



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências

Ano 2016

Inês Sofia Magalhães
Tavares

Método de Execução de Estacas Moldadas: Trado
Contínuo versus Tubo Moldador Recuperável



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências

Ano 2016

Inês Sofia Magalhães
Tavares

Método de Execução de Estacas Moldadas: Trado
Contínuo versus Tubo Moldador Recuperável

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, Ramo de Geotecnia, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Jorge Medina, Professor Auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e coordenação técnica do Eng.º Ricardo Braga, Diretor do Departamento de geotecnia (dst)

o júri

presidente

Prof. Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva
Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

vogal - orientador

Prof. Doutor Jorge Manuel Pessoa Girão Medina
Professor Auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

vogal - arguente

Eng.º Ricardo Nuno Lima Braga
Diretor do Departamento tgeotecnia - ds t

agradecimentos

Quero começar por agradecer à minha família, especialmente aos meus pais, que através de todo o seu apoio e ajuda, que proporcionaram esta oportunidade, assim como me incentivaram sempre a dar mais e melhor para alcançar maior sucesso na minha vida.

Quero agradecer ao meu namorado Nuno Matos por ser o meu grande apoio em tudo, e por toda a paciência que demonstrou.

Agradeço também aos meus orientadores, Prof. Doutor Jorge Medina e Eng.º Ricardo Braga pelos conselhos e orientação fornecida, assim como me deram a oportunidade da realização deste estágio.

Obrigada aos meus amigos, por me animarem e pela força, assim como toda a ajuda que me deram ao longo dos anos para chegar ao ponto onde estou agora.

Por fim quero agradecer a todos do departamento de tgeotecnia do Grupo Domingos da Silva Teixeira, em especial um grande obrigado à Eng.ª Estela Sousa, por toda a informação e ensinamento que me forneceram, assim como por todo o apoio prestado.

A todos um mais sincero obrigado.

palavras-chave

Estacas moldadas, método trado contínuo, método tubo moldador recuperável, fundações indiretas, ensaios, maciço competente.

resumo

O presente trabalho propõe-se a divulgar as principais diferenças entre duas metodologias de execução de estacas moldadas, o método de trado contínuo e o método de tubo moldador recuperável, demonstrando as principais vantagens e desvantagens comparativas com abordagem a casos práticos. Foram abordados os diferentes tipos de estacas existentes, assim como as classificações impostas. Em particular, o trabalho focou-se nos processos de execução, assim como nos ensaios laboratoriais e in situ habitualmente realizados, para os métodos acima referidos.

A observação de casos reais permite uma melhor identificação e constatação dos principais condicionalismos de execução, que influenciam os projetos de fundações indiretas.

Apesar das metodologias referidas apresentarem semelhanças conceptuais, os processos construtivos implicam consideráveis diferenças e limitações condicionando a aplicabilidade das duas metodologias referidas.

Genericamente, conclui-se que, a execução de estacas pelo método de trado contínuo, quando aplicável, apresenta-se como a solução técnico-económica mais competitiva, garantindo, em condições normais de execução, um grau de qualidade e fiabilidade semelhante à metodologia de tubo moldador recuperável. Por outro lado, a metodologia de tubo moldador recuperável apresenta-se como uma solução mais versátil, com menores limitações construtivas e tradicionalmente associada a soluções técnicas mais exigentes e onerosas.

Salienta-se, porém, que os condicionalismos de execução, como por exemplo a solução estrutural, a geologia ocorrente, as condições hidrogeológicas, as condições físicas em obra, entre outros, condicionarão de forma significativa a metodologia mais adequada a cada caso particular.

keywords

In situ cast piles, continuous flight auger method, temporary casing bored piling method, indirect foundations, tests, bed rock.

abstract

This work sets out to disclose the main differences of two in situ cast piles execution methods, the continuous flight auger method (CFA) and the temporary casing bored piling method, showing its comparative advantages and disadvantages when applied in practical cases. It was demonstrated different types of piles along with the classes that can be divided. Anyhow, the main focus of this work was the execution/construction process and the laboratory and in situ pile testing commonly used of the discussed methods above.

The observation of real cases allows a better identification and evaluation of the main constructive restraints that influence indirect foundation projects.

Although the two execution methods referred above presents conceptual similarities, the construction processes imply considerable differences and limitations that conditions their applicability.

Generically, we can conclude that the execution of piles by the continuous flight auger method, when applied, can represent a more competitive technical and economical solution, ensuring, in normal execution conditions, a similar grade of quality and reliance as the temporary casing bored piles method. On the other hand, the temporary casing bored piles method is acknowledged as a more versatile solution with less constructive limitations, being tied to more demanding technical solutions.

It's highlighted, however, that the execution constraints, like for example the structural solution; the geology; the hydrogeological conditions; physical conditions in the construction site, etc will significantly condition the most appropriate method to each individual case.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Grupo Domingos da Silva Teixeira	1
1.1.1 tgeotecnia.....	4
2. Estacas	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Enquadramento Geológico-geotécnico.....	8
2.2.1 Ensaio DPSH	9
2.2.2 Ensaio SPT	10
2.3 Classificação.....	11
2.3.1 Quanto ao material.....	12
2.3.2 Quanto à metodologia de execução	14
(a) Estacas Cravadas	14
(b) Estacas Moldadas	16
2.3.3 Quanto à secção.....	16
2.3.4 Quanto ao efeito no solo envolvente.....	17
2.4 Ações de Carga.....	19
2.4.1 Ações Verticais.....	20
2.4.2 Ações Horizontais.....	21
2.5 Aplicação.....	22
2.6 Fatores Condicionantes	24
3. Estacas Moldadas	27
3.1 Estacas de Trado Contínuo	28

3.1.1	Processo Construtivo	28
3.1.2	Material Construtivo	30
(a)	Betão	30
(I)	Classe de Resistência	30
(II)	Classe de Exposição Ambiental	31
(III)	Classe de Teor em Cloretos	31
(IV)	Classe de Consistência	32
(V)	Dimensão máxima do agregado	32
(b)	Armadura de Aço	32
3.1.3	Equipamento	34
3.1.4	Vantagens e Limitações	35
3.2	Estacas de Tubo Moldador Recuperável	35
3.2.1	Processo Construtivo	36
3.2.2	Material Construtivo	37
(a)	Betão	37
(I)	Classe de Resistência	38
(II)	Classe de Exposição Ambiental	38
(III)	Classe de Teor em Cloretos	38
(IV)	Classe de Consistência	38
(V)	Dimensão máxima do agregado	38
(b)	Armadura de Aço	39
3.2.3	Equipamento	39
3.2.4	Vantagens e Limitações	40
3.3	Monitorização na execução de estacas	41
3.4	Saneamento	43
3.5	Ensaios	46
3.5.1	Ensaio de Carga	46
(a)	Estático	47
(b)	Dinâmico	48

3.5.2	Ensaio Sónico	49
(a)	Equipamento	51
3.5.3	Ensaio Cross-Hole	51
(a)	Equipamento	53
4.	Realização de Propostas de Orçamento	54
4.1	Processo de Medição	54
4.2	Orçamentação	57
4.2.1	Ferramenta de Orçamentação (Sistema Candy).....	59
5.	Casos de Aplicação Reais	62
5.1	Obra – O Feliz Painel Edifício Administrativo.....	62
5.1.1	Introdução à obra	62
5.1.2	Zonamento Geológico-Geotécnico	63
5.1.3	Execução do Orçamento	66
(a)	Dimensionamento das Estacas.....	66
(b)	Medição dos Elementos	66
(c)	Orçamentação	67
5.1.4	Execução da Obra.....	68
5.1.5	Aspetos Importantes	73
5.2	Obra – Ponte do Crasto – Rua Conde de Bertiandos	76
5.2.1	Introdução à obra	76
5.2.2	Zonamento Geológico-Geotécnico.....	76
5.2.3	Execução do Orçamento	79
(a)	Dimensionamento das Estacas.....	79
(b)	Medição dos Elementos	80
(c)	Orçamentação	80
5.2.4	Execução da Obra.....	81
5.2.5	Aspetos Importantes	86
6.	Conclusões.....	90
7.	Bibliografia.....	93

8. ANEXOS.....	97
8.1 ANEXO A: Especificações do betão (APEB).....	98
8.2 ANEXO B: Monitorização.....	101
8.3 ANEXO C: Orçamentação.....	103

Índice de Figuras

<i>Figura 1.1 - Organograma do Grupo dst</i>	2
<i>Figura 1.2 - Alguns dos sectores do Grupo dst (Domingos da Silva Teixeira, s.d.)</i>	3
<i>Figura 1.3 - Logotipo do Departamento de Geotecnia da dst (Domingos da Silva Teixeira, s.d.)</i>	4
<i>Figura 2.1 - Casa de pesca elevada com palafitas em Lago de Inle, Mianmar (Britannica Escola, 2016)</i>	5
<i>Figura 2.2 - Método de Cased CFA (Cementation Skanska, 2013)</i>	6
<i>Figura 2.3 - Diferença de ações entre estacas moldadas e Full displacement piles (Bauer, 2013)</i>	7
<i>Figura 2.4 - Coluna de perfuração do método de Full Displacement Piles (Bauer, 2013)</i>	7
<i>Figura 2.5 – Reprodução da Carta Geológica de Portugal Continental na escala 1:500 000 editada pelo então Serviços Geológicos de Portugal em (1992) atual (LNEG)</i>	8
<i>Figura 2.6 - Processo de execução do ensaio SPT (Meixedo, 2013)</i>	11
<i>Figura 2.7 - Exemplos de estacas de a) madeira; b) aço; c) betão (Neves, 2010)</i>	13
<i>Figura 2.8 - Estaca de madeira com o topo destruído (Neves, 2010)</i>	13
<i>Figura 2.9 - Deformação presente numa estaca de aço (Pedro, s.d.)</i>	13
<i>Figura 2.10 – Resultados de má qualidade do betão de uma estaca (Neves, 2010)</i>	13
<i>Figura 2.11 - Exemplo do processo construtivo das estacas cravadas (Serki Fundações Especiais, s.d.)</i>	15
<i>Figura 2.12 - Forças que podem estar presentes durante a cravação de uma estaca (Pedro, s.d.)</i>	16
<i>Figura 2.13 - Diferença, em vista de planta, entre estacas cravadas de betão de secção sólida (cima) e secção tubular (baixo) (Meixedo, 2013)</i>	16
<i>Figura 2.14 - Perfis Metálicos com Secção em "H" (Sete Engenharia, 2014)</i>	17
<i>Figura 2.15 – Exemplo rotura da estrutura da estaca por encurvadura (Santos, Fundações por Estacas - Acções Verticais, 2008)</i>	19
<i>Figura 2.16 - Ilustração esquemática das forças verticais de uma estaca</i>	20
<i>Figura 2.17 - Comportamento flexível das ações horizontais das estacas</i>	21
<i>Figura 2.18 - Comportamento não linear do solo (curva p-y) (Santos, Fundações por Estacas - Acções Horizontais, 2008)</i>	22
<i>Figura 2.19 - Aplicação de estacas para fundação (esquerda) e contenção (direita) (imagens cedidas pela dst)</i>	23
<i>Figura 2.20 - Ilustração de cortina de estacas a) secantes; b) tangentes; c) afastadas (Cortesão, s.d.)</i>	24
<i>Figura 3.1 - Tipos de execução de estacas moldadas (adaptado de (Brito, 2000))</i>	27

<i>Figura 3.2 - Pormenor do material retido na hélice de perfuração na máquina Casagrande (imagem cedida pela dst).....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.3 – Classe de Exposição para Ataque químico segundo NP EN206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.4 - Pormenor interior da armadura (imagem cedida pela dst na Universidade de Aveiro).....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.5 - Pormenor de uma armadura electrossoldada (fotografia da autora)</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.6 - Equipamento usado para realizar estacas moldadoras de trado contínuo: (1) máquina de estacas Casagrande; (2) bomba de betão; (3) trado contínuo oco com o diâmetro e comprimento nunca inferior aos da estaca; (4) tubagem flexível de ligação da bomba de betão à cabeça de rotação da máquina (imagem cedida pela dst)</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.7 - Pormenor da armadura atada (fotografia da autora)</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.8 – Furação (esquerda) e betonagem (direita) das estacas pelo método de tubo moldador recuperável com (1) máquina de estacas Casagrande; (2) Vara telescópica Kelly; (3) cabeça de rotação; (4) tubos moldadores recuperáveis (imagens cedidas pela dst)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.9 - Diagrafias de um furo pelo DIALOG com anomalia na betonagem (rodeado a preto) (imagem cedida pela dst)</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.10 - Aspeto visual final da estaca após a realização do saneamento (imagem cedida pela dst).....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.11 - Corte pela periferia da estaca (esquerda) e demolição de toda a periferia da estaca até à visualização da armadura (direita) (Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda., s.d.).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.12 - Furação da estaca com torna para posterior arrebetamento (Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda., s.d.)</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.13 - Demolição do restante material da cabeça da estaca (Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda., s.d.)</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.14 - Aspeto final após o saneamento das estacas (Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda., s.d.).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.15 - Estacas após ensaio de carga destrutivo (Neves, 2010).....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.16 - Esquema ilustrativo do equipamento usado no ensaio de Carga Estático (GEOMEC, 2016)</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.17 - Ensaio de Carga Dinâmico em obra aplicado numa estaca (http://www.youtube.com/ensaiocargadinâmico)</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.18 - Equipamento usado para a realização de Ensaios Sónicos: (1) Acelerómetro e pré-amplificador; (2) Martelo; (3) Computador com aquisição de dados (Perta, Sociedade de Equipamentos de Construção Civil, Lda, s.d.).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.19 - Representação esquemática da realização do Ensaio Cross Hole numa estaca com anomalias: (1) osciloscópio; (2) treuil; (3) Sonda emissora e sonda recetora (Brochero, 2014)</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3.20 - Planta da colocação dos tubos nas estacas tendo em conta o diâmetro (Miranda & Martins, 2006).....</i>	<i>53</i>

Figura 4.1 - Exemplo ilustrativo de uma folha de medição executada em Excel (dst).....	56
Figura 4.2 - Local de escolha do Master a utilizar (Sistema Candy)	59
Figura 4.3 - Visualização da lista do "Master" (Sistema Candy).....	60
Figura 4.4 - Recursos necessários num determinado exemplo (Sistema Candy)	60
Figura 4.5 - Extração da Lista de Preços do CCS para PDF (Sistema Candy).....	61
Figura 5.1 - Local da obra "O Feliz - Edifício Administrativo" (Google Earth).....	63
Figura 5.2 - Reprodução da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (LNEG) e e área aproximada da obra "O Feliz Painel Edifício Administrativo"	64
Figura 5.3 - Excerto da Carta Geológica de Portugal Folha 5-D (originalmente na escala 1:50 000) com área aproximada da obra "O Feliz Painel Edifício Administrativo"	64
Figura 5.4 - Esquema do local das sondagens e local da realização das estacas (vermelho).....	65
Figura 5.5 - Pormenor da armadura da obra e ser estudada	67
Figura 5.6 - Marcação do local das estacas (fotografia da autora)	69
Figura 5.7 - Monitor dentro do equipamento Casagrande (fotografia da autora)	69
Figura 5.8 - Equipamento para o processo de betonagem (fotografia da autora)	70
Figura 5.9 - Retroescavadora a limpar a boca do furo da estaca (fotografia da autora)	71
Figura 5.10 - Armadura a ser introduzida no furo da estaca (fotografia da autora)	72
Figura 5.11 - Aspeto final da estaca vista à superfície (fotografia da autora)	73
Figura 5.12 - Armadura afunilada (esquerda) e com presença de espaçadores (direita) (fotografias da autora).....	73
Figura 5.13 - Armadura retida pelo betão (fotografia da autora).....	74
Figura 5.14 - Rotura de uma estrutura com fundações diferentes (Santos, Fundações por Estacas - Acções Verticais, 2008).....	75
Figura 5.15 - Sinalização do local da obra "Ponte do Crasto - Rua Conde de Bertandos" (Google Earth).....	76
Figura 5.16 – Reprodução da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (LNEG) e localização aproximada da obra "Ponte do Castro – Rua Conde Bertandos.....	77
Figura 5.17 - Verificação da geologia através do site: (http://onegeology-europe.brgm.fr/) e respectiva legenda encontrada no local da obra.....	78
Figura 5.18 - Local da realização das sondagens SPT.....	78
Figura 5.19 - Introdução do tubo moldador (fotografia da autora)	82
Figura 5.20 - Pormenor da base da Limpadeira (esquerda) e material a ser extraído no interior da Limpadeira (direita) (fotografia da autora).....	83
Figura 5.21 - Caroteiro (fotografia da autora)	83
Figura 5.22 - Armadura atada a ser içada c/ cristas de cavalo (vermelho) (fotografia da autora).....	84
Figura 5.23 - Visualização do tubo tremie (fotografia da autora).....	85
Figura 5.24 - Processo de betonagem (fotografia da autora)	85

<i>Figura 5.25 - Vista interior do furo com armadura (fotografia da autora)</i>	<i>86</i>
<i>Figura 5.26 - Visualização da água a sair do furo durante a betonagem (fotografia da autora)</i>	<i>87</i>
<i>Figura 5.27 - Material extraído seco do fundo do furo (fotografia da autora)</i>	<i>88</i>
<i>Figura 8.1 - Tabela das Classes da Resistência à Compressão do Betão de acordo com a NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008).....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 8.2 - Tabela das Classes de Teor em Cloretos do Betão de acordo com a NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008).....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 8.3 - Classes de exposição em função das condições ambientais, de acordo com a NP EN 206-1 (Eurocódigo 2, 1992)</i>	<i>99</i>
<i>Figura 8.4 - Tabela das Classes de Abaixamento do Betão de acordo com a NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008)</i>	<i>99</i>
<i>Figura 8.5 - Tabela com as limitações do betão tendo em conta o tipo de cimento, segundo a norma NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008).....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 8.6 - Diagrama de instalação com instrumento DIALOG (Jean Lutz, SA., s.d.)</i>	<i>101</i>
<i>Figura 8.7 - Diagrama de instalação com instrumento TARALOG (Jean Lutz, SA., s.d.)</i>	<i>102</i>
<i>Figura 8.8 - Lista de Preços final de uma proposta em PDF (dst)</i>	<i>104</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 2.1 - Especificações dos diferentes ensaios dinâmicos (Meixedo, 2013)</i>	<i>10</i>
<i>Tabela 2.2 - Classificação de Estacas (adaptado de (Santos, Fundações por Estacas - Ações Verticais, 2008))</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2.3 - Resistência de ponta mobilizada (Re) em relação com o assentamento normalizado (sb/b)</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 3.1 - Valores padrão da profundidade de saneamento a executar</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 5.1 - Resultados das sondagens DPM</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 5.2 - Simplificação do material presente nos ensaios SPT da obra em Ponte de Lima</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 8.1 - Folha de Medições de Projetos em Excel (dst)</i>	<i>103</i>

Índice de Equações

<i>Equação 3.1 - Velocidade de propagação através da secção.....</i>	<i>50</i>
<i>Equação 3.2 - Velocidade de propagação de onda através do comprimento de onda e frequência</i>	<i>50</i>
<i>Equação 3.3 - Velocidade de propagação de ondas através do comprimento da estaca e o tempo de propagação</i>	<i>50</i>
<i>Equação 4.1 - Expressão do preço de venda.....</i>	<i>58</i>
<i>Equação 4.2 - Variáveis em obra do custo direto</i>	<i>58</i>

Glossário

dst	Domingos da Silva Teixeira, SA
SPT	Standard Penetration Test/Ensaio de penetração dinâmico
H	Comprimento da estaca (m)
D	Diâmetro da estaca (m)
CFA	Continuous Flight Auger/ Método Trado Contínuo
Cased CFA	Cased Continuous Flight Auger
FDP	Full Displacement Piles
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
DP	Dynamic Probing Test/Ensaio de Penetrómetro Dinâmico
DPL	Ensaio com penetrómetro dinâmico leve
DPM	Ensaio com penetrómetro dinâmico médio
DPS	Ensaio com penetrómetro dinâmico pesado
DPSH	Ensaio com penetrómetro dinâmico superpesado
CPT	Cone Penetration Test/ Ensaio de penetração de cone
FVT/VST	Field Vane Test/ Ensaio de molinete
PMT	Pressuremeter Menard Test/ Ensaio Pressiométrico de Ménard
N	Número de Pancadas
M	Massa do Pilão (kg)
h	Altura em queda livre (m)
B	Batente
V	Conjunto de Varas
C	Ponta Cónica
L	Comprimento de Penetração (cm)
Nspt	Número de pancadas para cravar 30cm o amostrador na 2ª fase do ensaio SPT

Ø	Diâmetro (mm)
sb/b	Assentamento normalizado
Re	Relação de resistência de ponta mobilizada entre estacas
y	Deslocamentos (m)
p	Carga aplicada (kN)
TMR	Tubo Moldador Recuperável
PDA	Pile Driving Analyser
TDR	Transient Dynamic Response
v	Velocidade de Propagação de Onda (m/s)
ΔS	Área de Secção (m)
Δt	Tempo de Propagação (s)
λ	Comprimento de Onda (m)
f	Frequência (Hz)
T	Período (s)
PVC	Policloreto de Vinila
CCS	Construction Computer Software
PV	Preço de Venda (€)
CD	Custo Direto (€)
CI	Custo Indireto (€)
CE	Custo do Estaleiro (€)
Lu	Lucro (€)
MO	Custo de Mão-de-obra (€)
MT	Custo dos Materiais (€)
EQ	Custo de Equipamento (€)
SE	Custo de Subempreitadas (€)

1. Introdução

No âmbito do Estágio do Mestrado em Engenharia Geológica, Ramo Geotecnia, da Universidade de Aveiro, foi realizado na empresa Domingos da Silva Teixeira, S.A. com o tema “Método de Execução de Estacas Moldadas: Trado Contínuo versus Tubo Moldador Recuperável”. O estágio decorreu durante 5 meses no Departamento de Geotecnia da empresa (geotecnia).

1.1 Grupo Domingos da Silva Teixeira

O início da atividade da empresa *dst* começou com a exploração de agregados para fornecimento de inertes para o mercado da construção civil e obras públicas, tendo nos anos 40, participado na construção do estádio 1º de Maio em Braga.

Com uma trajetória crescente, a empresa **dst** foi desenvolvendo áreas de negócio centradas na atividade da construção, o que permitiu um acréscimo do volume de negócios e quadro técnico.

Salienta-se como marcos a criação da empresa Domingos da Silva Teixeira Lda. em 1984, e a passagem a SA em 1996. A constituição da holding *dstsgps,SA* em 1999, permitiu nas últimas décadas a diversificação do seu mercado de atuação.

Atualmente, o grupo **dst**, apresenta-se como um grupo económico com diversas áreas de atividade, sendo já uma referência nos mercados onde opera. Distinguem-se 6 principais áreas de negócio, Engenharia e Construção, a Área Ambiental, as Energias Renováveis, as Telecomunicações, a área de negócio de Ventures (empreendedorismo) e o Real Estate (Figura 1.1), cada uma com a sua importância e diferentes áreas a explorar:

- Engenharia e Construção: esta vertente do grupo está ligada ao setor de construção civil e obras públicas representada pela Domingos da Silva Teixeira, SA. Para além da atividade como empreiteiro detém, igualmente, empresas que atuam isoladamente no setor da construção, como por exemplo a **bysteel** com a produção e montagem de todo o tipo de estruturas metálicas; **dte** com instalações especiais, como instalações elétricas e telecomunicações; **tmodular** que é um segmento ligado à carpintaria e mobiliário;

steelgreen moldando e fornecendo as armaduras em varão nervurado; **tbetuminoso** com a produção de misturas betuminosas para realização de vias de comunicação; **tbetão** para a produção e realização de diferentes classes de betão; **tagregados** associada à exploração de inertes e desmontes rochosos. Em particular salienta-se a **tgeotecnia** como o departamento da empresa Domingos da Silva Teixeira, SA, que se dedica à atividade de geotecnia e fundações especiais.

- Ambiente: podemos distinguir duas áreas específicas de atividade, operação e manutenção de infraestruturas de abastecimento de água e a gestão de processos de recolha, tratamento e valorização de resíduos. Salienta-se as empresas AGERE; BRAVAL; LUSÁGUA; AQUAPOR; VISAQUA, etc.
- Energias Renováveis: setor associado à produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis. Neste setor destaca-se a vertente de energia eólica, pela gestão e exploração de diversos parques eólicos onde o grupo **dst** participa, assim como na construção e exploração de estruturas fotovoltaicas, da empresa dstSolar e produção de painéis fotovoltaicos na Europa, Global Sun.
- Telecomunicações: este setor dedica-se à gestão de infraestruturas de telecomunicações em várias regiões do país, assim como ao desenvolvimento de redes de nova geração, com recurso a infraestruturas de fibra ótica.
- Ventures: esta área dedica-se a avaliar e a criar oportunidades de negócio na busca de novos parceiros para além das fronteiras comerciais já existentes no grupo **dst**.
- Real Estate: Setor ligado à gestão de ativos imobiliários do grupo **dst**, bem como à idealização, projeto e construção de projetos imobiliários para diferentes setores, como por exemplo a hotelaria; retalho; logística e indústria; comércio e serviços, entre outros.

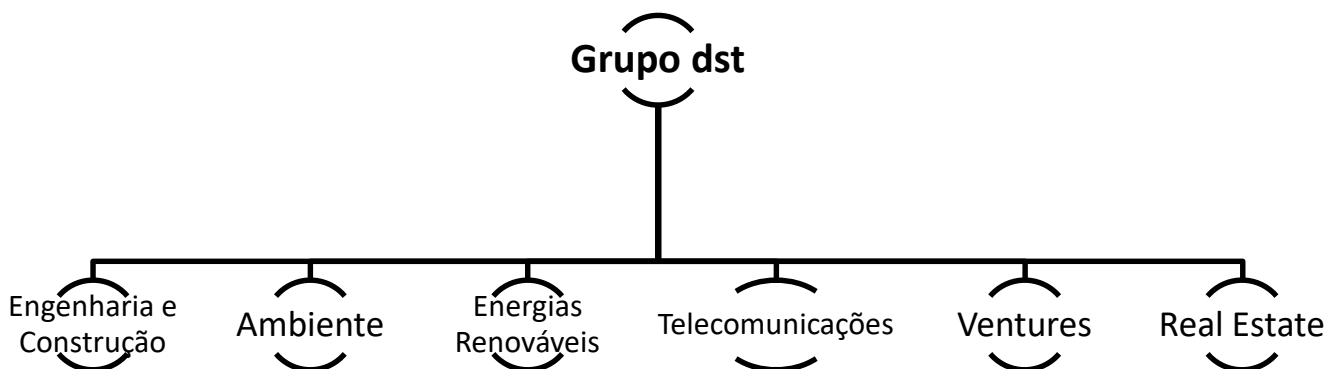


Figura 1.1 - Organograma do Grupo dst

A nível de capital humano, denota-se um forte acréscimo do número de trabalhadores, indistinguível do próprio crescimento da atividade da empresa. Salienta-se que na criação da empresa Domingos da Silva Teixeira Lda. em 1984, a empresa contava com apenas 66 trabalhadores. Atualmente, o grupo conta com cerca de 1100 colaboradores, dos quais, cerca de 350 são quadros com formação superior.

Na área internacional, o grupo Domingos da Silva Teixeira apresenta atividade em diversas áreas geográficas, tendo atualmente presença em cerca de 20 países disseminados pelo continente Europeu, Africano e Americano. Destes países, podemos salientar o seu desenvolvimento e atividade em: Espanha; Angola; Moçambique; França; Reino Unido; Brasil; E.U.A; Bélgica; Venezuela; entre outros.

Esta empresa tem como principal missão a construção de projetos empresariais sustentáveis que irão acrescentar uma mais-valia à comunidade, e bem com uma visão de construir, com arte e engenho, de forma a ficar conhecida como uma empresa distinta no ramo, durante toda a sua história (Figura 1.2).



Figura 1.2 - Alguns dos sectores do Grupo dst (Domingos da Silva Teixeira, s.d.)

A par com a atividade económica, o grupo Domingos da Silva Teixeira, SA assumiu desde cedo um forte compromisso de responsabilidade para com a sociedade que a envolve.

O grupo **dst** tem uma política de responsabilidade social baseada em estratégias de sustentabilidade que contemplam a preocupação com o bem-estar coletivo e com os efeitos sociais e ambientais da sua atividade. Desta forma, tem vindo a realizar práticas de apoio aos vários agentes sociais que se relacionam com a empresa, quer sejam colaboradores, fornecedores, consumidores/clientes, comunidade e sociedade em geral.

Entre diversas atividades empreendidas, o grupo **dst** atribui uma maior importância à solidariedade social, à cultura, à educação e formação de todos seus recursos humanos.

Neste ano de 2016 a empresa foi considerada pela Revista Exame como a melhor empresa do país, do setor da construção no ranking das 500M&M.

Este estágio está inserido na área de Engenharia e Construção, em particular no departamento de geotecnia e fundações especiais, **tgeotecnia**.

1.1.1 tgeotecnia

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do estágio curricular no Departamento de Geotecnia, designado internamente de **tgeotecnia** (Figura 1.3). Este departamento desenvolve atividades no setor de geotecnia e fundações especiais, centrando a sua atividade na conceção e desenvolvimento de soluções de engenharia geotécnica.

Relativamente aos trabalhos realizados pelo departamento, este executa diferentes trabalhos, como por exemplo:

- **Fundações Indiretas** - Estacas moldadas em betão armado; Microestacas de fundação e reforço de fundações e estruturas existentes
- **Contenções Definitivas e Provisórias** - Cortina de Estacas; Muro de Berlim; Muro Munique; Cortina de Microestacas; Cortina de Perfis Metálicos
- **Estabilização de Taludes** - Pregagens; Ancoragens; Betão Projetado; Geodrenos
- **Reconhecimento Geotécnico** - Sondagens; Ensaio SPT; Ensaio Penetrométrico; Ensaio Laboratoriais.
- **Instrumentação Geotécnica** - Piezómetros; Inclínómetros; Fissurómetros; Alvos Topográficos; Monitorização

A **tgeotecnia** aposta no conhecimento e inovação como motor de desenvolvimento num mercado cada vez mais exigente e competitivo.



Figura 1.3 - Logotipo do Departamento de Geotecnia da dst (Domingos da Silva Teixeira, s.d.)

2. Estacas

2.1 Introdução

O recurso a estacas de fundação acompanha o desenvolvimento das sociedades modernas, sendo atualmente uma necessidade cada vez mais recorrente à medida que os espaços urbanos, zonas costeiras e margens ribeirinhas, incrementam a sua densidade populacional.

Historicamente, os primeiros registos de utilização de estruturas de fundação indireta, remontam ao período pré-histórico.

O modo de sobrevivência dos homens das cavernas consistia na deslocação para zonas montanhosas, mas quando tal não era possível por se encontrarem em zonas constituídas por planícies, tiveram que construir cabanas sobre as áreas de ribeiras, rios e lagos, dificultando assim o acesso a predadores e inimigos. Estas construções acima do nível de água foram conseguidas devida à utilização daquilo a que atualmente chamamos de palafitas (Figura 2.1) (Miranda & Martins, 2006).

Com o desenvolvimento industrial e avanço tecnológico dos últimos séculos, as soluções de fundações têm vindo a desenvolver-se, apresentando um leque diverso de metodologias. Após as palafitas, os métodos evoluíram, passando para estruturas de metais e mais recentemente passaram-se a realizar estacas de betão armado.



Figura 2.1 - Casa de pesca elevada com palafitas em Lago de Inle, Mianmar (Britannica Escola, 2016)

Conceptualmente, as estacas de fundação são elementos estruturais que visam a transmissão de ações de uma supraestrutura até horizontes geotécnicos competentes em profundidade.

As estacas apresentam uma das dimensões claramente superior às restantes (comprimento >> secção). De acordo com a literatura da especialidade, o rácio entre o comprimento H e o diâmetro D , ou largura da secção, deve ser superior a 10 ($H/D \geq 10$). Têm como principal função transmitir as cargas estruturais até ao estrato de fundação em profundidade permitindo que as forças instáveis se neutralizem devido à capacidade de carga do terreno, garantindo a segurança da estrutura e reduzida deformação.

Existem atualmente um variado leque de tipos de estacas, entre as quais podemos salientar as estacas de raiz, estacas prancha, estacas Strauss, estacas pilar, entre outras.

Desenvolvimentos recentes permitiram o surgimento de novas metodologias, resultados com inovações tecnológicas e utilização de equipamento mais robustos e potentes, como por exemplo o método *Cased CFA* (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Método de Cased CFA (Cementation Skanska, 2013)

Este método pode ser caracterizado por ser a junção do método de trado contínuo com a utilização do revestimento do tubo moldador, apresentando vantagens como a sua rápida instalação e execução livre de vibrações, assim como proporciona uma maior proteção ao trado, permitindo chegar a maiores profundidades do que no método de trado contínuo, sem perda de verticalidade. Outra vantagem importante ocorre através da presença do tubo na fase de betonagem, subindo ao

ritmo que o furo vai sendo preenchido por betão, minimizando a eventual perda de secção da estaca ao longo do fuste e contaminação do betão.

Salienta-se igualmente o surgimento de métodos como o *Full Displacement Piles*, onde a sua furação não extrai material para o exterior, mas as estacas são executadas *in situ*. Este método consiste na realização da furação sem extração do terreno empurrando-o, tornando o solo mais denso à sua volta. Este adensamento provoca um aumento no atrito lateral e resistência de ponta quando comparada às estacas moldadas (Figura 2.3).

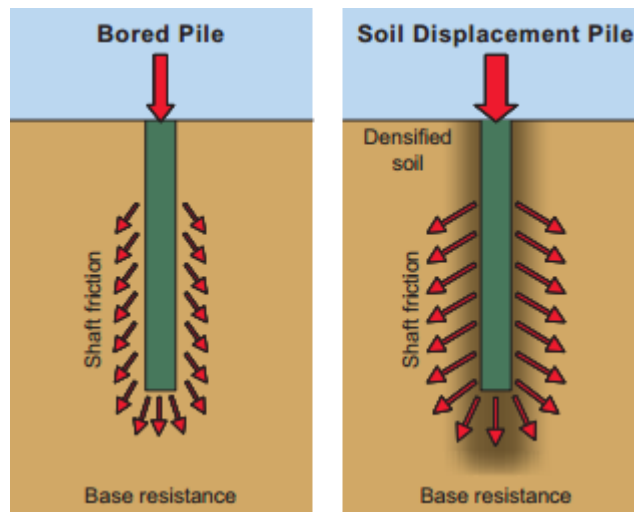


Figura 2.3 - Diferença de ações entre estacas moldadas e Full displacement piles (Bauer, 2013)

Este processo é conhecido pela reduzida vibração presente no processo de execução da furação, assim como o aparecimento à superfície de uma quantidade mínima de material, não havendo desperdícios de material. Estas vertentes fazem com que este método apresente uma vantagem competitiva no mercado quando comparado com os métodos de execução de estacas mais usados, como o método de trado contínuo (Figura 2.4).



Figura 2.4 - Coluna de perfuração do método de Full Displacement Piles (Bauer, 2013)

2.2 Enquadramento Geológico-geotécnico

Para o desenvolvimento de um projeto de fundações de qualquer estrutura, é necessário realizar uma campanha de reconhecimento geológico-geotécnico que permitam caracterizar formações ocorrentes no local de implantação da estrutura.

A definição dos trabalhos de prospeção, tanto em espécie como em número, depende de diversos fatores, sendo usual o recurso a recomendações da literatura da especialidade, assim como a análise de resultados provenientes de eventuais trabalhos de prospeção já realizados e consultas de cartas geológicas.

A título indicativo, apresenta-se de seguida a reprodução da Carta Geológica de Portugal Continental na escala 1:500 000 editada em 1992 pelo então Serviços Geológicos de Portugal, atual LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia (Figura 2.5), que permite identificar as principais geologias ocorrentes no território nacional. No entanto não é com este mapa que se

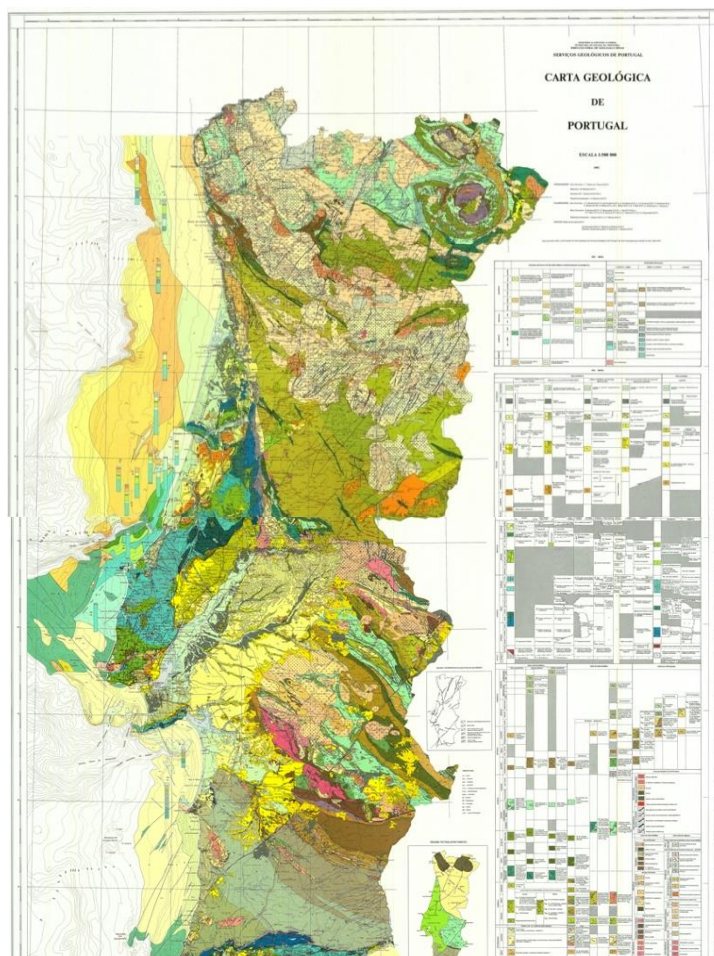


Figura 2.5 – Reprodução da Carta Geológica de Portugal Continental na escala 1:500 000 editada pelo então Serviços Geológicos de Portugal em (1992) atual (LNEG)

realiza o estudo geológico, mas sim analisando cartas geológicas de maior escala (como por exemplo 1:50 000).

Para a caracterização de formações geológicas pode ser executado um conjunto de ensaios laboratoriais ou *in situ*, que visam descrever e caracterizar as formações ocorrentes.

Os ensaios a realizar, podem ser de natureza dinâmica ou estática.

De seguida apresenta-se uma lista de alguns dos ensaios normalizados habituais.

Após a sua análise, consegue-se obter uma primeira perceção da geologia comum desse local, permitindo adaptar a campanha de ensaios a:

- Ensaios DP - *Dynamic Probing Test*;
- Ensaio CPT - *Cone Penetration Test*;
- Ensaio SPT – *Standard Penetration Test*;
- Ensaio de Molinete – *Field Vane test (FVT/VST)*;
- Ensaio Pressiométrico de Ménard – *Pressuremeter Test (PMT)*.

Sendo estes os mais conhecidos existem, num entanto, uma panóplia de ensaios disponíveis.

Constata-se que, para a generalidade das obras de construção civil e obras públicas de menor envergadura ou de menor risco estrutural, são usados os ensaios dinâmicos DPSH e SPT. Genericamente recorre-se a ensaios penetrométricos do tipo SPT e DP por estes apresentarem custos de execução reduzidos, reduzida complexidade de execução e serem amplamente estudados, em particular o ensaio SPT. Após a execução destes dois tipos de ensaios, nos casos em que seja necessário, podem-se executar ensaios complementares.

2.2.1 Ensaio DPSH

Os ensaios onde se insere o DPSH, são ensaios dinâmicos, que fazem parte dos ensaios de penetrómetro dinâmico (DP). Os ensaios DP podem ser leve (DPL), médio (DPM), pesado (DPH) ou superpesado (DPSH). Estas variações correspondem ao equipamento utilizado e consequentemente aos níveis energéticos atingidos (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Especificações dos diferentes ensaios dinâmicos (Meixedo, 2013)

	DPL (leve)	DPM (médio)	DPH (pesado)	DPSH (super-pesado)
Dispositivo de cravação				
Pilão massa m (kg)	10 ± 0,1	30 ± 0,3	50 ± 0,5	63,5 ± 0,5
Altura de queda h (mm)	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	750 ± 20
Razão comprim./diâm. (Dn)	≤1 ± 2	≤1 ± 2	≤1 ± 2	≤1 ± 2
Batente				
Diâmetro (mm)	100<d<0,5Dn 6	100<d<0,5 Dn 18	100<d<0,5 Dn 18	100<d<0,5 Dn 30
Massa (kg) (máx.) (vara guta incluída)				
Cone de 90°				
Área d base nominal A cm²	10	10	15	20
Diâm. da base (D) nov (mm)	35,7 ± 0,3	35,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	51 ± 0,5
Diâmetro da base, usado (mm) mín.	34	34	42	49
Comprim. da manga (mm)	35,7 ± 1	35,7 ± 1	43,7 ± 1	51 ± 2
Comprimento da ponta do cone (mm)	17,9 ± 0,1	17,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	25,3 ± 0,4
Desgaste máx. da ponta mm	3	3	4	5
Varas				
Massa (kg/m) (máx)	3	6	6	6
Diâmetro OD (mm) (máx)	22	32	32	32
5m inferiores %	0,1	0,1	0,1	0,1
restante %	0,2	0,2	0,2	0,2
Energia específica por pancada				
(mgh/A) em kJ/m²	50	150	167	238

Estes ensaios têm uma utilização muito comum em Portugal, pois permitem a possibilidade de utilizar mais do que uma energia de penetração permitindo cobrir uma vasta gama de tipos de solos, desde argilas moles, siltes, areias e cascalhos, solos residuais ou argilas rijas. O ensaio consiste na determinação do número de pancadas (N) de um pilão de massa (M) em queda livre de uma altura (h), sobre o conjunto constituído, de cima para baixo, por um batente (B), um conjunto de varas (V) e uma ponta cónica (C), para que ocorra determinado comprimento de penetração (L) (Meixedo, 2013).

2.2.2 Ensaio SPT

O ensaio SPT é realizado em três fases. Na primeira fase crava-se o amostrador 15cm, registando-se o número de pancadas para tal necessário, este valor é meramente informativo, já que nesta fase pretende-se essencialmente atravessar o terreno perturbado imediatamente abaixo do fundo do furo. Na segunda fase crava-se o amostrador mais 15cm e na terceira fase crava-se mais 15cm, registando-se o número de pancadas total dessas duas fases, sendo a soma destes dois valores o resultado do ensaio (Figura 2.6). Caso após 60 pancadas a penetração não tenha atingido 30 cm, pára-se a cravação registando o comprimento de penetração respetivo. Esta situação é na linguagem corrente designada por "nega", podendo ocorrer em qualquer uma das fases de penetração (Meixedo, 2013).

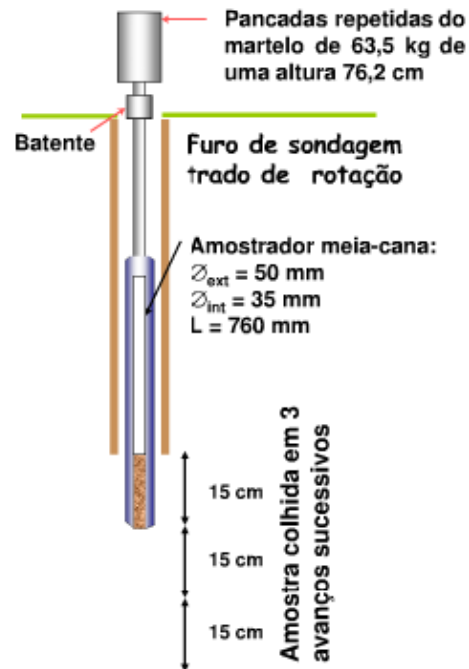


Figura 2.6 - Processo de execução do ensaio SPT (Meixedo, 2013)

Este ensaio apresenta uma vantagem em relação aos ensaios DP, pelo facto de se poder recolher amostras remexidas. A cravação do amostrador é efetuada, em regra, com espaçamento de 1,5m ou quando se muda de estrato. Quando trazido à superfície, o amostrador é aberto em duas meias canas, permitindo o exame do solo no seu interior e respetiva caracterização geológica.

Quando o estrato apresenta características de $N_{spt} \geq 60$ pancadas, corresponde à presença do maciço competente, empiricamente utilizado para encastrar as estacas de fundação, ou seja, o que confere propriedades de resistência para a estaca. Habitualmente, considera-se como critério de encastramento mínimo para as estacas de fundação, a penetração de 3 diâmetros em materiais de $NSPT > 60$. Por exemplo, se a estaca tiver 1.0 metro de diâmetro e o terreno competente se encontrar a 8.0 metros de profundidade a partir da plataforma de trabalhos, esta tem que ter um comprimento mínimo de 11.0 metros, para as condições mais frequentes de dimensionamento.

2.3 Classificação

As estacas a usar para uma determinada obra, podem ser escolhidas usando uma variedade de diferentes classificações. As estacas podem ser classificadas de acordo com o material, pela metodologia de execução, pela secção do fuste e pelo efeito que provocam ao solo envolvente. O fuste corresponde à coluna da estaca, desde o capitel (superfície) até à sua base.

2.3.1 Quanto ao material

As estacas podem ser construídas com diferentes materiais, dependendo da situação onde vão ser usadas, em resultado da avaliação das condições técnicas/económicas de execução. Estas podem ser realizadas em madeira, aço, betão (Figura 2.7) ou mistas.

- **Madeira:** sendo este o método mais antigo e o único usado até ao início do século XX, estando atualmente em desuso em Portugal, sendo principalmente usadas em obras fluviais. Apesar de se conseguir obter facilmente este material, e ser economicamente apelativo, este material tem as suas fragilidades pois é um material natural e poroso. Requer um nível freático o mais superficial possível de forma a poder preservar a integridade da madeira; caso contrário ocorre a sua degradação de forma rápida, perdendo características de resistência. Tem comprimentos usualmente que rondam entre os 5 a 8 metros, com diâmetros normalmente entre os 18 aos 35 centímetros, suportando cargas de aplicação reduzidas comparando com a dimensão das atuais estruturas.
- **Aço:** também conhecidas como perfis laminados ou tubulares, são de fácil cravação em quase todos os tipos de terrenos. Os perfis são normalmente pré-fabricados, o que confere a possibilidade de variação nos comprimentos e secções. Contudo, tem como principal desvantagem a corrosão do material, necessitando o recurso a outros processos para a prevenção desse problema.
- **Betão:** podem ser de betão simples ou de betão armado, sendo a sua principal diferença a presença de armadura no seu núcleo. Podem ser pré-fabricadas, mas é mais comum serem betonadas *in situ*. Este tipo de estacas são as mais usuais no mercado nacional, podendo chegar a grandes profundidades apresentando um tempo de vida muito elevado. Pode, porém, o cimento reagir com produtos, como já houve casos de reações com água salgada, em que a estrutura fica comprometida, podendo levar a graves problemas no futuro se não forem tratadas devidamente.
- **Mistas:** Este tipo de estacas tenta prevenir os problemas referidos nos pontos anteriores, juntando os diferentes materiais de forma a proporcionar uma estrutura mais segura e

resistente, sem comprometer outros aspetos. Dá-se como exemplo uma estaca de aço revestida com betão de forma a evitar fenómenos de corrosão.



Figura 2.7 - Exemplos de estacas de a) madeira; b) aço; c) betão (Neves, 2010)

Na execução das estacas, principalmente na execução de estacas cravadas, podem ocorrer problemas e deformações.

Como se pode verificar na figura 2.8, ao realizar um prolongamento de uma estaca de madeira, verificou-se que esta rachou podendo ser causa de problemas estruturais, podendo isto ser resultado de força excessiva para este tipo de material, por parte do equipamento, ou poderá estar associado a defeitos do próprio material. O mesmo se verifica com a figura 2.9 e na figura 2.10, podendo nas estacas de betão haver problemas em relação à armadura, ou a má qualidade do betão que foi aplicado.



Figura 2.8 - Estaca de madeira com o topo destruído (Neves, 2010)



Figura 2.10 – Resultados de má qualidade do betão de uma estaca (Neves, 2010)



Figura 2.9 - Deformação presente numa estaca de aço (Pedro, s.d.)

Existem estacas de diferentes tipos, havendo também subgrupos descendentes da estaca normal, tendo uma panóplia de nomes diferentes de acordo com o seu método de utilização, desde estacas raiz, a estacas prancha até mesmo microestacas, sendo estas últimas consideradas como estacas de diâmetro reduzido.

Dentro das estacas, existem dois grandes grupos, as denominadas estacas cravadas e as estacas moldadas. As estacas cravadas separam-se das moldadas devido ao processo de pré-fabricação. As estacas moldadas são executadas *in situ*, ou seja, no local da obra, com o material necessário para a sua produção transportado para a obra. São normalmente de betão armado, levando-se para a obra as quantidades de betão e as armaduras necessárias, e as estacas são fabricadas diretamente no furo, enchendo-o, após a perfuração do furo estar realizado, limpo e pronto.

As estacas abordadas nesta dissertação encontram-se dentro do grupo das estacas moldadas de betão armado, sendo desta forma utilizados como materiais usuais, o betão e a armadura interior de aço.

2.3.2 Quanto à metodologia de execução

Existem dois grandes grupos de metodologias mais usadas, correspondendo às estacas cravadas e estacas moldadas.

(a) Estacas Cravadas

Este processo de execução de estacas cravadas ou estacas pré-moldadas como às vezes são referidas, que se encontra esquematizado na figura 2.11, pode ser vantajoso em termos de rapidez de execução, resultado da metodologia de cravação. As estacas, quando chegam, já se encontram preparadas para a sua colocação no solo, chegando ao local com as dimensões e especificações já definidas e impostas previamente, como o tipo de material, o diâmetro, comprimentos, entre outros, sendo usualmente, a cravação no solo, realizada através de uma ponteira na extremidade da estaca, pré-fabricada de forma a facilitar a sua penetração. O nível freático pouco ou nada interfere com o seu processo de colocação. Este processo tem a capacidade de produção em grandes profundidades.

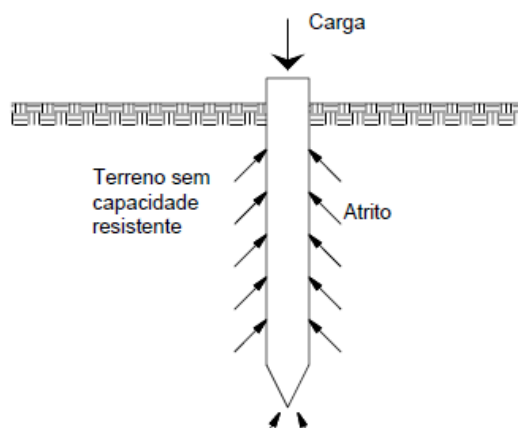


Figura 2.12 - Forças que podem estar presentes durante a cravação de uma estaca (Pedro, s.d.)

(b) Estacas Moldadas

As estacas moldadas, são estacas moldadas *in situ* após a extração do terreno. Neste processo e dependendo da metodologia, podem ser utilizados tubos de revestimento provisório para garantir a estabilidade das paredes resultantes da escavação.

São caracterizados por diâmetros usualmente compreendidos entre Ø400mm e Ø3000mm.

Este processo é correntemente mais usado devido à flexibilidade e disponibilidade dos materiais constituintes, pela elevada capacidade de carga associada a grandes diâmetros, bem como pela elevada variabilidade de condições geológicas aptas para a sua execução.

2.3.3 Quanto à secção

Dependendo do tipo de material, as estacas podem ter diferentes secções, desde circulares, a quadradas, em estrela, a hexagonais, entre outras. Estas secções podem-se apresentar sólidas ou tubulares (Figura 2.13), sendo que a diferença entre as sólidas é que o fuste é totalmente preenchido, enquanto as tubulares são ocas por dentro.

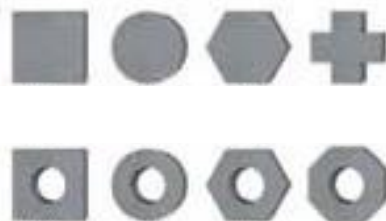


Figura 2.13 - Diferença, em vista de planta, entre estacas cravadas de betão de secção sólida (cima) e secção tubular (baixo) (Meixedo, 2013)

Existe, porém, casos diferentes no que diz respeito a certas estacas cravadas, correspondente aos perfis metálicos e às estacas helicoidais, tendo os primeiros uma secção em “H” (Figura 2.14) ou em “I”. A secção mais usada em obra é a circular, sendo de seguida a quadrada, devido a proporcionarem uma penetração no solo mais facilitada.



Figura 2.14 - Perfis Metálicos com Secção em "H" (Sete Engenharia, 2014)

2.3.4 Quanto ao efeito no solo envolvente

O solo em que a estaca está envolvida pode sofrer deslocamentos devido às forças presentes na furação e colocação das estacas. Como consequência do processo de execução a ser usado, os efeitos no solo envolvente podem ser maiores ou menores. Os métodos de execução em que a furação ocorre com extração do material, provocam menores efeitos ao solo envolvente à estaca. No entanto, no caso de não se realizar a extração do solo, a cravação das estacas provocará um deslocamento e incremento de pressão na envolvente da estaca, obrigando a um ajustamento das partículas do solo e redução do espaço vazio. Genericamente, solos mais deformáveis necessitam de menor energia de impacto no processo de cravação.

Após a análise de todos os subtópicos do ponto 2.3, consegue-se sintetizar essa informação numa tabela de classificação de estacas como a seguinte (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Classificação de Estacas (adaptado de (Santos, Fundações por Estacas - Acções Verticais, 2008))

Efeito no solo envolvente	Processo de Execução	Material ¹	Exemplo
Grande deslocamento (s/ extração do solo)	Pré-fabricada e cravada	Madeira Betão	Peça sólida
		Aço Betão	Peça tubular
	Moldada	Aço Betão	Peça tubular obturada na ponta
			Peça sólida circular - Full Displacement Piles
Pequeno deslocamento (s/ extração do solo)	Pré-fabricada e cravada	Aço	Perfis Metálicos - Secções H e I; Peça tubular
Sem deslocamento (c/ extração do solo)	Moldada com sustimento provisório	Betão	Peça sólida circular -Tubo Moldador Recuperável
	Moldada com sustimento definitivo	Betão	Peça sólida circular -Tubo Moldador Perdido

¹ O Betão corresponde tanto ao betão simples como ao betão armado

2.4 Ações de Carga

As estacas estão sujeitas a forças externas pelo que têm que ser dimensionadas de forma a obter o melhor desempenho, podendo ser influenciado por: as características do terreno de fundação, o tipo de estaca a ser implementado, o tipo de material usado, assim como o método de execução escolhido.

Ao implementar uma estaca no terreno, esta pode estar sujeita a ações de carga verticais e/ou ações de carga horizontais, provenientes das estruturas que suportam, assim como dos solos envolventes (Santos, Fundações por Estacas - Ações Verticais, 2008).

As realizações de estacas sem a consideração de todas as ações condicionantes podem levar a vários problemas, como por exemplo:

- Perda de estabilidade global;
- Rotura por arranque devido a insuficiente resistência do terreno (rotura à compressão e tração)
- Rotura da estrutura da estaca por compressão, tração, flexão, encurvadura (Figura 2.15) ou corte;
- Assentamentos ou empolamentos excessivos;
- Rotura conjunta do terreno e estrutura.

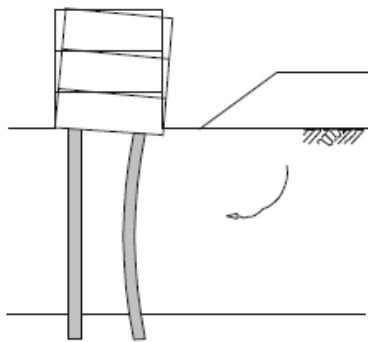


Figura 2.15 – Exemplo rotura da estrutura da estaca por encurvadura (Santos, Fundações por Estacas - Ações Verticais, 2008)

2.4.1 Ações Verticais

Para se conseguir dimensionar a resistência de estacas para ações verticais, as metodologias de cálculo são, de acordo com o EC7 (Santos, Fundações por Estacas - Ações Verticais, 2008):

- Utilização de resultados de ensaios de carga estáticos;
- Aplicação de métodos de cálculo analíticos ou empíricos cuja validade tenha sido demonstrada através de ensaios de carga estáticos em situações comparáveis;
- Aplicação de métodos de ensaios de carga dinâmicos cuja validade tenha sido demonstrada através de ensaios de carga estáticos em situações comparáveis.

Com as ações verticais, o que determina a capacidade de a estaca aguentar essa carga, de acordo com a prática usual, é a resistência de ponta e o atrito lateral (Figura 2.16).

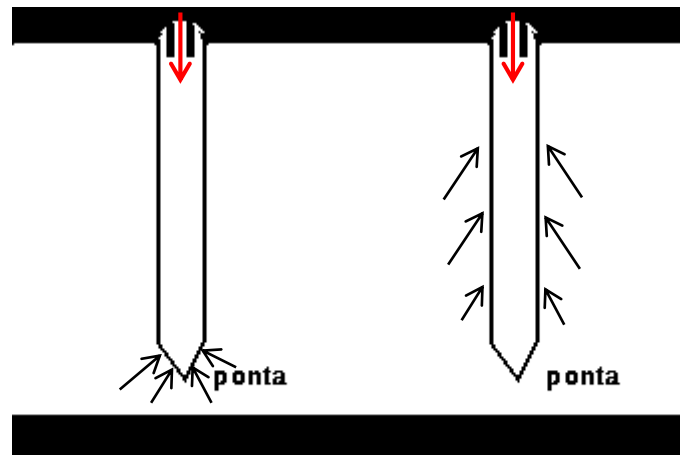


Figura 2.16 - Ilustração esquemática das forças verticais de uma estaca

A resistência de ponta é a carga máxima que a base da estaca consegue suportar sem que o solo fique danificado ou deformado. Deverá ser dada especial atenção à mobilização de resistência de ponta das estacas no caso de estacas moldadas, tendo em conta os assentamentos ocorridos (Santos, Fundações por Estacas - Ações Verticais, 2008), como se verifica na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Resistência de ponta mobilizada (Re) em relação com o assentamento normalizado (sb/b)

Assentamento normalizado (s_b/b)	Relação de resistência de ponta mobilizada entre estacas (Re)
0,05	0,15 a 0,21
0,10	0,30 a 0,50
0,25	0,50 a 0,70
∞	1,00

2.4.2 Ações Horizontais

Segundo (Santos, Fundações por Estacas - Ações Horizontais, 2008); as ações horizontais provêm, em grande parte, indiretamente das estruturas. Como cada vez mais as obras realizadas são de estruturas de grande porte, esse grande porte faz com que estejam presentes ações horizontais consideráveis, tendo origens em fatores externos, como o vento, a variação térmica, ondas do mar (caso seja perto de áreas litorais), sismos, entre outros. Essas ações são transferidas das estruturas até às fundações e transformadas em cargas horizontais e momentos concentrados que contraem o movimento lateral proporcionado pelo solo existente (Figura 2.17).

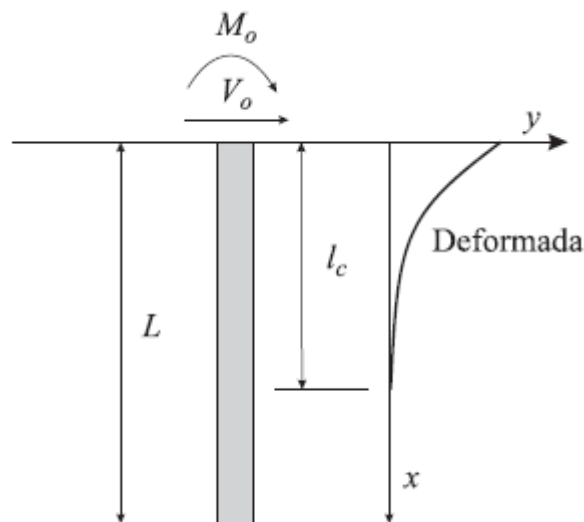


Figura 2.17 - Comportamento flexível das ações horizontais das estacas

Determinar a resistência de estacas sujeitas a ações horizontais é um processo mais complexo que a determinação da capacidade resistente vertical, pois esta consiste na determinação das interações entre o solo e a estaca. A elevada heterogeneidade das propriedades resistentes do solo, que apresenta um comportamento não linear, condiciona e dificulta a análise tridimensional. As cargas no topo da cabeça da estaca fazem com que o solo tenha um comportamento plástico e por isso não demonstra deslocamentos (y) diretamente proporcionais com a carga aplicada (p), como se pode ver na figura 2.18.

Nos dias de hoje o modelo de Winkler, que considera o comportamento elástico e linear, é usualmente utilizado para o dimensionamento das estacas de fundação.

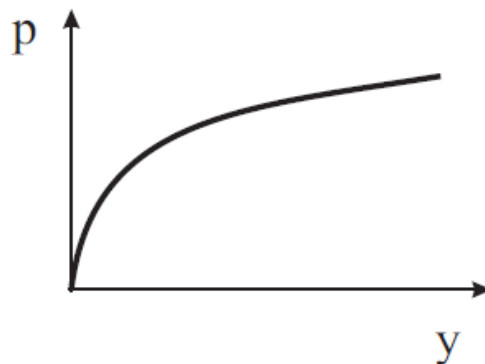


Figura 2.18 - Comportamento não linear do solo (curva p-y)
(Santos, Fundações por Estacas - Ações Horizontais, 2008)

2.5 Aplicação

Como se viu anteriormente, as estacas podem ter características diferentes, variando assim as profundidades e diâmetros que podem atingir. As estacas podem ser realizadas em todo o tipo de terreno, variando apenas o método a usar para a sua realização, podendo chegar a grandes profundidades, chegando alguns métodos a mais de 80 metros. Com isto, pode-se alterar as características das estacas de acordo com a função que irá exercer e do material presente no local da obra.

As estacas são usadas para diferentes objetivos, podendo servir para fundações, contenção lateral de solos, isolamento de áreas contaminadas, cortinas de impermeabilização, entre outros. A realização do isolamento de áreas contaminadas e cortinas de impermeabilização são semelhantes, funcionando os dois como uma barreira, quer seja entre as áreas com material contaminado e o material não contaminado, assim como uma barreira do material com percolação para material seco.

A utilização mais comum para uma estaca é a de fundação de estruturas, sendo um tipo de fundação muito usado e conhecido, substituindo outros tipos de fundação direta quando esta não é suficiente para proporcionar estabilidade, e quando o terreno perto da superfície não possui características de resistência e deformabilidade para suportar a estrutura.

A realização de sapatas de fundação deixa de ser economicamente viável, resultado do incremento de custo com materiais para garantir a geometria da peça (quadrada/retangular), assim como o incremento de custo associado à entivação da própria escavação. Nesses casos opta-se habitualmente pela utilização de estacas de betão armado.

Contudo as estacas não têm apenas essa função. Uma outra também muito utilizada é de servir de contenção a uma determinada área ou talude, fornecendo estabilidade ao terreno, de forma a não deixar, por exemplo na construção de uma cave, que ocorra um deslizamento de terras podendo afetar as estruturas vizinhas. Como solução apresenta-se uma cortina de estacas afastadas (Figura 2.19). Podem apresentar um carácter provisório ou definitivo, sendo no caso desta última, integradas na estrutura construída. Estes tipos de estruturas podem ser materializados por diferentes tipos de solução estrutural, nomeadamente cortina de estacas secantes, tangentes e afastadas, dependendo do afastamento entre estacas. Como o próprio nome indica, no caso de cortinas de estacas afastadas, o espaço entre estacas pode ser estabilizado com recurso a betão projetado (Figura 2.20).



Figura 2.19 - Aplicação de estacas para fundação (esquerda) e contenção (direita) (imagens cedidas pela dst)

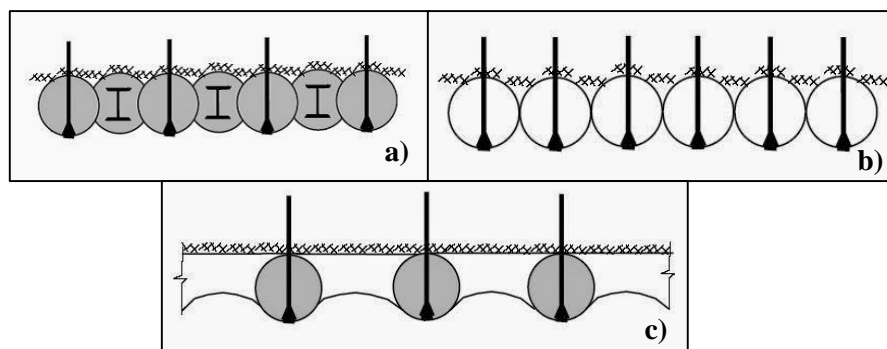


Figura 2.20 - Ilustração de cortina de estacas a) secantes; b) tangentes; c) afastadas (Cortesão, s.d.)

2.6 Fatores Condicionantes

Existem vários fatores a ter em conta quando se escolhe o tipo de estaca mais apropriado a utilizar, ou até mesmo se as estacas são a melhor solução para aquele caso específico. Para isso é necessário começar por verificar qual o local da obra, não só pela sua geologia e topografia, mas também pelo tipo de urbanização presente, podendo ser um local urbano ou rural.

- **Local**

Esta condicionante pode causar a impossibilidade da utilização de estacas pré-fabricadas devido ao equipamento de transporte do material ser de grandes dimensões, assim como os efeitos de vibrações que podem causar danos em estruturas existentes, em particular em locais densamente edificados.

Se o terreno tiver uma grande inclinação pode dificultar o transporte do equipamento, ou então o espaço ser reduzido (problema muitas vezes deparado em zonas de grandes urbanizações).

- **Equipamento**

Dependendo da disponibilidade de equipamentos no mercado, as empresas podem estar condicionadas, na realização de uma obra, se não tiver o equipamento necessário para executar os trabalhos, ou se esse equipamento não estiver disponível para começar a obra nas datas estipuladas pelo dono de obra, podendo estar a prestar serviços noutra local, com isso e com autorização do dono de obra, poderá ter de se alterar o tipo de estaca. Outra condicionante proveniente do equipamento disponível é a capacidade que há em perfurar o solo, pois alguns métodos conseguem chegar a profundidades maiores que outros. Devido ao processo de construção que a estaca tem, entrando-se mais em pormenor neste trabalho quando se chegar ao processo de construção das estacas moldadas. Poderão existir limitações físicas à execução de determinada metodologia de execução condicionada pelo tipo de equipamento e capacidade

construtiva. Estas condicionantes podem estar associadas às características geológicas; às condições hidrogeológicas, etc.

No capítulo 3 serão detalhados com maior pormenor o processo de estacas de trado contínuo e tubo moldador recuperável.

- **Ruído e Poeiras**

Tendo em conta o método de execução da estaca e o tipo do material do terreno a atravessar, podem-se criar poeiras consideráveis, assim como ruídos excessivos. Estes fatores se não forem devidamente controlados poderão provocar danos e incómodo em edificações próximas, sendo que para tal devem ser respeitados os limites ambientais máximos impostos de ruído e poeiras nos locais de trabalho.

- **Água**

A presença do nível freático pode condicionar no tipo de estaca a usar, sendo que ter-se-á que ter em atenção o comportamento do terreno com a execução da furação da estaca. Podem também introduzir problemas na sua implementação se estiver perante níveis freáticos à superfície ou perto destes. Esta situação será tanto ou mais crítica quanto menor a profundidade dos níveis freáticos, encontrando-se estes próximos da superfície. A par dos problemas da presença de água próxima da superfície, as condições de circulação dos equipamentos pode igualmente ser condicionada pela presença de solos lodosos com fraca capacidade resistente, reduzindo as capacidades de tração e estabilidade de plataformas. Salienta-se que os equipamentos usuais para a realização de estacas, são equipamentos de elevado porte, bastante suscetíveis à estabilidade das condições de plataforma.

- **Geologia**

Como já foi referido anteriormente, a geologia presente no local da obra condiciona qual o método de execução mais adequado. Entre materiais rochosos e solos, a capacidade de carga que o equipamento de furação necessita para realizar o furo da estaca será maior quanto mais resistente for o material presente.

Com equipamentos a não conseguirem ultrapassar certas capacidades de carga, torna-se imprescindível a análise da geologia do local para a determinação do método de execução mais apropriado.

3. Estacas Moldadas

Como já se referiu, as estacas dividem-se em dois grandes grupos: as estacas cravadas, já referidas no ponto 2.3.2(a), e as estacas moldadas, brevemente referidas no ponto 2.3.2(b). Estas últimas, como se verifica na figura 3.1, são por sua vez divididas também em dois subgrupos, de acordo com a sua execução, podendo ser executadas com tubo moldador ou sem tubo moldador. As estacas moldadas sem tubo moldador referem-se às estacas de trado contínuo, quanto às estacas executadas com tubo moldador, temos as estacas de tubo moldador recuperável ou não recuperável.

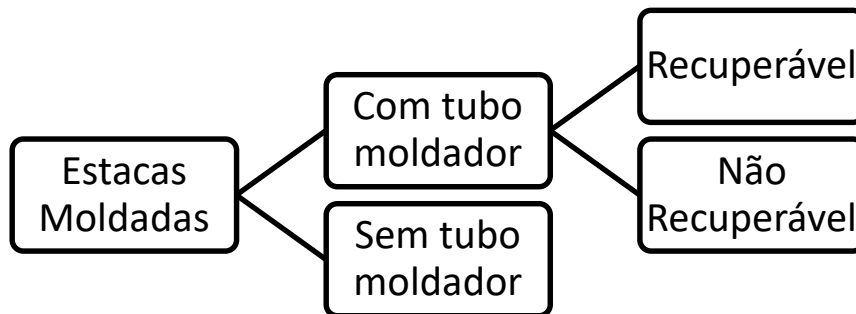


Figura 3.1 - Tipos de execução de estacas moldadas (adaptado de (Brito, 2000))

As estacas moldadas são vantajosas para locais urbanizados no sentido em que é um método que provoca vibrações e ruídos reduzidos, quando comparado com as estacas cravadas, reduzindo igualmente o potencial dano em estruturas na proximidade. Devido à metodologia, executam-se estacas a maiores profundidades e com uma maior capacidade de resistência de carga. Com a extração do terreno, consegue-se confirmar se o processo está a correr como seria de esperar, pela análise visual do material extraído e correlação com o previsto no estudo geológico-geotécnico prévio. Esta metodologia permite a execução de estacas em solos rochosos pela utilização de ferramentas de corte, vulgo, caroteiros ou trados rocha, contrariamente à metodologia de estacas cravada.

As estacas moldadas têm a capacidade de chegar a comprimentos na ordem dos 80 metros, quer na sua furação, quer na introdução das armaduras.

Abordando apenas um tipo de estacas executado com tubo moldador e outro sem tubo moldador, decidiu-se que, tendo em conta os trabalhos executados no departamento tgeotecnia, os melhores métodos para se realizar acompanhamento seriam (1) as estacas de trado contínuo e (2) as estacas de tubo moldador recuperável, sendo discutido de seguida as aplicações, vantagens e limitações

destes dois métodos de forma a compará-los e tentar determinar qual o mais indicado de acordo com as condicionantes presentes.

3.1 *Estacas de Trado Contínuo*

O método de trado contínuo consiste em realizar a perfuração do terreno com um trado, constituído por uma espiral contínua que permite a escavação do solo. A perfuração do solo é garantida pela ação rotativa e avanço em profundidade do trado de perfuração que ocorre de forma contínua até atingir a profundidade de encastramento da estaca. O material a escavar fica aprisionado entre as espiras, sendo removido pelo trado aquando da subida do mesmo até à superfície.

O trado contínuo apresenta um corpo tubular oco que permite pela ação de uma bomba de betão, introduzir betão pelo interior do trado, efetuando a betonagem da estaca simultaneamente à retirada do trado.

Como já se referiu, estas estacas são constituídas por betão armado atingindo profundidades máximas de cerca de 35 metros para equipamentos de elevado porte.

A estaca pode ser integral ou parcialmente armada, sendo comum um comprimento máximo de armadura de cerca de 12 a 14 metros, para condições normais. Tendo em conta que a colocação da armadura, neste método, ocorre após a betonagem, a execução de comprimentos superiores afeta significativamente a introdução da armadura.

Quanto à execução do fuste da estaca, é usual a utilização de comprimentos entre os 22 e 25 metros. Para o caso de haver a necessidade de execução de estacas com comprimentos superiores, isto pode causar a inviabilidade da metodologia, obrigando a sua alteração ou reformulação do projeto.

Este processo é geralmente usado em estruturas e edifícios menos complexos e em horizontes geológico-geotécnicos compatíveis com as profundidades de execução. Esta metodologia produz poucas vibrações durante a execução, sendo adequadas para locais urbanos e com estruturas sensíveis a reduzida distância.

3.1.1 Processo Construtivo

O processo construtivo deste tipo de estaca consiste principalmente em três fases, sendo os materiais usados, o betão e a armadura de aço.

- **Perfuração**

Estando sinalizados os locais onde se vai realizar os trabalhos de estacaria e com a plataforma de trabalhos pronta para receber o equipamento, procede-se à fase de perfuração do solo. O processo de furação é realizado através de movimento rotativo e com avanço do trado de furação à medida que se vai retirando o solo existente (Figura 3.2). Este processo é efetuado até se chegar ao terreno de fundação, à cota estipulada em projeto e confirmação das características de resistência pretendidas.

- **Betonagem**

Estando a furação realizada e o trado se encontrar no fundo do furo, começa-se o processo de betonagem. O betão é bombeado por dentro do trado de furação, enchendo o furo e, ao mesmo tempo, devido à pressão que este exerce, vai levando à subida do equipamento (subindo 50cm no início do processo). Devido a este processo, garante-se a secção da estaca sem a contaminação do material escavado, sendo este removido pelo movimento ascensional do trado.

- **Colocação da Armadura**

Em último, após a betonagem estar concluída até à cota superior da plataforma, é introduzida a armadura com a ajuda de um vibrador, enquanto o betão ainda se encontra fresco.

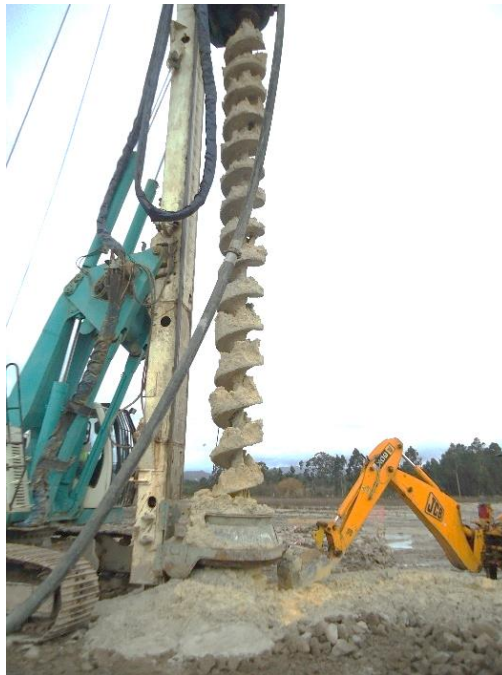


Figura 3.2 - Pormenor do material retido na hélice de perfuração na máquina Casagrande (imagem cedida pela dst)

3.1.2 Material Construtivo

Como já foi referido anteriormente, o material que constitui uma estaca moldada é o betão e a sua armadura interior feita com varões de aço. Para melhor compreender as resistências que as estacas proporcionam, é necessário analisar os materiais individualmente de modo a perceber em que aspetos contribuem para tornarem as estacas moldadas num dos métodos mais utilizados em termos de fundações especiais, assim como as especificações normalmente usadas.

Em tempos, o betão usado em obra para este tipo de trabalhos apresentava características fixas, independentemente das condições do solo, dimensão da estaca final e da armadura utilizada; contudo agora avaliam-se diversos fatores para conseguir o melhor resultado final.

(a) Betão

Para além das características de resistência e durabilidade, é necessário que o betão apresente adequadas condições de trabalhabilidade, principalmente para as estacas de trado contínuo, em resultado da colocação da armadura após a betonagem.

O betão é constituído por cimento, agregados, água e adjuvantes, dos quais as suas quantidades e misturas produzem betões com determinadas características. Essas características são controladas de acordo com os diferentes ensaios previstos na norma NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008).

A designação de um determinado betão tem que ter sempre os mesmos parâmetros e de acordo com as especificações da norma referida (ANEXO A: Especificações do betão (APEB)). A sua designação tem de se apresentar com:

- Referência à norma em vigor (NP EN 206-1);
- Classe de resistência à compressão;
- Classe de exposição ambiental e código correspondente ao país (P);
- Classe de teor em cloretos;
- Classe de consistência.
- Dimensão máxima dos agregados usados;

De seguida apresenta-se as características tipo de um betão a utilizar nas estacas de trado contínuo:

NP EN 206-1: C30/37 XC2(P) C10.4 S5 D16mm

(I) Classe de Resistência

A classe de resistência varia de acordo com a resistência que o betão proporciona à compressão, podendo ir desde a classe C8/10 até à classe C100/115, correspondendo a uma maior resistência

as que apresentam um valor mais elevado. Apesar disso, a classe de resistência do betão das estacas de trado contínuo geralmente varia entre três valores, entre o C25/30, o C30/37 e o C45/50, sendo mais comum a utilização dos dois primeiros.

(II) Classe de Exposição Ambiental

Quanto à classe de exposição, quando se realiza betão para uma estrutura que está em contacto direto com o solo, esse betão tem de estar protegido contra a exposição que esse ambiente proporciona. Existem várias classes de exposição ambiental os quais têm de se levar em consideração o ataque sobre o betão ou sobre as armaduras e os outros metais, e em que meio se encontram.

Para fundações, é considerada a corrosão induzida por carbonatação, sendo normalmente considerado o XC2 devido a esse ser usada em ambientes húmidos, raramente secos, e para superfícies de betão sujeitas a contacto prolongado com água e para a utilização em fundações.

No entanto, na realização do relatório geológico-geotécnico poderá verificar-se a exposição de ataque químico, sendo esse o usado para ambientes com água e solos naturais, sendo a principal causa a contaminação da água. A utilização desta classe de exposição ambiental implica a utilização das siglas XA, podendo ir entre 1 a 3 de acordo com a agressividade (Figura 3.3).

Ataque químico		
Classe	Ambiente	Exemplos
XA1	Ligeiramente agressivo	Água do mar. Solos naturais e águas subterrâneas contendo agentes químicos agressivos para o betão e para os elementos metálicos embebidos.
XA2	Moderadamente agressivo	
XA3	Fortemente agressivo	

Figura 3.3 – Classe de Exposição para Ataque químico segundo NP EN206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008)

Em relação à sigla usada para identificar o país em que foi fabricado, no caso de Portugal, é usado o (P).

(III) Classe de Teor em Cloretos

A classe de teor de cloretos varia de acordo com a armadura do betão, sendo usado o que corresponde ao betão com armaduras de aço ou outros metais embebidos, tendo em conta a classe de exposição ambiental definida anteriormente. Sendo o comumente usado, no caso de haver estacas não armadas, a classe é a C11,0 e no caso de estacas armadas, que são as mais realizadas, a classe corresponde a C10,4 (Figura 8.2, Anexo A).

(IV) Classe de Consistência

A classe de consistência do betão pode ser determinada através de vários ensaios, sendo escolhido o que melhor se adequa, podendo-se escolher entre o Ensaio de Abaixamento, o Ensaio de Vêbê, o Ensaio de Compactação e o Ensaio de Espalhamento. No entanto o mais usado em Portugal é o Ensaio de Abaixamento (Figura 8.4, Anexo A) (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008).

Quanto maior o valor da classe de consistência, maior é o abaixamento que vai ter.

No caso de estacas pelo método de trado contínuo, a classe de consistência tem de ser elevada para facilitar a colocação posterior da armadura, sendo normalmente usado um betão S5.

(V) Dimensão máxima do agregado

O agregado pode ter vários diâmetros e a sua utilização final varia conforme esse aspeto. Para assegurar uma adequada colocação e compactação do betão, recomenda-se que a máxima dimensão do agregado não deverá exceder um quarto da menor dimensão do elemento estrutural e o recobrimento mínimo das armaduras (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008).

Para o método de trado contínuo, é aconselhado a utilização de agregados não maiores que 16mm para estacas que se encontram parcialmente armadas. No caso de se estar perante estacas integralmente armadas para profundidades superiores de 12, a utilização de diâmetros menores que 16mm pode ser benéfica, auxiliando à colocação da armadura.

(b) Armadura de Aço

As armaduras presentes nas estacas moldadas são constituídas por varões longitudinais e estribos helicoidais (Miranda & Martins, 2006), como se observa na figura 3.4. Estas armaduras apresentam comprimentos máximos entre 12 a 18 metros e para auxiliar à sua colocação deverão ser eletrossoldadas.



Figura 3.4 - Pormenor interior da armadura (imagem cedida pela dst na Universidade de Aveiro)

Existem especificações sobre qual o tipo de aço que se deve usar para estes trabalhos de betão armado, sendo os mais usuais o aço A400NR e A500NR, podendo também ser usado o A335NR, porém menos frequentes. O número corresponde ao valor característico da tensão de cedência do aço, proporcionando resistência adicional à do betão ao longo do fuste da estaca, seguindo a norma (Eurocódigo 3, 1993).

As armaduras a introduzir na execução de estacas de trado contínuo são geralmente afuniladas na base. Este afunilamento serve para facilitar a introdução da armadura no betão, diminuindo a resistência e, em conjugação com a aplicação de espaçadores específicos, reduz o contato da armadura com as paredes de fundação, garantindo o recobrimento necessário.

No método de trado contínuo, as armaduras deverão ser electrossoldadas (Figura 3.5), permitindo e facilitando a ação vibratória na sua colocação, ou seja, os estribos helicoidais são soldados aos varões longitudinais, melhorando a fixação destes. Isto é necessário porque durante a introdução



Figura 3.5 - Pormenor de uma armadura electrossoldada (fotografia da autora)

das armaduras no furo da estaca após o betão, este fornece resistência e se as ligações não forem soldadas, toda a estrutura pode ficar comprometida, dobrar e conseqüentemente encravar nas paredes do furo.

3.1.3 Equipamento

Para a realização dos trabalhos de estacaria pelo método de trado contínuo, é necessário equipamento especializado.

A equipa de trabalho de execução de estacas terá associado os seguintes equipamentos que se encontra ilustrado na figura 3.6:

- Máquina de estacas (1);
- Bomba de betão (2);
- Vibrador elétrico para colocação da armadura da estaca;
- Trado contínuo oco (3);
- Ponteira de trado, com pontas de aço duro ou de tungsténio;
- Tubagem flexível de ligação da bomba de betão à cabeça de rotação da máquina (4);



Figura 3.6 - Equipamento usado para realizar estacas moldadoras de trado contínuo: (1) máquina de estacas Casagrande; (2) bomba de betão; (3) trado contínuo oco com o diâmetro e comprimento nunca inferior aos da estaca; (4) tubagem flexível de ligação da bomba de betão à cabeça de rotação da máquina (imagem cedida pela dst)

3.1.4 Vantagens e Limitações

A execução de estacas de trado contínuo apresenta várias vantagens que o tornam num dos métodos mais usados atualmente, que são os seguintes:

- Reduzidos níveis de ruídos e vibrações
- Elevado rendimento de execução
- Reduzidos custos de execução
- Possibilidade de executar com comprimentos variados
- Diâmetros de furação variáveis de forma a permitir uma maior flexibilidade na solução estrutural
- Permite analisar o comportamento do terreno durante a execução

Por outro lado, existem condições limitantes, referidos de seguida:

- Impossibilidade de atravessamento de materiais de elevada resistência;
- Dificuldade de materialização de encastramento em horizontes de elevada resistência
- A presença de água no terreno pode causar anomalias na betonagem;
- A qualidade de execução depende do operador como por exemplo ocorrer estreitamentos no diâmetro do furo;
- O equipamento tem que ter uma grande potência;
- Comprimentos limitados a cerca de 35 metros, sendo no mercado nacional habituais comprimentos de 22 a 25m;
- Estas estacas têm que ser betonadas até ao nível da plataforma de trabalho para permitir a colocação da armadura.

3.2 Estacas de Tubo Moldador Recuperável

Este método de execução, geralmente designado como estacas TMR ou de vara Kelly, tem como particularidade a colocação da armadura ser anterior à realização da betonagem. Este método consiste na introdução de troços de tubo de revestimento acopláveis (oco) para estabilização das paredes do furo, tendo como funções adicionais evitar a contaminação do betão enquanto este é introduzido, suportar a armadura e a tremonha durante a betonagem.

Com o recurso a um trado curto acoplado por uma vara telescópica, o solo é extraído do interior do furo, podendo ter nível freático e percolação. Pode ser também usada uma limpadeira (bucket) quando o terreno é essencialmente constituído por solos mais lodosos, ou em casos de material mais resistente, são usadas ferramentas de corte tipo caroteiro (para grandes diâmetros),

conhecido também como “carotier”, apesar de esse termo ser mais utilizado para um equipamento usado para a realização de sondagens. No caso do atravessamento de materiais resistentes, o caroteiro necessita de incrementar a capacidade rotativa, devido aos solos serem mais pedregosos e, por conseguinte, mais resistentes.

Este método fornece uma solução mais cara, mas é um método que é capaz de atingir profundidades superiores quando comparado ao método de trado contínuo, de 40 a 80 metros, sendo os comprimentos máximos das estacas e armadura dependentes do solo existente.

3.2.1 Processo Construtivo

Como já foi referido, este método introduz a armadura antes do betão, sendo, por isso, usados equipamentos diferentes, sendo as três fases:

- **Perfuração**

Após sinalização topográfica do local previsto da execução de estacas, começa-se por realizar uma furação prévia de 3 a 4 metros de forma a ajudar a posicionar e a verticalizar o primeiro troço do tubo. Este passo é bastante importante pois, caso contrário, a verticalidade das estacas seria afetada. A perfuração da estaca pelo interior do entubamento realizar-se-á pelo processo rotativo mediante o recurso a trados ou limpadeiras metálicas, com bordos dentados cortantes, que recebem o movimento rotativo através de uma vara telescópica de aço (Kelly). A terra vai sendo removida faseadamente de forma a repetir todos os passos anteriores até se chegar à profundidade pretendida ou até ao maciço competente.

Após o acoplar dos diversos troços de tubo moldador, com parafusos, é realizada a limpeza do furo com limpadeira, podendo ser alargado a base da estaca com as ferramentas especializadas, caso esteja previsto.

Geralmente quando se está a realizar os últimos 2 metros de furação, deve-se preparar as armaduras para que estejam prontas e próximas do local de aplicação para serem introduzidas logo que a limpeza do furo esteja concluída, garantindo um fundo do furo limpo, melhorando a execução das componentes seguintes.

- **Colocação de Armadura**

Terminada a limpeza cuidadosa do furo, é introduzida a armadura anteriormente montada e preparada. Essas armaduras encontram-se abertas na parte inferior de forma a facilitar a passagem do instrumento para a fase seguinte de betonagem, assim como para facilitamento do processo de remoção do betão contaminado. Em certos casos as extremidades superiores dos varões das armaduras encontram-se envolvidas numa manga protetora, vulgarmente usado o neopreno, para

facilitar os trabalhos de demolição e saneamento do betão contaminado, reduzindo ou eliminando o contacto entre o betão e a armadura.

O neopreno é uma combinação entre borracha expansiva com tecido, ficando no final um produto flexível, elástico e resistente (Isoprene, 2010).

- **Betonagem**

É realizada a betonagem, após a colocação da armadura, com tubos *tremie* onde é introduzido o betão para uma coluna vazada de aço.

O tubo *tremie* corresponde à conjugação de tubos ocos roscados entre si, formando uma coluna. No topo encontra-se a tremonha, também designado como funil recetor, estando esta roscada à coluna. Essa coluna tem o mesmo comprimento do furo, indo desde o início do furo até próximo do seu fundo. À medida que o betão é descarregado, este flui para o funil recetor, sendo aí travada até começar o processo de enchimento, abrindo-se o travão. O seu enchimento é imediato, sucessivo e contínuo, descendo o betão ao longo da coluna e saindo pela boca inferior. O tubo metálico sobe e é removido à medida que é efetuada a betonagem, estando sempre garantida a penetração do tubo abaixo da linha de betonagem. Este processo é repetido até o betão se encontrar à superfície ou à cota estipulada.

3.2.2 Material Construtivo

Tal como nas estacas de trado contínuo, as estacas de tubo moldador recuperável são realizadas com os mesmos materiais, tendo diferentes especificações devido às metodologias serem diferentes.

(a) Betão

Sendo usada a mesma norma (NP EN 206-1), o betão utilizado para este método de execução tem algumas divergências, tendo uma apresentação semelhante ao que se encontra descrito na secção 3.1.2(a):

NP EN 206-1: C25/30 XC2 (P) C10.4 S4 D22mm

Mais uma vez, estas são as especificações normalmente usadas, não querendo isto dizer que não possa sofrer variações.

(I) Classe de Resistência

A classe de resistência varia de acordo com a resistência que o betão proporciona à compressão variando, normalmente, entre os mesmos valores: o C25/30 e o C30/37 e C45/50. Os mais comuns são, tal como no método de trado contínuo, as classes C25/30 e C30/37.

(II) Classe de Exposição Ambiental

Em semelhança com as estacas de trado contínuo, quanto à classe de exposição, apresenta-se normalmente o XC2 (Figura 8.5, Anexo A) devido a ser esta classe a usada em ambientes húmidos, raramente secos para superfícies de betão sujeitas a contacto prolongado com água e para a utilização de fundações (ANEXO A: Especificações do betão (APEB)).

No caso de contaminação química, quer seja devido à presença de nível freático, contaminação dos solos, entre outros, normalmente usa-se o XA1 (Figura 3.3).

(III) Classe de Teor em Cloretos

Tal como no trado contínuo a classe de teor de cloretos no método de tubo moldador recuperável é normalmente usada a classe CI0,4.

(IV) Classe de Consistência

A classe de consistência do betão pode ser determinada através do Ensaio de Abaixamento, do Ensaio de Vêbê, do Ensaio de Compactação ou do Ensaio de Espalhamento, tal como se refere no ponto 3.1.2(a)(IV).

Nas estacas executadas pelo método de tubo moldador recuperável, a classe de consistência normalmente é inferior a do trado contínuo, apresentando habitualmente uma classe S4, tornando o fornecimento do betão para este método economicamente mais competitivo em termos de preços por m³.

(V) Dimensão máxima do agregado

A dimensão máxima utilizada para métodos como o tubo moldador recuperável, que apresentam profundidades maiores, corresponde normalmente a 22mm.

Todas estas especificações são meramente indicativas, podendo variar de acordo com o que se prevê ser mais indicado.

(b) Armadura de Aço

As especificações, sobre qual o tipo de aço usado, mantêm-se quanto ao referido no método de trado contínuo, sendo os mais usuais o aço A400NR e A500NR, podendo também ser usado o A335NR.

Para a execução de estacas de tubo moldador recuperável as armaduras podem ter uma base a direito ou são fechadas na base com um estilo tipo “cesta”. Para evitar o problema do contacto direto com o solo de fundação, por vezes são colocadas espaçadores na base da “cesta”. A realização da “cesta”, ao invés da armação com a base a direito, proporciona vantagens quanto à resistência, em conjunto com o betão, para que na remoção do tubo moldador, esta não venha juntamente com o mesmo, coisa que poderá acontecer com armaduras com a base a direito.

As armaduras podem ser electrossoldadas, como no método de estacas de trado contínuo, ou podem ser armaduras atadas, sendo os estribos atados aos varões (Figura 3.7). Neste último existe uma maior probabilidade de as amarrações romperem não conferindo estabilidade podendo esta dobrar, o que compromete toda a estrutura da armadura, entrando em contato com as paredes do furo. Nestes casos é necessária a substituição da armadura.

No entanto, neste método são utilizadas as armaduras atadas por ser uma opção mais barata e habitual em obras com estaleiro de ferro montado.



Figura 3.7 - Pormenor da armadura atada (fotografia da autora)

3.2.3 Equipamento

Para a execução de estacas pela metodologia de tubo moldador recuperável, é necessário o seguinte equipamento (Figura 3.8):

- Máquina de estacas (1);
- Vara telescópica Kelly (2);
- Cabeça de rotação (3);
- Ferramentas: trado, limpadeira, caroteiro ou trépano;
- Tubos moldadores recuperáveis (4);
- Coluna para betonagem “Tremie”.



Figura 3.8 – Furação (esquerda) e betonagem (direita) das estacas pelo método de tubo moldador recuperável com (1) máquina de estacas Casagrande; (2) Vara telescópica Kelly; (3) cabeça de rotação; (4) tubos moldadores recuperáveis (imagens cedidas pela dst)

3.2.4 Vantagens e Limitações

As estacas de tubo moldador recuperável apresentam algumas das mesmas qualidades e problemas que o trado contínuo, devido a terem a mesma constituição de materiais, mudando maioritariamente o seu método de execução, com isto, verifica-se que as suas vantagens são:

- Capacidade de chegar a grandes profundidades;
- Criação de estacas com boa capacidade de carga;
- Equipamento capaz de funcionar em espaço mais reduzidos;
- Execução de estacas com grandes diâmetros.

Verifica-se que apresenta as seguintes desvantagens comparativamente com o método de tubo moldador com o trado contínuo:

- Rendimentos de produção inferiores;
- Custo por metro de estaca elevado;
- Níveis de ruído e vibração mais elevados, dependente dos materiais atravessados;
- Variedade de dimensões de estacas limitados aos tamanhos dos tubos moldadores.

3.3 Monitorização na execução de estacas

Quando se realizam estacas moldadas, como é uma estrutura criada no interior do terreno, existe dificuldade em verificar, no momento de execução, se esta está a ser realizada devidamente ou não, pois não se consegue visualizar o seu corpo. Como garantia das adequadas condições de execução, são colocados sensores no próprio equipamento que permitem controlar diferentes fatores durante a furação da estaca. Os elementos no interior do furo encontram-se esquematizados no ANEXO B: Monitorização, apresentando os passos implicados.

Segundo (Jean Lutz, SA., s.d.), diferentes sensores permitem determinar diferentes parâmetros:

- Inclinação da plataforma;
- Inclinação do tubo
- Ritmo de perfuração e profundidade;
- Torque e rotação;
- Ritmo de enchimento e volume do betão;
- Pressão do betão;
- Consumo instantâneo e médio (sobreconsumo);
- Perfil da estaca construída;
- Controlo de pressão na base do trado;
- Desvios da estaca.

Estes parâmetros são documentados e registados de uma maneira simples e de rápida interpretação por parte do manobrador do equipamento, conseguindo detetar anomalias de uma forma quase instantânea. Essa informação é registada através dos aparelhos TARALOG, sendo que essa informação é fornecida a preto e branco e DIALOG, sendo que este é um instrumento de controlo mais avançado (Jean Lutz, SA., s.d.). No final de execução de uma estaca, a informação poderá se apresentar da seguinte forma (Figura 3.9):

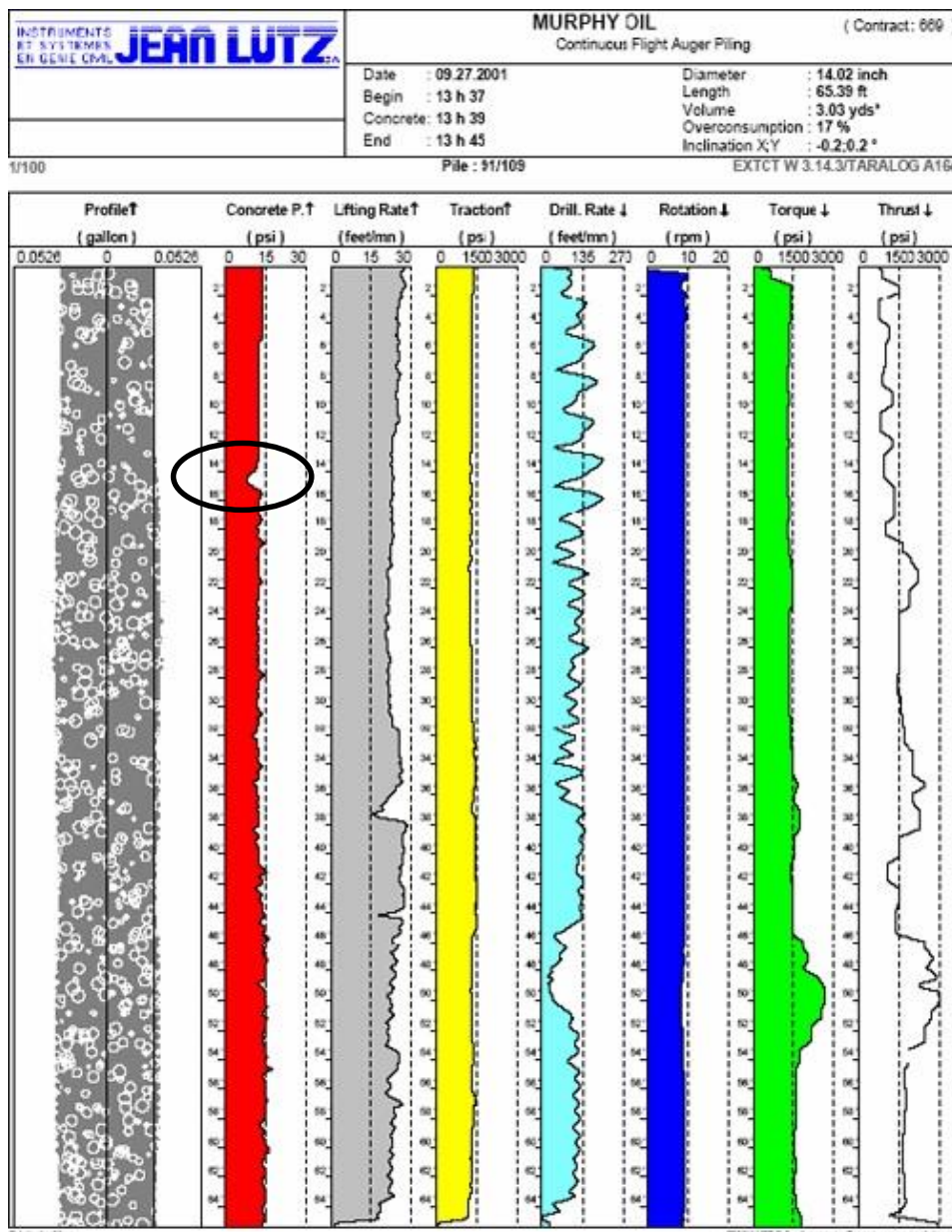


Figura 3.9 - Diagramas de um furo pelo DIALOG com anomalia na betonagem (rodeado a preto) (imagem cedida pela dst)

Analisando a figura 3.9 apresenta-se, da esquerda para a direita, as seguintes informações:

- Perfil da estaca já com enchimento do betão concluído (cinzento), onde se verifica o diâmetro da estaca através da escala horizontal e a profundidade do furo com a escala vertical presente em cada elemento seguinte;
- Pressão do enchimento do betão ao longo do comprimento onde, neste exemplo, se verifica uma anomalia entre os 14 e 16 metros;
- Velocidade do trado no trajeto ascendente no furo;
- Tração que as paredes do furo fornecem ao trado quando este sobe;

- Ritmo do trado de furação variando de acordo com o solo existente, sendo tanto menor quanto mais resistente for o solo, tornando-se mais difícil de perfurar;
- Rotação a que o trado se encontra a perfurar, dependendo da velocidade de penetração;
- No final tem-se o torque e a perfuração/impulsão, sendo necessário um valor de pressão maior quanto melhores são as características apresentadas pelo solo, sendo inversamente proporcionais ao ritmo do trado de furação (Drill Rate).

As setas ao lado de cada parâmetro na figura 3.9, ajudam a perceber em que sentido a informação foi recolhida; a seta para baixo correspondente aos dados durante a perfuração e a seta para cima durante a execução da betonagem.

A presença da anomalia na pressão do betão irá ser confirmada através da realização de ensaios *in situ*, como por exemplo por ensaios sónicos, podendo-se assim verificar o que a anomalia representa e qual o problema, caso se verifique.

3.4 Saneamento

O saneamento é um processo que se realiza com o propósito de retirar o betão contaminado que se criou na execução da estaca. Esta acontece devido a não ser possível retirar todo o material do interior do furo e pelo betão estar desprotegido, encontrando-se em contacto direto com o solo. Uma deficiente realização do saneamento pode causar uma perda de capacidade de carga significativa, podendo comprometer a estrutura da estaca.

A remoção do betão contaminado é realizada com recurso a meios mecânicos de baixa potência (pega), sendo adequada para locais condicionados a padrões de ruído e vibração. A demolição é efetuada numa orientação sub-vertical de forma a não causar fissuras na estaca, podendo esta partir-se e tornar o processo de remoção mais complicado e moroso. A profundidade a que esta se realiza depende do que está proposto no caderno de encargos (Figura 3.10).



Figura 3.10 - Aspeto visual final da estaca após a realização do saneamento (imagem cedida pela dst)

A betonagem seca, como o nome dá a entender, é caracterizada quando o processo de betonagem é realizado sem a presença de água. Contrariamente, a betonagem submersa é quando esta ocorre debaixo de água. No saneamento existem valores padrão quanto à profundidade do saneamento (Tabela 3.1):

Tabela 3.1 - Valores padrão da profundidade de saneamento a executar

Betonagem seca	0,5x diâmetro da estaca
Betonagem submersa	1,5x diâmetro da estaca

O processo de execução de saneamento de estacas é um processo meticuloso, sendo necessário mão-de-obra específica para tal e é constituído pelo seguinte faseamento:

- Corte em volta da estaca, coincidente com a cota limite do saneamento, com rebarbadora e disco diamantado, de forma a não danificar a armadura que se encontra no seu interior. Este processo tem como propósito minimizar a propagação de vibração ao fuste da estaca;
- Após o corte estar concluído segue-se a sua extração e demolição da periferia da estaca até se ver a armadura existente no seu interior (de acordo com o tipo e condições a que se encontram as estacas que se vão sanear);
- Procede-se à demolição da restante área que se pretende sanear agora através de equipamentos mais pesados, realizando corte transversal na armadura;
- Caso seja necessário, realiza-se a retificação do nível a que se encontra a superfície da estaca.

As figuras 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14 abaixo ilustram as várias operações descritas.



Figura 3.11 - Corte pela periferia da estaca (esquerda) e demolição de toda a periferia da estaca até à visualização da armadura (direita) (Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda., s.d.)



Figura 3.12 - Furação da estaca com torna para posterior arrebentamento (Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda., s.d.)



Figura 3.13 - Demolição do restante material da cabeça da estaca (Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda., s.d.)



Figura 3.14 - Aspeto final após o saneamento das estacas (Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda., s.d.)

No que respeita à demolição/saneamento da cabeça das estacas, o equipamento mínimo necessário é o seguinte:

- Rebarbadora;
- Compressor;
- Equipamentos manuais, nomeadamente martelos pneumáticos ou elétricos;
- Equipamentos pesados, nomeadamente mini-giratória (eventual).

3.5 Ensaios

A importância da realização de ensaios de controlo pode evitar problemas no decorrer da obra, ou até mesmo após esta estar concluída, sendo alguns dos problemas apenas visíveis ao fim de algum tempo.

Antes da realização de cada ensaio, é necessário proceder à execução do saneamento das estacas.

3.5.1 Ensaio de Carga

Os ensaios de carga são uma peça fundamental e o projeto só estará completo após a execução destes ensaios (Fonseca, s.d.).

Os ensaios de carga podem ser realizados em estacas experimentais ou em estacas definitivas. Nas estacas experimentais a carga a usar não é definida, havendo um acréscimo de carga ao longo do ensaio até levar a estaca à sua rotura (método destrutivo - Figura 3.15), enquanto nas estacas definitivas, conhecidas também como estacas de serviço, a sua carga é igual à carga de serviço (método não destrutivo), permitindo a um reaproveitamento da estrutura no caso de resultados

satisfatórios. A carga de serviço corresponde à carga a que os elementos de fundação, neste caso as estacas, têm que suportar da estrutura a ser construída.

As condições a executar as estacas para os ensaios têm que ser as mesmas que as que se vão colocar em obra, pois se fossem realizadas em condições diferentes, não se teria um termo comparativo fidedigno, podendo no ensaio apresentar boas características e depois em obra, como o processo foi mudado, apresentar características que já não pudessem suportar o que devia.

Neste trabalho serão divididos tendo em conta o método de execução do ensaio, podendo este ser um ensaio de carga estático ou um ensaio de carga dinâmico. Nesses dois casos podem ser realizadas estacas experimentais e definitivas, dependendo do que está definido no Caderno de Encargos.



Figura 3.15 - Estacas após ensaio de carga destrutivo (Neves, 2010)

(a) Estático

Como já se referiu anteriormente, este ensaio estático pode ser realizado com estacas experimentais ou definitivas, sendo o método mais fidedigno para se avaliar a capacidade de carga de uma estaca.

Este ensaio consiste em aplicar uma carga de esforços estáticos crescentes à estaca, semelhante a um ensaio de compressão, através de um macaco hidráulico e vigas de reação, analisando os registos dos deslocamentos correspondentes (Figura 3.16).

Na NP EN 1997-1 (2010) no que diz respeito às estacas experimentais, este acréscimo de carga pode ser usado para determinar a carga última, sendo levada à rotura ou colapso. Também referente nessa norma e que se encontra uniformizado na ASTM D 1143-81 (1994), o ensaio de

carga estático geralmente usado é o Standard Method of Testing Piles under Static Axial Compressive Load (Rocha, 2014/2015).

Através deste ensaio, consegue-se obter informações sobre as características da estaca, como a curva de carga vs deslocamento da estaca; capacidade de carga da estaca; a resistência de ponta e de atrito lateral e coeficiente de segurança da estaca.

Este ensaio tem como principal vantagem permitir, através de uma simulação real, analisar o comportamento real que a estaca vai exercer quando imposta na obra. Porém este ensaio é consideravelmente dispendioso e moroso, principalmente no caso de utilização de estacas experimentais. Por isso, normalmente é usado em obras de maior dimensão e importância.

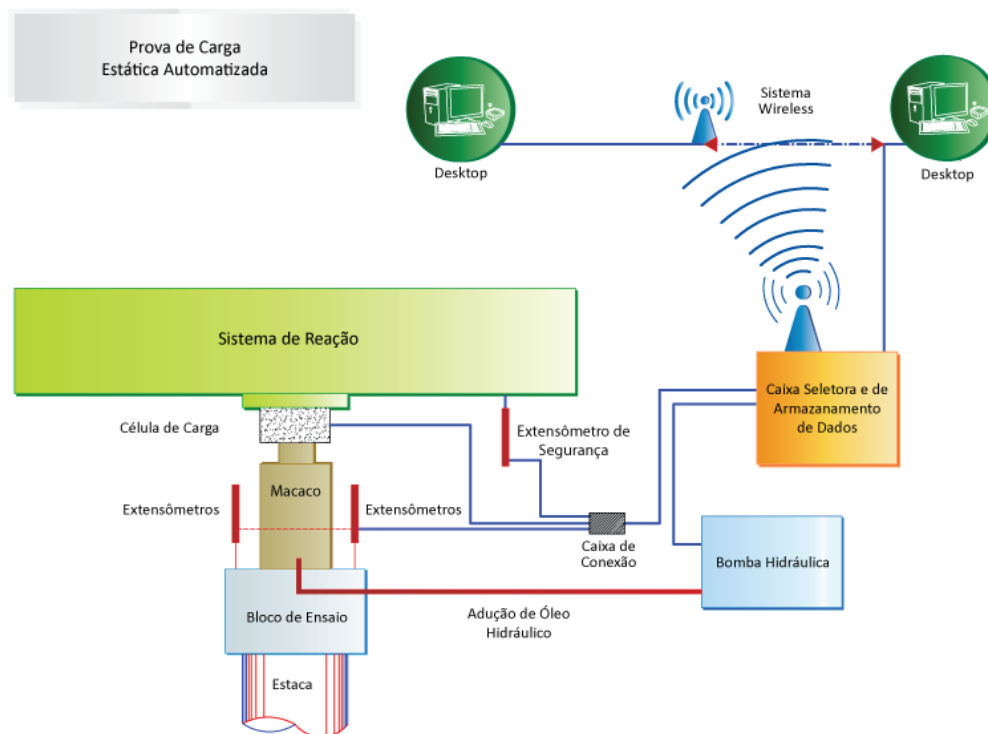


Figura 3.16 - Esquema ilustrativo do equipamento usado no ensaio de Carga Estático (GEOMECH, 2016)

(b) Dinâmico

O ensaio de carga dinâmico, também conhecido como PDA (Pile Driving Analyser), consiste em aplicar um impacto dinâmico no topo da estaca e, com base na teoria de propagação da onda, avaliar a resistência lateral e de ponta a partir das medições da força e da velocidade no topo da estaca. Este método difere do método tradicional de prova de carga estática pela aplicação da carga na estaca ser efetuado dinamicamente por um sistema de percussão especializado, de forma a propagar o impacto ao longo do corpo da mesma (Figura 3.17).

Através deste ensaio, podem ser obtidas as condições de integridade da estaca, com a identificação de eventuais danos, e estimativa da sua grandeza; a energia efetivamente transferida para a estaca, permitindo uma estimativa da eficiência do sistema de cravação; o deslocamento máximo da estaca durante o golpe; a velocidade de aplicação dos golpes e estimativa de altura de queda dos martelos (Sete Engenharia, 2013).

A norma NP EN 1997-1 (2010) recomenda a calibração dos equipamentos usados no ensaio tendo em conta as características, quer da estaca, quer do solo e o procedimento presente na norma (ASTM D4945-08, 2008), Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles.

O objetivo principal do ensaio de carga dinâmico é a determinação da capacidade resistente do conjunto solo-estaca; contudo, os dados que permite obter podem ser utilizados também para verificação da integridade da estaca. Tem um menor custo e tempo de execução comparativamente ao ensaio estático, fazendo com que seja um método mais expedito pois é possível a realização em maior quantidade de estacas.



Figura 3.17 - Ensaio de Carga Dinâmico em obra aplicado numa estaca
(<http://www.youtube.com/ensaio cargadinamico>)

3.5.2 Ensaio Sónico

O ensaio sónico de eco é identificado através de diferentes nomes, podendo ser referido também como ensaio de Stress-Wave ou ensaio TDR (Transient Dynamic Response). Tem como objetivo a verificação da integridade da estaca de betão ao longo do seu comprimento (fuste), através da

deteção de descontinuidades presentes no fuste pelo método de propagação de ondas sónicas de tensão a partir da cabeça da estaca.

Este método baseia-se na medição da frequência e amplitude de resposta de uma estaca conhecida, como resultado de um impacto (Miranda & Martins, 2006).

Sendo gerado um impulso mecânico, descrito como uma onda de choque ou onda acústica, através do impacto causado por um martelo a onda vai-se propagando pela estaca e recebida a informação através de um acelerómetro, onde depois é processado e o sinal amplificado por um computador. Este ensaio só pode ocorrer tendo em conta que se conhece o comprimento e o diâmetro da estaca, só assim é possível calcular a velocidade de propagação.

É possível obter da estaca ensaiada, os seguintes campos: a integridade; o comprimento acústico; variações da secção transversal; alterações na qualidade do betão; entre outros. Através de princípios físicos verificam-se essas condições:

Equação 3.1 - Velocidade de propagação através da secção e o tempo

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Que por sua vez, quando se refere a amplitudes de onda:

Equação 3.2 - Velocidade de propagação de onda através do comprimento de onda e frequência

$$v = \lambda \times f$$

Onde:

$$\Delta S = \lambda; \Delta t = T; T = \frac{1}{f}$$

Também se pode relacionar diretamente o comprimento da estaca estudada com o tempo de propagação de forma a obter a velocidade de propagação.

Equação 3.3 - Velocidade de propagação de ondas através do comprimento da estaca e o tempo de propagação

$$v = \frac{2 \times H}{\Delta t}$$

Segundo a norma (ASTM D5882 - 07, 2007), o ensaio sónico é um método que executa leituras rápidas e precisas, sendo a análise realizada no próprio local, permitindo a identificação imediata de problemas nas estacas.

Deve ser efetuado sobre uma superfície plana, sem a presença de fraturas ou fissuras no betão.

(a) Equipamento

O equipamento mínimo necessário (Figura 3.18) para a execução deste trabalho é constituído por:

- Acelerómetro e pré-amplificadores (1);
- Martelo (2);
- Computador com aquisição de dados (3).

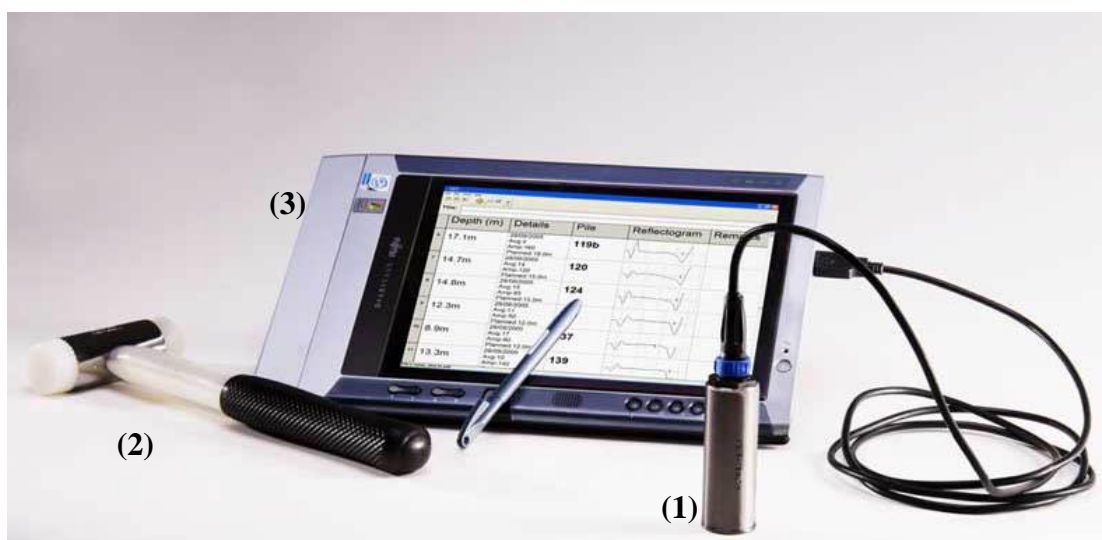


Figura 3.18 - Equipamento usado para a realização de Ensaio Sónico: (1) Acelerómetro e pré-amplificador; (2) Martelo; (3) Computador com aquisição de dados (Perta, Sociedade de Equipamentos de Construção Civil, Lda, s.d.)

3.5.3 Ensaio Cross-Hole

O ensaio de diagrfias sónicas é um método que consiste fundamentalmente numa investigação contínua do comportamento da velocidade do som ao longo de toda a estrutura da estaca. Ao serem emitidas ondas sísmicas, também referidas como vibrações ultrassónicas, consegue-se verificar a integridade da estaca, assim como a sua homogeneidade.

São colocados tubos de controlo, que servem de emissor e recetor das ondas sísmicas, na estaca ainda na fase de execução destas. Estas são colocadas tendo em conta o mesmo plano horizontal, paralelos, verticais, igualmente espaçados, descendo até à localização da base da armadura.

Após a realização de todos os ajustamentos necessários é iniciado o ensaio e realiza-se a subida das sondas ao longo dos tubos. O ensaio consiste genericamente na emissão de impulsos elétricos que são convertidos em ondas ultrassónicas através de uma sonda transmissora colocada num dos tubos instalados no interior da estaca, sendo depois novamente convertidas em sinais elétricos

pela sonda recetora colocada num outro tubo, após atravessar o betão existente entre os dois tubos (Figura 3.19).

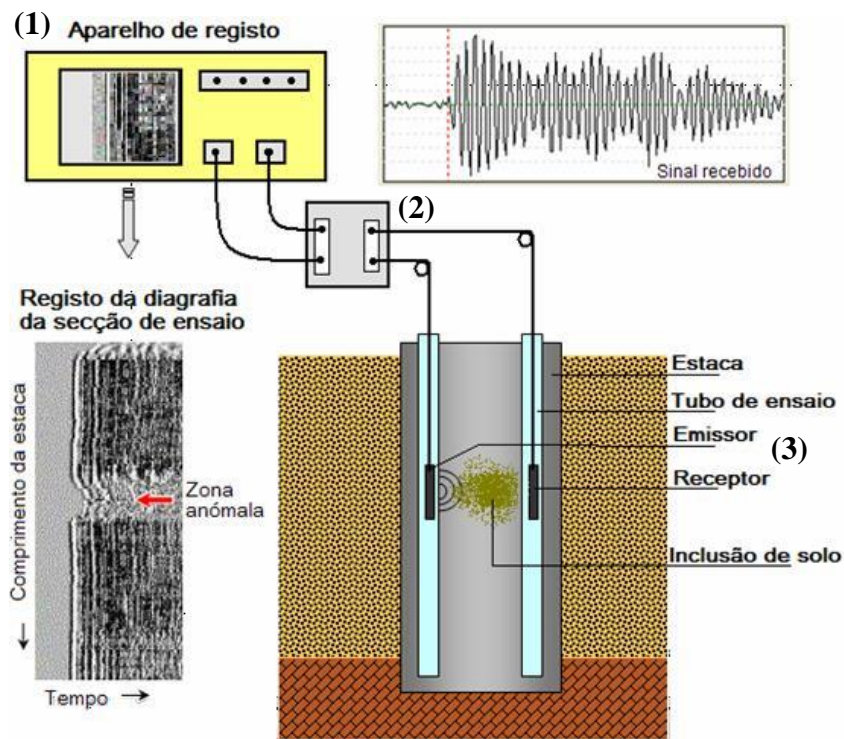


Figura 3.19 - Representação esquemática da realização do Ensaio Cross Hole numa estaca com anomalias: (1) osciloscópio; (2) treuil; (3) Sonda emissora e sonda recetora (Brochero, 2014)

O betão tem que ter pelo menos três dias de cura e, se for homogéneo, a velocidade do som deverá rondar os 4000m/s. Caso haja problemas na estrutura, esse valor é diminuído acentuadamente.

Este ensaio deve seguir a norma (ASTM D6760-08, 2008) e a norma francesa (NF P 94-160-1, Outubro de 2000). As estacas com diâmetros inferiores a 600mm são usados 2 tubos metálicos, se o diâmetro compreender entre os 600mm e os 1200mm utilizam-se 3 tubos metálicos dispostos a um ângulo de 120°, e por fim, para diâmetros de estacas superiores a 1200mm é adicionado no mínimo mais um tubo, tendo no total um mínimo de 4 tubos. Esses tubos devem ser unidos com juntas de rosca e nunca se deve recorrer à soldadura (Miranda & Martins, 2006).

É importante referir que as zonas sombreadas, que se encontram presentes na figura 3.20, são as únicas zonas intervencionadas, ou seja, os registos apenas verificam a integridade dessas zonas, sendo essa a necessidade de aumentar o número de tubos à medida que o diâmetro da estaca aumenta. No caso de existência de anomalia numa zona que não atravessa nenhuma parte sombreada, essa anomalia não será detetada.

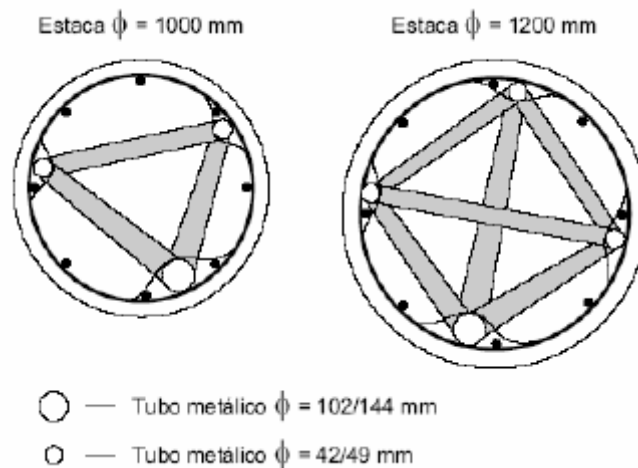


Figura 3.20 - Planta da colocação dos tubos nas estacas tendo em conta o diâmetro (Miranda & Martins, 2006)

Na teoria, para a realização deste ensaio, as estacas não devem sofrer saneamento, podendo as ações provenientes danificar os tubos que se encontram já dentro da estaca, assim como fazer com que o betão dos tubos se descole, podendo prejudicar o equipamento e os resultados.

(a) Equipamento

O equipamento necessário para a execução deste trabalho é constituído por (Figura 3.19):

- Osciloscópio (1);
- Gerador de impulsos;
- Roldana com dispositivo eletrónico para controlo da velocidade de ascensão (“treuil”) (2);
- Sonda emissora e sondas recetoras (uma com amplificação) (3).

4. Realização de Propostas de Orçamento

Durante o estágio curricular no grupo **dst**, estabeleceu-se como foco o acompanhamento de todo o processo que ocorre desde que, uma determinada obra entra em concurso, quer este seja público ou privado, até que esta é adjudicada e concluída.

Como primeiro passo para a construção de uma proposta, é necessário determinar as quantidades de trabalho e que tipos de trabalhos dizem respeito à especialidade de geotecnia. É de salientar também, que este processo de realização de propostas é referente à generalidade e ao departamento de geotecnia da empresa **dst**, o que não significa o mesmo para todos os casos, assim como para todas as empresas, e mesmo para que outras áreas da mesma empresa, usem esta metodologia ao realizar propostas de orçamento.

4.1 *Processo de Medição*

Como foi referido no ponto anterior, é necessário verificar que tipo de trabalho se vai realizar para cada obra em específico. Para isso é necessário observar as peças desenhadas, onde se encontram as estruturas a serem construídas ou reabilitadas, assim como as peças escritas, contendo estas as especificações necessárias e exigidas pelo dono de obra. De forma a conseguir determinar estas variantes, é necessário ter em conta vários aspetos e condicionantes.

- **Pedido de Proposta**

Todo o processo começa por um pedido, ou de uma empresa externa ou internamente das empresas do grupo. O pedido de proposta de orçamento é habitualmente efetuado através de correio eletrónico. Nesse pedido encontram-se todos os ficheiros referentes aos trabalhos a realizar, assim como pormenores que o cliente acha importante visualizar, com uma data de entrega limite da proposta. Estes pedidos de proposta podem ser referentes a obras que se encontram em fase de concurso ou que se encontram já em fase de execução.

- **Mapa de quantidades**

Um Mapa de quantidades é um articulado onde se encontram todas as designações dos trabalhos e respetivas quantidades atribuídas a uma determinada obra. É fornecido pelo cliente um mapa com as quantidades previstas dos trabalhos de geotecnia a realizar.

- **Peças escritas e peças desenhadas**

Nestas peças é onde se identificam as condições dos trabalhos a serem realizados, assim como verificar o local da obra. Com base nestes elementos podemos avaliar se se trata de uma construção nova ou de uma reabilitação. No caso das obras de reabilitação, assume primordial importância a identificação das condições de execução e respetiva interação com os elementos existentes. No caso de uma construção nova, será dada especial atenção às condições de implantação da obra e interação com estruturas contíguas.

Nas peças escritas encontram-se geralmente todas as especificações dos materiais a usar, como por exemplo as características do betão, as caracterizações das metodologias de execução, assim como as características mecânicas que o solo apresenta, estando essa informação no Relatório Geológico-geotécnico. No caso das peças desenhadas, verificam-se as zonas onde se encontram os trabalhos a executar, dentro das limitações do terreno em que a obra se vai realizar, assim como os seus pormenores. Normalmente os trabalhos de geotecnia estão associados aos trabalhos de fundação.

Após a análise, segue-se a verificação das medições de quantidades. No caso de existência de problemas, como por exemplo em termos de acessos e de pé direitos de execução, tem que se tentar solucionar.

É necessário ter atenção e verificar se a informação é consistente em todos os documentos, tendo que todos os trabalhos sejam coerentes entre si. Têm que apresentar as mesmas quantidades, as mesmas especificações, localização de implantação, entre outros, entre todas as peças do caderno de encargos. Também é confirmado, caso os aspetos anteriores se verifiquem, se a solução proposta e desenhada é viável, ou seja, se é possível a realização dos trabalhos propostos.

- **Executar a Medição**

Numa folha de Excel tipo (Figura 4.1), organiza-se a informação dos trabalhos a realizar e suas quantidades, servindo de comparação com as quantidades enviadas pelo cliente. Esta informação é organizada através dos artigos dispostos no projeto, estando normalmente separados tendo em conta as suas especificações. Um aspeto importante na realização de medições são as unidades, pois se estiverem incorretas, pode interferir com todo o processo de orçamento, colocando as quantidades incorretas de trabalho necessárias para executar a obra.

Na realização da medição, é necessário verificar os seguintes aspetos: quantidade de trabalhos; método de medição usado pelo cliente; critérios de dimensionamento; ensaios a executar (no caso das estacas usam-se os ensaios presentes no ponto 3.5), a necessidade de trabalhos acessórios; entre outros, tendo em conta os trabalhos a realizar.

MAPA DE MEDIÇÕES DETALHADAS							
Art.	Designação	Un	MQ CONCURSO	Nº partes	Comp. (m)	Quant. Parciais	Quant. DST
2	FUNDAÇÕES ESPECIAIS						
2.1	Estacas moldadas de trado contínuo Ø88.9x7.5mm com furação de Ø150mm	ml	594,00				600,00
	Estacas de 8m de selagem			36,00	10,00	360,00	
	Estacas de 8m de selagem			20,00	12,00	240,00	

Figura 4.1 - Exemplo ilustrativo de uma folha de medição executada em Excel (dst)

- **Erros e Omissões**

Para o caso de haver erros e omissões, este é referente a obras públicas. Em obras particulares, qualquer tipo de problema detetado no projeto base, será diretamente discutido com o cliente.

Após a análise total da proposta e quantificação dos trabalhos a realizar, são enviados ao cliente os erros e omissões identificados, assim como um pedido de esclarecimentos. Nestes erros e omissões são colocadas todas as incoerências verificadas no projeto; isto corresponde a informações contraditórias ou ausência de informação, podendo ser referentes, entre outros, aos seguintes aspetos:

1. Tipologia do trabalho a considerar no projeto;
2. Comprimento da fundação indireta;
3. Quantidade e tipos de ensaios a realizar;
4. Quantidade final dos trabalhos;
5. Ausência de trabalhos no Mapa de Quantidades que se encontram no Caderno de Encargos;
6. Limitações de pé direito que impossibilitam a colocação do equipamento nas condições atuais;
7. Condições do terreno, mesmo após a escavação, que não fornecem a mobilidade necessária ao equipamento;
8. Ausência de peças/informações que permitem ver a que condições os trabalhos serão realizados;

9. Informação descrita de uma forma não clara;
10. Necessidade de espaço para colocar estaleiro.

Todos estes aspetos são importantes esclarecer, pelo que torna a presença de uma proposta mais confiante e evita futuros problemas na fase de execução de obra.

- **Pedido de Cotação**

Após os elementos anteriores estarem concluídos e os problemas esclarecidos, realizam-se pedidos de cotação dos trabalhos que a empresa não executa, ou que não consegue produzir à capacidade e quantidade que é necessária, sendo conhecido como subempreitadas. Nesses pedidos de cotação, refere-se as especificações de cada elemento, assim como o número de elementos e a quantidade total. Após haver resposta por parte das empresas, é selecionado a proposta técnico económica mais competitiva para implementar na fase de orçamento.

- **Início do processo de orçamento**

Finalmente começa-se a realizar o processo de orçamentação do projeto, onde é verificado se a obra em questão é monetariamente apelativa. Existem também casos em que o projeto de execução pode permitir o recurso a soluções variantes mais competitivas, que traduziriam uma solução qualidade/preço de valor acrescentado. Nesses casos, pode-se propor um orçamento alternativo ao projeto de execução base.

4.2 Orçamentação

O orçamento é o cálculo dos custos dos trabalhos necessários para executar uma obra, sendo uma das primeiras informações que o empreendedor tem que conhecer através do estudo da obra que tem pela frente. Quanto mais detalhado for o processo de orçamento, mais este se aproximará do valor real que irá ter no final. Para tal é necessário saber o que cada trabalho na obra exige, como por exemplo os recursos impostos, a mão-de-obra necessária, rendimento do equipamento, mobilização de equipamentos, entre outros.

Devido ao aumento de competitividade existente no mercado de construção civil, os prazos de execução a diminuírem, e a obra a executar ser cada vez mais complexa, a execução de um bom orçamento é essencial. É cada vez mais necessário realizar uma otimização dos recursos disponíveis, pois com o mercado competitivo, se não se realizar esse passo, então a empresa não consegue ganhar obras, e por sua vez, não obtém lucro, estando cada vez mais perto de entrar em falência (Coelho, 2010). Por outro lado, ao otimizar todos os recursos, proporciona uma margem

de lucro final maior, havendo margem para eventuais imprevistos que possam ocorrer durante a fase de execução.

Existem várias ferramentas que permitem a realização de uma ficha organizada de orçamento, podendo estes ser pagos ou gratuitos. Os softwares como Primavera, o Orse, o Candy, Sage “Construção” e o Excel podem ser usados como ferramenta de orçamentação.

A utilização de uma determinada ferramenta depende de preferências pessoais e das verbas financeiras disponíveis para a sua compra. Neste trabalho vai ser explicado, de uma forma geral, como a ferramenta de CCS (Construction Computer Software) funciona, também conhecida como Sistema Candy.

Ao realizar um orçamento é necessário ter em conta os custos diretos e indiretos dos trabalhos a executar em obra, sendo no final apresentado o preço de venda ao cliente. O preço de venda corresponde ao valor de custo orçamentado, contemplando todos os encargos necessários à execução da empreitada (Rodrigues, 2016).

Equação 4.1 - Expressão do preço de venda

$$PV = CD + CI + CE + Lu$$

Os custos diretos correspondem aos custos diretamente imputáveis às obras e em particular a cada uma das atividades ou tarefas de que estas fazem parte, contendo as atividades correspondentes à mão de obra, materiais, equipamentos e subempreitadas, assim como todos os recursos referentes a cada um desses tópicos (Rodrigues, 2016).

Equação 4.2 - Variáveis em obra do custo direto

$$CD = MO + MT + EQ + SE$$

Quanto aos custos indiretos, estes correspondem essencialmente aos custos que estão associados à vida da empresa e que não podem ser diretamente imputáveis às obras, subdividido em custos de estrutura e custos industriais, sendo no primeiro incluídas as despesas de carácter comercial e taxas, e no segundo referente a vencimentos e custos de patentes e licenças.

O custo de estaleiro inclui todas as despesas de estaleiro, indo desde o equipamento à montagem e desmontagem do estaleiro.

4.2.1 Ferramenta de Orçamentação (Sistema Candy)

O Sistema integrado Candy (CCS - Construction Computer Software) é distribuído na Europa pela empresa Timelink, sendo um sistema de gestão de projetos desenvolvido especificamente para a área de construção civil. Tem como características principais a realização de orçamentos, planeamento, controlo de produção, previsão de custos e qualidade de recursos, gestão de subempreitadas, entre outros (Timelink - Planeamento e Gestão de Construção, Lda, s.d.).

Entrando no programa, vai-se criar uma ficha de trabalho em que nos dá a oportunidade de escolher o “Master” a utilizar como elemento base do orçamento (Figura 4.2).

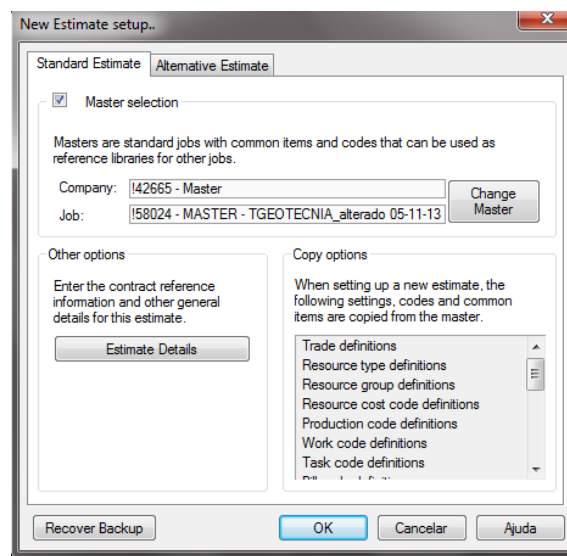


Figura 4.2 - Local de escolha do Master a utilizar (Sistema Candy)

O “Master” corresponde ao ficheiro base que contém elementos que vão servir de guia durante a realização do orçamento, de forma a tornar o processo mais simples e organizado, separando os diferentes tipos de trabalhos em grupos para *a posteriori* se ter uma melhor perceção da importância monetária que esse trabalho contribui para o orçamento final.

A lista do “Master” pode conter vários níveis (Figura 4.3); por exemplo, dentro dos trabalhos de estacas pode-se ter estacas de tubo moldador recuperável e estacas de trado contínuo, e dentro dessas estão os diferentes diâmetros existentes ou mais usados.

Este processo facilita e sistematiza todos os trabalhos possíveis de se realizar.

Método de Execução de Estacas Moldadas: Trado Contínuo versus Tubo Moldador Recuperável

The screenshot shows the '1.2 Pricing Bill' window in the Candy software. The window title is 'MASTER: MASTER - TGEOTECNIA_alterado 05-11-13'. The main table lists items with columns for 'L', 'Item', 'Bill description', 'Unit', 'Bill quantity', and 'Rate'. The items listed include:

L	Item	Bill description	Unit	Bill quantity	Rate
1		MOBILIZAÇÃO DE NETOS E EQUIPAMENTOS			
2		MOBILIZAÇÃO PEQUENO DIÂMETRO			
2		MOBILIZAÇÃO DE BETÃO PROJECTADO			
2		MOBILIZAÇÃO GRANDE DIÂMETRO- ESTACAS TRADO CONTÍNUO			
2		MOBILIZAÇÃO GRANDE DIÂMETRO- ESTACAS TUBO			
2		MOBILIZAÇÃO GRANDE DIÂMETRO- ESTACAS POLÍMERO			
2	1	MOBILIZAÇÃO JET GROUTING			
1		PERFIS VERTICAIS			
1		ANCORAGENS			
1		ENSAIOS EM ANCORAGENS			
1		TIRANTES			
1		ESCOVAAMENTO			
1		VIGAS DISTRIBUIÇÃO			
1		PRANCHAS DE MADEIRA			
1		MICROESTACAS			
1		CABOTAGEM			
1		PREÇOS			
1		BETÃO PROJECTADO			
1		COLOCAÇÃO MALHASOL			
1		GEODRENOS			
1		CALEIRA			
1		INSTRUMENTAÇÃO			
1		PROSPECÇÃO GEOFÍSICA			
1		ESTACAS DE FUNDAÇÃO			
1		PAREDE MOLDADA			
1		PROSPECÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA			
1		INJEÇÕES CALDA CIMENTO			

Figura 4.3 - Visualização da lista do "Master" (Sistema Candy)

Um pormenor interessante deste programa, consiste na visualização de todos os recursos que serão necessários para a execução da obra tendo em conta os diversos trabalhos a realizar, podendo-se determinar qual o tempo que a obra deverá demorar tendo em atenção todas as condicionantes vistas na parte da medição (Figura 4.4). Através da quantidade final de um determinado recurso, como o cimento, pode-se otimizar o número de transportes necessários em obra.

The screenshot shows the '1.1 Resource List' window in the Candy software. The window title is '1.1 Resource List'. The main table lists resources with columns for 'L', 'T', 'Resource Code', 'Description', 'Unit', and 'Ba'. The resources listed include:

L	T	Resource Code	Description	Unit	Ba
L	1	1221	SERVENTE	/hrs	
L	1	29111	SERRALHEIRO MECÂNICO	/hrs	
L	1	582	CONDUTOR/MANOBRAADOR ROCK	/hrs	
L	1	584	OPERADOR CENTRAL INJEÇÃO/PRE-ESFORÇO	/hrs	
E	3	014100	CENTRAL INJEÇÃO UNIGROUT 200-100 E02	/dia	
E	3	022107	COMPRESSOR XA 175 (7.5m3-10.5m3)	/dia	
E	3	0331250	ENTUBAMENTO DE Ø250mm	/dia	
E	3	051104	MAQ PERFURAÇÃO ROCK MUSTANG	/hrs	
E	3	053100	MÁQUINA DE SOLDAR	/dia	
E	3	056104	MARTELO FUNDO FURO FF8"	/dia	
E	3	056106	MARTELO FUNDO FURO FF12"	/dia	
M	4	01103	ACESS.FURACÃO PERFIS	/m	
M	4	03202	CIMENTO TIPO I CL. 42.5(SACO)	/un	
M	4	111088	MICROESTACA Ø88.9x6.5	/m	
M	4	1725007	VARÃO Ø25mm A500NR	/kg	
M	4	7903016	TUBO PE-DH160	/ml	
M	4	822001	VARAS FURACAO Ø76mm API 2 3/8 C/1m	/un	
M	4	822012	VARAS FURACAO Ø160mm API 4 1/2 C/3m	/dia	
M	4	9632	GASÓLEO	/l	
S	5	011117	HELICE Ø10/10.10	/un	
S	5	011118	CAPITEIS METÁLICOS	/kg	
S	5	02108	ZORRA PEQUENO DIÂMETRO-150km BRAGA	/frete	
S	5	02109	CAMIÃO GRUA-150km BRAGA	/frete	
S	5	021091	PLATAFORMA 12m-150km BRAGA	/frete	
S	5	021093	TRANSPORTE CIMENTO	/frete	
S	5	021094	TRANSPORTE MICROESTACAS	/frete	
S	5	021097	TRANSPORTE MUDANÇA FRENTE- ZORRA PD	/frete	
S	5	021098	TRANSPORTE MUDANÇA FRENTE-CAMIÃO GRUA	/frete	
S	5	021099	TRANSPORTE MUDANÇA FRENTE-PLATAFORMA 12m	/frete	
7	80404088	MICRO Ø88.9x6.5mm C/NAT Ø250mm	/ml		
7	8040408a	MICRO Ø88.9x6.5mm C/NAT Ø250mm	/ml		
7	8040408b	MICRO Ø88.9x6.5mm C/NAT Ø250mm	/ml		
7	8400110	MOBILIZAÇÃO PD-150km BRAGA	/VG		
7	8400111	REMOBILIZAÇÃO PD-150km BRAGA	/VG		
7	8400112	MUDANÇA FRENTE PD-150km BRAGA	/VG		

Figura 4.4 - Recursos necessários num determinado exemplo (Sistema Candy)

Após o orçamento ser elaborado e se determinar o custo final para a realização dos trabalhos propostos, extrai-se para uma folha em PDF (Figura 4.5) onde se verifica os preços unitários e custos finais para a realização que cada trabalho vai ter, assim como a soma de todos os trabalhos, com o total de custo. A essa folha chama-se lista de preços (ANEXO C: Orçamentação).

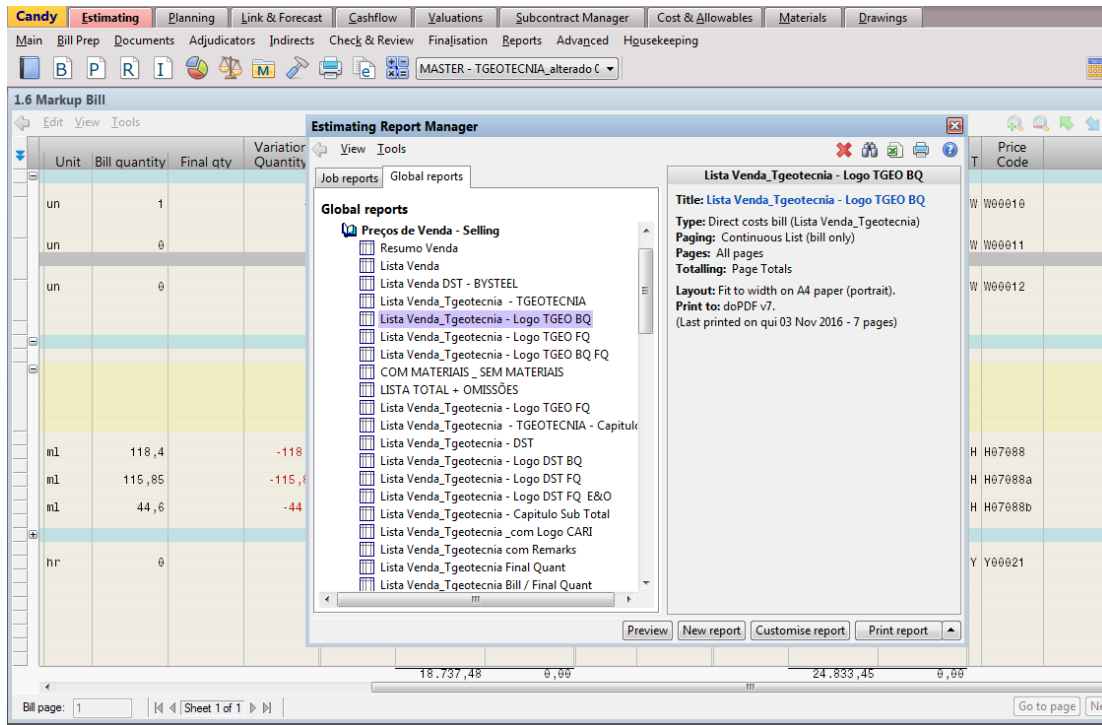


Figura 4.5 - Extração da Lista de Preços do CCS para PDF (Sistema Candy)

Finalmente, depois de todos os passos estarem concluídos em termos de orçamento, envia-se a proposta para o cliente onde se alerta para as condicionantes da proposta, caso existam. O cliente poderá receber propostas de várias empresas onde lhe cabe escolher qual a mais aliciante para o que ele pretende.

5. Casos de Aplicação Reais

Durante a realização do estágio foram feitas visitas a obras que apresentavam trabalhos com execução de estacas, tanto pelo método de trado contínuo, como por tubo moldador recuperável. Neste capítulo irá ser apresentada uma obra para cada metodologia, assim como diferenças e problemas que podem surgir.

Foram escolhidas, para apresentar neste documento, a obra “O Feliz Painel | Edifício Administrativo” no qual foi usado o trado contínuo, e a obra “Ponte de Crasto – Rua Conde de Bertiandos” para o caso de estacas de tubo moldador recuperável.

5.1 *Obra – O Feliz Painel | Edifício Administrativo*

5.1.1 Introdução à obra

Este processo tem uma característica interessante pelo facto do processo apresentar um regime de conceção/construção não ter uma proposta inicial da planta de fundações da estrutura nesta fase a concorrer, tendo esta que ser realizada pela **dst**.

A obra de expansão desta empresa especializada em construção metálica com o propósito da construção de uma nova estrutura em espaço aberto que servirá para instalação industrial.

Como elementos de geotecnia e fundações especiais, foi decidida a utilização de estacas pelo método de trado contínuo, execução de ensaios sísmicos em todas as estacas, saneamento e a execução de microestacas. Para este trabalho só se falará da execução das estacas e não das microestacas nem dos ensaios. Esta obra foi realizada em conjunto com outras empresas pertencentes ao grupo **dst**.

5.1.2 Zonamento Geológico-Geotécnico

A obra em questão encontra-se no distrito de Braga, concelho de Braga, freguesia de Tebosa, sendo delimitado a Norte por Priscos, a Este por Guisande e Oliveira São Pedro, Oeste por Ruílhe, todos pertencentes ao concelho de Braga e a Sul por Arnoso e Sezures pertencente ao concelho de Vila Nova de Famalicão do distrito de Braga.

A estrutura foi implantada num terreno agroflorestal, por cima de uma plataforma plana de aterro, tendo o aspeto que se observa na figura 5.1.

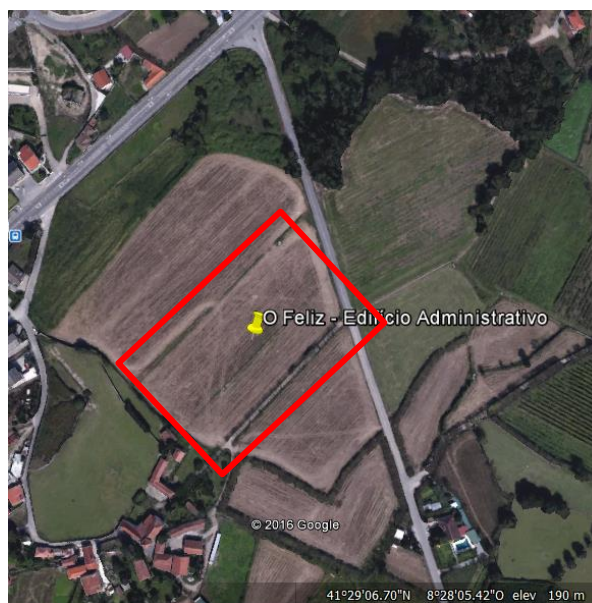


Figura 5.1 - Local da obra "O Feliz - Edifício Administrativo" (Google Earth)

Para um aprofundamento da geologia que se espera encontrar no terreno, estuda-se a Carta Geológica de Portugal e, para maior pormenor, verifica-se a Carta Geológica de Portugal folha 5-D (escala 1:50 000) sendo essa a zona onde se encontra a obra.

Consegue-se verificar que através da Carta Geológica de Portugal (Figura 5.2) que Braga está perante uma zona predominantemente de granitos e ortognaisses do Magmatismo Paleozoico, podendo ter ocorrências de Silúrico do Sôco Proterozóico e Paleozóico. Se for observada a Carta Geológica de Portugal com uma escala maior, consegue-se perceber melhor qual o terreno no local da obra, verificando através da ajuda da folha 5-D que se está definitivamente em zonas de granitos (Figura 5.3).

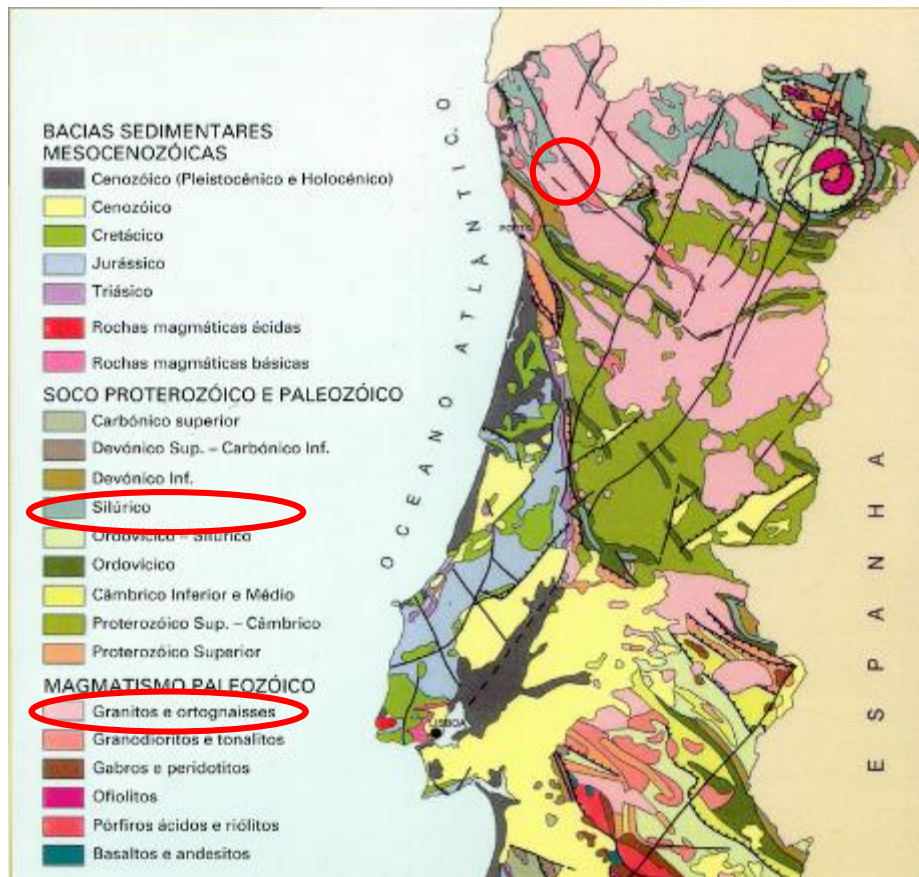


Figura 5.2 - Reprodução da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (LNEG) e e área aproximada da obra “O Feliz Painel| Edifício Administrativo”

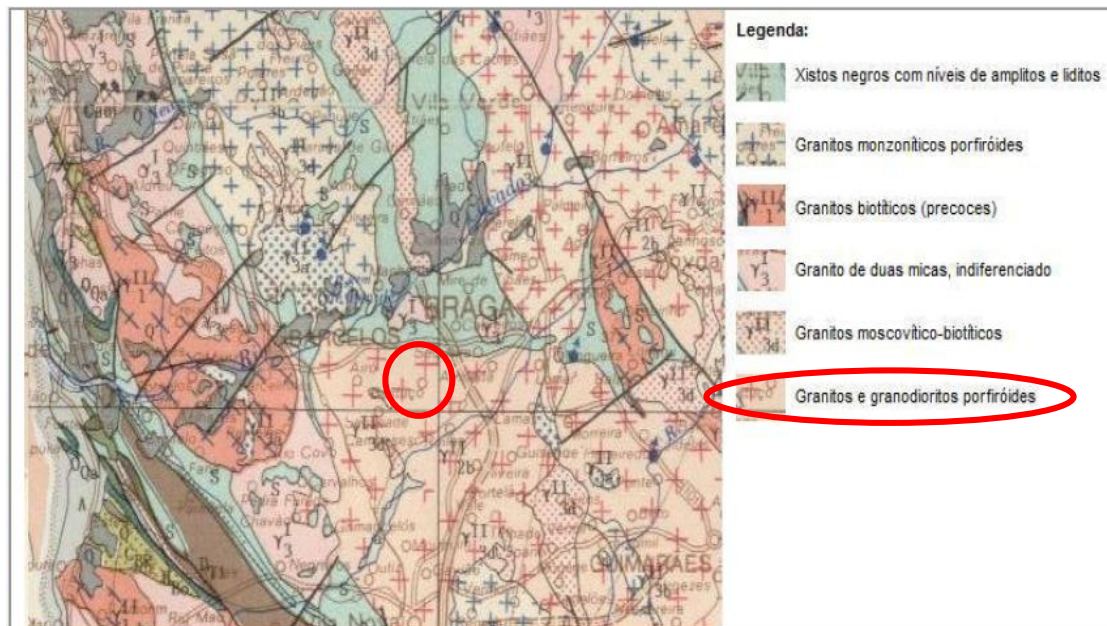


Figura 5.3 - Excerto da Carta Geológica de Portugal Folha 5-D (originalmente na escala 1:50 000) com área aproximada da obra “O Feliz Painel| Edifício Administrativo”

Tendo em conta que se está num local de granitos, e sabendo que a plataforma de trabalho é realizada por cima de um aterro, é necessário identificar as cotas e profundidades desses materiais, assim como saber as características mecânicas que proporcionam. Para isso são realizados ensaios dentro das limitações do terreno.

No local da obra foram feitos 3 ensaios DPM (Figura 5.4) para classificação das características de resistência do material presente, assim como a presença do nível freático, caso exista. Neste ensaio verificaram-se as profundidades mínimas a atingir, as diferentes forças por forma a perceber a que cota se encontra o terreno que é capaz de suportar essas cargas. Para uma tensão de 500kPa, apresentaram as características que se encontram na Tabela 5.1.

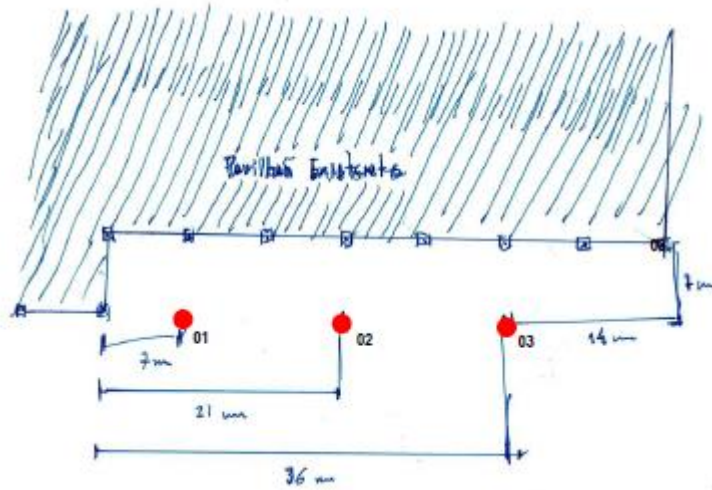


Figura 5.4 - Esquema do local das sondagens e local da realização das estacas (vermelho)

Tabela 5.1 - Resultados das sondagens DPM

Ensaio DPM	01	02	03
Prof. Nível Freático (m)	n.d.	7,00	7,00
Profundidade mínima para uma tensão de segurança de 500kPa (m)	7,60	11,60	11,20

5.1.3 Execução do Orçamento

(a) Dimensionamento das Estacas

Com a informação anterior, decidiu-se proceder à realização de estacas de trado contínuo de diâmetro 600mm, com um comprimento médio de 14.00 metros, pois na sondagem DPM02 a profundidade desde a plataforma de trabalho até ao estrato competente corresponde a 11.60 metros e normalmente é usado um fator de pelo menos 3 diâmetros da estaca no maciço de fundação por questões de segurança e estabilidade da estrutura a construir, sendo esse o caso, dando uns adicionais 1.80m, para um total de 13.40 metros de comprimento mínimo.

Optaram-se pelos 14.0m devido ao ensaio DPM não ser um ensaio que proporciona muita exatidão no que diz respeito a detetar o maciço de fundação (500kPa não chega para conferir), podendo o ponto de “nega” não corresponder ao maciço, mas sim apenas a um estrato pontual mais resistente. Isto deve-se às especificações do equipamento, sendo um ensaio como o DPSH mais confiável na informação, pois produz um ensaio utilizando uma força maior devido ao equipamento usado.

(b) Medição dos Elementos

Nesta obra considerou-se que a plataforma de trabalho corresponde à cota da superfície do terreno, que não existem limitações em termos de espaço e acessos, assim como se considerou que os trabalhos eram realizados de forma contínua, sem interrupções.

As estacas de trado contínuo usadas neste projeto têm as seguintes características e quantidades (Figura 5.5):

- 18 unidades de diâmetro Ø600mm;
- Profundidade da estaca de 14m parcialmente armada;
- Betão: NP EN 206-1 C25/30 XC2 Cl 0.4 D16mm S5;
- Armaduras electrossoldadas: de aço A500NR até 12m com 7Ø16 varões longitudinais + Ø10//0.15 varão helicoidal;
- Quantidade total de metros lineares de estaca: $18 \times 14 = 252\text{m}$.

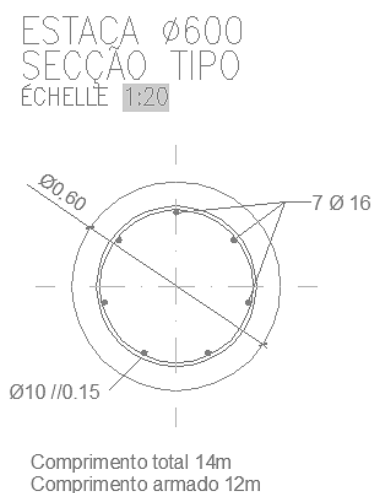


Figura 5.5 - Pormenor da armadura da obra e ser estudada

(c) Orçamentação

Na realização dos elementos a considerar para o orçamento, teve-se em atenção todas as observações retiradas anteriormente, neste caso a execução de estacas de trado contínuo não apresenta, nesta fase, qualquer tipo de limitações e condicionantes. Passos semelhantes foram realizados para a orçamentação da parte das microestacas que se apresentam na solução deste projeto, sendo nas estacas considerado os tópicos abaixo referidos para realização do ficheiro CCS. Estes tópicos encontram-se divididos em subtópicos semelhantes ao que se encontram referenciados neste trabalho, e dentro destes apresentam todos os recursos necessários para a execução dos trabalhos.

- **Mobilização de Meios e Equipamentos de Grande Diâmetro**
 - Mobilização de meios e equipamentos para execução de estacas
- **Projeto de Execução²**
 - Verba de elaboração de projeto de execução de fundações
- **Estacas de Fundação**
 - Execução de Estacas de Trado contínuo Ø600mm com comprimento estimado de 14m, incluindo fornecimento de betão e armaduras, betonagem e colocação de armaduras até comprimento máximo de 12m
 - Ensaio Sónicos
 - Deslocamento à obra

² Projeto em que é elaborada uma solução de fundação para a estrutura

- Realização de ensaios sínicos de integridade
- **Imobilização de meios por fatores exteriores à dst**
 - Para equipamentos de execução de estacas

Para as estacas foi considerado, tendo em conta as características do terreno e outros fatores já referenciados, o rendimento implementado encontra-se entre os 130 e 140m/dia, ou seja, em cada dia espera-se realizar esse intervalo de metros lineares de estaca. Neste caso, isso corresponde à execução de 9 a 10 estacas por dia, obtendo um total de 5 dias de trabalho para execução das mesmas, interferindo vários fatores como por exemplo a mobilização e a montagem do equipamento.

Quando o orçamento se encontra concluído e são realizados todos os passos que se encontram no ponto 4.2, é exportada a informação para o documento que se encontra no ANEXO C: Orçamentação. Este documento é anexado na proposta final que é onde se encontram todas as especificações, procedimento dos trabalhos e referenciadas as quantidades e trabalhos considerados.

5.1.4 Execução da Obra

No procedimento de execução de obra, como primeira fase, é necessária a mobilização e montagem do equipamento, para tal é gasto um dia de trabalho. Habitualmente são utilizados para transporte uma zorra, um camião grua ou um camião de plataforma.

O processo de transporte consiste em preparar e desmontar o equipamento, e todas as peças necessárias são colocadas para dentro da zorra. Após estar tudo pronto e carregado, é iniciado o percurso desde a empresa até à obra respetiva. Na chegada, todas as peças são retiradas da zorra e postas no seu devido lugar e o equipamento é montado e preparado para começar a trabalhar. Este processo pode ser bastante moroso.

Os dias seguintes são focados na realização dos trabalhos, neste caso, de estacas de trado contínuo.

Através de trabalhos de topografia, é confirmada a cota a que a plataforma de trabalho se encontra, e se essa corresponde à definida em projeto, visto que os trabalhos apenas são realizados após a escavação do terreno estar concluída. Estando confirmada, segue-se à marcação da colocação das estacas tendo em conta o definido em projeto (Figura 5.6). As marcações são feitas por plástico sinalizador e podem estar em estacas de madeira verticais para se tornarem mais visíveis.



Figura 5.6 - Marcação do local das estacas (fotografia da autora)

De seguida, começa-se com a realização das estacas, tendo que estar todo o equipamento pronto para funcionamento. O equipamento usado é o referido no ponto 3.1.3 com a adição de uma retroescavadora para auxiliar na limpeza do material que será retirado dos furos.

Inicia-se a perfuração do terreno com o trado, verificando-se o material a subir, sendo perfurado até ao estipulado, com 3 diâmetros no maciço competente, o que pode causar variações com o que estava estipulado em projeto. É verificada a profundidade do maciço competente (1) através de um monitor presente no equipamento Casagrande (Figura 5.7), sendo monitorizada a pressão, em bar, que o solo está a fornecer e que o equipamento necessita para o extrair (2).



Figura 5.7 - Monitor dentro do equipamento Casagrande (fotografia da autora)

A partir do momento que a pressão aumenta consideravelmente, significa que se está perante o maciço competente e é perfurado a partir desse ponto os 1.80 metros (estacas Ø600mm) correspondentes ao encastramento.

Acabado o processo, são apontadas as profundidades totais atingidas e começa-se o processo de betonagem (Figura 5.8). O enchimento do furo é realizado através de um processo de bombagem do betão que vai desde a bomba de betão, bombeia ao longo de um tubo, passa pelo interior do trado, até à cabeça de rotação, tendo esta uma tampa que se encontra fechada, mas que abre com a pressão a que o betão é injetado.

À medida que o furo enche, o trado vai subindo e retirando o material, através da sua forma em hélice; caso contrário iria contaminar o betão.



Figura 5.8 - Equipamento para o processo de betonagem (fotografia da autora)

Quando o trado se encontra todo à superfície, então é tempo para desligar a bomba e parar a betonagem.

Devido ao facto de o material que foi retirado se encontrar nas imediações do furo, é necessário realizar a limpeza para depois se proceder à colocação da armadura. A limpeza pode ser realizada através de uma retroescavadora ou de uma giratória, limpando o material até se encontrar a boca do furo com betão (Figura 5.9).



Figura 5.9 - Retroscavadora a limpar a boca do furo da estaca (fotografia da autora)

Estando o furo limpo até à plataforma de trabalho, é tempo de introduzir a armadura. Para a colocação da armadura num furo já betonado, é colocada no seu topo um vibrador elétrico e espaçadores ao longo da sua estrutura.

A armadura é içada com ajuda do equipamento de estacas e introduzida no furo e deslizando ao longo do furo, sendo empurrado e mantido na vertical com a ajuda dos trabalhadores. Os espaçadores ajudam neste último aspeto através da sua forma circular, à medida que a armadura é colocada, estes vão rodando quando entram em contacto com as paredes do furo. Este fenómeno ajuda no afundamento da armadura pois facilita a sua descida, assim como impede que a armadura entre em contacto direto com as paredes do furo, reduzindo o risco de encravamento da armadura.

O vibrador é usado para facilitar a entrada da armadura no betão, e através das vibrações o betão movimenta-se e rearranja-se de forma a fornecer espaço para a nova estrutura presente. No entanto, o vibrador é apenas usado quando a ação gravítica não permitir a colocação da armadura e esta se encontra parcialmente colocada. Genericamente, a utilização do vibrador ocorre quando a armadura se apresenta 3/4 do seu comprimento colocada. Quando, mesmo assim, a armadura não penetra, é efetuada a sua remoção e, reperfurando o furo, realiza-se nova betonagem e repetição do processo.

Consegue-se verificar na figura 5.10 que existe a sobreposição de armaduras, isto deve-se a que as estacas tenham o comprimento desejado que não foi possível executar devido ao equipamento de transporte de armaduras. Para realização do empalme de armaduras, são colocados elementos de fixação cerra cabos, sendo a qualidade deste trabalho importante para a resistência da armadura aquando a colocação.



Figura 5.10 - Armadura a ser introduzida no furo da estaca (fotografia da autora)

Após a colocação da armadura, a estaca encontra-se concluída e é iniciada a realização da estaca seguinte. Deverá ser dada especial atenção ao fornecimento de betão, de forma a garantir a continuidade das betonagens, resultado dos diversos camiões em obra. No caso do betão presente no último camião ser insuficiente para o enchimento da próxima estaca, todo o processo terá que parar até se apresentar em obra outro camião substituto, não deixando a betonagem a meio.

Na conclusão dos trabalhos e semelhante ao referido no início deste ponto, sendo agora o processo contrário, vai ser necessário um dia para desmonte do equipamento, colocação dos materiais na zorra e deslocamento até à empresa.



Figura 5.11 - Aspeto final da estaca vista à superfície (fotografia da autora)

5.1.5 Aspetos Importantes

Existem alguns processos importantes a seguir quando se estão a realizar estacas pelo método de execução de trado contínuo.

Deverá ser dada especial atenção à limpeza correta do trado, posteriormente à betonagem e previamente à execução de uma nova estaca. É um processo rápido e leva a que a extração do terreno presente no interior do furo seja maior, levando a que o betão contaminado à superfície seja menor, e o facto de o trado ser limpo para permitir a entrada de novo material.

De forma a evitar que o processo de introdução da armadura seja difícil, a armadura deverá seguir certos aspetos. Como já foi referido no ponto 3.1.2(b) e no ponto 5.1.4, as armaduras têm um aspeto afunilado na sua base, com a introdução dos espaçadores, facilita a introdução da armadura no betão (Figura 5.12).



Figura 5.12 - Armadura afunilada (esquerda) e com presença de espaçadores (direita) (fotografias da autora)

O betão é um importante fator neste processo, especialmente nesta metodologia que terá que ser perturbado devido à introdução da armadura. Se o betão não apresentar boas condições de trabalhabilidade, pode levar a uma difícil e até impossível colocação da armadura. Esse problema ocorreu na realização desta obra, com a presença de um betão com problemas de homogeneização, tornando difícil a colocação da armadura, ao ponto de o corpo desta não ter conseguido entrar na totalidade do fuste da estaca (Figura 5.13).



Figura 5.13 - Armadura retida pelo betão (fotografia da autora)

Quando este tipo de problemas acontece, regista-se o fenómeno e avalia-se, com as entidades fiscalizadoras e de projeto, possíveis soluções para a sua resolução. Quando o problema é aparente no início da introdução da armadura e estão a ocorrer dificuldades anormais, é retirada e aquela estaca é reperfurada e repetido o processo. Outra solução para o caso da altura da armadura no exterior do furo for reduzida, e que pode ser apenas adotada quando aprovada pelo projetista é o corte da armadura excedente e aproveitamento da estaca. Esta solução não é tão aconselhável como o anterior, pois tenta-se respeitar ao máximo o implementado no projeto, mas torna-se um processo complicado ao tentar retirar armaduras quando estas se encontram muito profundas.

Este problema poderia ocorrer devido a desvios na armadura no processo de introdução da mesma. Caso as condições de execução da estaca, não permitam o seu aproveitamento, esta estaca será anulada e realizadas novas estacas em sua substituição.

O facto de esta obra ser realizada em duas fases foi devido à separação de tipos de fundações a introduzir na obra, sendo usado em grande parte sapatas como fundações e depois as estacas e microestacas.

Devido a que na presente estrutura encontram-se diferentes tipos de fundações (sapatas e estacas), vão-se também verificar comportamentos diferentes em termos de assentamentos do terreno. Com o mesmo terreno, neste caso trata-se de um aterro de saneamento, as sapatas normalmente têm assentamentos maiores em comparação com as estacas, pois não se encontram no maciço com tanta capacidade de resistência e com comportamento mais estável.

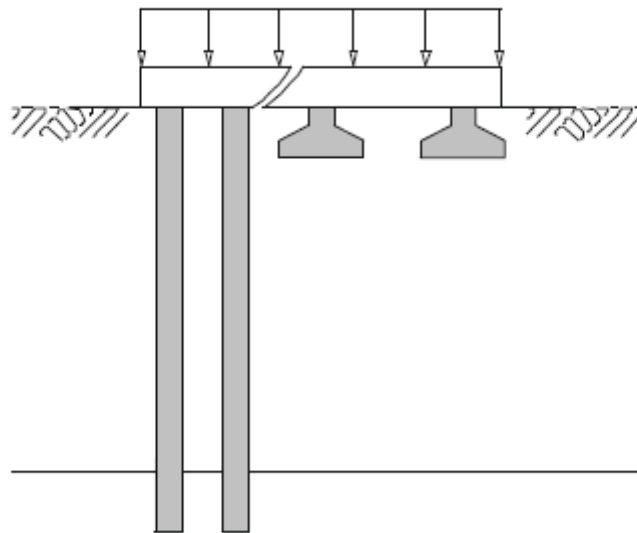


Figura 5.14 - Ruptura de uma estrutura com fundações diferentes (Santos, Fundações por Estacas - Acções Verticais, 2008)

No entanto, para este caso em particular, não é provável que aconteça esse problema pois a construção faseada dos edifícios permitiu a ocorrência dos assentamentos das sapatas, antes do início da execução das estacas. Tendo sido numa primeira fase executada o edifício com fundações em sapatas e apenas numa segunda fase a execução das estacas.

5.2 Obra – Ponte do Crasto – Rua Conde de Bertlandos

5.2.1 Introdução à obra

O processo da Ponte do Crasto foi uma obra externa, estando a **dst** apenas a responder para a parte de geotecnia e fundações. Já existia um projeto com a representação dos trabalhos de estacas de tubo moldador recuperável, assim como as quantidades a serem consideradas para esse trabalho. Estes eram os únicos trabalhos de geotecnia e fundação a serem realizados, sendo a demolição e o saneamento destas executadas por empresas da especialidade de demolições.

Esta obra é pública, da Câmara Municipal de Ponte de Lima, e tem como objetivo a construção e a reabilitação da passagem hidráulica sobre a ribeira de Crasto (Ponte do Crasto). Ao contrário da obra anterior, os materiais para a realização dos trabalhos de estacas não foram incluídos na realização do orçamento, sendo fornecidos pelo cliente.

5.2.2 Zonamento Geológico-Geotécnico

Encontrando-se a obra no distrito de Viana do Castelo, mais propriamente no município de Ponte de Lima (Figura 5.15), na freguesia de Ponte de Lima, coberta pelas freguesias pertencentes ao concelho de Ponte de Lima, encontrando-se limitada a Norte e Oeste por Arcozelo, Este por Ribeira e Sul por Arca.

Para a realização do trabalho de estacas, verificou-se que a plataforma de trabalho é plana e encontra-se a atravessar a ribeira do Crasto que desagua no Rio Lima, sendo por isso importante a atenção do nível freático presente.



Figura 5.15 - Sinalização do local da obra "Ponte do Crasto - Rua Conde de Bertlandos" (Google Earth)

Igualmente à obra anterior, os terrenos presentes vão ter uma primeira examinação através das Cartas Geológicas de Portugal, onde se consegue observar a presença dos mesmos materiais, os granitos e ortognaisses do Magmatismo Paleozóico, assim como o Silúrico do Sôco Proterozóico e Paleozóico, sendo desta vez mais dominante a concentração do último (Figura 5.16).

No entanto, segundo a geologia encontrada no mapa reproduzido na figura 5.17, consegue-se verificar que o Silúrico corresponde à presença de rochas xistosas e confirma-se que se encontram granitoides, mas encontrando também material sedimentar detrítico.

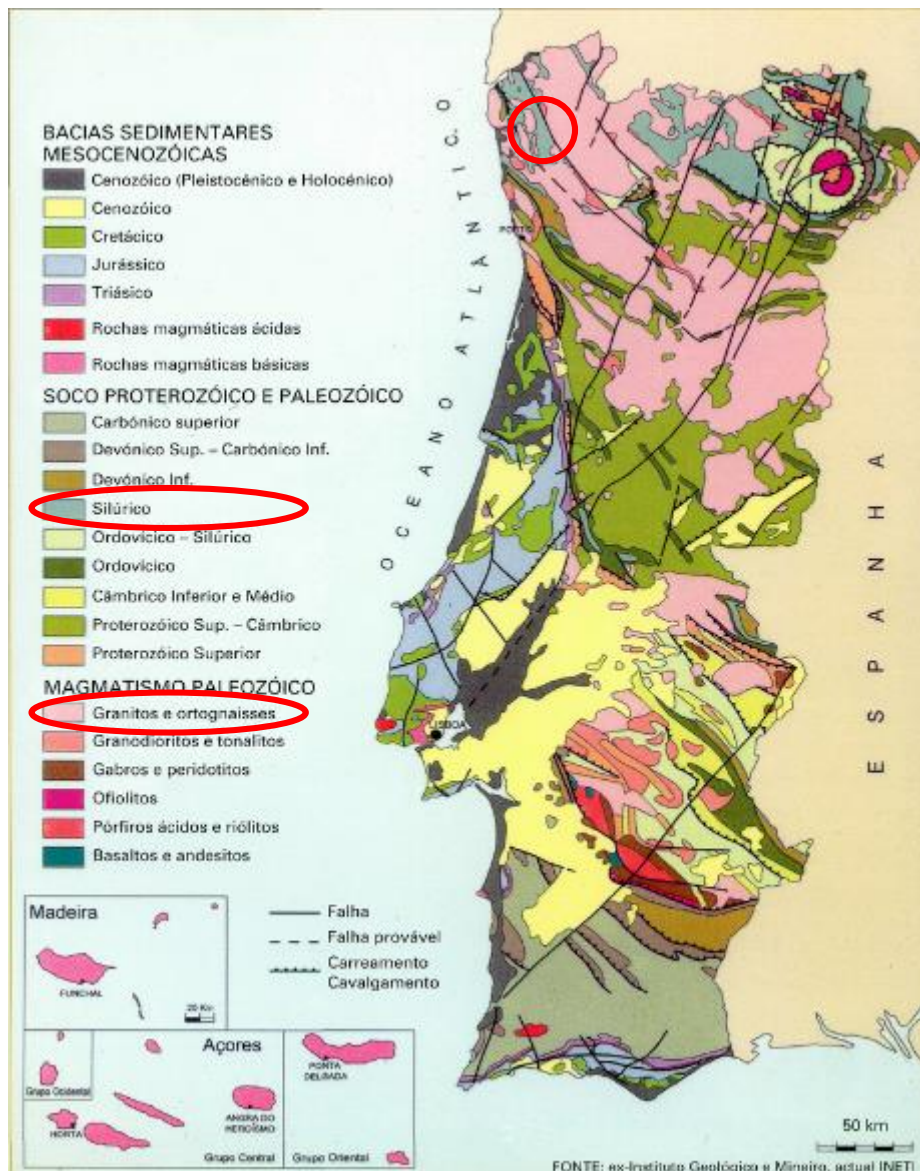


Figura 5.16 – Reprodução da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (LNEG) e localização aproximada da obra “Ponte do Castro – Rua Conde Bertiandos

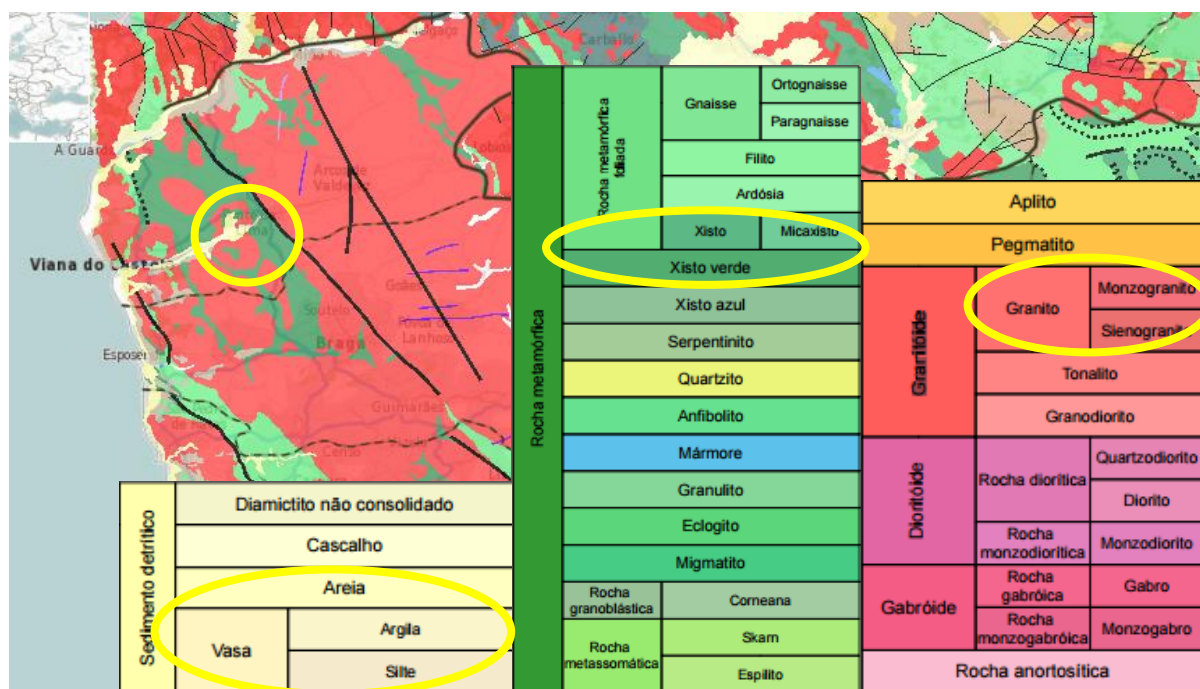


Figura 5.17 - Verificação da geologia através do site: (<http://onegeology-europe.brgm.fr/>) e respectiva legenda encontrada no local da obra

Para esta obra foram realizados dois ensaios de sondagens SPT (S1A e S2A) para a determinação da profundidade do maciço competente. Este ensaio geralmente proporciona melhores resultados, chegando normalmente ao maciço competente, tendo aí um valor mais exato da profundidade a que se encontra o maciço, assim como uma determinação mais aproximada da profundidade das estacas, reduzindo esta incerteza com o grau de exatidão do ensaio.

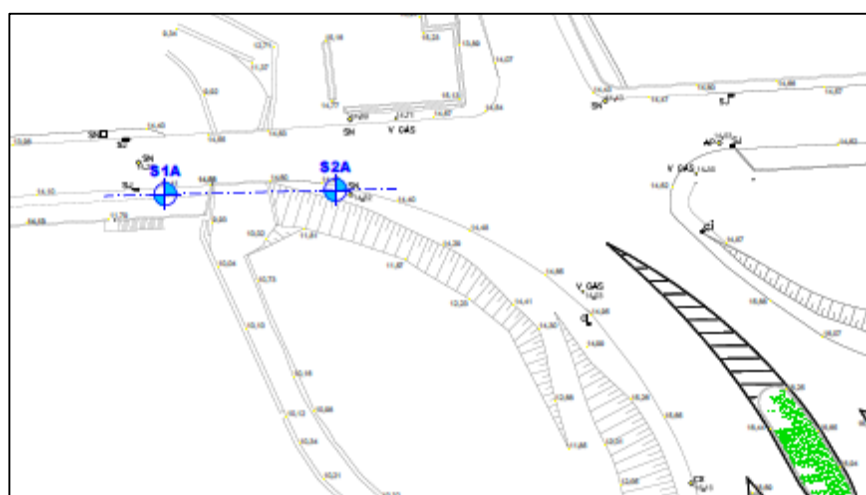


Figura 5.18 - Local da realização das sondagens SPT

Através do relatório geológico-geotécnico, verifica-se que a ponte existente se encontra sobre terreno que apresenta fracas características, tendo-se atingido o maciço competente a uma

profundidade de 19.5m no ensaio S1A e 16.5m no ensaio S2A. Verificaram-se os seguintes materiais e profundidades (aproximadamente):

Tabela 5.2 - Simplificação do material presente nos ensaios SPT da obra em Ponte de Lima

Material	Nspt	Profundidade
Aterro (Tout Venant + Silte Argiloarenoso)	≤ 4	Até 4.0m
Aluvião (Siltes Lodosos)	--- ³	De 4.0m a 9.0m
Rochas Xistosas decompostas, transformadas em solo residual	≥ 15 a 30	De 9.0m a entre 16.5m e 19.5m
Rochas Xistosas decompostas e muito alteradas	≥ 15	A partir de entre 16.5m e 19.5m

O nível freático encontra-se presente entre os 3.5m e os 4.0m, ou seja, muito junto à plataforma de trabalho.

5.2.3 Execução do Orçamento

(a) Dimensionamento das Estacas

Com o projeto de execução já realizado e quantidades já estimadas, segue-se a confirmação dos dados já existentes e entendimento desse projeto. Os elementos apresentados consistem em 8 estacas pelo método de tubo moldador num total de 96.00 metros, dando um comprimento médio de 12.00 metros com 1 metro adicional para saneamento.

Verificaram-se algumas inconsistências entre as peças desenhadas e o mapa de quantidades, estando presente, nas peças desenhadas, que as estacas deverão ser dimensionadas com 16.00 metros, enquanto no mapa de quantidades encontra-se inscrito a quantidade total de 96.00 metros que corresponde a 12.00 metros de comprimento por estaca. Contudo, verificando a informação presente no relatório geológico-geotécnico, verifica-se que essa quantidade não é suficiente, pelo que 4 estacas estão junto ao ensaio S1A e os outros 4 junto ao local do ensaio S2A, significando que têm um comprimento de 19.50 metros e 16.50 metros respetivamente, apresentando um total de 144 metros lineares de estaca e que correspondem a um comprimento médio de 18.00 metros.

³ São materiais com muito deficiente comportamento geotécnico, em termos de resistência e deformabilidade, indicado por valores nulos no ensaio SPT, isto é, o ensaio penetrou pelo peso próprio.

(b) Medição dos Elementos

Considerando a execução das estacas na superfície do terreno e sem condicionantes ao nível da execução, são realizadas tendo em conta as referências e especificações que se demonstram na lista seguinte da execução de estacas de tubo moldador recuperável.

- 8 unidades com diâmetro Ø800mm;
- 4 unidades de profundidade 16.5m integralmente armada;
- 4 unidades de profundidade 19.5m integralmente armada;
- Betão: NP EN 206-1 C30/37 XC2 Cl 0.4 D22mm S4;
- Armaduras electrossoldadas: de aço A500NR com 8Ø25 varões longitudinais + Ø8//0.125 varão helicoidal;
- Quantidade total de metros lineares de estaca: $4 \times 16.5 + 4 \times 19.5 = 144\text{m}$.

(c) Orçamentação

Tendo em conta as limitações que o terreno proporciona, a melhor solução era a realização de estacas pelo método de execução de tubo moldador recuperável tendo em conta a profundidade a que as estacas vão alcançar, sendo que é um material que necessita de revestimento para manter a estrutura das paredes do furo, assim como mitigar a percolação da água devido à cota do nível freático e à proximidade da ribeira.

Para a realização do ficheiro de orçamentação com ajuda do *software* CCS, procedeu-se à elaboração da lista de trabalhos, sendo semelhante à obra anterior. No entanto, com equipamentos para execução do método do tubo moldador recuperável, adiciona-se uma verba para a possível utilização do trado de rocha. Este é usado quando se está perante um maciço rochoso e o trado de vara Kelly não tem capacidade para perfurar esse maciço.

- **Mobilização de Meios e Equipamentos de Grande Diâmetro**
 - Mobilização de meios e equipamentos para execução de estacas
- **Estacas de Fundação**
 - Execução de Estacas de Tubo Moldador Recuperável Ø800mm com comprimento médio estimado de 18m, excluindo o fornecimento de betão e armaduras, incluindo betonagem e colocação de armaduras
 - Eventual utilização de Trado de Rocha
- **Imobilização de meios por fatores exteriores à dst**
 - Para equipamentos de execução de estacas

Para este tipo de metodologia e tendo em conta as fracas características do terreno, o rendimento que foi implementado encontra-se entre os 20 e 30ml/dia, ou seja, em cada dia espera-se realizar pouco mais de uma estaca por dia. Dando no final o total de 6 dias de trabalho úteis para execução dos trabalhos de estacas, interferindo os mesmos fatores referidos no ponto 5.1.3(c), a mobilização e a montagem do equipamento.

Quando o orçamento está concluído é exportada para um documento PDF (ANEXO C: Orçamentação) e colocado na proposta final.

5.2.4 Execução da Obra

O começo de qualquer obra tem como princípio o processo de mobilização e montagem do equipamento e é contabilizado, em circunstâncias normais, um dia de trabalho útil. Estando montado e pronto para utilização, é novamente sinalizada a localização das estacas e é iniciado o processo de execução. Nesta obra obteve-se a ajuda de uma giratória fornecida pelo cliente em adicional do equipamento presente no ponto 3.2.3.

São introduzidos tubos moldadores na vertical, sendo baixados para o terreno através do tubo com as mesmas dimensões presentes na máquina (Figura 5.19). Esse tubo é pressionado e rodado até deixar uma pequena secção acima da plataforma de trabalho. Neste caso, estão presentes solos lodosos, não é necessária qualquer remoção de material antes do tubo se encontrar corretamente posicionado.



Figura 5.19 - Introdução do tubo moldador (fotografia da autora)

Após a colocação do tubo, procede-se então à remoção do terreno com um trado de furação curto movimentando-se à medida que perfura o solo pela ação da vara telescópica Kelly. Quando o terreno já foi retirado naquela secção, vai-se proceder à colocação do tubo seguinte e realiza-se o mesmo processo.

Este método é faseado e moroso, tendo de se colocar um tubo de cada vez e só se pode colocar o seguinte quando a perfuração estiver concluída. É necessário retirar o material presente no interior do tubo para facilitar a perfuração. Para isso é extraído o trado do interior do tubo com o material. Nesta obra, devido ao material presente ser lodoso e com um nível freático bastante elevado, este processo teve que ter a ajuda de uma limpadeira pois ao retirar o trado, o material deslizava e ao chegar à superfície, já não havia material para extrair, continuando no furo.

A limpadeira (Figura 5.20) gira e através das aberturas presentes na base vai recolhendo o material retido no fim do furo para o interior da sua cápsula. Quando a limpadeira é retirada, para que o material seja extraído, é necessário bater com um pistão nas pás abrindo a base, normalmente ocupada com materiais argilosos, o solo pode ficar preso dentro da cápsula.



Figura 5.20 - Pormenor da base da Limpadeira (esquerda) e material a ser extraído no interior da Limpadeira (direita) (fotografia da autora)

Consegue-se verificar na figura 5.20, as condições em que o material se encontrava, sendo necessária ajuda para a sua extração devido à sua composição.

Este processo teve que ser realizado diversas vezes, sendo necessária a troca da ponta do equipamento entre o trado e a limpadeira. Outra ponteira que poderia ser usada chama-se caroteiro, sendo essa usada para materiais rochosos.



Figura 5.21 - Caroteiro (fotografia da autora)

Após a colocação de todos os tubos até à presença do maciço competente, e ter retirado todo o material, segue-se a introdução da armadura. Este processo é muito mais simples que o anterior devido a não existirem forças de atrito do betão, assim o processo depende apenas da elevação da armadura e colocação direta no interior do furo com o apoio de bengalas.

Devido a terem sido usadas armaduras atadas, estas ao serem elevadas verifica-se que a sua estrutura não é tão estável como as electrossoldadas, vendo-se uma maleabilidade e flexibilidade (Figura 5.22). Para rigidificar as armaduras, são colocadas “cristas de cavalo” ao longo da sua estrutura. Estas são retiradas à medida que a armadura é introduzida no furo.



Figura 5.22 - Armadura atada a ser içada c/ cristas de cavalo (vermelho) (fotografia da autora)

Estando colocada a armadura, segue-se finalmente a betonagem do furo da estaca. Esta fase é mais complexa do que o processo de trado contínuo, havendo necessidade de fazer a montagem vertical dos tubos por onde vai passar o betão, desde o tremie até ao fundo do furo (Figura 5.23 e 5.24). À medida que se enche o furo, é necessário retirar os tubos de betonagem roscados uns nos outros, pois se só se retirassem no fim, estes ficariam presos. São retirados os últimos tubos que foram colocados no passo anterior, retoma-se a betonagem e repete-se os passos até o betão se encontrar à cota pretendida. Este processo é faseado e requer que, quando se for retirar um tubo, quando se retoma a betonagem, a boca do tubo inferior se encontre dentro do betão já injetado no furo.

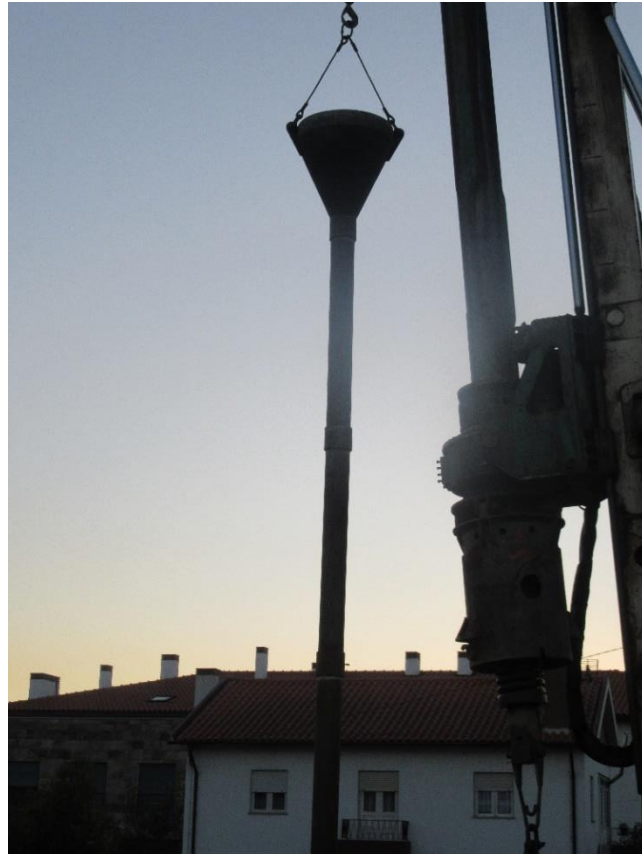


Figura 5.23 - Visualização do tubo tremie (fotografia da autora)



Figura 5.24 - Processo de betonagem (fotografia da autora)

Acabando a betonagem, a forma da estaca já se consegue suportar sem o auxílio do tubo, sendo por isso retirados como processo final. Estando esse passo realizado, a estaca está concluída.

5.2.5 Aspectos Importantes

Na execução deste projeto os trabalhos foram realizados tendo em conta que iria haver um abaixamento de cota do terreno, sendo os maciços de encabeçamento previstos a 2 metros abaixo da cota a que se realizaram os trabalhos de estacas tendo os trabalhos de serem concluídos até aproximadamente à cota estimada. No caso da armadura, esta é integralmente armada, mas com uma profundidade de 2 metros da plataforma de trabalho como se verifica na figura 5.25.



Figura 5.25 - Vista interior do furo com armadura (fotografia da autora)

Na realização, já não foi considerado os dois metros, mas sim mais aproximado de 1 metro para garantir que o betão se encontrava limpo.

Como o terreno nesta obra apresentava más características geotécnicas e a presença abundante de água, durante o processo de betonagem verificou-se que à medida que o betão ia subindo e preenchendo o espaço dentro do furo, a água ainda presente no seu interior também subiu e como era em grandes quantidades, o processo foi feito lentamente (Figura 5.26).



Figura 5.26 - Visualização da água a sair do furo durante a betonagem (fotografia da autora)

Como a implantação das estacas obrigava à execução de 4 estacas seguidas na horizontal, não foi aconselhável a realização de duas estacas seguidas, ou seja, que estejam lado a lado, devido à primeira ainda não se encontrar estável pois o betão ainda não atingira o ponto de cura. Para que isso não acontecesse, foram-se alternando a execução das estacas de 19.5m e 16.5m, pois encontravam-se em dois planos diferentes.

Na execução da última estaca, verificou-se que esta se encontrava seca, ao contrário das restantes. Isto poderá ser efeito das estacas à sua volta servirem como barreira da água vinda do rio (Figura 5.27). No entanto essa vertente não pode ser confirmada.



Figura 5.27 - Material extraído seco do fundo do furo (fotografia da autora)

6. Conclusões

A execução deste trabalho teve como objetivo verificar as principais diferenças nos processos de execução entre duas metodologias distintas de estacas bastante usadas na construção civil, o método de trado contínuo e a metodologia de tubo moldador recuperável.

Para isso, é necessário a avaliação e quais os condicionalismos de diversos fatores, como a geologia, de modo a apresentar a melhor solução possível. Na realização de propostas orçamentais para obras em concurso, esses mesmos fatores ajudam a criar orçamentos concisos e otimizados.

Em termos geológicos a execução de trado contínuo apresenta certas limitações no que diz respeito aos materiais que apresentam características de elevada resistência, assim como deverá ser utilizada com precaução em solos brandos colapsáveis em especial na presença de intercalações de camadas de material rijo e brando. Quanto ao método de tubo moldador recuperável, isso já não se verifica, sendo aplicável a uma maior abrangência de materiais, seja pela capacidade de utilização de revestimento em materiais arenosos e intercalações, protegendo as paredes da furação, seja pela capacidade de utilização de ferramentas para atravessamento de materiais de elevada resistência. Para esses diferentes tipos de materiais é possível a utilização de várias ferramentas de perfuração, desde material de fraca qualidade até ao maciço rochoso.

Por outro lado, as estacas realizadas pelo trado contínuo têm rendimentos superiores, conseguindo em média realizar um rendimento três vezes superior ao outro método. Contudo existem limitações em termos de profundidade, sendo normalmente a sua utilização limitada a um nível de profundidade por volta dos 35 metros, conseguindo o tubo moldador recuperável chegar a valores superiores a 80 metros.

O método de tubo moldador recuperável geralmente apresenta rendimentos usualmente até aos 50 m/dia; isto deve-se ao facto de ser um processo muito faseado, o que o torna economicamente menos apelativo em relação ao trado contínuo, no entanto, como já se verificou, é mais versátil.

Este método de execução correspondente à introdução da armadura antes do betão, aparenta ter um sistema de maior robustez durante a execução desta. Isto deve-se à falta de vibração e facilidade de colocação da armadura no interior do fuste quando comparada com o outro método. No entanto, o método de trado contínuo, com a colocação da armadura posterior à betonagem, torna possível uma melhor identificação de problemas que o betão possa ter. Este processo ajuda a avaliar e solucionar mais rapidamente esses problemas.

Em suma, os dois métodos estudados apresentam várias vantagens e limitações, no entanto a escolha do método mais adequado depende das condições e da finalidade que a obra irá ter. Genericamente, o trado contínuo é atualmente mais usado devido a ser uma solução técnico-económica mais competitiva. Nos casos em que esta metodologia não pode ser aplicada, opta-se pela alternativa de tubo moldador recuperável.

7. Bibliografia

- Ancora. (2016). *As Estacas Helicoidais*. Obtido de ANCORA: Solução Integrada em Estacas Helicoidais: <http://www.ancorafundação.com/>
- APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto. (2008). *A Especificação do Betão - Guia para a utilização da norma NP EN 206-1*.
- ASTM D1143-81. (1994). *Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D4945-08. (2008). *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D5882 - 07. (2007). *Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D6760-08. (2008). *Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing*. American Society for Testing and Materials.
- Bauer. (Junho de 2013). *FDP - Full Displacement Pile System: Process and equipment*. Obtido de Bauer Group: <http://www.bauer.de>
- Britannica Escola. (2016). *Palafita*. Obtido de <http://escola.britannica.com.br/>
- Brito, J. (2000). Tipologia de Estacas. *Sessão do Curso Fundec - Execução de Estacas*. Lisboa.
- Brochero, J. L. (2014). *Caracterização geotécnica do campo experimental da UFRGS em areia*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Porto Alegre.
- Cementation Skanska. (22 de Outubro de 2013). *First to use this technique in the UK*. Obtido de Cased CFA: <http://www.skanska.co.uk>
- Centro de Estudos de Engenharia Civil. (2005). *Fundações por Estacas, Situação Actual. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa*. Lisboa.
- Coelho, V. M. (2010). *Estudo sobre a importância e a aplicabilidade do facto "mark-up" na orçamentação da construção civil em pequenas e médias empresas*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil, Lisboa.
- Construction Computer Software. (2016). *Candy*. Obtido de CCS - Construction Computer Software: <http://constructioncomputersoftware.com/>
- Cortesão, J. C. (s.d.). *Contenções Periféricas*. Obtido de Engenharia Civil (Para Estudantes): <https://engenharia-civil-virtual.blogspot.pt>

- Domingos da Silva Teixeira. (s.d.). *Intro*. Obtido em 1 de Outubro de 2016, de dst group building culture: <http://www.dstgps.com>
- Eurocódigo 2. (1992). *Projecto de estruturas de betão Parte 1-1: Regras Gerais e regras para Edifícios*. NP EN 1992-1-1, 2010.
- Eurocódigo 3. (1993). *Projecto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras Gerais e Regras para Edifícios*. NP EN 1993-1-1, 2010.
- Eurocódigo 7. (1997). *Projecto geotécnico Parte 1: Regras Gerais*. NP EN 1997-1, 2010.
- Farias, E. (24 de Fevereiro de 2014). *Sem Copa Verde*. Obtido em 11 de Novembro de 2016, de <http://apublica.org/>
- Fernandes, M. M. (2011). *Mecânica dos Solos - Conceitos e Principios Fundamentais: Volume 1*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Fernandes, M. M. (2011). *Mecânica dos Solos - Introdução à Engenharia Geotécnica: Volume 2*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Fonseca, A. V. (s.d.). *Ensaios de Carga em Estacas*. Apontamentos da Unidade Curricular de Fundações, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto.
- Francisco, R. F. (2007). *Caracterização técnico-económica dos diferentes tipos de fundações profundas*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Lisboa.
- GEOMECC. (2016). *Prova de Carga Estática*. Obtido de GEOMECC desde 1985: <http://www.geomecc.com.br/>
- Hidrobetão - Corte, Furação e Demolição, Lda. (s.d.). *Saneamento de Cabeça de Estaca*. Obtido de Hidrobetão: <http://www.hidrobetao.pt/4-saneamento.htm>
- Isoprene. (2010). *O que é Neoprene*. Obtido de Isoprene - Qualidade e sofisticação em neoprene: <http://www.lojaisoprene.com.br/>
- Jean Lutz, SA. (s.d.). *Bored Piles*. Obtido de Jean Lutz: <http://www.jeanlutzsa.fr/>
- Jet SJ geotecnia. (10 de Fevereiro de 2006). Módulo 2 - Parte 2A: Fundações Indirectas por Estacas. *Curso de Concepção de Obras Geotécnicas*. Braga, Portugal.
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia. (1992). *Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000. 5ª Edição*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. (2001). *Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000*.
- LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. (s.d.). *Carta Geológica de Portugal, Carta 5-D na escala 1:50 000*.
- Marcarenhas, J. (2011). *Sistemas de Construção - I*. Lisboa: Livros Horizonte, Lda.

- Meixedo, J. P. (2013). *Prospecção Geofísica e Sondagens*. Apontamentos de Aula, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Geotécnica, Porto.
- Miranda, M. C., & Martins, J. G. (2006). *Fundações e Contenção Lateral dos Solos - Execução de Estacas. Série Estruturas*.
- Neves, L. F. (2010). *Álbum de Fotos*. Obtido de Dicionário de Engenharia Geotécnica e Fundações: <http://dicionariogeotecnico.com.br/>
- NF P 94-160-1. (Outubro de 2000). *Auscultation d'un élément de fondation Partie 1: Méthode par transparence*. Norme Française.
- Pedro, P. (s.d.). *Estacas Cravadas*. Universidade Técnica de Lisboa, Departamento Engenharia Civil, Lisboa.
- Perta, Sociedade de Equipamentos de Construção Civil, Lda. (s.d.). *PET - Ensaios Sónicos em Estacas*. Obtido de Perta: <http://www.perta.pt/>
- Pinto, C. A., Rodrigues, J. A., Santos, A., Melo, L. T., Moreira, M. A., & Rodrigues, R. B. (s.d.). *Fundamentos de Gestão*. Editorial Presença.
- Rocha, D. H. (2014/2015). *Estudo da integridade e capacidade de estacas em fundações*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território, Porto.
- Rodrigues, M. F. (2016). *Legislação e Direcção de Obras*. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- Santos, J. A. (2008). *Fundações por Estacas - Acções Horizontais*. Elementos Teóricos, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Lisboa.
- Santos, J. A. (2008). *Fundações por Estacas - Acções Verticais*. Elementos Teóricos, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Lisboa.
- Santos, J. A. (2008/2009). *Dimensionamento de estacas sob acções verticais estáticas*. Apontamentos da Unidade Curricular de Fundações, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Lisboa.
- Serki Fundações Especiais. (s.d.). *Estacas Cravadas*. Obtido de Serki: <http://serki.com.br/>
- Sete Engenharia. (2013). *Prova de Carga Dinâmica - Ensaio de Carregamento Dinâmico*. Obtido de Sete Engenharia: <http://sete.eng.br/>
- Sete Engenharia. (2014). *Prova de Carga Estática*. Obtido de Sete Engenharia: <http://sete.eng.br/>
- Timelink - Planeamento e Gestão de Construção, Lda. (s.d.). *Sistema Candy CCS*. Obtido de timelink: <http://timelink.pt/>
- Vargas, M. (Maio de 1993). *Provas de Carga em Estacas - Uma Apreciação Histórica*. *Revista da DIRENG*, 33-39.

8. ANEXOS

8.1 ANEXO A: Especificações do betão (APEB)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO		
Classe de resistência à compressão	Resistência característica mínima em cilindros $f_{k,cyl}$ (N/mm ²)	Resistência característica mínima em cubos $f_{k,cube}$ (N/mm ²)
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

Nota:
As classes apresentadas são as classes mais utilizadas em Portugal. Contudo, a NP EN 206-1 estabelece outras classes de resistência que vão desde a classe C8/10 até à classe C100/115.

Figura 8.1 - Tabela das Classes da Resistência à Compressão do Betão de acordo com a NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008)

Utilização do betão	Classe de exposição ambiental	
	XC, XF, XA	XS, XD
Betão sem armaduras de aço ou outros metais embebidos, com excepção de dispositivos de elevação resistentes à corrosão	CI 1,0	CI 1,0
Betão com armaduras de aço ou outros metais embebidos	CI 0,40 ¹⁾	CI 0,20 ¹⁾
Betão com armaduras pré-esforçadas	CI 0,20 ¹⁾	CI 0,10 ¹⁾

¹⁾ Estas classes podem deixar de se aplicar se foram tomadas medidas especiais de protecção contra a corrosão, como protecção do betão, ou recobrimentos, devidamente justificados, ou utilização de aço inox.

Figura 8.2 - Tabela das Classes de Teor em Cloretos do Betão de acordo com a NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008)

Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos de condições em que poderão ocorrer as classes de exposição
1 Nenhum risco de corrosão ou ataque		
X0	Para betão sem armadura ou elementos metálicos embebidos: todas as exposições excepto em situação de gelo/degelo, abrasão ou ataque químico Para betão com armadura ou elementos metálicos embebidos: muito seco	Betão no interior de edifícios com uma humidade do ar ambiente muito baixa
2 Corrosão induzida por carbonatação		
XC1	Seco ou permanentemente húmido	Betão no interior de edifícios com uma humidade do ar ambiente baixa Betão permanentemente submerso em água
XC2	Húmido, raramente seco	Superfícies de betão sujeitas a contacto prolongado com água Um grande número de fundações
XC3	Humidade moderada	Betão no interior de edifícios com uma humidade do ar ambiente moderada ou elevada Betão exterior protegido da chuva
XC4	Alternadamente húmido e seco	Superfícies de betão sujeitas a contacto com água, não incluídas na classe de exposição XC2
3 Corrosão induzida por cloretos		
XD1	Humidade moderada	Superfícies de betão expostas a cloretos transportados pelo ar
XD2	Húmido, raramente seco	Piscinas Elementos de betão expostos a águas industriais contendo cloretos
XD3	Alternadamente húmido e seco	Elementos de pontes expostos a pulverizações contendo cloretos Pavimentos Lajes de parques de estacionamento
4 Corrosão induzida por cloretos presentes na água do mar		
XS1	Exposto ao sal transportado pelo ar mas não em contacto directo com a água do mar	Estruturas próximas da costa ou na costa
XS2	Permanentemente submerso	Elementos de estruturas marítimas
XS3	Zonas sujeitas aos efeitos das marés, da rebentação e da neblina marítima	Elementos de estruturas marítimas
5 Ataque gelo/degelo		
XF1	Saturação moderada em água, sem produto descongelante	Superfícies verticais de betão expostas à chuva e ao gelo
XF2	Saturação moderada em água, com produto descongelante	Superfícies verticais de betão de estruturas rodoviárias expostas ao gelo e a produtos descongelantes transportados pelo ar
XF3	Saturação elevada em água, sem produtos descongelantes	Superfícies horizontais de betão expostas a chuva e ao gelo
XF4	Saturação elevada em água, com produtos descongelantes ou com água do mar	Estradas e tabuleiros de pontes expostos a produtos descongelantes Superfícies de betão expostas a pulverizações directas contendo produtos descongelantes e expostas ao gelo Zonas sujeitas aos efeitos da rebentação de estruturas marítimas expostas ao gelo
6 Ataque químico		
XA1	Ambiente químico ligeiramente agressivo, de acordo com a EN 206-1, ver o Quadro 2	Terrenos naturais e água do terreno
XA2	Ambiente químico moderadamente agressivo, de acordo com a EN 206-1, ver o Quadro 2	Terrenos naturais e água do terreno
XA3	Ambiente químico altamente agressivo, de acordo com a EN 206-1, ver o Quadro 2	Terrenos naturais e água do terreno

Figura 8.3 - Classes de exposição em função das condições ambientais, de acordo com a NP EN 206-1 (Eurocódigo 2, 1992)

Classes de abaixamento	
Classe	Abaixamento (mm)
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5	≥ 220

Figura 8.4 - Tabela das Classes de Abaixamento do Betão de acordo com a NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008)

Método de Execução de Estacas Moldadas: Trado Contínuo versus Tubo Moldador Recuperável

Tipo de cimento ⁽¹⁾	Classe de exposição	Recobrimento nominal mínimo	Dosagem de cimento mínima	Razão A/C máxima	Classe de resistência mínima	
					Betão Normal	Betão Leve
--	X0	--	--	--	C12/15	--
CEM I; CEM IIIA ⁽²⁾	XC1	25 mm	240 kg/m ³	0,65	C25/30	LC25/28
	XC2	35 mm				
	XC3	35 mm	280 kg/m ³	0,60	C30/37	LC30/33
	XC4	40 mm				
	XS1 / XD1 ⁽³⁾	45 mm	360 kg/m ³	0,45	C40/50	LC40/44
	XS2 / XD2 ⁽³⁾	50 mm				
	XS3 / XD3 ⁽³⁾	55 mm				
	XF1	--	280 kg/m ³	0,60	C30/37	LC30/33
	XF2 ⁽⁴⁾	--		0,55		
	XA1 ⁽⁵⁾	--	340 kg/m ³	0,50	C35/45	LC35/38
XA2 ⁽⁵⁾	--	360 kg/m ³	0,45	C40/50	LC40/44	
XA3 ⁽⁵⁾	--	380 kg/m ³				
CEM II/B ⁽²⁾ ; CEM IIIA ⁽²⁾ ; CEM IV ⁽²⁾ ; CEM VIA ⁽²⁾	XC1	25 mm	260 kg/m ³	0,65	C25/30	LC25/28
	XC2	35 mm				
	XC3	35 mm	300 kg/m ³	0,55	C30/37	LC30/33
	XC4	40 mm				
	XF1	--	300 kg/m ³	0,55	C30/37	LC30/33
XF2 ⁽⁴⁾	--	0,50				
CEM IV/A; CEM II/B; CEM IIIA; CEM III B; CEM V; CEM II/B ⁽⁴⁾ ; CEM IV/A-D	XS1 / XD1	45 mm	320 kg/m ³	0,55	C30/37	LC30/33
	XS2 / XD2	50 mm				
	XS3 / XD3	55 mm	340 kg/m ³	0,45	C35/45	LC35/38
	XA1	--	320 kg/m ³	0,55	C30/37	LC30/33
	XA2	--	340 kg/m ³	0,50	C35/45	LC35/38
	XA3	--	360 kg/m ³			
⁽¹⁾ De acordo com a especificação E 464, em vez dos cimentos indicados, podem ser utilizadas misturas, obtidas pela junção de um cimento do tipo CEM I ou CEM IIIA com adições, cuja composição resultante seja equivalente à de um dos cimentos indicados.				⁽²⁾ Não aplicável aos cimentos com percentagem inferior a 50% de clínquer Portland, em massa.		
⁽²⁾ Não aplicável aos cimentos II/A-T e IIIA-W e aos cimentos II/B-T e II/B-W, respectivamente.				⁽³⁾ Não aplicável aos cimentos II-T, II-W, II/B-L e II/B-LL.		
				⁽⁴⁾ Teor mínimo de ar de 4%.		

Figura 8.5 - Tabela com as limitações do betão tendo em conta o tipo de cimento, segundo a norma NP EN 206-1 (APEB - Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto, 2008)

8.2 ANEXO B: Monitorização

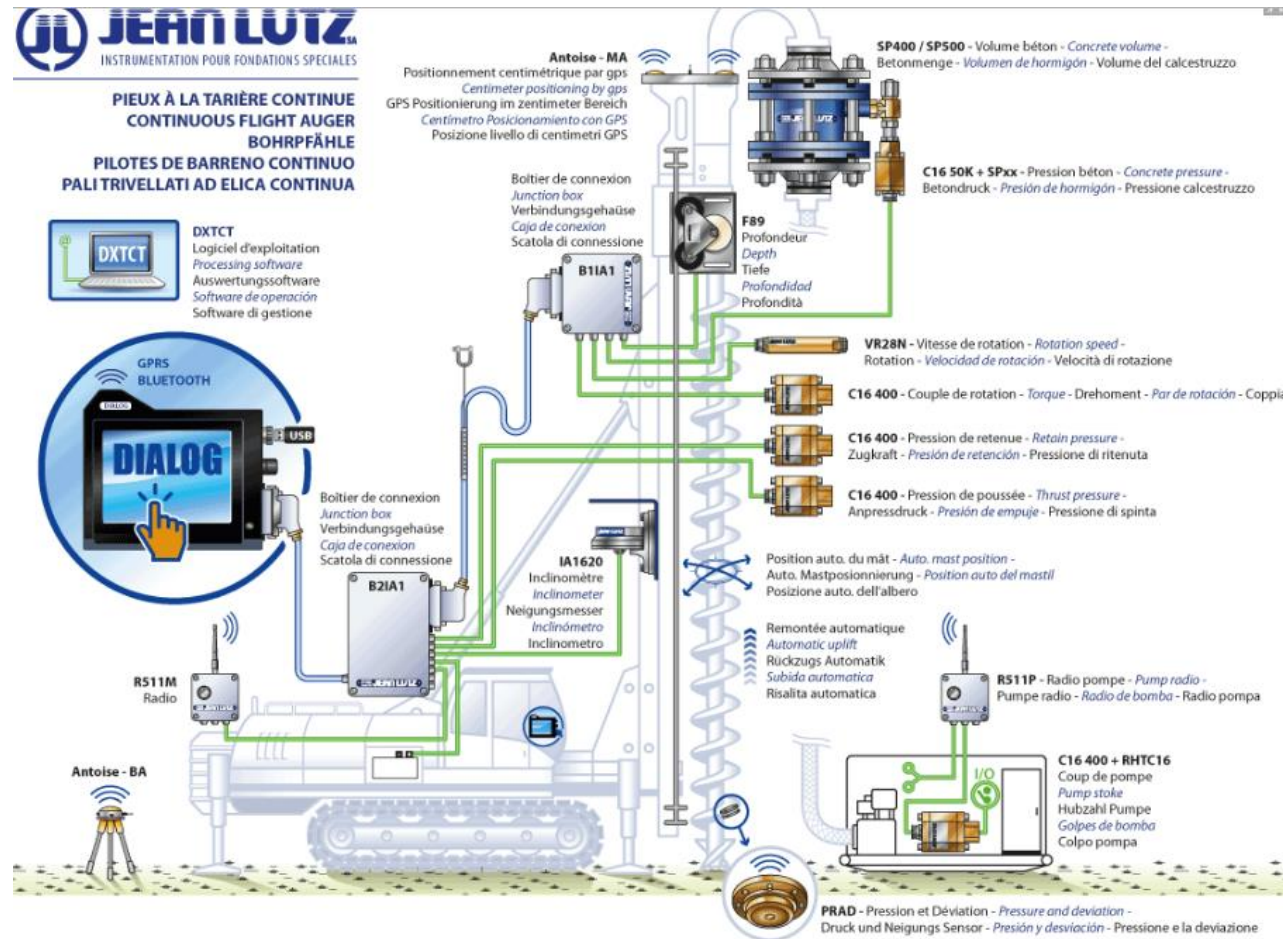


Figura 8.6 - Diagrama de instalação com instrumento DIALOG (Jean Lutz, SA., s.d.)

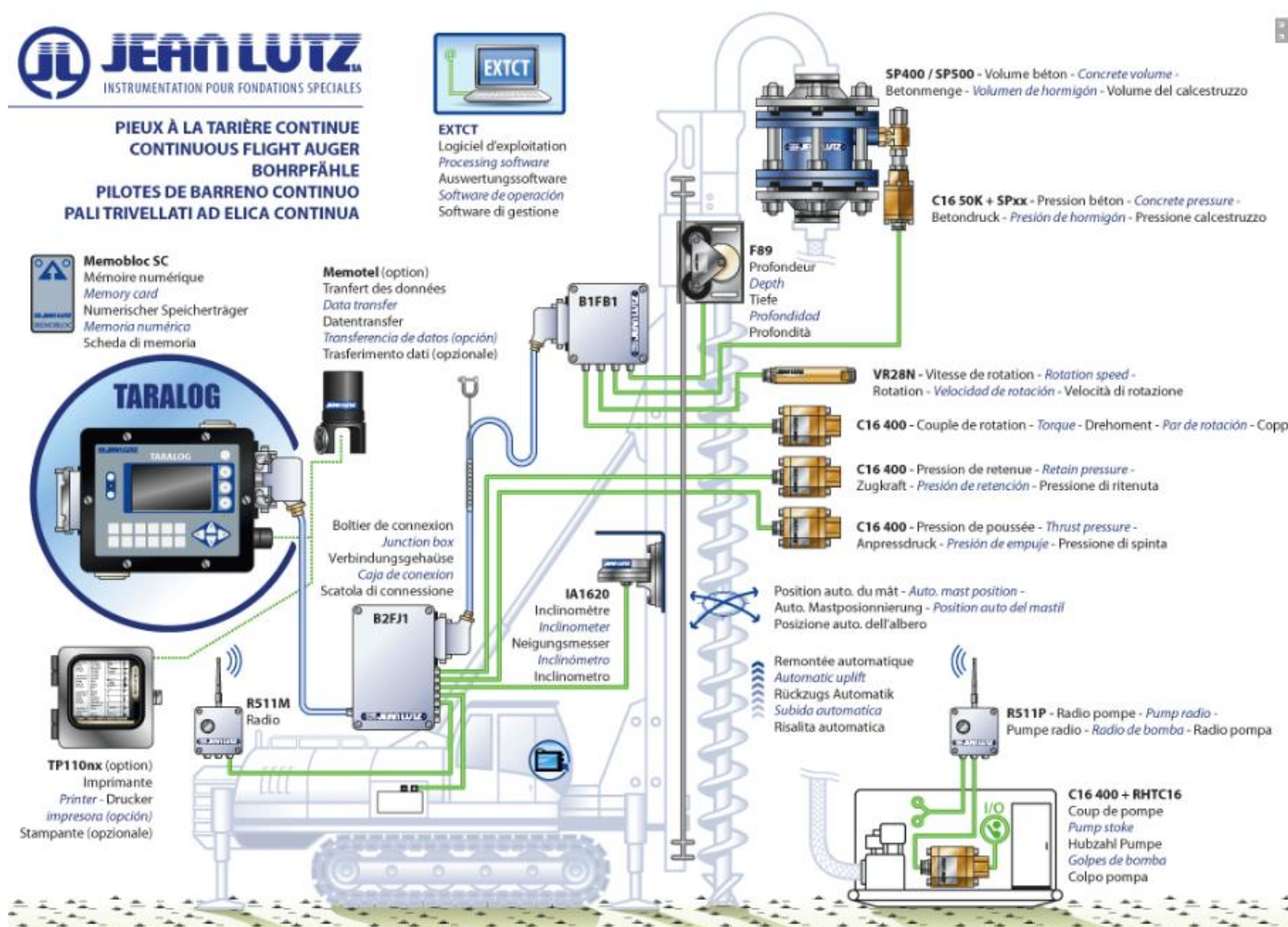



Figura 8.7 - Diagrama de instalação com instrumento TARALOG (Jean Lutz, SA., s.d.)


8.3 ANEXO C: Orçamentação

Tabela 8.1 - Folha de Medições de Projetos em Excel (dst)

							
MAPA DE MEDIÇÕES DETALHADAS							Observações
Art.	Designação	Nº partes	Comp. (m)	Larg. (m)	Altura (m)	Quant. Parciais	Quant. DST

LISTA DE PREÇOS UNITÁRIOS

PROC.



ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.		PREÇOS	
		UNID.	TOTAL	PR. UNIT.	TOTAL
					0,00
	TOTAL				0,00

Figura 8.8 - Lista de Preços final de uma proposta em PDF (dst)