1.2 Específico

- Análise das informações coletadas referentes à obra em questão;
- Apresentar estudo comparativo do processo executivo previsto na norma NBR6122:2010 com o adotado na obra;
- Expor os problemas encontrados e as soluções adotadas.

### 1.2 HIPÓTESE

- O processo executivo da estaca raiz adotado na obra seguiu as diretrizes da NBR6122:2010?
- A relação custo-benefício da execução deste método atendeu as perspectivas da obra?
- O método adotado sofreu alterações?

## 2 DEFINIÇÃO

HACHICH, Waldemar et al. (1996) definem que dentro da diversidade de fundações profundas encontradas no mercado, existem aquelas que são moldadas *in loco*. São estas:

- a) Estacas tipo Franki;
- b) Estacas escavadas sem lama Bentonítica;
- c) Estacas tipo Hélice Contínua;
- d) Estacas escavadas com lama Bentonítica;
- e) Estacas Injetadas.

Alonso (1996) descreve que as estacas injetadas são, por sua vez, subdivididas em dois modelos com técnicas executivas diferentes. Denominadas:

- 1) Estacas Raiz;
- 2) Microestacas.

Ambas diferenciam-se das demais estacas pelo fato de que podem ser executadas com inclinações entre 0° e 90°, possuem densidade de armadura superior às estacas de concreto armado, fato este justificado pela capacidade da perfuração em atingir grandes profundidades ou ser executada em terrenos de alta resistência, conferindo-as maior nível de carga transmitida ao solo por atrito lateral quando comparadas com outras estacas de mesmo diâmetro. E pelo motivo de sua carga admissível ser gerada fundamentalmente pela parcela de atrito lateral, as estacas podem ser solicitadas com a mesma carga de trabalho à tração e à compressão, uma vez que o fuste seja armado corretamente (ALONSO, 1996).

Objeto principal deste estudo, o procedimento executivo da estaca raiz é normatizada pela NBR6122:2010 (2010, p. 74) que a respeito da perfuração diz que “é revestida integralmente em solo, por meio de segmentos de tubos metálicos (revestimento) que vão sendo rosqueados à medida que a perfuração é executada”.

Conforme Marcão (2015, p.179), a estaca raiz possui “o diâmetro acabado variando de 80 a 410 mm, sendo que seu fuste é constituído de argamassa de areia e cimento e armado ao longo de todo seu comprimento”.

Alonso (1996) as define como estacas em que se aplicam injeções de ar comprimido de baixas pressões (inferiores a 0,5 MPa), posteriormente a moldagem do fuste e no topo do mesmo, simultaneamente com a remoção do revestimento.

### 3 INFORMAÇÕES HISTÓRICAS

A primeira patente desse tipo de estaca foi feita no ano de 1950, na Itália pelo professor Fernando Lizzi. Sob os registros de nº 497.736 em 11/03/52 e nº502.416 em 29/12/52 e titulada como "*Pali Radice*". Inicialmente desenvolvida para reforço de fundações e melhoramento dos solos, as empresas passaram a comercializá-la (após expiração da patente) com pequenos diâmetros de até 20 cm. Todavia, com o passar dos anos e avanço das técnicas executivas, tornou-se possível a adoção de cargas superiores a 1.000 KN e conseqüente execução com diâmetros maiores. A utilização passou então a ser como o de uma estaca normal (ALONSO, 1996).

## 4 CAMPOS DE ATUAÇÃO

Por consequência do processo de perfuração da estaca raiz não provocar vibrações, não gerar descompressão do terreno aliado ainda ao reduzido tamanho dos equipamentos utilizados e ao fato de nos dias de hoje as empresas a executarem com um bom índice de produtividade com cargas de trabalho de até 1500 KN (150tf), pode-se colocar esse tipo de fundação com forte competitividade no mercado de fundações profundas. Destacam-se as obras de reforço de fundações, fundações de obras com vizinhanças sensíveis a vibrações ou poluição sonora, ou em terrenos com presença de matacões e para obras de contenção de talude. (MARCÃO, 2015).

Alonso (1996) enfatiza que a estaca raiz pode ser empregada no reforço de fundações, para, por exemplo, acrescentar novos pavimentos em um edifício, por uma mudança de finalidade de ocupação.

Marcão (2015) diz ainda, que pelo fato de possuir uma capacidade de carga de tração semelhante à de compressão, costuma-se utilizar esse tipo de fundação na construção das torres de linhas de transmissão, além de possuírem deslocamento rápido e econômico dos equipamentos utilizados.

### 4.1 VANTAGENS

- Possibilidade de execução de espaço limitado;
  - Equipamentos de pequeno e médio porte;
  - Sem vibração e descompressão do terreno;
  - Utilizada para qualquer tipo de terreno.
- (Engecon Fundações)

## **5 MÉTODO DO TRABALHO**

### **PESQUISA TEÓRICA**

- Conceitos de: mecânica dos solos e fundações profundas injetadas;
- Estudos sobre métodos executivos em referências bibliográficas;
- Levantamento de dados e métodos de acordo com norma 6122:2010.

### **ESTUDO DE CASO**

- Coleta de informações, projetos, documentos, acervos fotográficos, sondagens e boletins;
- Análise das informações adquiridas.

#### **5.1 Planejamento de pesquisa**

- Estudo da NBR6122:2010, bem como de referências bibliográficas pertinentes ao tema;
- Reuniões do Grupo, definições do tipo de projeto, entrevistas, visitas técnicas;
- Solicitação dos documentos necessários com os gestores da referida obra para o início do estudo de caso;
- Comparativo do método executivo adotado e análise de possíveis problemas e soluções.

## 6 PROCESSO EXECUTIVO

Conforme já citado anteriormente, o processo executivo da estaca raiz é descrito pela NBR6122:2010.

Alonso (1996) divide a execução de uma estaca raiz em quatro fases consecutivas:

- Perfuração auxiliada por circulação de água;
- Instalação da armadura;
- Preenchimento com argamassa;
- Remoção do revestimento e aplicação de golpes de ar comprimido.

### 6.1 PERFURAÇÃO

É de fundamental importância que antes do início da atividade de perfuração o terreno esteja nivelado de forma que não prejudique o posicionamento da perfuratriz (figura 1), estando ela na posição vertical ou inclinada, de acordo com projeto executivo da estaca. Deve ser citada também a indispensável participação de equipe topográfica durante o processo de posicionamento da perfuratriz, bem como na locação do ponto de perfuração. Passado isto, é iniciada a perfuração por rotação dos tubos de revestimento (figura 2), que vão sendo emendados por rosca ao passo que a perfuração vai avançando. A rotação do revestimento é promovida por sistemas que operam mecânica ou hidráulicamente, estando disponível no mercado uma série de equipamentos capazes de suprir as mais distintas necessidades e dificuldades de instalação. Existem máquinas capazes de trabalhar em local com pé-direito reduzido (até 3 m), bem como modelos mais robustos, em geral sobre esteiras e de maior capacidade de perfuração. O processo é auxiliado com circulação de água, que é injetada pelo interior dos tubos e retorna à superfície (figura 3) carregando com ela os detritos do solo pela face externa através do interstício anular que se forma entre o revestimento e o terreno (ALONSO, 1996).



Figura 1: Perfuratriz

Fonte: [http://www.czm.com.br/all/files/MC180T\\_catalogo.pdf](http://www.czm.com.br/all/files/MC180T_catalogo.pdf)



Figura 2: Tubos de revestimento

Fonte: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/fundacoes/raiz/pages/image/imagepage9.html>



Figura 3: Perfuração com circulação d'água

Fonte: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/fundacoes/raiz/pages/image/imagepage22.html>

É interessante informar que os técnicos responsáveis durante a execução do serviço chequem o material que está sendo ejetado do solo e o comparem com as amostras retiradas na sondagem.

Segundo Alonso (1996), a fim de reduzir, durante a perfuração, o atrito lateral que seguramente ocorrerá entre o tubo e o solo em questão, é instalada na parte inferior do revestimento uma sapata de perfuração (figura 4) com diâmetro suavemente maior. Em consequência disso, o diâmetro acabado da estaca é sempre maior que o diâmetro externo do revestimento (ver tabela 1).



Figura 4: Sapata de perfuração

Fonte: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/fundacoes/raiz/pages/image/imagepage6.html>

Tabela 1: Tubos de revestimento usados em estacas-raiz e diâmetro de martelos de fundo

Diâmetro final da estaca(mm)	100	120	150	160	200	250	310	410
Diâmetro externo do tubo( ")	3	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	5	6	8	10	14
Diâmetro externo do tubo(mm)	89	102	127	141	168	220	273	356
Espessura da parede (mm)	8	8	9	9,5	11	13	13	13
Peso por metro linear (kg/m)	15	19	28	31	43	65	81	107
Diâmetro do martelo fundo( ")	-	-	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> "	7 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "	9 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> "	9 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> "

Fonte: (ALONSO, 1996)

O revestimento chama-se parcial quando o solo permite, por características do próprio terreno, que a perfuração continue sem a utilização dos tubos. A partir de então, o "tricone" (figura 5), que é uma ferramenta cortante, é instalado na perfuratriz dando sequência ao processo, também com auxílio de circulação d'água, abaixo da cota do revestimento. Porém, o ideal é sempre revestir toda a perfuração. É possível que materiais rochosos estejam no caminho da perfuração. Neste caso, os trabalhos são interrompidos para que sejam acopladas à composição, sapatas de perfuração com pastilhas de "wídia" ou de diamante. Outra alternativa, neste caso, seria trabalhar por rotoperfuração com martelos de fundo (figura 6), acionados por ar comprimido. O Diâmetro do "tricone" obedece a mesma ordem do martelo de fundo, descrito na tabela 1 (ALONSO, 1996).



Figura 5: Tricone

Fonte: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/fundacoes/raiz/pages/image/imagepage10.html>



Figura 6: Martelo de fundo

Fonte: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/fundacoes/raiz/pages/image/imagepage12.html>

## 6.2 INSTALAÇÃO DA ARMADURA

Completada a perfuração é promovida a limpeza do furo com circulação de água, de forma semelhante à detalhada no passo anterior, contudo sem perfuração.

A armadura, via de regra formada por barras de aço montadas em gaiola (figura 7), é instalada de forma constante ou variável ao longo do furo. De acordo com Alonso (1996, p.364) “No caso de estacas de menor diâmetro (abaixo de 160 mm) costuma-se juntar as barras num feixe dotado de espaçadores”.



Figura 7: Armadura da estaca raiz

Fonte: <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/fundacoes/raiz/pages/image/imagepage16.html>

Alonso (1996) ainda completa, informando que nas estacas trabalhando à compressão as emendas das barras podem ser feitas por simples transpasse, mas nas que trabalham à tração as emendas devem ser feitas por solda, luvas rosqueadas ou luvas prensadas.

### 6.3 PREENCHIMENTO COM ARGAMASSA

Estando a armadura devidamente apoiada no fundo do furo, é inserido o tubo de injeção, que segundo Alonso (1996, p.364) é “geralmente de PVC com diâmetro de 1½” ou de 1¼” ” para realizar o lançamento da argamassa.

De acordo com a NBR6122:2010, a argamassa a ser utilizada deve satisfazer as seguintes exigências:

- a) Ter  $F_{ck} \geq 20$  MPa;
- b) Fator água/cimento entre 0,5 e 0,6;
- c) Agregado: areia e/ou pedrisco.

São necessários no traço 80 litros de areia para 1 saco de 50 kgf de cimento e 20 a 25 litros de água para que sejam atingidos os requisitos básicos da norma. A

injeção é realizada de baixo para cima, finalizando o processo somente quando houver transbordamento da argamassa, garantindo assim que a água ou a lama de perfuração seja substituída pela argamassa (ALONSO, 1996).

#### 6.4 REMOÇÃO DO REVESTIMENTO

Concluída a injeção da argamassa, ou seja, quando o tubo de perfuração estiver totalmente cheio, sua extremidade superior é tamponada para que seja aplicada uma pressão com ar comprimido de no mínimo 4,0 kgf/cm<sup>2</sup> (<http://www.geofix.com.br/servico-estaca-raiz.php>).

Alonso (1996) diz que os golpes de ar comprimido são aplicados durante a extração do revestimento, processo este realizado com auxílio de macacos hidráulicos.

À medida que os tubos vão sendo extraídos o nível de argamassa vai abaixando necessitando ser completada antes da aplicação de novo golpe de ar comprimido. Esta operação é repetida várias vezes no curso da retirada do revestimento (ALONSO, 1996, p.364).

## 7 O CASO DA OBRA DE OUTEIRINHOS

### 7.1 A OBRA

O Consórcio Serveng/ Constremac/ Outeirinhos - SCC, constituído pelas empresas ServengCivilsan S/A – Empresas Associadas de Engenharia e Constremac Construções Ltda foi criado tendo como objeto a execução conjunta da obra de “Execução das obras de construção e adequação para alinhamento do Cais Outeirinhos no porto de Santos”, do cliente Cia Docas do Estado de São Paulo - CODESP.

A Obra de Alinhamento do Porto de Santos é a primeira obra do Consórcio SCC, onde as empresas se uniram para realizar o alinhamento do cais que permitirá a atracação simultânea de até 6 navios de cruzeiros. A obra colocará Santos em evidência, como um dos maiores portos de movimentação de passageiros do mundo.

A referida obra constitui-se na execução de 1282,86 metros de cais, dividido em 07 trechos, como sugere o APÊNDICE 1 – IMPLANTAÇÃO GERAL DOS SEGMENTOS DO CAIS DE OUTEIRINHOS, aprofundando seu calado à uma cota de -15 metros. O prazo da obra é de 26 meses, divididos em duas Ordens de Serviço (O.S). A primeira O.S compreende os trechos 1, 2, 3 e 4, e deve ser concluída em 16 meses. Os 10 restantes são designados para a conclusão dos trechos 5,6 e 7, que compõem a segunda O.S. O valor do contrato é de R\$ 287.270.100,18. A logística de trabalho foi desenvolvida para não impactar na operação tanto do terminal de passageiros, como dos demais agentes portuários.

De modo geral, grande parte das execuções desta obra consiste em elementos de infraestrutura. Um deles em especial, empregado em “terra” a fim de atuar estruturalmente e distribuir os esforços provenientes do cais é a estaca raiz. Entretanto este tipo de fundação com o decorrer da obra precisou ser revisto, levando até mesmo à sua alteração. Resumidamente, apesar das grandes proporções desta obra, e dos infinitos temas presentes, a estaca raiz especificamente foi escolhida como objeto deste estudo.

## 7.2 O PROCEDIMENTO DE CAMPO DA ESTACA RAIZ

O uso da estaca-raiz está presente nas mais distintas áreas da construção civil, justamente pelo fato de proporcionar vantagens categóricas, o que predominantemente acaba por atender os requisitos de um projeto dentro de um excelente custo benefício.

No caso obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no porto de santos, não foi diferente. A equipe de engenheiros que projetaram o cais, após uma minuciosa coleta de dados e informações, obtidos por meio de numerosos ensaios e testes de campo, optaram por empregar o uso das estacas raiz como parte integrante da infraestrutura desta obra. A princípio, de forma geral, as fundações consistiam basicamente em dois elementos, as estacas escavadas com o uso de camisas metálicas cravadas, para execução da infraestrutura sobre o mar, e as estacas raiz para execução da infraestrutura em terra. Entretanto, apesar da setorização e utilização de métodos distintos, a estrutura foi projetada para atuar de forma conjunta, distribuindo os esforços solicitados pela própria utilização do cais e dos impactos provenientes de possíveis atracções de navios.

As estacas raiz empregadas na obra de Outeirinhos, foram projetadas para atuar em blocos sobre duas estacas, porém no decorrer das execuções muitas delas precisaram ser alteradas devido as interferências encontradas durante o processo de escavação/ perfuração. Pelo fato deste tipo de estaca ter como premissa o uso de pequenos diâmetros, tornava impossível o acesso humano para averiguação e constatação da possível causa. Logo, a única solução cabível era relocar a estaca, reiniciando todo o processo. Então, o projetista era contatado e uma nova configuração de bloco era emitida já sendo considerada excentricidade gerada pela mudança da estaca.

Inicialmente em projeto, foram estimadas 428 estacas raiz a serem executadas à margem do *cais antigo* para distribuição dos esforços, entretanto, devido a uma série de fatores e elementos contraproducentes, foram executadas apenas 65 estacas, estas que compreendem o segmento 3.I da obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no porto de santos. Estas estacas, são alvo de

nosso estudo, portanto, será detalhada uma descrição dos processos adotados em sua execução.

### **7.2.1 Materiais e equipamentos necessários**

- Perfuração:

- Sonda rotativa
- Perfuratriz roto-percussiva
- Tricone de vídea
- Haste prolongadora rosqueável
- Martelo para perfuração em rocha
- Martelo vibratório hidráulico
- Macaco extrator hidráulico ou guindaste
- Tubos de perfuração de aço rosqueável para revestimento Ø 406mm
- Tubos de perfuração de aço rosqueável para enrocamento Ø388mm

- Injeção:

- Bomba para injeção de argamassa
- Tubo PVC DN 40mm para tremonha
- Mangote para injeção de argamassa

### **7.2.2 Perfuração**

O método de execução, somente é iniciado após o eixo da perfuratriz estar devidamente locado pela topografia, obtendo dessa forma dados iniciais como coordenadas e cota de superfície. Tendo o ponto marcado, para o início das atividades, os equipamentos, ferramentas e materiais são conduzidos até o local determinado para efetivamente iniciar o serviço. A perfuratriz então é equipada com

o martelo de enrocamento roto-percussivo a fim de vencer a alta resistência proveniente da espessa camada de enrocamento, sendo concomitantemente cravadas os segmentos metálicos, também conhecidos como “camisa perdida”. Este processo se repete por toda a camada de enrocamento presente no perfil geológico do terreno. Para as “camisas perdidas” subsequentes instaladas em paralelo à perfuração, estas são rosqueadas, soldadas (figura 8) e “imobilizadas” com chapas de aço (tala) a fim de evitar flexão em suas conexões (juntas). Os tubos metálicos utilizados como camisa tem comprimento médio de 3,00 metros. Na parte que compreende a camada de enrocamento, os segmentos instalados têm dupla função, haja vista que, profundidade e estabilidade são grandezas diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior a profundidade da perfuração mais instável este se torna, além disso, a camada de enrocamento é composta basicamente de pedras de grandes proporções como *rachão* e *pedra de mão* (britas 4 e 5 respectivamente), o que tornaria impossível a injeção de armagassa sem qualquer anteparo nesta camada. Portanto, para garantir estas duas condições fundamentais para a execução da estaca, estes segmentos metálicos precisam permanecer nesta camada mesmo após o término de todas as etapas executivas, motivo este que os faz serem intitulado de “camisas perdidas”.



Figura 8: Solda de segmentos de camisas perdidas  
Fonte: Do autor

Ao deparar-se com o início da camada de solo, isto é, término da resistente camada de *enrocamento*, o método adotado com uso do *martelo roto-percussivo* juntamente da *camisa perdida* deverá avançar 2,00 metros na camada subsequente. Esta etapa, conhecida como *selo*, ocorrerá justamente para garantir a “estanqueidade” no processo de injeção da argamassa, pois trata-se de um perfil extremamente característico, para tal, precauções como esta se fazem necessárias, evitando assim uma possível fuga de argamassa entre a transição das camadas. Isso geralmente ocorre aproximadamente entre as cotas -15,50 e -16,00 metros abaixo da cota do terreno e em relação ao nível da tábua das marés. Feito o procedimento descrito abrem-se duas opções que serão testadas e definidas no local:

1 - O martelo roto-percussivo é sacado do interior dos tubos, para descer de acordo com a profundidade determinada, tubos metálicos, de diâmetro levemente expandido, para compor o chamado *revestimento*. É importante destacar a necessidade do primeiro segmento instalado conter *bits de vídea*, a fim de formarem a *coroa* da camisa para se obter uma resistência e dureza superior ao metal utilizado nas camisas e tornar possível a escavação com o próprio revestimento.

2 - O martelo roto-percussivo é sacado do interior dos tubos e substituído pelo *tricone de vídea*, que atuando de forma congênita com as hastes prolongadoras, executa a escavação em argila marinha ou em material que apresente maior resistência.

3 - O martelo *roto-percussivo* é sacado do interior dos tubos e substituído pelo *martelo de fundo* que executará a perfuração (figura 9) em matacões ou em determinado material que apresente resistência superior aos anteriores.

Embora cada técnica tenha sua peculiaridade todos basicamente fazem do mesmo uso para carrear os detritos resultantes da escavação/ perfuração, que é fazê-los retornar à superfície por meio do interstício anular, nome que se dá ao elemento formado entre o revestimento e o solo. Estes processos de escavação/ perfuração não necessariamente são prescritos como regra, a ausência ou presença deles será dita de acordo com a necessidade do perfil geológico e resistência que este apresentar. Independentemente de quais procedimento serão empregados em cada estaca, seguirá em paralelo a adição de segmentos de camisas metálicas também com um comprimento médio de 3,00 metros, porém com um diâmetro

levemente reduzido ( $\text{Ø}388\text{mm}$ ), pois durante o processo de injeção de argamassa, são sacadas, ou seja, diferente das demais utilizadas na camada de *enrocamento*, estas camisas são reutilizadas e não carregam o termo de *camisa perdida*, são intituladas de revestimento. Evidentemente ao contrário do que se sugere no procedimento anterior, este é necessariamente obrigatório como método executivo.



Figura 9: Execução da perfuração  
Fonte: Do autor

Ambos os métodos seguem repetidamente até a constatação do término da camada de solo e início da rocha sã. Deve-se certificar que o revestimento esteja de fato apoiado na rocha sã, pois durante o processo de escavação diversas interferências são constatadas, o que pode gerar certo equívoco e determinar precipitadamente o início da rocha sã. Ao ser de fato confirmada a rocha, de forma que o revestimento se “apoie” sobre ela é instalado o *martelo de fundo*, que possui um diâmetro de  $\text{Ø}310\text{mm}$  para executar o *embutimento* em rocha, também chamado de *pino*. Nesta etapa de execução, não há necessidade do uso de quaisquer tubos metálicos como forma de estabilização, pois a rocha evidentemente, tem uma resistência extremamente elevada, o que garante por si só a integridade da perfuração. Este pino, conforme determinado em projeto, precisa alcançar um comprimento maior ou igual a 6 metros, para tal se faz necessário apenas o uso deste martelo, sem a alternância com quaisquer outros equipamentos.

### 7.2.3 Instalação da armadura

Concluído todo o processo de escavação e perfuração da estaca, atingindo portanto, sua cota final, retira-se todos os equipamentos do fuste para descer um tubo com uma dimensão igual ou levemente superior ao comprimento total da estaca (“da cabeça ao pé”) de PVC com diâmetro nominal de 40mm, chamado de *tremonha*, para realizar um procedimento conhecido como *air-lift*, que consiste basicamente na injeção de ar comprimido no fundo da perfuração, a fim de coagir a extrusão de quaisquer elementos contaminantes ou que possam comprometer a resistência da estaca, resultando assim na limpeza absoluta do fuste e tornando-o apto para armação.

O processo de armação se inicia após a retirada do *martelo de fundo*, conclusão da escavação/ perfuração e lavagem do fuste. Com o auxílio de um guindaste ou da própria da perfuratriz, *tramos* de 12 metros são içados e inseridos de acordo com a profundidade atingida no furo da escavação. Para tal, são necessárias emendas entre os *tramos*, seguindo criteriosamente as especificações de projeto de forma a respeitar *bitolas*, *espaçamentos*, *cobrimentos*, *amarrações* e *transpasses*. Este processo se dá repetidamente, até que se atinja a profundidade final da estaca, considerando fundamentalmente que esteja armada o trecho de *embutimento em rocha*, como ilustrado na figura 10.



Figura 10: Armação da estaca  
Fonte: Do autor

#### 7.2.4 Preenchimento com argamassa

Após realizada a armação da estaca, inicia-se a injeção de argamassa. A utilização de argamassa ao invés de concreto que, como via de regra é utilizado na grande parcela dos elementos de infraestrutura, é um dos principais fatores, se não o principal, que a torna tão característica. Seu uso se faz necessário justamente pelo fato desse tipo de estaca apresentar diâmetros comerciais relativamente pequenos e pelo próprio método executivo exigir uma altíssima fluidez para tornar possível o enraizamento no solo. O mesmo tubo utilizado no *air-lift*, é novamente inserido no fuste até que este compreenda todo o comprimento da estaca. Além disso, vale ressaltar a necessidade que havia de seguir obrigatoriamente a relação mínima de cimento de  $600\text{kg}/\text{m}^3$  descrita na NBR6122:2010, para garantir que a estaca obtenha uma resistência característica acima de 20 Mpa, sendo assim, esta condição foi naturalmente adotada. Cada traço de  $1\text{m}^3$  argamassa injetado, continha 12 sacos de cimento na sua composição, isto é, considerando sacos de 50kg, obtêm-se justamente o valor recomendado por norma. Para os demais traços, ou aqueles que representavam menos de  $1\text{m}^3$  obedecia-se a respectiva proporção.

Tendo atingido a cota estipulada, com o auxílio de uma bomba, inicia-se a injeção pressurizada de argamassa usinada com uma resistência de 40MPa (figura 11). É imprescindível total atenção durante este procedimento, pois quando o preenchimento de argamassa atingir a cota de revestimento, será necessário que estas camisas sejam içadas e removidas por todo o trecho de solo à medida que a injeção progrida. Na ocasião em que se apresente grande dificuldade na remoção destas camisas, orienta-se o uso do *martelo vibratório hidráulico* para diminuir o atrito lateral e tornar mais fácil sua extração. Este método deve ser repetido até que o revestimento seja completamente sacado, garantindo assim o “fenômeno” do enraizamento em solo. Este fator é justamente o responsável por conceder a terminologia de estaca raiz ao elemento central deste estudo.



Figura 11: Estaca após injeção de argamassa  
Fonte: Do autor

### 7.2.5 Remoção do revestimento

Por último, deve-se garantir que as camisas metálicas da camada de enrocamento não sejam removidas durante o processo para que não haja perda excessiva de material (figura12). Além disso, deve certificar-se que durante o processo de preenchimento, a argamassa extravase pela superfície da estaca, de modo que possibilite a expulsão do trecho deste material que fora contaminado devido ao contato com água sulfatada.



Figura 12: Retirada apenas do revestimento  
Fonte: Do autor

Após a injeção de argamassa e retirada do revestimento, é de suma importância que a *tremonha* seja também retirada, pois além desta não ter qualquer função estrutural, esta será reutilizada posteriormente nas demais estacas. Além disso, como recomendação adotada, não se deve executar estacas com espaçamento inferior a cinco diâmetros da própria estaca em um intervalo inferior a 12 horas.

## 8 RESULTADOS

Como já dito anteriormente, as estacas raiz foram executadas no segmento 3 da obra. Tal segmento, sendo mais específico, foi subdividido em duas áreas, pois ao decorrer da execução das estacas, constatou-se uma necessidade de revisão do projeto bem como a substituição do método em vigor. Portanto, este segmento em particular ficou sendo fracionado em dois elementos, o segmento 3.I e o segmento 3.II, sendo o primeiro o qual contempla todo o nosso objeto de estudo. No segmento em questão, foram executadas um total de 65 estacas raiz, este valor envolve desde as estacas que faziam parte originalmente do projeto às estacas resultantes de interferências e revisões arbitrárias no decorrer da obra.

### 8.1 SONDAGEM

Ao todo, onze furos de sondagem mista (SM-01 a SM-11), como ilustra o APÊNDICE 2 – LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM MISTA NA ARESTA DO CAIS DE OUTEIRINHOS, foram pré-determinados pela CODESP, não atendendo o embasamento da NBR 8036:1983, que define que as sondagens devem ser, no mínimo, de uma para cada 200 m<sup>2</sup> de área construída.

As sondagens mistas são realizadas uma vez que ao longo do furo são encontrados obstáculos, tal como rochas, que impeçam a continuidade do trabalho. Ou seja, são inicialmente executadas por percussão, até que se atinja o impenetrável, prosseguindo por meio de perfuratriz rotativa.

O método utilizado foi o ensaio de penetração padronizado ou SPT (*standard penetration test*), respeitando as normas contidas na NBR 6481:2001. O ensaio determina o índice de resistência à penetração do solo pelo número de golpes correspondente a cravação de 30 cm do amostrador padrão, após a cravação inicial de 15 cm, utilizando-se corda de sisal para levantamento do martelo (65 kg) a uma altura de 75 cm. Essa operação se repete a cada metro avançado na perfuração, até que se atinja a cota de projeto desejada. São coletadas amostras, também conhecidas como testemunhos ao decorrer da operação para que o solo seja

devidamente analisado em laboratório e classificado de acordo com a norma vigente.

Analisando a planta de subdivisão dos segmentos e comparando-a com a planta de localização dos furos de sondagem, podemos perceber que os furos mais próximos das estacas raiz projetadas são o SM-01 e SM-02. Pois bem, de acordo com a tabela 2, a camada de rocha são nesses dois furos é encontrada, aproximadamente, a partir dos 35 metros de profundidade. Como já citado anteriormente, nos itens pertinentes ao processo executivo, se faz necessária a perfuração de seis metros ou mais da rocha são, para que ocorra o *embutimento* da estaca em rocha, o chamado pino. Avaliando o APÊNDICE 3 – PERFIL GEOLÓGICO, que diz respeito a alguns dados relativos aos boletins de perfuração, observamos que todas as estacas foram devidamente embutidas em rocha (6 metros) e o comprimento total registrado nos comprova a veracidade da informação apresentado no relatório de sondagem, no que diz respeito à profundidade em que se encontra rocha são.

Em especial, a estaca ER03B foi liberada pelo projetista da obra para que fosse finalizada na cota de 12 metros, devido à interferência encontrada durante a perfuração.

Tabela 2: Resultados dos relatórios de sondagem (furos SM-01 e SM-02).

RELATÓRIO DE SONDAJEM			
FURO DE SONDAJEM	COTAS (m)	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO	NÍVEL D'ÁGUA (NA)
SM-01	0,00 - 14,10	Aterro de rachão de vários diâmetros com matriz argilosa e arenosa	5,70
	14,10 - 35,20	Solo sedimentar, argila orgânica, argila marinha e areia de granulação variada	
	35,20 - 40,20	Rocha, granito-gnaisse	
SM-02	0,00 - 15,60	Aterro de rachão de vários diâmetros com matriz argilosa e arenosa	5,30
	15,60 - 34,47	Solo sedimentar, argila orgânica, argila marinha e areia de granulação variada	
	34,47 - 41,27	Rocha, granito-gnaisse	

Fonte: Do autor

## 8.2 PROJETOS

### 8.2.1 Locação das estacas

O projeto de modo geral foi elaborado por uma empresa especializada no setor e evidentemente todos os elementos estruturais foram então por ela minuciosamente discriminados. Dentro deste contexto obtêm-se o projeto de locação das estacas, este qual informa as respectivas terminologias de cada elemento, bem como as coordenadas NORTE (N) e ESTE (E), dentro do sistema Córrego Alegre. Basicamente as estacas foram locadas de modo que compusessem blocos de duas estacas, cada bloco apresentando uma distância média de 2,47 metros de eixo à eixo, como mostra de forma clara a figura 13.

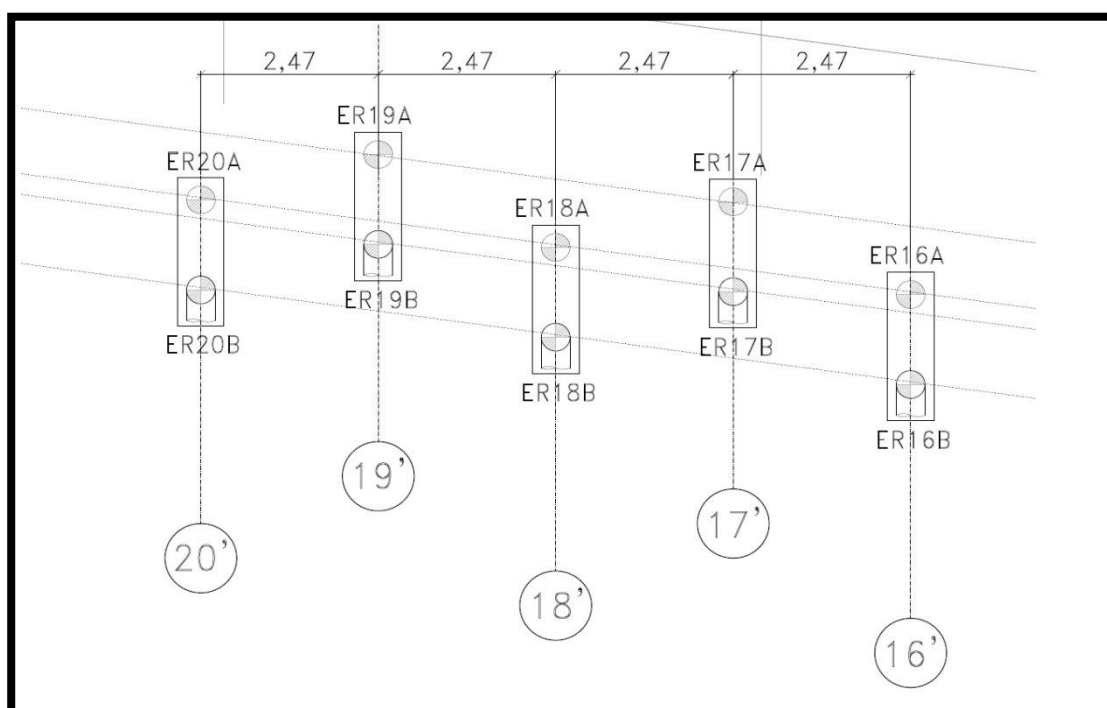


Figura 13: Detalhe da locação de projeto das estacas sob seus respectivos blocos (situação fora de escala).

Fonte: Do autor

No entanto, durante a execução destas estacas, interferências geológicas não previstas foram encontradas durante a escavação/ perfuração que geraram por si só uma série de contratempos e medidas para tentar corrigi-las. Não obstante, em determinados casos todos os métodos corretivos empregados não surtiam efeito, o

que obrigava a empresa executante solicitar revisões de projeto, resultando assim na alteração desses blocos em particular bem como das estacas que faziam parte de sua composição.

Por critério do calculista, em todos os casos onde foi necessário adotar novas coordenadas para as estacas, e conseqüentemente novas dimensões para os blocos, foram adotados blocos sob três estacas, o que resulta por natureza em uma geometria triangular. Ao longo da execução das 65 estacas, houve um total de seis revisões de blocos e alterações em suas respectivas especificações, devido é claro, a interferências encontradas durante a execução de ao menos uma das estacas que compunham determinado bloco.

Na figura 14, é possível compreender a situação explanada. As interferências geológicas fizeram com que as estacas fossem executadas fora do eixo a que pertenciam. No detalhe estão cinco eixos em que ocorreram tais mudanças. Pode-se perceber que nos eixos 17' e 20' a distância entre as estacas após sua execução, considerando um plano horizontal, foi consideravelmente menor que nos eixos 16', 18' e 19'. Tal diferença explica o fato de ter sido projetada mais uma estaca para cada um desses blocos, criando assim um bloco triangular.

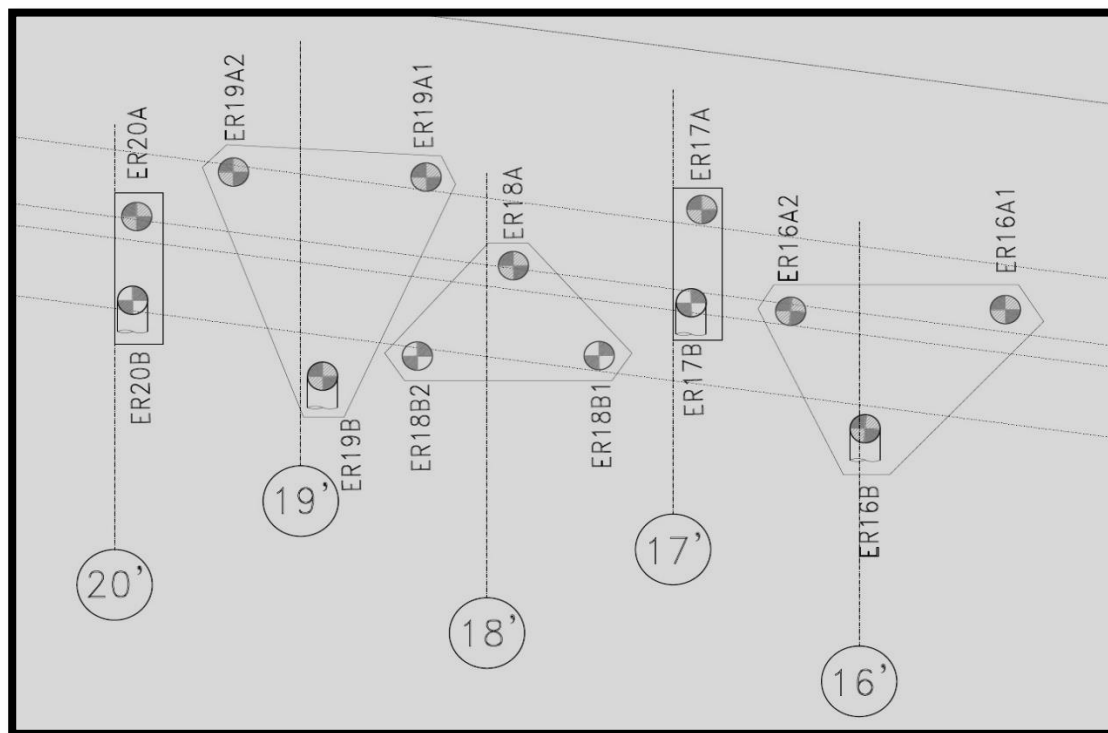


Figura 14: Detalhe da locação após execução das estacas sob seus respectivos blocos (situação fora de escala).

Fonte: Do autor

## 8.2.2 Considerações de projeto

Para que o projeto fosse executado, algumas premissas tiveram que ser estabelecidas. Gentilmente fornecido pela empresa cliente da obra, a CODESP, o documento de N°: CP-4710-300-00-001 revisão 2, esclarece minuciosamente as considerações tomadas, sendo todas elas baseadas em normas vigentes na data de concepção do projeto. Destacando-se perante uma série de outras normas consultadas, sendo a grande maioria relacionada a obras marítimas, deu-se atenção especial as normas:

- NBR 9782 – Ações em estruturas portuárias, marítimas ou fluviais;
- NBR 6118 – Projeto e execução de obras de concreto armado;
- NBR 6122 – Projeto e execução de fundações.

A nova superestrutura foi projetada para estar situada a uma cota de +3,26m, com referência no 0,00 da DHN (referencial da marinha do Brasil) com largura que varia entre 25m e chega ao seu máximo com 50m. Tal dimensão permite a utilização de 2 a 3 vias para tráfego, considerando circulação e carregamento, incluindo-se também a operação de guindastes para carga conteneurizada.

### 8.2.2.1 Condições ambientais

A tabela 3 ilustra as condições ambientais as quais a superestrutura estará exposta ao longo de sua vida útil.

Tabela 3: Condições ambientais sofridas pela superestrutura.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS	
FATOS	CONSIDERAÇÕES
<b>Temperatura</b>	Variação de +/- 15°C atuando uniformemente na superestrutura e variação de -15°C para efeitos de retração do concreto
<b>Corrente</b>	Não considerar
<b>Vento</b>	Foram utilizadas as isopletras da região de Santos
<b>Ondas</b>	Não considerar
<b>Variação do nível de água</b>	Nível máximo : +1,96m (DHN)
	Nível mínimo : -0,35m (DHN)

Fonte: Do autor

#### 8.2.2.2 Navios de projeto

Foram especificadas também pela empresa executante as características das embarcações a serem adotadas no projeto. A tabela 4 a seguir foi elaborada seguindo as recomendações da PIANC (*permanente international association of navigation congresses*).

Tabela 4: Navios de projeto para atracação.

NAVIOS DE PROJETO						
Tipo	Tam.	TPB (ton)	DT (ton)	L (m)	B (m)	D (m)
Carga geral	máx.	70.000,0	85.000,0	245,0	32,3	14,7
	Mín.	5.000,0	7.210,0	104,0	16,0	6,1
Contêiner	máx.	70.000,0	115.000,0	293,0	37,9	13,7
	Mín.	10.000,0	14.300,0	134,0	21,6	7,7
Passageiros	máx.	-	110.000,0	318,0	42,8	9,5
	Mín.	-	30.000,0	194,0	26,8	7,6
Marinha (Rebocador)	-	-	1.680,0	55,4	11,6	3,9
Navio-Patrolha	-	-	230,0	46,5	7,5	2,4

Fonte: Do autor

Onde:

TPB = Toneladas – Peso bruto;

DT = Deslocamento;

L = Comprimento total da embarcação;

B = Boca da embarcação;

D = Calado máximo.

### 8.2.2.3 Materiais – Propriedades

- Fundação – Estacas tubulares metálicas: ASTM A572 ou API 5L;
- Fundação – Camisas metálicas perdidas: ASTM A36;
- Estruturas metálicas: ASTM A572 Gr50 ( $f_y = 345$  MPa);
- Aço para armaduras: CA-50 ( $f_y = 500$  MPa);
- Concreto pré-moldado:  $f_{ck} = 40$  MPa;
- Concreto “in-loco”:  $f_{ck} = 40$  MPa;

- Parafusos de alta resistência: ASTM A325.

#### 8.2.2.4 Cargas de utilização

##### 8.2.2.4.1 Sobrecargas verticais

Foi considerada uma sobrecarga de 50 KN/m<sup>2</sup> aplicada na área correspondente ao novo cais, valor este correspondente as combinações de ações derivadas da própria utilização do cais em operação.

##### 8.2.2.4.2 Cargas de tráfego – carretas

Para suportar a movimentação de veículos, foi adotado como padrão o trem-tipo TB45, trafegando sobre o cais, com 3 eixos de 150 KN/eixo.

##### 8.2.2.4.3 Cargas de operação

Sendo o cais novo projetado para carregamento de carga containerizada, teve de ser levado em conta também a utilização de veículo pesado sobre a superestrutura. Foi tomado como parâmetro o guindaste GOTTWALD, modelo G HMK 6407, trafegando e patolando em qualquer posição.

##### 8.2.2.4.4 Cargas de amarração

Sistema composto por cabeços duplos em aço forjado (figura 15), projetado para suportar uma carga de 1000 KN.



Figura 15: Cabeço de atracação  
Fonte: Do autor

#### 8.2.2.4.5 Cargas de atracação

Sistema composto por defensas cônicas (figura 16) espaçadas a cada 15m que permite atracação de todos os navios descritos na tabela 4 do item 8.2.2.2.



Figura 16: Defesa  
Fonte: Do autor

#### 8.2.3 Perfil das estacas

Como já foi relatado, sondagens foram previamente realizadas no local, antecedendo a obra e quaisquer etapas vinculadas a ela. Deste modo se pôde obter um perfil geológico do terreno no qual efetivamente seriam executadas as obras de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no Porto de Santos de um modo geral.

Evidentemente, foram executadas majoritariamente mais estacas em relação aos furos de sondagens, o que por consequência resultou em uma coleta muito rica de informações a respeito do solo. Se evidenciarmos apenas as estacas injetadas do tipo raiz que foram realizadas, já é possível por si só, extrair dados com alto índice de precisão. Por este motivo, tomando como base somente as estacas raiz, obtivemos um perfil geológico extremamente detalhado, pois ao discorrer do seu

processo executivo, todos os dados, informações e elementos abjetos às sondagens, foram minunciosamente discriminados em boletins e relatórios oficiais por parte da empresa executante, bem como da gerenciadora.

Estes dados técnicos por sua vez foram filtrados à medida que se apresentaram pertinentes ao tema deste trabalho, e naturalmente projetados em softwares, a fim de se obter planilhas e gráficos que pudessem expressar de forma clara a real condição do terreno. Ver APÊNDICE 3 – PERFIL GEOLÓGICO e APÊNDICE 4 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES.

Para uma breve e genérica análise, a figura 17 mostra as camadas que compõem o perfil e a média de suas respectivas profundidades, de forma relativa e sem escala. Com a ilustração, é possível observar 3 camadas distintas, iniciando pelo enrocamento, seguida pela camada de solo até atingir a rocha sã. Contudo em especial, a camada de enrocamento é a responsável por alterar o modelo pragmático de execução deste tipo de estaca.

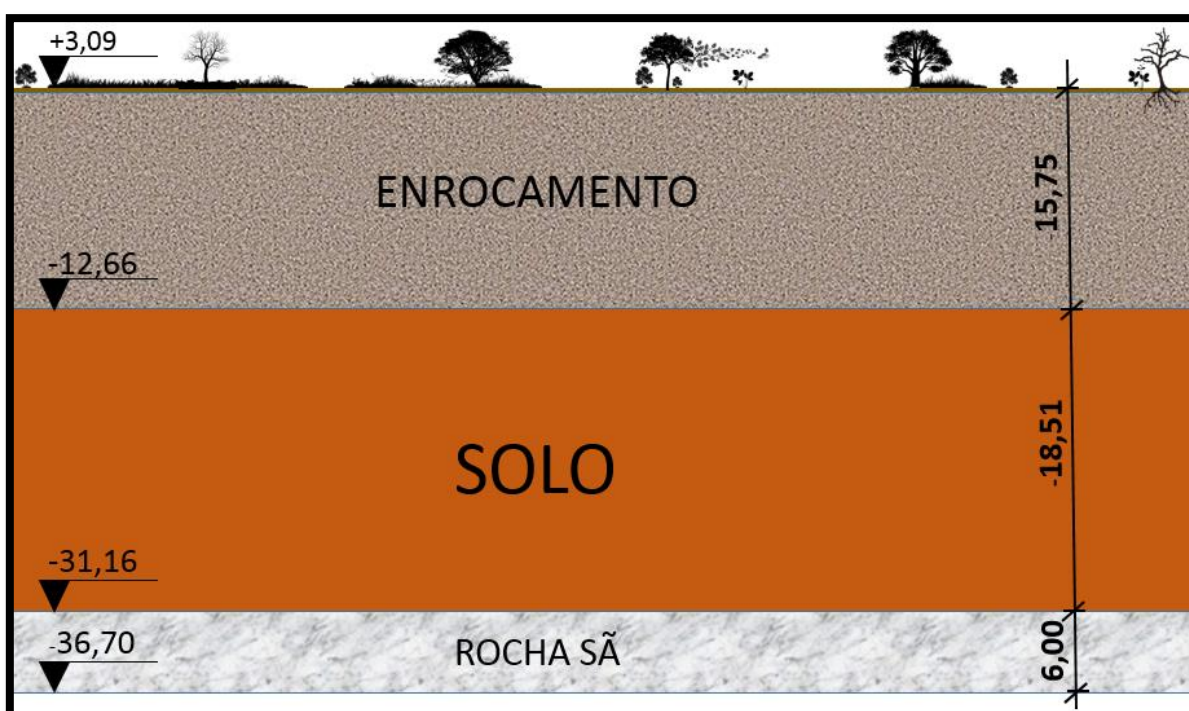


Figura 17: Média das camadas que compõem o perfil geológico de Outerinhos.  
Fonte: Do autor

Esta configuração propicia em modelo incomum no que se refere a execução de estacas do tipo raiz. Os principais problemas se resumem em dois fatores fundamentais, a perfuração e a injeção. Neste tipo de camada por se tratar

basicamente de pedras, apresenta-se uma resistência relativamente elevada, o que torna sua perfuração complicada e de difícil estabilização. Além disso, como o rachão possui um alto diâmetro característico, se comparados com demais agregados, o índice de vazios resultante desta camada mostra-se extremamente superior ao convencional, o que tornaria impossível a injeção de argamassa.

Portanto, visando solucionar este impasse, foi definido pelo projetista a utilização de camisas perdidas, estas quais nada mais são do que o próprio tubo metálico utilizado para perfuração/ escavação, contudo, com diâmetro levemente superior para permanecer fixa como “sacrifício” por todo trecho que compreende essa camada em específico, a fim de que as demais camisas possam continuar com processo até a cota de projeto estipulada. Esta camisa perdida como dito, limita-se apenas a camada de enrocamento, ultrapassando apenas em média 2 metros da camada subsequente para garantir o chamado *selo*, impedindo assim que haja possíveis vazamentos durante a injeção.

De modo geral, pode-se afirmar que esta camada de 15,75 metros em média de enrocamento foi o fator determinante para se adaptar um modelo de execução paralelo ao comumente utilizado.

### 8.3 BOLETINS DE PERFURAÇÃO

Todo procedimento de campo de modo geral exige um acompanhamento técnico, contudo, métodos que fogem ao convencional requerem uma atenção particular, pois maiores são as probabilidades de que ocorram não conformidades referentes ao estipulado em projeto.

Tomando isso como base, a execução das estacas do tipo raiz da obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no Porto de Santos, exigiu por parte da empresa executante um acompanhamento técnico e detalhado, a fim de garantir que o procedimento fosse obrigatoriamente seguido à risca, de acordo com o que dita o projeto, além de é claro, obter uma gama de dados e informações.

O acompanhamento foi realizado durante todo o processo executivo das estacas, da primeira à última, por um assistente técnico que coletava as informações

de campo e as transcrevia para um documento. Este documento desenvolvido em especial para este elemento de fundação foi o recurso encontrado pela empresa de oficializar todo o acompanhamento técnico executivo das estacas. Este, apesar de ser chamado de boletim de perfuração, continha informações que iam além do que contemplava o processo. Nele era possível obter dados como ferramentas utilizadas, períodos e principalmente subsídios referentes as camadas do solo perfurado/escavado, que por sua vez tornou possível extrair um perfil geológico relativamente próximo do real, no que diz respeito às profundidades das suas respectivas camadas.

O boletim além de servir como documento e artifício técnico para se obter dados, ele se fazia essencialmente necessário para realizar o controle do processo, isto é, uma forma de garantir as especificidades do projeto, principalmente para este elemento em especial que continha características singulares em sua configuração. Isto é, boletins de acompanhamento, de modo de geral, são uma fonte rica para de obter dados e fiscalizar processos, um registro que se faz imprescindível em diversos meios e aplicações, portanto a sua necessidade.

Na figura 18 segue o modelo, de forma reduzida, dos boletins utilizados no acompanhamento da execução das estacas raiz obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no Porto de Santos, nela é possível observar as cédulas onde eram anotadas as informações como hora, profundidade, cota, tipo de material, tipo de ferramenta etc. Consta no ANEXO 1 – BOLETIM DE PERFURAÇÃO, para melhor visualização, onde é possível visualizar os demais dados, como croquis, volume de argamassa, armadura, slump, camisa perdida, camadas do solo, entre outros.

DADOS DE EXECUÇÃO							
PROFUNDIDADE (m)			HORÁRIO			Classificação do Solo	Ferramenta de Perfuração
Início	Término	Total	Hora Início	Hora Fim	Hora Total		
0,00	2,68	2,68	14:28	14:29	00:01	Enrocamento	Martelo
2,68	8,02	5,34	15:36	16:12	00:36	Enrocamento	Martelo
8,02	9,52	1,50	16:50	17:26	00:36	Enrocamento	Martelo
9,52	9,77	0,25	10:10	10:15	00:05	Enrocamento	Martelo
9,77	12,36	2,59	13:27	16:20	02:53	Enrocamento	Martelo
12,36	15,43	3,07	16:14	18:00	01:46	Enrocamento	Martelo
15,43	15,72	0,29	18:00	18:10	00:10	Enrocamento	Martelo
15,72	17,45	1,73	18:11	18:16	00:05	Solo	Martelo
0,00	3,50	3,50	14:35	14:51	00:16	Enrocamento	Coroa
3,50	6,50	3,00	15:00	15:05	00:05	Enrocamento	Coroa
6,50	9,50	3,00	15:05	15:10	00:05	Enrocamento	Coroa
9,50	12,50	3,00	15:30	15:34	00:04	Enrocamento	Coroa
12,50	15,50	3,00	15:57	16:01	00:04	Enrocamento	Coroa
15,50	18,50	3,00	16:18	16:21	00:03	Solo	Coroa
18,50	21,50	3,00	16:40	16:43	00:03	Solo	Coroa

Figura 18: Modelo do boletim de perfuração.  
Fonte: Boletim de perfuração fornecido pela CODESP.

Portanto, dentro dessa conjuntura, é possível dizer que o boletim de perfuração utilizado nesta obra se fez absolutamente importante, desde a coleta extremamente rica de dados ao controle rigoroso do procedimento executado.

#### 8.4 DESPESAS E DESPERDÍCIOS

Despesas de modo geral, representam uma parcela extremamente expressiva em qualquer obra, seja ela pública, privada, de grande porte ou pequeno. Pequenos detalhes executivos muitas das vezes acabam sendo desprezados em uma visão global, porém em um olhar mais criterioso, cada pormenor deve ser pautado a fim de se evitar todo e qualquer desperdício.

Aplicando este princípio ao tema deste trabalho foi possível realizar alguns levantamentos quanto à quantidade de aço utilizada durante todo o processo executivo da estaca raiz. Como é sabido, o projeto base fornece infindáveis informações sobre referida obra, dentre elas, cotas de arrasamento, estas referentes, por exemplo, à camisa perdida e à armadura das estacas.

Com base no texto discriminado ao longo deste estudo, sabe-se que para a execução destas estacas raiz em particular, foi necessário o uso de camisa perdida, portanto, um consumo elevado de aço não reaproveitado. Contudo, além deste, foi possível constatar um outro consumo de aço não reaproveitado, porém este acima de tudo, inutilizado. Isto se dá justamente pelo método adotado, já que as cotas de arrasamento e superfície não coincidem, ou seja, a estaca raiz era inteiramente armada e preenchida por argamassa, desde seu embutimento em rocha até à cota do terreno.

Portanto, de forma resumida a figura 19 exemplifica a situação decorrente do processo executivo. Pode-se notar que o comprimento útil é expressivamente maior do que o descartado, porém como produto, obtêm-se um valor significativo resultante de todas as estacas.

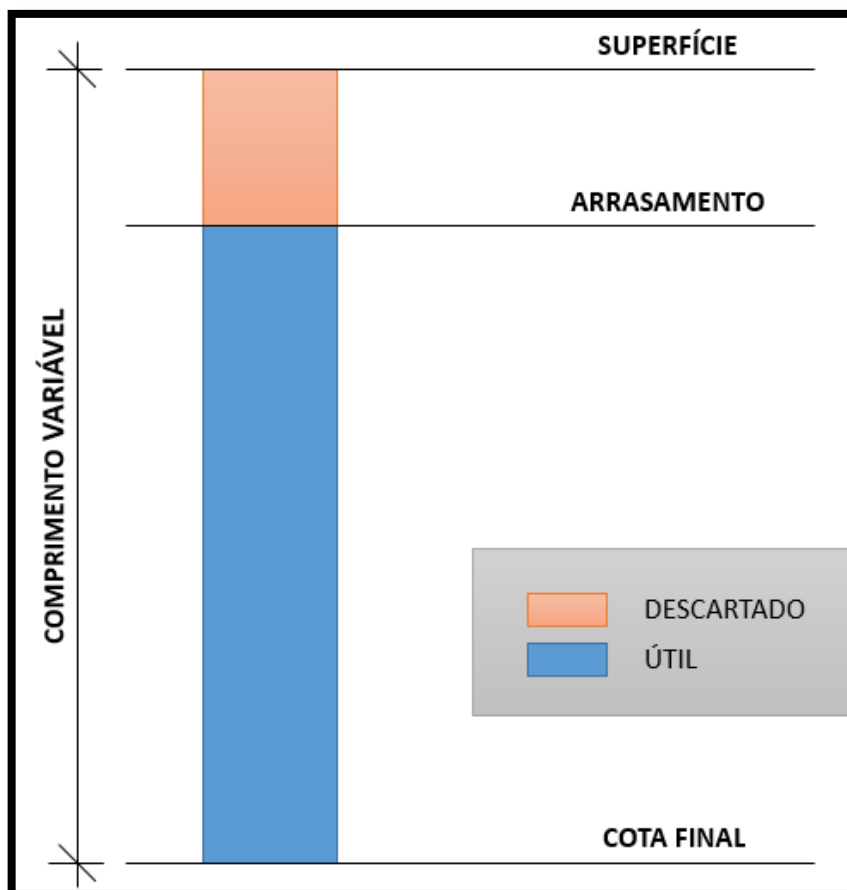


Figura 19: Parcela útil e descartada após execução da estaca  
Fonte: Do autor.

Com base nessas afirmações e por meio de dados levantados através de documentos e boletins, foi possível encontrar valores pertinentes à temática deste estudo, estes quais foram dispostos na tabela 5 para exemplificação. Nela é possível visualizar a taxa de desperdício de cada item listado, tendo como maior índice, a camisa perdida.

Tabela 5: Quantificação das parcelas úteis e descartáveis durante o processo executivo

CAMISA PERDIDA (kg)		ARMADURA (kg)		ARGAMASSA (m <sup>3</sup> )	
ÚTIL	DESCARTADO	ÚTIL	DESCARTADO	ÚTIL	DESCARTADO
46204,29	5186,43	79822,1	2512,71	708,43	15,54
51390,72		82334,81		723,97	
89,91%	10,09%	96,95%	3,05%	97,85%	2,15%

Fonte: Do autor

Por fim, esse volume excedente proveniente do processo executivo das estacas, era removido justamente na etapa dos seus respectivos arrasamentos, os

quais, com o auxílio de rompedores hidráulicos e escavadeiras, removiam o solo ou quaisquer interferências presentes nesta camada, como mostra a figura 20.



Figura 20: Rompedor hidráulico removendo excedentes em torno da estaca.  
Fonte: Do autor.

## 9 CONSEQUÊNCIAS

Custo em toda e qualquer obra, é elemento fundamental para se obter um bom planejamento e acima de tudo a viabilidade de determinados processos. Sabe-se, que apenas a etapa de fundações carrega em uma parcela significativa do custo total da obra, o que torna ainda mais eloquente o controle das despesas relacionadas a este período.

Trazendo este raciocínio para este estudo, a obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no Porto de Santos, apresentou em grande parte da sua execução processos de infraestrutura, dentro os quais, um destes justamente se faz como temática deste trabalho. Na concepção inicial do projeto, as estacas raiz compreendiam todos os segmentos da obra com a exceção dos segmentos 1 e 2. Contudo no decorrer do seu processo executivo muitos fatores adversos foram se originando.

A princípio, como já foi dito, porém cabe a ressalva, os blocos foram projetados para serem apoiados sobre duas estacas, entretanto durante a execução delas, muitas interferências oriundas da perfuração/escavação, surgiam e impediam a continuidade do procedimento. Como consequência, era necessário solicitar revisões por parte do projetista para relocar novas estacas, gerando como decorrência a configuração de novos blocos. O fruto dessas interferências resultou em 6 revisões de projeto para se obter novos modelos de blocos que se adequassem a necessidade da obra.

Durante o processo executivo dessas estacas, outro fator extremamente “negativo” foi o tempo. Diversos prazos foram estipulados e dificilmente foram atendidos, isto se deu justamente pelas interferências encontradas no solo, que por consequência também geraram longos períodos ociosos, aguardando revisões e posicionamentos da equipe de engenheiros calculistas. Além disso, a quantidade de estacas exigidas em projeto era muito alta, o que naturalmente tornava maior a probabilidade de que houvesse outras interferências, gerando maiores problemas, atrasos, custos e despesas.

Há também uma eventualidade, que ainda se estuda e se faz até mesmo passível de temática para outro trabalho. Trata-se de um sinistro, possivelmente decorrente da execução das estacas raiz implementadas nesta obra e afetado à

prédios adjacentes. Este sinistro, de forma sucinta ocasionou inicialmente um leve, porém visível, recalque diferencial nas edificações circunvizinhas, isto é, durante o processo executivo destas estacas, foi observado um recalque milimétrico no prédio do terminal vizinho à obra. Ao ser constatado, diversas medidas preventivas de escoramento e contraventamento foram adotadas para limitar seu avanço, e é claro, um controle absolutamente rigoroso foi instaurado para garantir a integridade do edifício. Estas medidas paliativas se fizeram necessárias até a implantação da solução definitiva, que a posteriori, consistiu em um bloco apoiado sobre micro estacas, locado especificamente na extremidade do prédio que apresentou o desnível.

Resumidamente, os principais fatores, que realmente puseram em questão a troca do tipo de estacas empregada na obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no Porto de Santos, foram o custo e o prazo, grandezas que estão naturalmente relacionadas e que interferem, de modo geral, diretamente na viabilidade da obra.

A solução encontrada então foi substituir todas as estacas raiz antes contidas no projeto, por outro modelo, a estaca escavada de grandes proporções, conhecida como “estacão”.

Desta maneira, de acordo com o calculista foi possível reduzir drasticamente o número de estacas, já que o diâmetro nominal do estacão adotado se mostrou aproximadamente 3 vezes superior ao da raiz. Deste modo também, caso interferências surgissem, devido ao diâmetro ampliado, seria possível adotar medidas corretivas a fim de transpassá-las e prosseguir com o processo, excluindo a necessidade de revisões e interrupções. No trecho mais complicado, que seria evidentemente o enrocamento, seria feito o uso de um martelo pneumático de grandes proporções, trazido de fora do Brasil, já que no país não há um elemento deste gênero. Por fim, foi possível viabilizar a obra, no que diz respeito ao prazo, pois testes realizados com os respectivos modelos, estacão e estaca raiz, apresentaram números contrastantes. Logo, fazendo uma projeção a longo prazo, estimou-se que para a estaca raiz seriam necessários 72 meses para o término total obra, compreendendo ambas ordens de serviço, e em contrapartida para o estacão apenas 23 meses. Finalizando, é possível afirmar com base nos relatos e dados

acima dispostos, que seria um contrassenso permanecer com o modelo de infraestrutura inicialmente determinado em projeto.

## 10 CONCLUSÃO

Este estudo de modo geral, fez uma breve análise sobre os métodos executivos de estacas profundas injetadas do tipo raiz descritos em referências e pela norma, com o caso aplicado na obra de alinhamento e adequação do cais de Outeirinhos no Porto de Santos.

Por meio deste, foi possível se obter diversos dados, estatísticas e informações que podem de alguma maneira auxiliar na execução deste tipo de estaca em futuros empreendimentos que apresentem perfis geológicos semelhantes à obra deste trabalho. Neste caso em específico, pôde-se afirmar que o processo de execução das estacas raiz foi divergente aos prescritos em livros e pela norma que a rege. Contudo, isto se dá justamente pela camada particular presente no solo de aplicação das estacas, o enrocamento.

Foram apresentadas as muitas dificuldades enfrentadas pela empresa executante, bem como as considerações de projeto e os respectivos desperdícios provenientes do método adotado. Também nele foi possível compreender as muitas variáveis que intervieram de forma negativa na continuidade da execução deste modelo de estaca.

Em suma, ao término deste trabalho, é possível afirmar com base em todo estudo aqui apresentado, que as estacas injetadas profundas do tipo raiz não foram a melhor escolha para este tipo de configuração geológica, além disso, deixa-se aqui em aberto a possibilidade de aprofundamento teórico sobre sinistro ocorrido às edificações circunvizinhas, sendo como provável causa a execução deste tipo de modelo de estaca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, U. R. Execução de fundações profundas. In: HACHICH, W. **Fundações: Teoria e Prática**. São Paulo: PINI, 1996. p. 361.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122. Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010.

CZM. **CZM**. Disponível em: <[http://www.czm.com.br/all/files/MC180T\\_catalogo.pdf](http://www.czm.com.br/all/files/MC180T_catalogo.pdf)>. Acesso em: Abril 2016.

DICIONÁRIO Geotécnico. Disponível em: <<http://www.dicionariogeotecnico.com.br>>. Acesso em: Maio 2016.

ENGECON Fundações. Disponível em: <<http://www.engeconfundacoes.com.br/>>. Acesso em: Abril 2016.

GEOFIX. **Geofix**. Disponível em: <<http://www.geofix.com.br/servico-estaca-raiz.php>>. Acesso em: Maio 2016.

MARCÃO, P. M. M. M. **Fundações: Teoria e exercícios**. Santos: [s.n.], 2015.

**APÊNDICE 1**

## APÊNDICE 2

**APÊNDICE 3**

**APÊNDICE 4**

**ANEXO 1**