



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**



**Estudo de soluções de contenção periférica em função  
das condicionantes de execução**

**PEDRO MIGUEL FERREIRA COUTO**

Licenciado

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientador:

Licenciado, Manuel Augusto Gamboa

Júri:

Presidente: Doutora, Maria da Graça Alfaro Lopes

Vogais:

Licenciado, Júlio Walter Miguel Fernandes

**FEVEREIRO 2014**





## **AGRADECIMENTOS**

Quero dedicar esta página, a todos os que, directa ou indirectamente, prestaram a sua preciosa e indispensável contribuição, com a qual enriqueceram e tornaram possível a realização deste grande desafio.

Em primeiro lugar, ao Eng. Manuel Augusto Gamboa, pela sua disponibilidade em ser o orientador da minha dissertação e pela paciência que sempre teve quando por mim solicitado. A sua sabedoria, sentido crítico e o elevado conhecimento e experiência acerca deste tema levou-me a sua escolha.

À minha professora de Português do secundário, Albertina Fernandes, por a preciosa ajuda que deu na revisão dos textos desta dissertação, tornando a leitura da mesma mais fácil.

Ao meu amigo Luís Costa, o meu obrigado por a ajuda que me prestou quando lhe pedi.

Aos meus amigos de Curso, pelos bons anos que passei na sua companhia e que sempre me apoiaram em tudo. Todas as memórias que ficaram guardadas fazem-me escrever este parágrafo com um sorriso nos lábios.

E finalmente, o maior obrigado vai para os meus pais e para os meus familiares mais próximos, porque sem eles nada disto teria sido possível.





## RESUMO

A crescente necessidade de se ocupar cada vez mais o subsolo, principalmente em meios urbanos, aliado à evolução das técnicas de contenção periférica, faz com que este tema tenha muita importância na vida profissional do engenheiro civil.

Deste modo, irá fazer-se inicialmente referência à importância que as contenções periféricas têm para a realização de construções no subsolo e onde se estudará os seus objetivos.

Sendo assim e para que as escavações sejam efectuadas em segurança, é necessário executar determinados trabalhos e estudos preliminares, onde os mais importantes são o estudo da envolvente à construção que se pretende efectuar, no qual se fará o levantamento de todas as construções vizinhas, tais como edifícios, vias de comunicação e outras; o reconhecimento geotécnico do solo, servindo este para determinar o tipo de solos que se vão encontrar na escavação. Estes trabalhos e estudos preliminares, são importantes, pois serão eles que irão determinar o tipo de contenção mais adequado.

Tendo estes dados definidos, prossegue-se para o estudo de quatro dos métodos mais comuns para a execução de contenções periféricas: Paredes Moldadas, Paredes tipo Berlim, Cortinas de Estacas-pranchas e Cortinas de Estacas, onde se descrevem os campos de aplicação, os equipamentos utilizados e os processos construtivos de cada método. Também se faz referência a algumas estruturas auxiliares às contenções periféricas, tais como escoramentos, ancoragens e anéis de laje.

Por fim, e onde se pretende chegar com esta dissertação, apresenta-se um método de escolha de contenção mais adequado, tendo em conta os diversos parâmetros estudados anteriormente.

**Palavras-chave:** Contenção periférica, Paredes moldadas, Paredes tipo Berlim, Cortinas de estacas-pranchas, cortinas de estacas.





## ABSTRACT

Nowadays, the great need to explore more and more the subsoil, especially in urban areas, and combined with the quick evolution of the peripheral retaining wall techniques, makes this an important topic in the professional life of any company related to Civil Engineering.

There will be an initial reference to the importance that peripheral retaining walls have to conduct subsoil and underground constructions, and will also be shown their objectives and importance.

In order to carry out retaining structures safely, it's necessary to do certain works and some preliminary studies, where the most important are those related to the surrounding constructions, such as buildings and roads, among others, and the geotechnical soil recognition, used to determinate the type of the soil found during the excavation. These works and preliminary studies are really important, because the most appropriate retaining type will be used according to them.

With all this data so far, there will be made a reference to four of the most common peripheral retaining wall methods: Diaphragm Walls, Berliner Walls, Sheet Pile Walls and Bored Pile Walls, whose applications, equipment and construction processes will be described, as well as a brief reference to some auxiliary structures to these peripheral retaining wall methods, such as shorings, anchorings and slab rings.

Finally, this dissertation leads to the study of an appropriated peripheral retaining wall method, according to the several parameters studied previously.

**Keywords:** Peripheral Wall, Diaphragm Walls, Berliner Walls, Sheet Pile Walls, Bored Pile Walls





## ÍNDICE DE MATÉRIAS

1. Introdução.....	11
1.1 Objectivos do trabalho .....	11
1.2 Metodologia do trabalho .....	12
2. Contenções Periféricas. Importância e Objetivos .....	15
3. Trabalhos e Estudos Preliminares .....	19
3.1 Reconhecimento Geotécnico .....	19
3.2 Prospecção Geotécnica .....	21
3.2.1 Disposição e profundidade de prospecção .....	21
3.2.2 Ensaios de Prospecção.....	22
3.2.2.1 Penetrómetro dinâmico leve (DPL) .....	23
3.2.2.2 Penetrómetro dinâmico normalizado (SPT) .....	24
3.2.2.3 Penetrómetro estático (CPT).....	26
3.2.2.4 Molinete de corte rotativo.....	27
3.2.2.5 Pressiómetro.....	27
3.2.3 Classificação do solo .....	28
3.3 Estudo da envolvente .....	29
4. Técnicas de Melhoramento de Solo .....	31
4.1 Jet Grouting.....	31
4.1.1 Equipamento.....	32
4.1.2 Processo Construtivo .....	33
4.1.3 Campo de Aplicação.....	34
4.2 Deep Mixing .....	36
4.2.1 Métodos/Vias.....	36
4.2.2 Processo Construtivo .....	38
4.2.3 Campo de aplicação.....	40

---



5.	Elementos Auxiliares às Contenções .....	41
5.1	Escoramentos .....	41
5.2	Ancoragens .....	42
5.3	Ancoragens vs Escoramentos .....	43
5.4	Anel de Laje.....	45
6.	Tipos de contenções periféricas .....	47
6.1	Paredes Moldadas .....	47
6.1.1	Campo de aplicação.....	48
6.1.2	Equipamentos .....	48
6.1.3	Processo construtivo .....	50
6.1.4	Problemas de Execução .....	55
6.2	Paredes tipo Berlim.....	56
6.2.1	Campo de aplicação.....	56
6.2.2	Equipamentos .....	57
6.2.3	Processo Construtivo .....	58
6.2.4	Variantes.....	62
6.3	Cortinas de estacas-prancha.....	63
6.3.1	Campo de aplicação.....	64
6.3.2	Equipamentos .....	65
6.3.3	Processo construtivo .....	66
6.3.4	Problemas de execução.....	67
6.4	Cortinas de estacas moldadas .....	68
6.4.1	Campo de aplicação.....	68
6.4.2	Tipos de cortinas de estacas .....	69
6.4.3	Processo construtivo .....	71
7.	Método de escolha da contenção.....	77

---



8. Considerações Finais.....	83
8.1 Desenvolvimentos futuros .....	84
Bibliografia.....	85
Websites .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Missão do engenheiro .....	20
Figura 2 - Penetrómetro dinâmico leve .....	24
Figura 3 - Penetrómetro dinâmico normalizado .....	25
Figura 4 - Penetrómetro estático.....	26
Figura 5 - Molinete de corte rotativo.....	27
Figura 6 - Pressiómetro .....	28
Figura 7 - Execução de coluna de Jet Grouting.....	32
Figura 8 - Diagrama esquemático da técnica de melhoramento de solos - <i>Jet Grouting</i>	33
Figura 9 - Coluna de secção circular de solo-cimento.....	34
Figura 10 - Execução de colunas de <i>Jet Grouting</i> no interior de um edifício.....	35
Figura 11 - Esquema ilustrativo do funcionamento do método húmido .....	37
Figura 12 - Esquema ilustrativo do funcionamento do método seco .....	38
Figura 13 - Representação de um escoramento de uma contenção .....	42
Figura 14 – Aplicação de uma ancoragem numa contenção periférica.....	43
Figura 15 - Planta de ancoragens e escoramentos no suporte auxiliar de uma parede tipo Berlim.....	44
Figura 16 – Anéis de Laje.....	45
Figura 17 - Balde de maxilas (à esquerda), Hidrofesa (ao centro) e Trépano (à direita)	49
Figura 18 - Equipamento de produção de lamas tixotrópicas .....	49
Figura 19 - Esquema da execução das paredes moldadas .....	50
Figura 20 - Muros-guia.....	51
Figura 21 - Esquema da sequência de execução dos painéis com escavação alternada .	52
Figura 22 - Colocação da armadura nas paredes moldadas.....	53
Figura 23 - Betonagem de um painel da parede moldada através da <i>trémie</i> .....	54



Figura 24 - Execução de Viga de coroamento numa parede moldada .....	54
Figura 25 - Problema de execução das paredes moldadas (falta de estanquidade nas juntas) .....	55
Figura 26 - Trado de furação para se introduzir os perfis no terreno .....	57
Figura 27 - Colocação de perfil metálico .....	59
Figura 28 - Escavação através de retroescavadoras.....	60
Figura 29 - Da esquerda para a direita: Martelo Hidráulico, Martelo a Diesel, Martelo Vibratório e Prensa Hidráulica .....	65
Figura 30 - Esquema de cortina de estacas espaçadas.....	69
Figura 31 - Esquema de cortina de estacas contíguas .....	70
Figura 32 - Esquema de cortina de estacas secantes .....	71
Figura 33 - Execução de muros-guia.....	72
Figura 34 - Esquema da execução de estacas com trado contínuo.....	73
Figura 35 - Esquema de execução de estacas com tubo moldador recuperável.....	74
Figura 36 - Esquema de execução de estacas com lamas bentoníticas .....	75
Figura 37 - Diagrama para escolha de contenção.....	77

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 - Classificação de solos incoerentes quanto à compacidade relativa [LNEC E219] .....	28
Tabela 2 - Classificação de solos coerentes quanto à consistência [LNEC E219].....	28
Tabela 3 - Solo Incoerente Sem Nível Freático.....	78
Tabela 4 - Solo Incoerente Com Nível Freático .....	79
Tabela 5 - Solo Coerente Sem Nível Freático .....	81
Tabela 6 - Solo Coerente Com Nível Freático .....	81



## 1. Introdução

A necessidade de estacionamento nas grandes cidades implica a execução de escavações em profundidade para a construção de caves com essa finalidade. Para que as escavações e as fundações sejam realizadas em segurança, do ponto de vista da estabilidade dos terrenos escavados, e das construções envolventes, é necessário realizar contenções periféricas, que também garantem a segurança dos trabalhadores, caso os solos tenham características que possam provocar a instabilidade dos mesmos.

As contenções periféricas têm como objectivos suportar os impulsos que o terreno vai provocar durante a escavação e a construção da infraestrutura dos edifícios.

As contenções periféricas são alvo de muitas soluções e métodos construtivos, que têm interesse de estudo, variando de acordo com o tipo de terreno, que condiciona essas soluções. A localização e a envolvente da obra influenciam, de igual modo, a escolha da contenção, sendo determinantes as máquinas a utilizar e a sua movimentação.

Com a realização deste trabalho, pretende-se sistematizar a escolha do tipo de contenção em função dos parâmetros indicados, ou seja do tipo de solo e do seu estado, dos métodos de execução e da localização da obra.

### 1.1 Objectivos do trabalho

Esta dissertação constitui um estudo tendo em vista a seleção de um tipo de contenção em função das variáveis em causa. Para tal, obedece aos seguintes objectivos:

- a) Definir o conceito de contenção periférica, referindo a importância da mesma para a realização de uma escavação e fazer um levantamento dos métodos de execução existentes;
- b) Identificar os tipos de solos correntes, fazendo a sua caracterização e classificação quanto às suas propriedades com influência e relação no tipo de contenção;



- c) Estudar as condicionantes que a envolvente implica na realização das contenções periféricas, nomeadamente a localização da obra, os acessos e espaço disponível para estaleiro e as características das construções adjacentes;
- d) Referir as construções auxiliares que são utilizadas neste tipo de estruturas, fazendo-se uma comparação entre as soluções apresentadas;
- e) Estudar os tipos de máquinas associadas à execução de um determinado tipo de contenção periférica;
- f) Estabelecer uma matriz, que em função das variáveis estudadas, possa ajudar na identificação do tipo de contenção mais aconselhável atendendo aos condicionamentos.

## 1.2 Metodologia do trabalho

A dissertação organiza-se em oito capítulos. O primeiro capítulo corresponde à parte introdutória, ao longo do qual se explica a importância deste estudo.

No segundo capítulo, dar-se-á resposta ao objectivo a), onde se faz referência, sobretudo, à importância que as contenções têm na realização de obras em profundidade e os riscos inerentes à não utilização das mesmas.

No terceiro capítulo, procurarei dar resposta aos objectivos b) e c), referentes aos trabalhos preliminares, e proceder a uma identificação genérica dos tipos de solo que se podem encontrar. Para isso, torna-se também, importante fazer a enumeração dos ensaios *in-situ* utilizados para a identificação, caracterização e classificação dos solos. Far-se-á igualmente, a enumeração das condicionantes a observar antes de se realizar uma determinada obra de contenção.

No quarto capítulo, que diz respeito as técnicas de melhoramento de solos, far-se-á uma análise das técnicas existentes no mercado, relatando com maior pormenor as que são mais utilizadas em associação com contenções periféricas.



No quinto capítulo dar-se-á resposta ao objectivo d), fazendo a identificação das estruturas auxiliares das contenções periféricas, as suas características, o motivo pelo qual são utilizadas e no final uma pequena comparação entre as diferentes estruturas auxiliares.

No sexto capítulo responde-se ao objectivo e), identificando as contenções periféricas mais frequentemente utilizadas. Para além disso, far-se-á a enumeração dos equipamentos utilizados na construção das contenções periféricas, bem como a descrição dos métodos construtivos referentes a cada contenção. Serão ainda, identificados alguns problemas de execução das contenções. De seguida, procede-se à identificação do campo de aplicação de cada contenção, tendo já como finalidade a realização do próximo capítulo.

No sétimo capítulo, dar-se-á resposta ao objectivo f), tendo como finalidade a interligação de todos os capítulos estudados anteriormente, de forma a poder simplificar a escolha de uma determinada contenção.

No oitavo capítulo, apresentar-se-ão as conclusões gerais do trabalho, apontando as dificuldades encontradas, bem como a apresentação de propostas de desenvolvimentos futuros.





## 2. Contenções Periféricas. Importância e Objetivos

O aumento das construções subterrâneas tem vindo a adquirir uma importância crescente na construção de edifícios, pois cada vez mais as obras são realizadas com maior volumetria, quer em altura quer em profundidade. Estas obras em profundidade são realizadas para diversos fins, mas principalmente para caves de estacionamento, de habitações, de hospitais, de centros comerciais entre outros casos, podendo por outro lado, as caves serem utilizadas para a colocação de equipamentos mecânicos necessários ao funcionamento de um edifício, sendo frequente nos casos dos hospitais, hotéis, universidades, pois garante, que não se ocupe área útil em pisos superiores com a colocação destes tipos de equipamentos.

A utilização do subsolo para a construção de caves de estacionamento prende-se com o facto de nas grandes cidades a criação de estacionamento de superfície estar muito condicionada.

Sendo assim, para a realização de obras no subsolo, é necessário efectuar a escavação em segurança e posteriormente a construção da infraestrutura também. É necessário que se efetuem obras de contenção dos terrenos escavados, sendo para isso necessária a construção de estruturas que suportem os impulsos e absorvam as deformações a que o solo irá estar sujeito aquando da escavação. Este tipo de estrutura designa-se por contenção periférica.

A importância que advém da utilização das contenções periféricas é o facto de estas permitirem a realização de trabalhos de escavação e de construção de infraestruturas dos edifícios, em segurança e podendo também em alguns casos fazer parte da própria infraestrutura do edifício.

Sendo assim, tem importância que se faça um estudo dos terrenos, pois como se sabe os terrenos tem características diferentes, assunto esse que será estudado mais à frente neste trabalho.



Para demonstrar a importância do reconhecimento geotécnico numa construção, um levantamento referente aos erros que originaram acidentes com origens em fundações, na França, no período de 1950 a 1972, aponta como causas desses acidentes [5]:

Nas fundações superficiais:

- 25% das fundações feitas sobre aterros insuficientemente compactados (recente);
- 20% por aparecimento intempestivo de água.

Nas fundações profundas:

- 40% por falta de reconhecimento geotécnico;
- 35% por má interpretação das sondagens ou mau conhecimento das leis da mecânica dos solos;
- 15% por defeito de execução;
- 10% por agressividade do meio, sendo esses o apodrecimento de madeiras ao nível da formação submersa, corrosão provocada por a água ou por se estar em contacto com ambientes agressivos.

Apesar destes dados serem referentes a obras de fundações, julgamos importante estabelecer um paralelismo evidente com a execução de escavações com contenção periférica, nas quais também as características e comportamento do solo são determinantes para as condições de execução dos trabalhos, nomeadamente na garantia da segurança de pessoas e bens. Conforme se verifica, no caso das fundações profundas, a maioria dos acidentes têm origem na falta de reconhecimento geotécnico.

Outra das condicionantes ligada diretamente à escolha de uma adequada contenção periférica é a envolvente da zona de construção, como abordarei mais à frente, neste trabalho. Este facto tem particular interesse em ser referido nesta parte, pois as construções que se encontram nas proximidades da obra também estão sujeitas a semelhantes condições de comportamento como resultado de estarem implantadas no mesmo tipo de solo. Podem assim ocorrer assentamentos diferenciais nessas construções adjacentes, identificáveis pela manifestação de fissuras que em casos extremos provocam o colapso dos edifícios.



Sendo assim, é essencial realizar um projecto da contenção periférica, baseado em estudo geotécnico, no qual se identifique a solução construtiva proposta e as condições a cumprir na sua execução.

Existem quatro tipos diferentes de contenção, sendo elas as paredes moldadas, as paredes tipo Berlim, as cortinas de estacas-prancha e as cortinas de estacas moldadas. Cada tipo de contenção tem diferentes características, variando essencialmente no processo construtivo utilizado para a construção da mesma. Convém também fazer referência à importância que as ancoragens e os escoramentos têm em algumas soluções de contenção, pois estas vão contribuir em grande parte para que se garanta a estabilidade da contenção, tornando assim, a escavação mais segura do ponto de vista da segurança das pessoas e dos equipamentos intervenientes nesta fase da obra. Estes assuntos serão tratados com maior pormenor mais à frente neste trabalho.





### 3. Trabalhos e Estudos Preliminares

No caso das contenções periféricas de solos, tem de se ter em conta os seguintes passos:

- Prospecção Geológico-Geotécnica, que corresponde a um conjunto de actividades com vista a constatar o tipo, a constituição, a caracterização mecânica e outras propriedades do solo e do subsolo dos locais de interesse;
- Levantamento dos tipos de métodos construtivos existentes no mercado e estudo das suas restrições técnicas;
- Verificação do tipo e níveis de fundações dos edifícios vizinhos, caso esses existam;
- Análise do espaço e acessos disponíveis para o estaleiro;
- Estudo da envolvente, incluindo a afectação de trânsito e serviços existentes durante o período de duração da obra;
- Estudo económico, com análise de todas as opções viáveis para o projecto tendo como base o limite financeiro estipulado pelo dono de obra;
- Planeamento da obra, fazendo a compatibilização dos prazos parciais dos métodos tecnicamente possíveis, com os prazos finais de projecto e do dono de obra.

#### 3.1 Reconhecimento Geotécnico

O reconhecimento geotécnico poderá abranger, tendo em conta o fim para que é executado o estudo, uma grande quantidade de elementos informativos do terreno, sendo os mais importantes os seguintes factores:

- Características topográficas gerais do local;
- Levantamento das estruturas vizinhas quanto ao tipo de construção e anotações exaustivas de eventuais danos nos mesmos;
- Nível freático no subsolo, sendo possível recolher esses dados através da criação de poços ou escavações, de forma sazonal de preferência;
- Ocorrência de afloramentos rochosos;
- Colheita de amostras representativas e levantamento fotográfico.

Outra fonte útil de informação para se dar início aos trabalhos é a documentação oficial da zonas onde se vai implantar a obra, incidindo sobre:



- Cartas topográficas, geológicas, sísmicas e de solos;
- Relatórios e artigos relacionados com a prospecção e geologia dos locais e suas vizinhanças;
- Registos hidrológicos;
- Fotografias aéreas;
- Casos históricos.

Um facto importante a realçar é o critério técnico, ou seja, de qualidade e segurança na execução, que tem de ser sempre satisfeito, tendo portanto, maior peso na tomada de decisões do que o critério económico e o critério temporal, sendo este o ponto de vista do engenheiro. No caso do dono de obra, os critérios mais importantes são o critério económico e o critério temporal, pois ele pressupõe que o critério técnico é assegurado. Como porém, a única satisfação dos requisitos técnicos não é suficiente, torna-se necessário estabelecer um equilíbrio entre três factores, embora se saiba que nem sempre é possível a obtenção desse equilíbrio. Cabe ao engenheiro civil estabelecer o equilíbrio entre qualidade, custo e prazo, como se pode observar através da Figura 1.



Fonte: Adaptado de (1)

**Figura 1 - Missão do engenheiro**

Neste tipo de obra, é necessário efectuar um exaustivo reconhecimento geotécnico, pois caso esse reconhecimento seja insuficiente ou inexistente, com o objectivo de minimizar os custos finais da obra, pode favorecer a ocorrência de acidentes com estragos materiais e mesmo perdas de vida. É por isso, importante a realização destes mesmos estudos preliminares.



## 3.2 Prospecção Geotécnica

A realização dos trabalhos de prospecção e posteriormente a interpretação dos resultados nela obtidos são geralmente feitos por empresas que se dedicam a trabalhos nesta especialidade. Essas empresas orientam-se pela normalização existente para a prospecção geotécnica. Esse conjunto de actividades que as empresas realizam aquando da elaboração desse estudo tem como finalidade a elaboração de perfis geológicos de terreno, onde estão presentes informações sobre os materiais que constituem o solo, as propriedades físicas do mesmo, níveis freáticos, percolações, entre outros.

A realização dos projectos geotécnicos tem como principal base para a sua execução, ensaios de campo e laboratoriais, cujos custos relativos ao valor da obra encontra-se entre 0,5 a 1% do valor da obra, que se diluirão posteriormente na sua execução com maior eficácia.

### 3.2.1 Disposição e profundidade de prospecção

Para a realização da prospecção geotécnica há que ter em conta alguns parâmetros que permitam que a realização da prospecção seja mais adequada à obra que se pretende implantar no terreno. Para tal, é necessário seguir alguns critérios para a realização das prospecções, estando esses definidos nos termos das Especificações LNEC, E217-1986.

No que diz respeito ao espaçamento e disposição das sondagens, devem ser de tal forma que permitam identificar as alterações importantes nas formações em estudo, podendo ser essas a espessura, a profundidade, a estrutura e as propriedades dessas mesmas formações.

Quanto ao número de operações de prospecção, estas dependerão das dimensões e natureza da estrutura que se pretenda implantar, das características do terreno e da existência ou não de um registo geológico adequado.

O plano de trabalho das operações de prospecção deve ser flexível e permitir uma adaptação à medida que são recolhidas informações das sondagens. Este facto prende-se com a dificuldade em dar indicações definitivas sobre o que se deve executar em toda a prospecção.



A profundidade das prospecções terá de ser tal que permita obter respostas às dúvidas levantadas no reconhecimento geotécnico, dúvidas que possam condicionar significativamente o comportamento da obra.

Na realidade o que se pretende é elaborar cortes geológicos ortogonais sempre ou de preferência no sentido dos pontos cardeais N-S e E-O.

### 3.2.2 Ensaios de Prospecção

É a partir dos ensaios de prospecção que se obtém, normalmente, uma informação mais concreta do estado e do tipo do terreno, servindo essa informação para fazer um correcto dimensionamento e posteriormente uma correcta execução da contenção. A informação que normalmente é fornecida pelos ensaios de prospecção, é importante em diversos aspectos para a execução de obras de contenção periférica, pois permite identificar sobretudo:

- Profundidade e espessura das formações interessadas;
- Propriedades físicas e sua quantificação;
- Presença da água, respectivos níveis e subpressões.

Na prospecção geotécnica, para efeitos de dimensionamento os ensaios são utilizados para determinar as seguintes propriedades do solo:

- Natureza mineralógica, granulometria, consistência e seus limites;
- Coesão;
- Ângulo de atrito interno;
- Módulo de deformabilidade do terreno;
- Resistência ao corte.

Sendo estes três últimos obtidos através de correlações.

Os ensaios que são mais utilizados para a realização deste tipo de estudo e posteriormente a classificação do solo são os seguintes:

- Penetrómetro dinâmico leve (DPL)(*Dynamic penetration light*) e Penetrómetro dinâmico pesado (DPH)( *Dynamic penetration heavy*);
- Penetrómetro dinâmico normalizado (SPT) (*Standard penetration test*);



- Penetrómetro estático (CPT) (*Cone penetration test*) e CPTU;
- Molinete de corte rotativo (*Vane-test*);
- Pressiómetro.

No entanto, o ensaio que é mais utilizado é o ensaio do penetrómetro dinâmico normalizado (SPT) e é através deste que se procederá à classificação dos solos neste trabalho. Sendo assim, este será o ensaio que se descreverá com mais pormenor.

### 3.2.2.1 Penetrómetro dinâmico leve (DPL)

O ensaio do penetrómetro dinâmico leve, representado na Figura 2, consiste na cravação de um cone no terreno a ensaiar. Essa ponteira, de dimensões e peso normalizados, é ligada a uma haste de varas. A cravação do cone é realizada através da aplicação de pancadas provocadas por um sistema automático de elevação e queda de um pilão, cuja altura é normalizada e corresponde a 0,50 m. Os dados que são registados neste ensaio são as pancadas que é necessário efectuar pelo pilão para que o cone tenha uma penetração de 10cm no terreno [5].

Para a realização deste ensaio não é necessário efectuar abertura de furo para se fazer a sondagem, permite obter informações quase em contínuo.

Este tipo de ensaio não pode ser realizado em terrenos compactos, pois nestes tipos de terreno o equipamento utilizado não é capaz de aplicar a energia necessária para efectuar a cravação do cone.

As dimensões do Penetrómetro que são mais utilizadas em Portugal são as seguintes:

- Diâmetro do cone = 30mm;
- Diâmetro das varas = 22mm;
- Massa do cone + guião do pilão + esfera =  $0,275+2,055+0,74 = 3,07\text{kg}$ ;
- Massa de cada elemento de vara de 1m = 2,97kg;
- Massa do pilão = 10kg;
- Cadência = 30 pancadas por minuto.



Fonte: (2)

**Figura 2 - Penetrómetro dinâmico leve**

### **3.2.2.2 Penetrómetro dinâmico normalizado (SPT)**

O ensaio do penetrómetro dinâmico normalizado, representado na Figura 3, tem como principal utilização a determinação das propriedades mecânicas dos solos arenosos, mas também pode ser aplicado noutros tipos de solo. É um ensaio expedito e pouco dispendioso, sendo por isso o ensaio que é mais utilizado na prática de prospecção geotécnica.

Este ensaio tem como objectivo determinar o ângulo de atrito interno do terreno a estudar a coesão desse mesmo terreno.

Este ensaio consiste na realização de um furo de sondagem até à profundidade a que se pretende fazer a recolha de dados. Este furo é efectuado através de equipamentos normais de furação. Em seguida é cravado um amostrador com as medidas normalizadas, através da energia que um pilão com 63,6kg de massa vai produzir numa queda livre de 76,2cm de altura. Este ensaio é dividido em duas partes, a primeira com uma cravação de 15cm e a segunda com uma penetração de 30cm. Na primeira parte, o número de pancadas é desprezado para o resultado do ensaio, devido às perturbações que são provocadas no terreno pelos trabalhos de furação. Na segunda parte e esta a mais importante do ensaio, regista-se o número de pancadas necessárias para efectuar a cravação do amostrador em 30cm, definindo, assim, o valor de  $N(SPT)$ . Estas penetrações começam a ser medidas a partir do fundo do furo de sondagem.



Fonte: (3)

**Figura 3 - Penetrómetro dinâmico normalizado**

Este ensaio tem um tipo de equipamento que combina diversas características que outros tipos de ensaio in-situ não conseguem combinar, sendo elas:

- Equipamento simples e robusto;
- Facilidade de operação e testes frequentes;
- Recolha de amostras, embora perturbadas;
- Utilização em quase todos os solos e rochas muito brandas;
- Utilização acima ou abaixo do nível freático.

A utilização deste tipo de ensaio também tem as suas limitações, pois só deve ser considerado válido quando realizado em terrenos não perturbados pela abertura do furo de sondagem, mas existem terrenos onde isso é quase impossível de se conseguir, como o caso de areias com nível freático muito alto, pois o solo nesta situação vai ter tendência para refluir para o interior do furo de sondagem; portanto, é de esperar que os resultados obtidos em solo incoerente forneçam resultados algo duvidosos, apesar de serem utilizados tubo de revestimento. Outro factor que é necessário também ter em conta é a energia da pancada que se transmite ao longo das varas, visto que esta energia está a ser absorvida em parte pelo percursor, mas também se dissipa, tanto mais quanto maior for o comprimento das varas. Também tem de se ter em conta a rigidez das varas, pois esta afecta a resistência à penetração, pois no caso de barras muito esbeltas, estas



varejam sob a acção dos golpes, podendo-se corrigir estes valores através de factores correctivos [5].

### 3.2.2.3 Penetrómetro estático (CPT)

O ensaio do penetrómetro estático, representado na Figura 4, consiste na cravação no terreno de uma ponteira cónica, com um ângulo de abertura de  $60^\circ$  a uma velocidade constante de 20mm/s, tendo a secção transversal do cone uma área de  $10\text{cm}^2$ . Este ensaio permite medir a resistência de ponta e a resistência lateral que o terreno vai exercer na ponteira cónica.

A metodologia do ensaio consiste na cravação de uma vara, na vertical, à profundidade desejada com o cone de ensaio devidamente preso na ponta da vara, fazendo-se de seguida a perfuração do solo através do cone, sendo esta provocada por um sistema de pressão de ar. Por fim, regista-se as características do solo que este ensaio permite medir, que são a resistência de ponta e lateral.

É através das resistências de ponta e lateral que se pode determinar o grau de compactidade relativo das areias e a coesão com bastante precisão.

Como todos os ensaios, este também possui limitações, pois não permite a recolha de amostras de solo, a cravação tem de ser feita na vertical, é um ensaio “cego”, pois não se sabe se a cravação está a ser feita verticalmente. O ensaio dá-se como terminado quando for encontrado material muito resistente; portanto, pode-se concluir que a utilização deste ensaio não é possível em qualquer tipo de solo, dado que apenas permite estudar solos todos os solos com pouca ou média resistência.



Fonte: (4)

**Figura 4 - Penetrómetro estático**



#### 3.2.2.4 Molinete de corte rotativo

O ensaio de molinete de corte rotativo, representado na Figura 5, consiste na cravação no solo de um molinete constituído por duas lâminas de aço ortogonais e solidárias à haste metálica que se prolongam até à superfície. A cravação das lâminas no solo é efectuada através da aplicação de um momento de torção, sendo este necessário para que ocorra ruptura do solo em torno do molinete. Este tipo de ensaio permite determinar a resistência não drenada de solos muito finos.



Fonte: (17)

**Figura 5 - Molinete de corte rotativo**

#### 3.2.2.5 Pressiómetro

O ensaio do Pressiómetro, representado na Figura 6, consiste na introdução de uma sonda de medição num furo previamente aberto para a realização do ensaio. A sonda de medição tem a forma de um cilindro, sendo constituída nas duas extremidades, por células rígidas e na zona central por uma célula de pressão.

Depois do devido posicionamento do aparelho, procede-se ao ensaio do solo, que consiste em insuflar a célula de pressão da zona central da sonda de medição.



Fonte: (5)

**Figura 6 - Pressiómetro**

### 3.2.3 Classificação do solo

Portanto, após se proceder à normalização dos valores obtidos no ensaio e de acordo com a especificação LNEC E219 “Prospecção geotécnica de terrenos – Vocabulário”, é possível classificar o solo como incoerente quanto à sua compactidade relativa (Tabela 1) e como coerente quanto à sua consistência e resistência (Tabela 2).

**Tabela 1 - Classificação de solos incoerentes quanto à compactidade relativa [LNEC E219]**

Ensaio de penetração SPT	Classificação do Solo				
	Muito Solto	Solto	Mediamente Compacto	Compacto	Muito Compacto
Nº de Pancadas	0 - 4	4 - 10	10 - 30	30 - 50	>50

**Tabela 2 - Classificação de solos coerentes quanto à consistência [LNEC E219]**

Ensaio de penetração SPT	Classificação do Solo					
	Muito Mole	Mole	Consistência Média	Duro	Muito Duro	Rijo
Nº de Pancadas	0 - 2	2 - 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30	>30
Tensão de Rotura Kg/cm <sup>2</sup>	0 - 0,25	0,25 - 0,50	0,50 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 4,00	>4,00

Para que o conhecimento da cota do nível freático seja o que se vai encontrar quando se executar a obra, é desejável que a prospecção seja feita em diferentes períodos do ano,



de forma a que se saiba a variação do nível freático ao longo do tempo, de forma a evitar alterações do nível freático com as chuvas que possam vir a comprometer a segurança da escavação.

### 3.3 Estudo da envolvente

Antes de se proceder à escolha de um determinado tipo de contenção periférica, deve-se fazer o levantamento de todas as condicionantes que a envolvente à obra possa revelar.

A execução de contenções periféricas em meio urbano são, normalmente, as que apresentam maior número de condicionamentos relativos à envolvente da obra, nomeadamente as seguintes:

- Acessos à obra;
- Existência de edificações junto ao local;
- Espaço disponível para estaleiro da obra.

A escolha de uma contenção periférica prende-se com a utilização de determinados equipamentos para a execução da mesma. Existem contenções onde os equipamentos utilizados são de grande porte e outras onde os equipamentos têm pequeno porte, por isso é importante fazer o estudo dos acessos à obra, pois estes influenciam em muito a escolha da contenção periférica. Se os acessos tiverem pouca capacidade resistente para as acções provocadas pelos equipamentos e forem de dimensões que não permitam a passagem dos equipamentos de grande porte, a escolha de contenção na qual o método construtivo seja baseado nesses mesmos equipamentos vai estar fora de questão.

Outra condicionante que se prende com os equipamentos é o espaço existente em estaleiro, pois existem tipos de contenção que necessitam de muito espaço em estaleiro, para as manobras e posicionamento dos equipamentos. Exemplos disso são as gruas utilizadas nas paredes moldadas, os equipamentos de produção e reciclagem das lamas bentoníticas, as áreas que se tem de ter em estaleiro para a armação das armaduras, entre outras situações.

A existência de edifícios ou outro tipo de construções na periferia da zona da obra prende-se com os equipamentos a utilizar para determinadas contenções, pois se existirem edifícios na periferia da obra e se fizer a escolha de uma contenção onde os



equipamentos a utilizar sejam muito pesados e produzam ruídos e vibrações no solo, ocorrendo estes sobretudo na cravação de estacas-prancha, quando esta se realiza por percussão ou vibração. Se se pretender realizar estes trabalhos sem vibrações nem ruídos, deve-se recorrer a equipamentos de cravação de estacas por prensagem, sendo esta realizada por macacos hidráulicas que exercem pressão na cabeça da estaca.



## 4. Técnicas de Melhoramento de Solo

Na actualidade, a existência de um grande número de técnicas de melhoramento dos solos permite que se possa executar estruturas em meios que não são considerados aptos para a realização deste tipo de projecto.

Assim, e com o objectivo de melhorar as propriedades do terreno, nomeadamente, a sua deformabilidade, resistência ao corte e permeabilidade, de forma a favorecer a utilização de contenções periféricas, que antes desse tratamento não era possível de serem utilizadas, podemos usar as técnicas de melhoramento do terreno *in situ*, sendo algumas delas as seguintes:

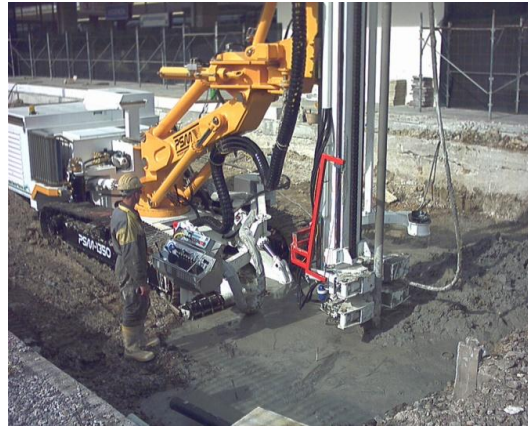
- Tratamentos por injeções de caldas de cimento;
- Tratamentos térmicos;
- Tratamentos por vibroflutuação.

No entanto, as técnicas mais utilizadas para o melhoramento do terreno são a de tratamento por injeções de caldas de cimento, sendo elas as seguintes:

- *Jet Grouting*;
- *Deep Mixing*.

### 4.1 Jet Grouting

O *Jet Grouting* é uma técnica de tratamento *in situ*, tendo como finalidade a melhoria dos solos. Esta técnica é executada directamente no interior dos terrenos, não sendo para isso necessário efectuar escavação prévia. À superfície realiza-se um furo de pequeno diâmetro, que serve para a introdução de uma vara, através da qual se irá conduzir a calda de cimento que será aplicada no terreno, através de jactos horizontais a grande velocidade, jactos na ordem dos 200-250 m/s. Estas velocidades a que a calda é aplicada provocam a degradação da matriz sólida inicial do terreno; este facto deve-se à elevada energia cinética que a calda possui e ao entrar em contacto com o solo provoca essa degradação. Este processo origina uma mistura entre as partículas sólidas do terreno e a calda de cimento injectada, provocando assim o melhoramento do solo. Pode ver-se na Figura 7, a execução de uma coluna deste tipo [3].



Fonte: (14)

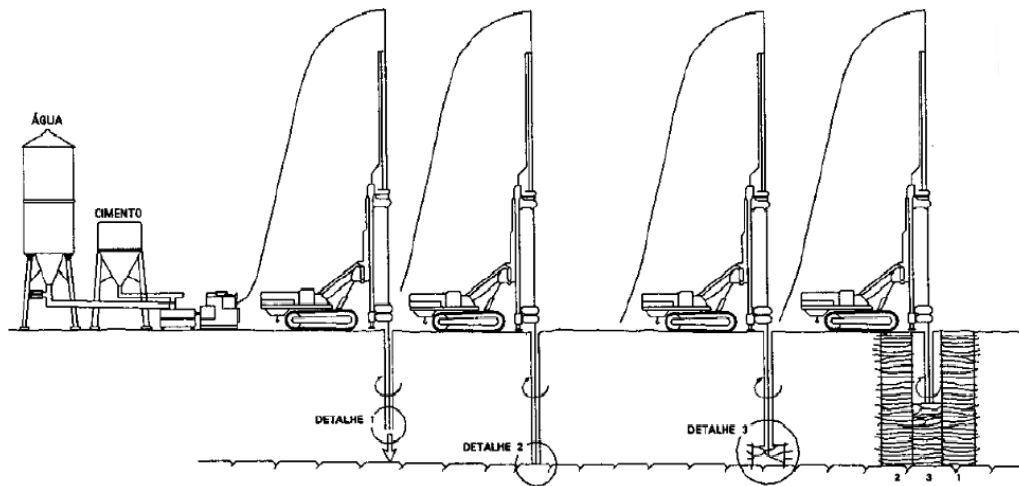
**Figura 7 - Execução de coluna de Jet Grouting**

Podemos identificar várias fases do solo, ao longo da execução da coluna de *Jet Grouting*, sendo as principais as três que são apresentadas de seguida. A primeira fase surge quando a disposição que o terreno possui inicialmente é alterada devido à pressão que a calda de cimento exerce, formando-se, assim, uma configuração estrutural (**Corte**). Na segunda fase, e quase em simultâneo com o que foi referido na fase anterior, ocorre a substituição parcial das partículas do terreno e dá origem a uma mistura entre o solo e a calda de cimento (**Substituição parcial e Mistura**). Após todo este processo e com a secagem da calda, dá-se uma maior junção das partículas sólidas, dando assim origem a uma estrutura solo-cimento compacta (**Cimentação**).

#### **4.1.1 Equipamento**

O equipamento necessário à execução da técnica de *Jet Grouting* é o seguinte (Figura 8):

- Central de calda de cimento;
- Bomba de alta pressão;
- Compressor (apenas em alguns sistemas de *Jet Grouting*);
- Sonda hidráulica, com torre;
- Varas de *Jet Grouting*, com função de furação e tratamento;
- Mangueiras flexíveis, que fazem a ligação entre as varas e a bomba de alta pressão.



Fonte: Borrego Aldeias, (2011)

Figura 8 - Diagrama esquemático da técnica de melhoria de solos - *Jet Grouting*

#### 4.1.2 Processo Construtivo

A metodologia para a realização de colunas de *Jet Grouting* é a seguinte:

- 1) Coloca-se o equipamento de furação na posição desejada, fazendo-se a verificação da verticalidade da vara se for caso disso. Na maioria dos casos, o eixo da vara coincide com o eixo da coluna, mas tal caso pode não acontecer, dependendo isso das condicionantes e das soluções adoptadas em obra;
- 2) Fura-se o terreno através de um movimento rotacional da vara, sendo este auxiliado por um jacto de água vertical, que tem como função destruir a matriz sólida do solo de forma a facilitar a escavação da frente de ataque. Este passo só termina quando se atinge a profundidade que se pretende para o tratamento, estando esta definida previamente em projecto;
- 3) Quando se termina a furação, dá-se início ao percurso ascendente da vara, depois de se obturar através de uma válvula o furo de saída de água. Ao mesmo tempo que se retira a vara, vai-se introduzindo a calda de cimento a alta pressão, como referido anteriormente;
- 4) Consoante a forma que se desejar para a coluna de *Jet Grouting* assim se deverá fazer subir a vara, por exemplo se se desejar uma coluna de secção circular (Figura 9),



tem que se aplicar um movimento rotacional constante à vara, de forma a que a calda de cimento libertada se espalhe radialmente de forma uniforme;

5) Após a conclusão da coluna, procede-se a extracção da vara do furo, fazendo o preenchimento do espaço vazio com calda, apenas recorrendo à gravidade;

6) Caso em projecto esteja referido a colocação de perfis metálicos, deve-se proceder à sua introdução antes que a mistura comece a fazer presa. A função que estes terão é de resistirem aos momentos flectores que irão resultar dos impulsos de terra, pois a mistura solo-cimento possui uma baixa resistência à flexão, tal como o betão.



Fonte: (15)

**Figura 9 - Coluna de secção circular de solo-cimento**

Em caso de se pretender uma secção aproximadamente rectangular, realiza-se exactamente o mesmo processo, mas no passo 4), não se retira a vara com um movimento rotacional, fazendo assim que esta esteja sempre a aplicar a calda de cimento sempre na mesma direcção.

### **4.1.3 Campo de Aplicação**

Este tipo de técnica tem vindo a ganhar relevo à medida que tem aumentado a densificação urbana, pois sendo aplicada correctamente, não provoca grandes perturbações nos terrenos vizinhos, sendo portanto, uma excelente solução de



melhoramento de solos em obras de contenções condicionadas pro diversos factores urbanos.

O facto de existirem no mercado equipamentos para a execução de colunas de Jet Grouting de pequenas dimensões, faz com que esta técnica obtenha uma grande vantagem de se poder usar, pois, pode, por exemplo, ser utilizada dentro de uma cave de um edifício para efectuar o melhoramento do solo de fundação do mesmo, como a Figura 10 o documenta.



Fonte: (16)

**Figura 10 - Execução de colunas de *Jet Grouting* no interior de um edifício**

Como este trabalho se prende com a realização de escavações e de contenções periféricas apresenta-se, de seguida, algumas das aplicações deste método:

- Construção de tampões de fundo para colaborar na impermeabilização da escavação e/ou de fazer o contraventamento inferior da estrutura de contenção, estando estes devidamente ligados a uma camada competente de solo de fundação, através de pregagens ou microestacas;
- Paredes de contenção laterais, podendo também servir de cortinas estanques à água, sendo usadas, por exemplo, em conjunto com uma cortina de estacas espaçadas. Neste caso, as colunas de *Jet Grouting* realizadas depois das estacas moldadas, entre estas e o terreno, para que sejam devidamente travadas;



- Reforço de cortinas de descontinuidade, prevenindo assim a passagem de água para o interior da zona da escavação;

- Realização de cortinas de impermeabilização para terrenos que contêm blocos ou obstáculos de grandes dimensões, ou com camadas alternadas de solos argilosos com solos arenosos.

Sendo assim, pode-se afirmar que o campo de aplicação das colunas de *Jet Grouting* é muito extenso.

## 4.2 Deep Mixing

Tal como o *Jet Grouting*, o *Deep Mixing* também é uma técnica de melhoramento de solos *in situ*, consistindo na realização de uma mistura de solo-cimento com recurso a ferramentas de agitação de eixo vertical (*Deep Soil Mixing*, DSM) ou horizontal (*Cutter Soil Mixing*, CSM). A utilização desta técnica faz aumentar a capacidade de carga dos terrenos de fundação e torna-se uma estrutura muito pouco permeável à água, podendo esta servir como contenção periférica em escavações, onde ocorra a intercepção do nível freático. Esta técnica, e por aquilo que foi dito, pode ser considerada uma variante mecânica do *Jet Grouting*.

### 4.2.1 Métodos/Vias

O tratamento dos solos recorrendo ao *Deep Mixing* pode ser realizado através de duas vias distintas:

- ✓ Método húmido (*wet deep mixing*);
- ✓ Método seco (*dry deep mixing*).

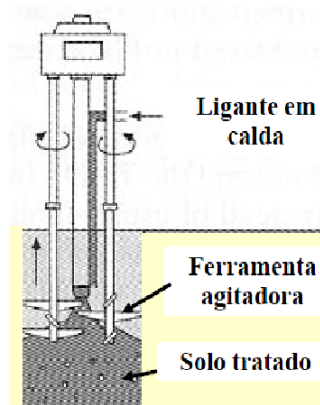
#### Método húmido

Nesta situação, o ligante em calda é transportado, sendo, posteriormente, libertado na zona de acção das pás agitadoras, como mostra a Figura 11. A realização deste processo é feita sob o efeito de baixas pressões. O ligante, neste método, é composto essencialmente por cimento.



Pode-se equacionar o uso da bentonite (explicada mais à frente neste trabalho), tendo como finalidade melhorar as características reológicas e a estabilidade da mistura.

Quando o factor resistência não é um parâmetro determinante, pode ser útil a utilização de misturas compostas por cinzas, gesso e cimento.



Fonte: Borrego Aldeias, (2011)

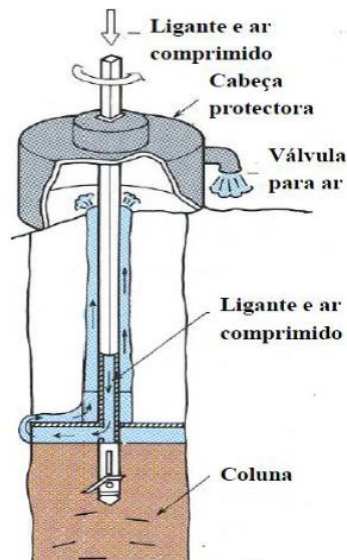
Figura 11 - Esquema ilustrativo do funcionamento do método húmido

### Método Seco

Neste método, por um tubo vai descer um composto, constituído por ligante e ar comprimido. O composto é conduzido até à zona de acção das pás e é libertado.

O ar, após entrar em contacto com o solo, tem tendência a subir pelo espaço vazio entre a parede do furo e a vara de cravação, formando, assim, um ciclo.

Para se controlar a pressão do ar no interior do terreno, deve colocar-se à boca do furo a cabeça protectora, sendo o fluxo de saída de ar controlado através de uma pequena válvula, como estão representados na Figura 12.



Fonte: Borrego Aldeias, (2011)

Figura 12 - Esquema ilustrativo do funcionamento do método seco

Geralmente, neste método, o ligante é constituído por cimento e/ou cal. Nos últimos anos (depois dos anos 80) tem-se dado preferência a uma composição cal-cimento, em vez de serem colocados em separado. Tal facto confere uma maior resistência à estrutura final, ao contrário das colunas de cal, sendo utilizados principalmente com função drenante.

#### 4.2.2 Processo Construtivo

O processo construtivo deste tipo de técnica é bastante simples e não necessita de muitos operários para a sua realização, sendo necessários os seguintes:

- Um operário para fazer o controlo do equipamento de *Deep Mixing*;
- Um responsável por a central de produção e abastecimento de calda de cimento;
- Um manobrador com uma escavadora ligeira para se abrir a escavação guia e dar algum apoio ao longo do processo.

Sendo assim, e após realizarem-se todas as rotinas e vistorias preparatórias, identificam-se os seguintes passos principais:

1 – Abertura de uma vala de guiamento e de uma fossa adjacente, para receber o refluxo gerado por a introdução de calda de cimento no solo.



2 – Posicionamento correcto do equipamento.

3 – Início da penetração das pás no terreno com a respectiva libertação de calda de cimento, sendo libertada durante a descida 2/3 da calda.

No DSM, deverá fazer-se uma descida do equipamento a uma velocidade e rotação constantes, para que a coluna solo-cimento fique, o mais possível, simétrica relativamente ao eixo da vara.

No caso do CSM, as rodas giram “para fora”, podendo ser libertada uma calda auxiliar, para a preparação do terreno, tendo esta baixo teor de cimento. Esta calda só é aplicada caso seja estipulada em projecto.

Relativamente à velocidade a que o equipamento deverá efectuar o corte, nunca deverá ser superior a 50 cm/minuto. Esta restrição não é imposta pelos equipamentos, mas sim por uma velocidade estipulada de forma a garantir a homogeneidade da mistura de solo com a calda de cimento.

Os fluidos circulam sempre a baixas pressões, poucas vezes superiores a 12 *bar*, mas tais pressões são necessárias para ajudar a vencer a altura da máquina.

4 – O processo de descida acaba quando se chega à profundidade limite para o tratamento.

5 – Após terminada a fase de descida, dá-se início à subida até que se atinja a boca do furo, ao longo da qual é libertada 1/3 da calda total.

No caso do DSM, o movimento de rotação das pás pode ser invertido ou não, enquanto que no caso do CSM, tem que se inverter sempre o sentido de rotação das pás. Caso se tenha colocado uma calda auxiliar durante a descida, deve-se aplicar uma calda mais rica em cimento.

6 – Quando o equipamento chega à superfície, este é retirado devidamente e o painel é dado como concluído, podendo-se iniciar, de imediato, um novo ciclo, ou seja, outro painel noutra zona.



### 4.2.3 Campo de aplicação

Para além das mesmas aplicações do *Jet Grouting*, esta técnica permite realizar trabalhos em solos finos (argilas). Isso deve-se ao facto de a formação da mistura solo-cimento no *Deep Mixing* ser obtida através de movimentos mecânicos de pás, em simultâneo com a libertação da calda de cimento na ponta das pás, podendo esta libertação ocorrer com ou sem pressão. Desta forma, o método não fica dependente das dificuldades que o solo demonstra, quando é atravessado pelo ligante em pressão, sendo este facto muito condicionante no caso de solos argilosos, o que torna o método do *Jet Grouting* pouco aconselhável nestes tipos de condições do terreno.



## 5. Elementos Auxiliares às Contenções

Normalmente, com a construção de contenções periféricas, fica subentendido que, conjuntamente com este tipo de construções, são executadas elementos auxiliares, com o objectivo de absorver os impulsos exercidos pelos solos. Esses elementos são, nomeadamente, os escoramentos, as ancoragens e os anéis de lajes.

### 5.1 Escoramentos

Os escoramentos (Figura 13), são, normalmente, estruturas de carácter provisório, removidas quando a estrutura escorada tiver capacidade suficiente para se auto-sustentar.

São constituídas por um conjunto de peças que se conectam entre si, e posteriormente desmontáveis. São elementos de madeira, metálicos ou de betão, de forma a terem as seguintes funções:

- Direccionamento/Absorção das tensões do terreno a conter, do peso da própria estrutura e de cargas resultantes dos equipamentos, durante as fases da obra;
- Apoio provisório para os materiais, equipamentos ou peças estruturais;
- Controlo de deformações.

Em certos casos, particularmente em situações em que o controlo dos movimentos de solos nos terrenos circundantes seja mais exigente, ou seja, quando existem edifícios muito próximos da zona da obra e que poderão vir a ser afectados com esses movimentos, recorre-se a escoramentos pré-esforçados.

Em geral, é uma solução mais económica, relativamente à solução das ancoragens. É preferencialmente escolhida para sustentar estruturas em cantos ou entre paredes opostas muito próximas.



Fonte: (6)

**Figura 13 - Representação de um escoramento de uma contenção**

## **5.2 Ancoragens**

Ao contrário dos escoramentos, as ancoragens, representadas na Figura 14, são estruturas que têm carácter provisório ou carácter definitivo. Considera-se que uma ancoragem tem carácter definitivo quando esta é projectada para ter uma vida útil superior a dois anos, tendo, por isso maiores exigências relativamente às ancoragens provisórias. Essas exigências constituem um tratamento anti-corrosão adequado, a instalação de equipamentos de instrumentação, como por exemplo para se fazerem verificações periódicas das cargas de serviço e bons acessos que permitam fazer o retensionamento e/ou substituição dos cabos que se encontram na ancoragem. Por outro lado, a ancoragem tem carácter provisório quando é projectada para períodos de vida útil inferiores a dois anos, portanto não é necessário ter tantos cuidados com os aspectos referidos anteriormente para as ancoragens definitivas.

A utilização de ancoragens, constitui, em muitos casos, uma solução ideal, pois estas têm um impacto positivo, quer no avanço dos trabalhos, quer na qualidade da construção. As ancoragens são utilizadas para diversas situações, por exemplo para o suporte de estruturas relativamente flexíveis verticais ou sub-verticais de contenção de solos, na estabilidade de taludes e na amarração de lajes de fundo.



Fonte: (18)

**Figura 14 – Aplicação de uma ancoragem numa contenção periférica**

A construção das ancoragens tem de ser um processo bem programado e realizado por profissionais experientes e qualificadas. O seu processo construtivo consiste na realização de um furo no terreno através de um trado contínuo ou por roto-percussão, através de varas, procedendo-se de seguida à colocação do cabo da ancoragem no furo realizado, fazendo-se de seguida a injeção de caldas de cimento para se fazer a selagem dos cabos da ancoragem, sendo também criado um bolbo de selagem no final da ancoragem. Por fim, faz-se o tensionamento dos cabos recorrendo-se a macacos hidráulicos.

Um dos aspectos importantes que se devem ter em conta no dimensionamento de ancoragens é o comprimento que esta deve ter, pois é importante que o bolbo de selagem seja efectuado fora da zona de rotura do solo que está a suportar.

### **5.3 Ancoragens vs Escoramentos**

Depois de estudados estes dois tipos de estruturas auxiliares às contenções periféricas convém fazer uma pequena comparação das ancoragens com os escoramentos, tendo por base de comparação as ancoragens, os escoramentos apresentam as seguintes vantagens:



- Não é necessário o uso do terreno pertencente às propriedades vizinhas;
- Equipamento e operadores especializados para a sua execução;
- O procedimento é bastante simples e rápido para pequenas escavações;
- É consideravelmente mais barato, na maioria das situações;
- É aplicável em solos argilosos.

As desvantagens são as seguintes:

- Condiciona substancialmente o acesso e a construção no local;
- Devido à folga que normalmente existe entre as escoras e a parede, surgem pequenos deslocamentos;
- O escoramento em escavações profundas torna-se mais complicado, sendo necessários procedimentos especiais, tais como o pré-esforço nas escoras.

Convém, também, lembrar que, em alguns casos, é utilizada uma solução que conjuga os dois tipos de estruturas auxiliares: os escoramentos para suportar os impulsos nos cantos das estruturas, e o uso de ancoragens no meio dos painéis das estruturas de contenção periférica, como representa a Figura 15.

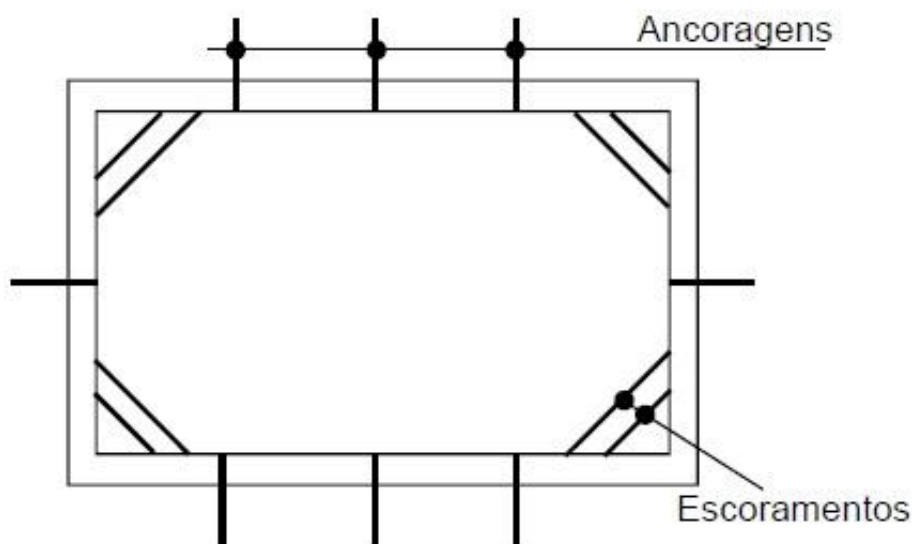


Figura 15 - Planta de ancoragens e escoramentos no suporte auxiliar de uma parede tipo Berlim



## 5.4 Anel de Laje

Se, por alguma razão, não se puder aplicar as ancoragens para efectuar o travamento da estrutura de contenção, devido às condicionantes exteriores impostas à obra, e no caso de o uso das escoras não ser a melhor solução, o sistema construtivo que é mais utilizado é o sistema conhecido por “Anéis de Laje”, que também pode ser designado por sistema *Top-Down* parcial.

Este sistema consiste na realização de anéis de laje em todo o perímetro da construção, sendo estes anéis realizados com as características da estrutura final e nas cotas pré-designadas no projecto para as lajes dos pisos enterrados. A finalidade que tem este método é a de fazer o contraventamento das paredes de contenção, de forma a substituir as funções que as ancoragens teriam, mas em grandes áreas estes não substituem as ancoragens.



Fonte: (13)

**Figura 16 – Anéis de Laje**

Tal como se pode observar na Figura 16, são deixados varões de espera em todos os níveis. Esses varões têm a finalidade de conferir a continuidade da armadura da laje, permitindo, assim, a ligação da armadura de toda a laje dos pisos enterrados.

A grande vantagem deste método é o facto de não ser necessário o uso de terrenos vizinhos para a realização das ancoragens da estrutura de contenção. Outro factor importante é o grande aproveitamento dos materiais, pois a estrutura anelar, apesar de



fazer parte da estrutura de contraventamento, também irá fazer parte da laje definitiva dos pisos subterrâneos.

Mas como em todos os métodos, também tem desvantagens inerentes, sendo neste caso o factor prazo, pois a execução deste tipo de método é um pouco mais demorada, condicionando assim os trabalhos de escavações.

Sendo assim, poderá dizer-se que o sistema Top-Down parcial é um método a ter em conta quando a obra tem muitas condicionantes externas, sendo esses casos muito frequentes em obras de contenções em zonas urbanas.



## 6. Tipos de contenções periféricas

As contenções periféricas, como referido anteriormente neste trabalho, têm a função de suportar os impulsos dos solos quando se estão a executar trabalhos de escavação, garantindo assim a segurança, tanto dos trabalhadores como dos equipamentos. Para isso recorre-se a quatro tipos distintos de contenção, diferindo estes principalmente no processo construtivo:

- Paredes Moldadas;
- Paredes tipo Berlim;
- Cortinas de Estacas-prancha;
- Cortinas de Estacas Moldadas.

### 6.1 Paredes Moldadas

As paredes moldadas são estruturas projectadas quase sempre com duas funções estruturais:

➤ Suportar os impulsos dos maciços laterais durante a escavação e após esta, integrarem definitivamente a própria estrutura.

A construção das paredes moldadas é realizada *in situ* e são constituídas por elementos de betão armado, que são executados em poços rectangulares verticais escavados no terreno. Estas estruturas são realizadas antes de se dar início à escavação do terreno, sendo esta iniciada depois da presa do betão.

Neste tipo de estrutura, durante o processo de avanço em profundidade da escavação usam-se ancoragens a vários níveis de forma a garantir a estabilidade das paredes da contenção.

Normalmente, associado à construção das paredes moldadas estão as lamas tixotrópicas, mais propriamente as lamas bentoníticas. Estas lamas são utilizadas entre a fase de escavação dos poços e da betonagem e o seu uso depende das características dos solos. No caso de solos moles estas lamas são introduzidas nos poços à medida que a escavação vai avançando, sendo retiradas no momento em que se faz a betonagem, pois o peso específico é muito inferior ao do betão e a betonagem é efectuada a partir do fundo do poço para o topo, de modo a evitar a contaminação do betão com as lamas.



Estas vão ser forçadas a emergir para a superfície, sendo recolhidas e filtradas para reutilização. Caso o solo apresente alguma consistência e não exista o risco de deslizamento para o interior do poço, pode-se dispensar o uso deste tipo de contenção interna com este fluído.

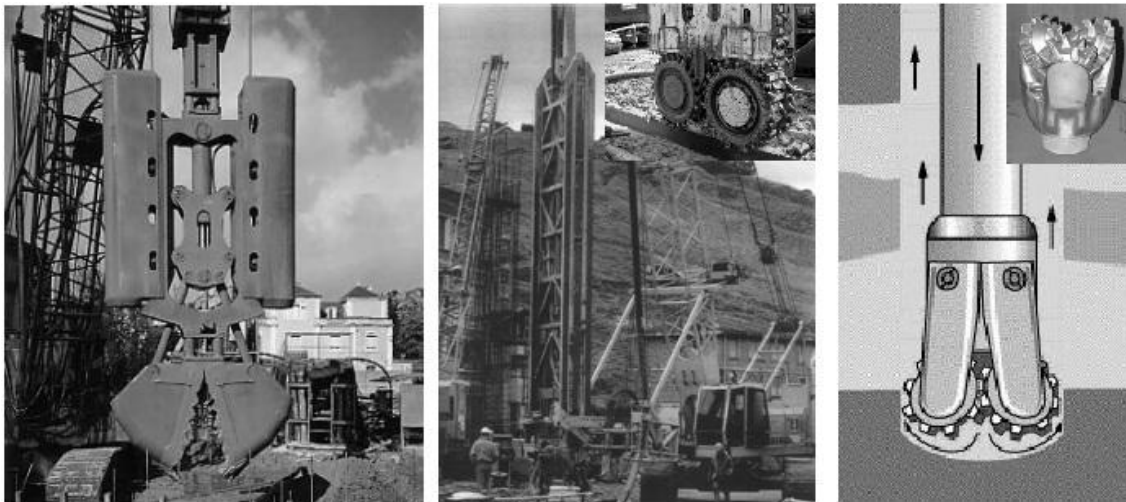
### **6.1.1 Campo de aplicação**

Geralmente, os projectos de contenção envolvendo a execução de paredes moldadas são frequentes em zonas urbanas, tendo especial atenção para os seguintes casos:

- Quando o terreno apresenta uma fraca coesão, associado a um nível freático elevado;
- Quando nos terrenos envolventes existirem construções demasiado sensíveis a quaisquer deformações, como por exemplo, as que constituem património histórico;
- Como são estruturas muito espessas, com mais de 40cm, e devido às características dos materiais que a compõem, são boas para fazer face à penetração da água para o interior da escavação.

### **6.1.2 Equipamentos**

Para a construção das paredes moldadas utilizam-se os equipamentos necessários em cada fase da sua construção; sendo assim, para a escavação dos poços, o que tem maior utilização é o balde de maxilas (Figura 17, à esquerda), estando este suspenso numa grua de rasto, mas este equipamento não funciona quando existem elementos rochosos no solo, sendo, então, necessário para esses casos recorrer-se ao trépano (Figura 17, à direita) para os destruir. Para desempenhar a mesma função, mas menos utilizado em Portugal, existe, também, a hidrofesa (Figura 17, ao centro) e as rodas de corte, trabalhando estas por rotação. De referir que os equipamentos para este tipo de escavação têm de ser pesados e robustos.



Fonte: (7)

**Figura 17 - Balde de maxilas (à esquerda), Hidrofesa (ao centro) e Trépano (à direita)**

Para a alimentação das lamas tixotrópicas para garantir que as paredes nos poços, existem equipamentos de fabrico e reciclagem das mesmas que normalmente são colocados em estaleiro. Conforme representado na Figura 18.



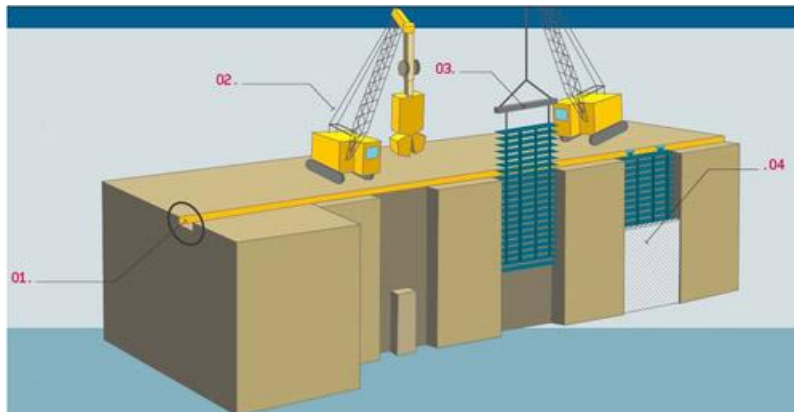
Fonte: Sousa, (2006)

**Figura 18 - Equipamento de produção de lamas tixotrópicas**

Para além destes equipamentos, também são utilizados guias de elevação, de torre ou móveis de rastros, camiões betoneiras, escavadoras giratórias, martelos pneumáticos, perfuradoras de rastros, para se realizarem as ancoragens, misturadoras e bombas de caldas, entre outros.

### 6.1.3 Processo construtivo

Apesar de saber-se, à partida, que a aplicação deste método varia conforme os condicionamentos que o terreno apresenta e que a existência de duas obras iguais é impossível, é apenas possível identificar um conjunto de passos que normalmente são sempre realizados, como demonstra o esquema apresentado na Figura 19.



- 1 – Muro-guia
- 2 – Escavação, com balde de maxilas
- 3 – Colocação da armadura
- 4 – Betonagem do painel

Fonte: (9)

**Figura 19 - Esquema da execução das paredes moldadas**

Após a preparação da plataforma de trabalho, ou seja, da montagem do estaleiro e da preparação do terreno, executam-se os muros-guia (Figura 20), tendo este como principais funções as seguintes:

- Guiar o equipamento para garantir o alinhamento da parede;
- Servir como escudo para a protecção da vala a possíveis impactos provocados pelos equipamentos;
- Garantir uma margem de oscilação das lamas tixotrópicas;
- Servir de apoio às armaduras no momento da colocação de emendas;
- Permitir o apoio para exercer a força necessária para desprender os tubos-junta.

Estes muros-guia são feitos de betão armado, sendo frequente a utilização de betão de baixa resistência; normalmente, usa-se o C16/20, pois, apesar de ser um elemento provisório, é necessário que tenha alguma capacidade resistente.

A largura da vala é igual à espessura prevista para as paredes, podendo variar entre os 0,4m e 1m, sendo acrescido de uma folga de cerca de 5cm para facilitar a inserção dos



equipamentos e da espessura dos muros-guia, em cada lado da parede, tendo este uma espessura da ordem dos 0,15m a 0,20m.

A altura dos muros-guia varia conforme a consistência do terreno à superfície e a espessura das paredes, entre 0,80m e 1,50m.



Fonte: (8)

**Figura 20 - Muros-guia**

Quando se der por concluída a execução dos muros-guia, dá-se início à escavação das poços, mas antes deve ser montado o processo de fabrico das lamas bentoníticas, colocando-se uma mangueira com uma torneira na ponta que está na vala, para se bombear a lama ao mesmo tempo que se executa a escavação, quando é necessário.

A execução dos painéis pode ser efectuada continuamente ou alternadamente, ou seja, a escavação dos painéis pode ser executada toda seguida, ou fazendo-se intervalo entre os painéis. Podemos observar uma sequência possível através da Figura 21, onde se representa a sequência de execução de painéis com escavação alternada. Os painéis em planta possuem a espessura entre muros-guia, tendo uma largura de 2,0m a 2,8m.

A profundidade da parede é fixado em projecto, dependendo este da natureza do terreno e da finalidade que se pretende para a parede, sendo considerado, em primeira análise, como a cota de laje de fundo, tendo esse mesmo valor de ser acrescentado em aproximadamente 2,0m para garantir uma “ficha” da parede.



**Figura 21 - Esquema da sequência de execução dos painéis com escavação alternada**

Após a conclusão da escavação, colocam-se os tubos-junta, tendo estes de desempenhar uma dupla função, ou seja, faz a cofragem do painel durante a betonagem e garante uma impermeabilização adicional às paredes, sendo isto possível graças à sua forma cilíndrica.

Os tubos são metálicos tendo como diâmetro a espessura total da parede.

Tendo-se terminado a colocação dos tubos-junta e estando a escavação do painel completamente preenchido pelas lamas tixotrópicas, inicia-se a colocação das armaduras (Figura 22). Estas armaduras são previamente montadas em estaleiro, com as dimensões dos painéis. De forma a rigidificar a armadura durante o transporte, colocam-se varões diagonais nas faces laterais.

Nos locais onde estão previstas as ancoragens, devem-se deixar negativos sob a forma de tubos metálicos, para evitar a perfuração do betão na zona da realização da ancoragem. Para além dos negativos, deve-se colocar um reforço da armadura, nas zonas onde vai haver ancoragens, pois vão ser locais onde as tensões a distribuir vão ser bastante elevadas.

Nos locais onde vai existir a posterior ligação da parede com as lajes dos pisos enterrados, devem-se colocar negativos ou armaduras de espera.

A colocação das armaduras nos painéis é efectuada, geralmente, através de uma grua (Figura 22), tendo em atenção que, é necessário ter cuidados, sobretudo para garantir que, durante o processo de transporte, as armaduras não são danificadas.

À medida que as armaduras vão sendo introduzidas no painel, colocam-se espaçadores para que se garanta um recobrimento adequado. Para que as armaduras tenham o recobrimento adequado na sua base é frequente amarrar as armaduras aos muros-guia até que os painéis sejam betonados.



Fonte: (10)

**Figura 22 - Colocação da armadura nas paredes moldadas**

Estando a armadura colocada no painel é altura de se efectuar a betonagem do mesmo. Essa betonagem deve ser efectuada lentamente da base da parede para o topo, ou seja, de baixo para cima, sobretudo para garantir uma compactação adequada do betão e para fazer com que as lamas tixotrópicas sejam extraídas da escavação e recolhidas à boca do painel, sendo reencaminhadas através de um sistema de bombeamento para um reservatório onde serão filtradas para serem reutilizadas novamente.

A betonagem é realizada com o auxílio da *trémie*, que vai receber o betão do camião betoneira (Figura 23). A *trémie* é constituída por troços de tubo metálico com comprimento de 1,0 a 3,0m e diâmetro de 15cm a 25cm, que se interligam.

Para se proceder à remoção dos tubos-junta, devem aguardar-se algumas horas após ter-se efectuado a betonagem e verificado se o betão já tem alguma consistência. A remoção dos tubos-junta é efectuada através de macacos hidráulicos apoiados nos muros guia.



Fonte: (11)

**Figura 23 - Betonagem de um painel da parede moldada através da *trémie***

Estando o painel executado e de maneira a remover-se o betão contaminado pelas lamas tixotrópicas, pelo terreno e pela água acumulada à superfície, procede-se, então, ao saneamento do painel, através de martelos pneumáticos, para que se possa executar, de seguida a viga de coroamento.

A viga de coroamento tem a função de solidarizar todos os troços de parede, fazendo, assim, com que estes se comportem como um único corpo, melhorando o comportamento mecânico da contenção.

A cofragem da viga de coroamento é efectuada normalmente com escoramentos contra o terreno, e os varões da parede são ligados com os da viga (Figura 24).



Fonte: Borrego Aldeias, (2011)

**Figura 24 - Execução de Viga de coroamento numa parede moldada**



Finalmente, após a conclusão de todo este processo, dá-se início aos trabalhos de escavação, realizados com recurso a escavadoras giratórias e realizado por fases, sendo essas fases associadas a níveis de ancoragens e/ou escoramentos.

#### 6.1.4 Problemas de Execução

É normal que durante o processo de execução das paredes moldadas existam alguns problemas:

- Quando se retira tardiamente ou precocemente o tubo-junta, pode ocorrer o deslocamento de um painel em relação ao outro;
- Ocorrência de desvios na verticalidade da parede, podendo ser originados pela escavação dos painéis ou na colocação dos tubos-junta, podendo afectar seriamente o comportamento da estrutura de contenção;
- Ocorrência de um deficiente recobrimento das armaduras;
- Aparecimento de fissurações;
- As paredes podem ficar irregulares;
- A estrutura de contenção pode ficar com menos espessura que a que foi projectada;
- As juntas podem ser menos impermeáveis (Figura 25).



Fonte: (12)

Figura 25 - Problema de execução das paredes moldadas (falta de estanquidade nas juntas)



## 6.2 Paredes tipo Berlim

As paredes tipo Berlim são estruturas de contenção periférica de edifícios que já vêm a ser utilizadas desde a década de 20, do século passado, pois trata-se de uma estrutura de execução fácil e económica, que não necessita de mão-de-obra e equipamento muito especializados, fazendo, assim, com que não seja necessário haver um grande espaço de estaleiro.

Este tipo de contenção periférica, perpendicularmente ao seu plano é pouco rígida, recorrendo, assim, à cravação de perfis metálicos no solo na vertical; estes perfis são normalmente em I ou H, sendo que estes, cravados com a função de transmitir ao solo as acções verticais, conferem também alguma resistência da estrutura à flexão quando não são utilizadas ancoragens ou escoramentos em todo o perímetro da contenção.

O preenchimento do espaço deixado entre os perfis é efectuado através da aplicação contínua de elementos, tais como barrotes de madeira, vigotas de betão armado ou pré-esforçado ou por placas metálicas. Este preenchimento também pode ser efectuado através da colocação de betão projectado contra o solo e uma malha electrossoldada.

A execução da parede é feita de cima para baixo, à medida que se vai efectuando a escavação e executam-se os escoramentos ou as ancoragens. Caso se pretenda transmitir aos perfis metálicos a reacção dos escoramentos e da ancoragem, é necessário para isso efectuar uma viga de distribuição.

No final da execução da escavação e executadas as fundações e da construção da contenção periférica definitiva, é possível desactivar os escoramentos e as ancoragens.

### 6.2.1 Campo de aplicação

Normalmente, os projectos de contenção periférica que envolvem a execução de paredes tipo Berlim são muito frequentes em meios urbanos, onde:

- Os solos possuam alguma coesão;
- A presença da água nos solos não seja significativa;
- Na periferia da contenção não existam edifícios susceptíveis a assentamentos;
- As limitações de acesso à obra ou de gabarito sejam muito condicionadas;
- A área de implantação seja pequena.



Este tipo de contenção pode ainda ser aplicada em outros tipos de obras de construção, tais como:

- Suporte de taludes;
- Entivação de frentes de trabalho, em poços e valas, como por exemplo para a construção de sapatas;
- Contenção provisória junto a vias de comunicação.

## 6.2.2 Equipamentos

Normalmente são usados trados de furação (Figura 26) ou brocas de roto-percussão, para que se possam introduzir os perfis. Em caso de os solos serem coerentes com pouca consistência, a introdução dos perfis pode ser feita através da cravação dos mesmo, sendo para isso necessário que exista um bate-estacas para fazer a cravação por percussão, sendo hoje em dia feito através de vibrocravação, realizando-se esta com recurso a uma simples retroescavadora.



Fonte: (19)

**Figura 26 - Trado de furação para se introduzir os perfis no terreno**



Para se proceder à elevação e posicionamento dos perfis, é imprescindível que exista uma grua.

Geralmente, é preciso soldar os perfis, sendo então necessária uma máquina de soldar. Para se proceder à escavação usam-se normalmente escavadoras giratórias, e ferramentas manuais para fazer os acertos da escavação manual do solo no tardo da parede.

Para a construção da parede é usam-se também serras eléctricas de disco de modo a fazer o acerto dos elementos de madeira para entivação.

Para se executarem as ancoragens, usam-se perfuradoras de brocas de rotopercussão, podendo ser do mesmo tipo que se usou para fazer a furação para colocação dos perfis; misturadoras e bombas de caldas, para se fazer o bolbo de selagem da ancoragem e de macacos hidráulicos para a aplicação do pré-esforço na ancoragem, bem como para a sua desactivação, quando a contenção deixar de ser necessária.

### **6.2.3 Processo Construtivo**

Como em todas as obras de construção, os trabalhos iniciam-se sempre pela preparação da plataforma de trabalho, ou seja, pela implantação do estaleiro e preparação do terreno.

Em seguida procede-se à marcação e alinhamento dos centros dos furos, com apoio topográfico.

O afastamento entre os perfis metálicos varia entre 0,6m e 1,0m, conforme o tipo de terreno.

Os perfis mais utilizados são em forma de I, H ou U.

A introdução dos perfis metálicos no fundo dos furos é feita por meio de uma grua, sendo os furos abertos previamente com trados de furação, ou, caso os solos sejam coerentes com pouca compacidade, por um bate-estacas (Figura 27) ou por vibrocavação.



Fonte: (20)

**Figura 27 - Colocação de perfil metálico**

Para que o perfil seja colocado verticalmente é necessário que se verifique a verticalidade da máquina de furação, recorrendo-se para isso à ajuda de um nível de bolha. Quando a furação atingir os 0,5m de profundidade verifica-se novamente a verticalidade, mas desta vez do próprio trado, voltando-se a fazer nova verificação quando o último terço do trado estiver fora do solo.

A furação é feita até à cota de base dos perfis, que é cerca de 2m mais abaixo da cota inferior da fundação; tal facto prende-se com a necessidade de se garantir o encastramento do perfil.

Após a introdução do perfil no furo com a grua, procede-se à selagem do mesmo através de caldas de cimento, sendo esta selagem efectuada entre a cota de fundo e a cota inferior da fundação. O troço restante do furo é preenchido, normalmente com areia, para que a verticalidade seja garantida.

Após a colocação de todos os perfis, faz-se a viga de coroamento, através da colocação de pelo menos um perfil horizontal a ligar todos os perfis verticais. Com a execução da viga de coroamento, assegura-se a transmissão de esforços e garante-se a ligação entre perfis, evitando assim deslocamentos diferenciais destes.



Com a conclusão da viga de coroamento, inicia-se a escavação, que deverá ser efectuada com os maiores cuidados possíveis juntos aos perfis, para evitar desmoronamentos do terreno.

A altura que se deve escavar varia entre 0,3m e 1,5m, conforme as características que o solo apresentar para se auto-suportar.

Na horizontal, a partir de certa profundidade, é recomendável que se escave entre cada dois perfis de cada vez, de forma a manter as banquetas laterais de terra a suportarem os painéis adjacentes ainda não entivados, de forma alternada.

Esta escavação junto aos painéis é efectuada manualmente através de ferramentas manuais, enquanto que no centro da escavação é efectuada através de escavadoras giratórias, permitindo, assim, retirar grandes quantidades de terreno (Figura 28).



Fonte: (21)

**Figura 28 - Escavação através de retroescavadoras**

Depois de efectuada a escavação dos painéis é necessário realizar a entivação. Os elementos de entivação mais utilizados são as tábuas ou barrotes de madeira, secos, livres de defeitos e fracturas.



Este tipo de entivação tem a vantagem de poder ser cortada, o que permite acomodar os desvios de verticalidade que ocorrem muitas vezes nos perfis metálicos.

A entivação pode ainda ser efectuada através de elementos de betão armado ou vigotas pré-esforçadas, de pranchas metálicas com a maior dimensão colocadas na vertical ou da projecção de betão contra o terreno, no qual é colocada previamente uma malha electrossoldada.

No caso da entivação onde se utilizam os elementos de madeira, esses elementos podem ser posicionados de três formas diferentes.

Na primeira forma de posicionamento, os barrotes são colocados à frente do banzo frontal do perfil, podendo, desta forma, dispor os barrotes de forma contínua sobre vários perfis.

Na segunda forma, os barrotes são colocados atrás do banzo frontal, enquanto que, na terceira, a colocação dos barrotes é feita atrás do banzo posterior. Esta não é recomendável, pois provoca a destruição do efeito de arco que sustenta o solo nesta fase, mas torna-se a mais adequada quando o solo é pouco coerente, mas só funciona quando as entivações forem de pequena altura e pouco largas.

A ligação dos barrotes com os perfis pode ser feita através de quatro formas distintas, através da utilização de cunhas, por atrito, por engate ou por aparafusamento. Estas formas de ligação permitem que o contacto entre o solo e a entivação seja mais íntimo, provocando a redução dos deslocamentos laterais.

A colocação destes barrotes de madeira consiste na escavação do terreno abaixo do último nível destes já colocados, fazendo-se uma remoção cuidada do solo, e em seguida, encaixa-se na diagonal a nova camada de barrotes.

Para que esta colocação seja efectuada de forma correcta é necessário que exista espaço vazio atrás destes.



Caso seja necessário realizar ancoragens, é preciso que se prevejam rasgos nos barrotes, nos locais onde estão previstas as ancoragens em projecto, para que as máquinas que realizam os furos para as ancoragens tenham o acesso facilitado.

Após a realização de mais um nível da entivação efectua-se os escoramentos e as ancoragens; em ambos os casos executa-se a colocação de uma viga de distribuição ao nível dos apoios, sendo esta realizada da mesma forma que uma viga de coroamento.

Esta viga de distribuição (do esforço da ancoragem), é efectuada através da colocação de dois perfis horizontais que serão colocados afastados, entre si, na vertical, em cerca de 0,40 a 0,50m, de forma a permitir a passagem da ancoragem e do respectivo apoio para a cabeça da ancoragem.

Concluídos os trabalhos de escavação, colocação da entivação e criação de escoramentos e/ou ancoragens, dá-se início à construção da superestrutura em betão armado contra a contenção feita anteriormente, sendo que a entivação caso as juntas sejam vedadas, pode servir de cofragem na face posterior.

#### **6.2.4 Variantes**

As paredes tipo Berlim têm como variantes as paredes de Hamburgo, de Munique, de Coimbra e de Paris. A diferença reside no facto de o processo construtivo ser diferente para cada uma delas.

Sendo assim, as paredes de Hamburgo são aquelas em que a construção da superestrutura é efectuada a uma distância de cerca de 1,0 a 1,5m das paredes de contenção provisória, fazendo, assim, com que a parede definitiva de betão armado seja cofrada em ambas as faces. Este tipo de contenção, para além de ser mais uniforme e de garantir melhor verticalidade e o alinhamento da parede, permite ainda efectuar o sistema de impermeabilização e drenagem da parede definitiva, sendo posteriormente preenchido o espaço intermédio com solo e devidamente compactado.

As paredes de Munique, ou também designadas como paredes de Lisboa ou Berlim definitivas, são aquelas que englobam, na sua espessura, o perfil metálico. Sendo esta preenchida de forma contínua com betão armado.



As paredes de Coimbra são em tudo iguais às paredes de Munique, a única diferença que têm é que enquanto que as paredes de Munique englobam os perfis na espessura da parede de betão armado, as paredes de Coimbra são executadas em betão armado mas não englobam os perfis metálicos na espessura da parede. A razão pela qual não se engloba os perfis na espessura da parede é pelo facto de não se poder garantir a verticalidade dos perfis. Tal facto pode provocar o aparecimento dos perfis ao longo da parede de contenção.

As paredes tipo Paris são aquelas em que os perfis metálicos são substituídos por estacas de betão pré-fabricado, cravadas verticalmente no solo e possuem as armaduras de ligação já preparadas para fazerem a ligação com as armaduras de betão armado.

### **6.3 Cortinas de estacas-prancha**

As cortinas de estacas-prancha já são utilizadas há mais de mil anos. Eram construídas em madeira ou ferro fundido.

Actualmente, as estacas-prancha são metálicas podendo também ser de betão armado, ou mais recentemente em vinil. Estas têm pouca rigidez no seu plano, tornando assim as cortinas de estacas-prancha como uma solução muito competitiva em diversas obras de contenção. O aumento de rigidez no seu plano, pode ser aumentada com a utilização de secções quebradas em vez de secções planas.

A ligação dos diversos painéis que constituem as cortinas de estacas-prancha, e sobretudo nas estacas-prancha metálicas, é realizado através das próprias estacas que têm a ligação do tipo “macho-femea”.

Quanto ao processo de fabrico dos perfis, estes podem ser laminados a quente ou conformados a frio, apresentando os primeiros uma qualidade superior relativamente aos segundos.

Normalmente associado a este tipo de estruturas está a utilização de ancoragens e/ou escoramentos, em um ou mais níveis, para garantir a estabilidade estrutural da cortina,



quando esta tem uma altura que é considerável, pois nestes casos, pode ocorrer a rotura da estrutura de contenção.

As cortinas de estacas-prancha são cravadas através de equipamentos de percussão, quando existem solos coerentes e por equipamentos de vibração, quando o solo é composto por solos granulares ou por alguns solos coerentes. Estes tipos de equipamentos produzem ruídos e vibrações para as construções vizinhas. Para evitar a produção desses ruídos e vibrações de cravação existem equipamentos de cravação por prensagem, sendo essa efectuada através de macacos hidráulicos.

A escolha do método de cravação prende-se com as condicionantes a que a obra vai estar sujeita:

- Natureza do terreno que se pretende atravessar;
- Natureza e dimensão económica da obra a construir;
- Condições adjacentes à obra;
- Condições de acesso ao estaleiro.

Pode também depender das características das estacas-prancha que se pretende utilizar, dos prazos de execução da obra e da disponibilidade dos equipamentos.

As cortinas de estacas-prancha podem ter um carácter provisório ou definitivo. As de carácter provisório podem ser recuperadas para serem utilizadas noutras obras, visto que o custo das estacas-prancha ainda é elevado.

### **6.3.1 Campo de aplicação**

As cortinas de estacas-prancha são muito versáteis, visto que a sua utilização é viável, praticamente em qualquer tipo de solo, independentemente da posição a que se encontra o nível freático. Não é, porém, possível utilizar esta técnica quando existam obstáculos abaixo do nível do terreno e no alinhamento da cortina, podendo esses obstáculos serem blocos rochosos ou fundações de construções anteriores.



A utilização deste método torna-se inviável quando a estaca não consegue entrar em solo firme, devido a passar directamente de um solo de características mecânicas fracas para um solo particularmente de elevada resistência ao corte.

Sendo assim, as aplicações mais comuns deste tipo de contenção são as seguintes:

- Na contenção de terrenos em locais com nível freático elevado, garantindo assim de forma considerável a impermeabilização da contenção, tornando-se uma estrutura adequada para a realização de obras dentro de água e nas proximidades desta;
- Na execução das fundações de estruturas nos leitos de rios ou no mar;
- Na construção de obras de vias de comunicação, podendo ser estas na construção de túneis, de passagens de nível, no encontro de pontes e em muros de suporte de terras.

### 6.3.2 Equipamentos

Para a realização deste tipo de estruturas, o único equipamento que é fundamental para a sua realização é o de cravação.

Encontram-se no mercado os seguintes equipamentos:

- Martelo a diesel;
- Martelo de impacto;
- Martelo hidráulico de duplo impacto;
- Martelo vibratório;
- Martelo a vapor;
- Prensa hidráulica.



Fonte: Borrego Aldeias, (2011)

**Figura 29 - Da esquerda para a direita: Martelo Hidráulico, Martelo a Diesel, Martelo Vibratório e Prensa Hidráulica**



Para evitar que ocorram danos na parte superior das estacas-prancha, recorre-se aos capacetes de protecção, que têm a função de equilibrar e transmitir os esforços às estacas durante o processo de cravação, sendo possível prescindir destes utilizando as tecnologias de vibrocravação.

### 6.3.3 Processo construtivo

Para que se possa escolher o tipo de estaca-prancha e o equipamento de cravação a utilizar, assim como a força de impacto que é necessária na cravação, é preciso ter em conta os seguintes factores:

- Conhecer os perfis geológicos do terreno;
- A densidade do solo;
- A porosidade do solo;
- A coesão dos diferentes estratos;
- A existência de nível freático no terreno;
- A permeabilidade do solo;
- Ter em conta os resultados dos ensaios SPT e CPT (como já foi atrás explicado).

Sendo assim, após a escolha do equipamento e do tipo de estaca, procede-se à cravação das estacas. Este processo pode ser dividido em duas fases principais.

Na primeira fase, procede-se à cravação da primeira estaca-prancha, que deve ser colocada com muita precisão, pois a colocação da primeira estaca é importante para assegurar o alinhamento e a verticalidade da colocação das restantes.

É necessário utilizar sistemas de guiamento para que essa colocação seja efectuada correctamente; recorre-se, portanto, à técnica de vigas-guia. Esta técnica é, geralmente, constituída por dois perfis metálicos colocados o mais junto ao solo possível, devendo garantir-se que este conjunto não possa ter movimentos laterais, efectuando-se, para isso, a cravação de estacas ao lado dos perfis.

O comprimento destas vigas deve ser tal que envolva seis pares de estacas e que envolva também pelo menos 1,5m de estacas já cravadas, sendo o espaçamento entre as estacas e as vigas mantido à custa de espaçadores.



Na segunda fase, após a cravação da primeira estaca, procede-se à cravação das restantes, que pode ser efectuada estaca a estaca, por painéis, ou alternada.

A cravação estaca a estaca consiste em cravar cada estaca até à profundidade final de uma só vez, devendo ser utilizada para solos soltos e para comprimentos de cravação pequenos, de modo a evitarem-se desvios aos quais as estacas são propensas.

A cravação por painéis é uma forma de minimizar os erros de verticalidade e de alinhamento que poderão existir na colocação de estacas, diminuindo também a dificuldade de cravação, pois como a cravação é realizada por painéis, a estaca não precisa de ser inserida até à profundidade máxima para que se possa continuar o processo de cravação.

A cravação alternada de estacas é utilizada quando os solos são de difícil cravação, reduzindo-se, assim, dessa forma, as condições adversas.

Terminada a função para a qual foi projectada, a cortina de estacas-prancha pode ser removida do local para, posteriormente, ser utilizada em outras construções, só sendo isso possível se a cortina for de carácter provisório; sendo o processo de extracção das estacas o inverso do processo de cravação, utiliza-se para isso, os mesmos equipamentos que foram utilizados para a cravação, excepto quando se faz a cravação com recurso a percussão.

#### **6.3.4 Problemas de execução**

É normal que, durante o processo de execução deste tipo de estruturas, ocorram problemas de execução, entre os quais se referem os seguintes:

- Defeitos de verticalidade originada na colocação das estacas;
- Existência de obstáculos, como por exemplo o aparecimento de blocos rochosos na altura da cravação;
- Deformação, desligamento, rasgos ou enrolamentos das estacas-pranchas;
- Movimentação de estacas já cravadas;
- Danificação das estacas, sobretudo na cabeça da estaca devido a uma má execução no processo de cravação;
- Rotura das estacas-prancha.



## 6.4 Cortinas de estacas moldadas

As cortinas de estacas moldadas como projecto de contenção periférica de terreno, quer de edifícios, quer nouro tipo de construções em zonas urbanas, têm vindo a ganhar popularidade ao longo dos anos, sobretudo devido à sua facilidade e rapidez de execução, face a outras soluções alternativas para efectuar a contenção.

Esta solução consiste fundamentalmente na construção de uma parede de estacas, que podem estar distanciadas ou intersectarem-se, tendo na constituição destas paredes os seguintes elementos que se interligam:

- As estacas, o elemento principal neste tipo de contenção. (onde se abordará mais à frente, neste capítulo, os métodos de construção das mesmas e a maneira como podem ser aplicadas);
- As vigas de coroamento, com a função de fazer a distribuição dos esforços ao longo das estacas que constituem a cortina, dando assim a garantia de uma maior rigidez ao topo da estrutura, geralmente são feitas em betão armado;
- As vigas de solidarização ou de distribuição têm as mesmas funções que as vigas de coroamento, mas estas estão ao longo do fuste das estacas e o número destes elementos depende das características do solo e do tipo de projecto, servindo estas de apoio para as ancoragens;
- As ancoragens e/ou escoramentos são colocados com o objectivo de ajudar as estacas no suporte do terreno, dado que aqueles garantem uma maior rigidez à estrutura, evitando, assim, a ocorrência de deslocamentos.

### 6.4.1 Campo de aplicação

Os projectos onde as cortinas de estacas moldadas são aplicadas são os seguintes:

- Construções enterradas próximas de vias de comunicação e de edifícios de médio e grande porte, com fundações pouco profundas, não muito susceptíveis a deformações;
- Utilização como obras de apoio para a construção de túneis em zonas urbanas;
- Utilização como suporte de taludes verticais.



Normalmente, este tipo de contenção periférica não tem só a função de suportar os solos, podendo ser adaptada para servir como fundação da estrutura final, sendo assim torna-se uma construção com dupla funcionalidade: mais económica e mais rápida, visto que está a construir-se em simultâneo, a contenção e as fundações laterais da estrutura que se vai instalar no local.

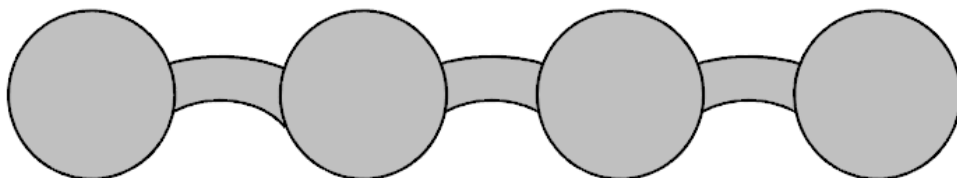
#### 6.4.2 Tipos de cortinas de estacas

A realização de cortinas de estacas moldadas pode ser de três tipos diferentes, sendo estas classificadas a partir do espaçamento que vai existir entre as estacas que a constituem. Distinguem-se, segundo este critério, as cortinas de estacas espaçadas, as cortinas de estacas contíguas ou tangentes e as cortinas de estacas secantes.

##### Cortinas de estacas espaçadas

As cortinas de estacas espaçadas consiste na execução de um conjunto de estacas alinhadas, afastadas entre si com uma distância que pode chegar até cerca de 1,5m, realizando-se a contenção do solo desse espaço à medida que se vai realizando a escavação, através da colocação de betão projectado incorporando, no seu interior, uma rede de aço eletrossoldada, formando, assim, abóbodas de betão armado, representada esquematicamente por na Figura 30.

Ao ser adoptado este tipo de solução, deve ter-se em conta a existência do efeito de arco que o solo vai criar, entre duas estacas. Como todas as soluções, esta também tem as suas limitações, como a de não garantir a impermeabilização da contenção e a de ser menos resistente aos impulsos por metro linear de extensão, tendo como comparação os outros tipos de cortinas, que serão apresentados em seguida.



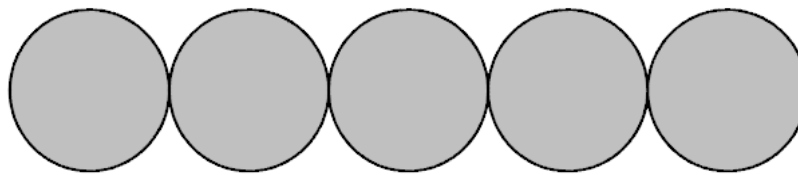
Fonte: Manuel Gamboa, in slides PCEd

Figura 30 - Esquema de cortina de estacas espaçadas



### **Cortinas de estacas contíguas**

As cortinas de estacas contíguas ou tangentes consiste na execução de um grupo de estacas alinhadas entre si com pequenos afastamentos, na ordem dos 75 a 100mm, pois executar estacas mesmo tangentes é extremamente difícil (Figura 31). A esta solução é exigido que sejam executadas com um bom controlo de posicionamento das estacas e que o processo de furação seja executado o mais verticalmente possível. Devido a este pequeno intervalo, esta solução não pode ser utilizada facilmente em estruturas de contenção em que exista a intersecção de nível freático por parte destas. Sendo completadas com sistemas de impermeabilização não garantem os requisitos mínimos para este tipo de situação. A sua utilização é frequente em solos argilosos onde a afluência da água não constitui um problema imediato, apesar de também poder ser usada em materiais granulares.

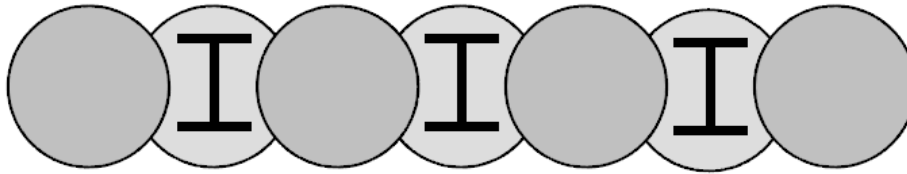


Fonte: Manuel Gamboa, in slides PCEd

**Figura 31 - Esquema de cortina de estacas contíguas**

### **Cortinas de estacas secantes**

As cortinas de estacas secantes, representadas esquematicamente através da Figura 32, consiste na construção de um grupo de estacas alinhadas entre si, intersectando-se cada estaca com estacas alternadas ao longo da linha da cortina, deixando-se entre elas um espaço livre de menos de um diâmetro. Este conjunto de estacas é designado por estacas fêmeas, podendo estas conter, no interior, um perfil metálico, para garantir maior resistência à estaca, pois esta vai ser realizada com betões pobres para que seja mais fácil executar as estacas intermédias, designadas por estacas macho, que interceptam as estacas fêmea adjacentes. Estas estacas são armadas com armaduras tradicionais. Este tipo de cortina de estacas relativamente à impermeabilização da contenção é a que dá melhores garantias, mas se ocorrer uma falha na intersecção de alguma estaca, isso fará com que a parede se torne permeável.



Fonte: Manuel Gamboa, in slides PCEd

**Figura 32 - Esquema de cortina de estacas secantes**

Para que a escolha da solução seja a mais correcta é necessário ter-se em conta vários factores, nomeadamente:

- A presença de nível freático, que impossibilita a escolha de estacas espaçadas e as contíguas, devido à necessidade de impermeabilização;
- A coesão apresentada pelo solo, quanto maior for a coesão, mais fácil se torna a realização de estacas moldadas, pois permite efectuar as estacas sem se recorrer ao tubo moldador;
- Os prazos a cumprir para a realização da obra e os custos inerentes. (As cortinas de estacas espaçadas são as mais baratas e de maior rapidez de execução);
- A quantidade de estacas que se pretende realizar.

### **6.4.3 Processo construtivo**

Para se dar início à construção das cortinas de estacas e como já foi referido nas outras soluções de contenção, é necessário que se faça a preparação do terreno a intervir, para que os trabalhos corram como o esperado, e de seguida a implantação do estaleiro da obra, para que tudo possa decorrer em segurança.

Após a conclusão destes processos, dá-se início à construção da cortina de estacas, com a execução dos muros-guia (Figura 33). A realização destes muros-guia prende-se com o facto de se precisar de garantir o correcto posicionamento das estacas, definindo-se assim as secções que as estacas vão ter em todo o perímetro. Normalmente, estes muros-guia têm uma altura mínima de 0,80m e de afastamento entre si igual ao diâmetro da estaca, mas acrescido em cerca de 5cm. A construção dos muros-guia deverá ser realizada, no mínimo, 1,50m acima do nível freático e a sua betonagem é feita contra o terreno. Estes muros-guia tendem a ganhar importância na construção de cortinas de



estacas secantes, onde são indispensáveis, pois é necessário que o posicionamento do topo das estacas seja feito com alguma precisão, para assim se garantir que a intersecção das estacas da cortina seja efectuada correctamente.



Fonte: Bessa Meireles, (2006)

**Figura 33 - Execução de muros-guia**

Após conclusão dos muros-guia, procede-se ao rebaixamento do nível freático, caso seja necessário. A realização deste passo prende-se com a necessidade da realização dos trabalhos em boas condições e evitar o aparecimento de água no fundo da escavação. O rebaixamento do nível freático pode ser feito através de diversas técnicas, das quais destaco as mais importantes:

- Extração da água por bombagem, durante a fase da obra;
- Criação de uma rede de poços de drenagem (como câmaras de visita provisória) ao longo da parte exterior da cortina, equipados no fundo com bombas que garantam o rebaixamento desejado do nível freático a cotas inferiores;

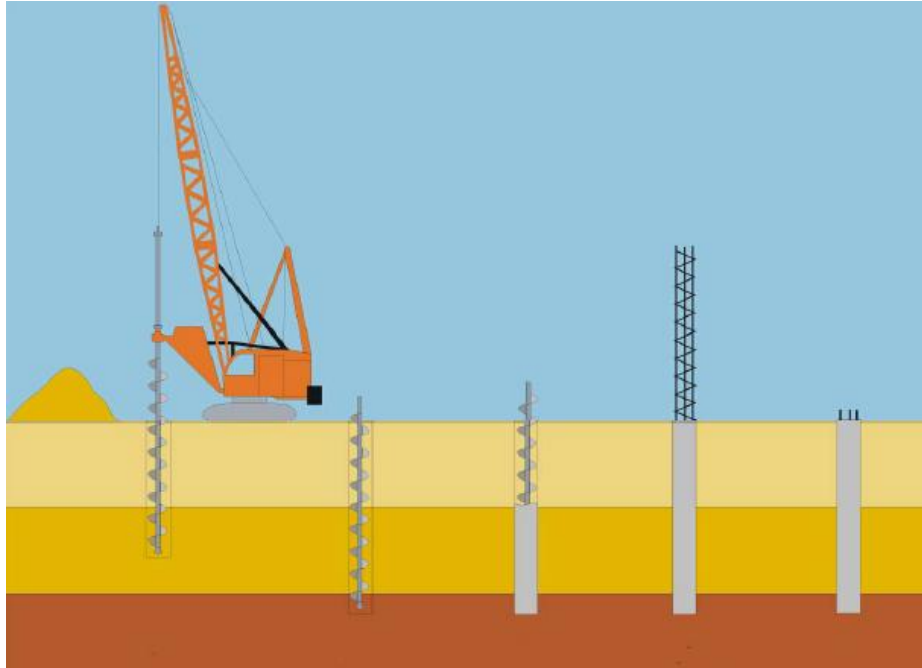
Depois de concluído este passo, começa-se a construção das cortinas de estacas moldadas, sendo para tal necessário proceder à execução de estacas, que podem ser realizadas de três maneiras distintas:

- Com trado contínuo;
- Com tubo moldador;
- Com recurso a lamas bentoníticas.



### 1) Execução de estacas recorrendo ao trado contínuo

Neste método, executa-se o furo por rotação com um trado contínuo de hélice, ao longo de toda a haste do trado. É através desta haste que a betonagem do furo é realizada. As armaduras são colocadas depois de se ter betonado o furo e este tipo de processo não necessita de tubo moldador ou lamas bentoníticas para garantir a estabilidade nas paredes do furo (Figura 34).



Fonte: Bessa Meireles, (2006)

**Figura 34 - Esquema da execução de estacas com trado contínuo**

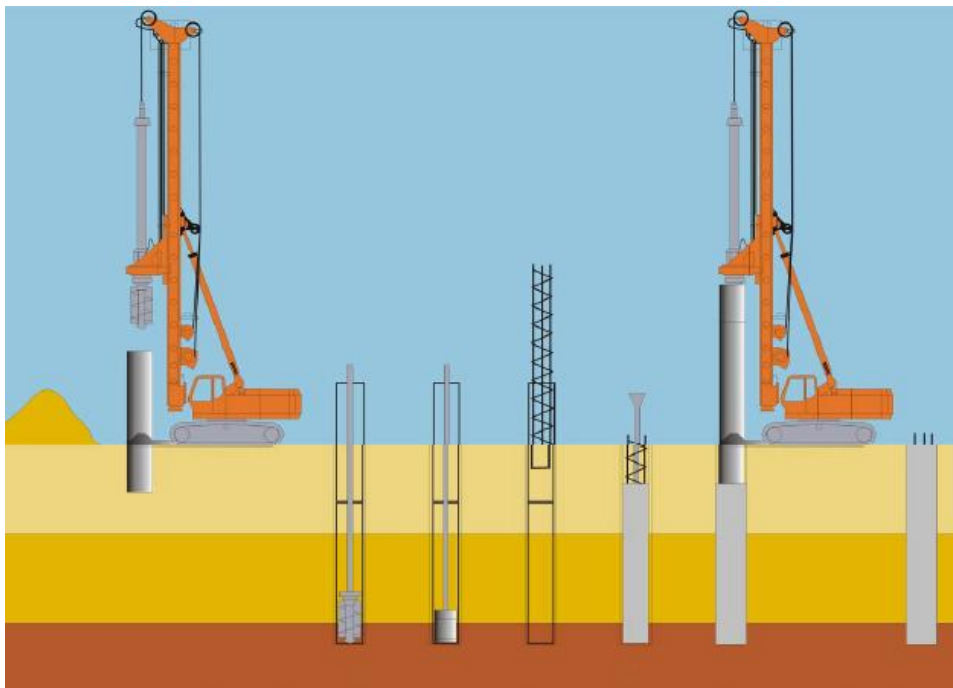
Sendo assim, para a realização das estacas, segue-se o seguinte método de execução:

- 1 – Escolhe-se um trado contínuo, com as dimensões desejadas para a estaca, diâmetro e comprimento, e faz-se o furo;
- 2 – Faz-se a betonagem da estaca, através da parte oca do trado. Dependendo da velocidade a que se consegue bombear o betão, retira-se o trado do furo;
- 3 – Vibra-se os três primeiros metros da estaca;
- 4 – Coloca-se a armadura antes que o betão ganhe presa;

5 – Faz-se o saneamento da cabeça da estaca após ter obtido presa, de forma a retirar o betão contaminado.

## 2) Execução de estacas recorrendo a tubo moldador recuperável

Neste método, utiliza-se um tubo moldador metálico com o diâmetro definido para a estaca, com a função de suportar as paredes do furo até se fazer a betonagem do mesmo. Consoante a betonagem vai sendo realizada, o tubo moldador é retirado e recuperado, sendo esta a fase crítica deste processo (Figura 35).



Fonte: Bessa Meireles, (2006)

**Figura 35 - Esquema de execução de estacas com tubo moldador recuperável**

Sendo assim, para a realização destas estacas, segue-se o seguinte método de execução:

1 – Faz-se uma escavação prévia no solo (2 a 4 metros de profundidade e diâmetro do tubo moldador), fazendo-se de seguida a colocação do primeiro troço deste;

2 – Inicia-se a escavação através de um trado ou de um balde suspenso no mastro da máquina;



3 – Coloca-se a armadura, com os respectivos espaçadores para se garantir o recobrimento;

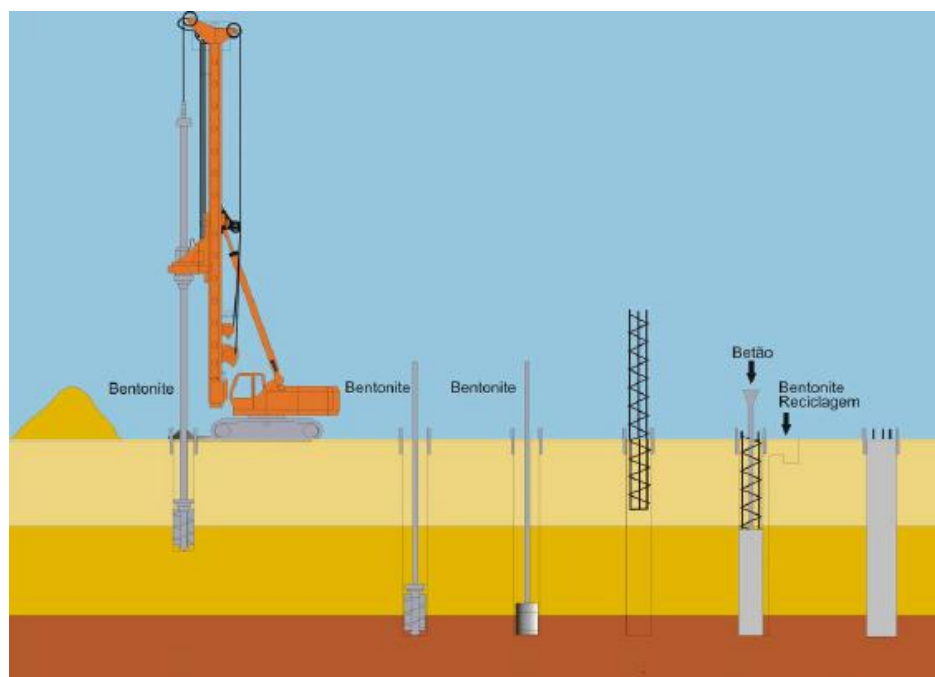
4 – Faz-se a betonagem do furo através de uma coluna de betonagem, retirando-se o tubo moldador conforme for decorrendo a betonagem;

5 – Faz-se a vibração do betão, podendo ser feita através da retirada do próprio tubo com vibroextração;

6 – Realiza-se, por fim, o saneamento da cabeça da estaca.

### 3) Execução de estacas recorrendo a lamas bentoníticas

Este método utiliza-se em solos que não têm capacidade de se sustentar nas paredes da escavação, fazendo-se assim a sustentação com o auxílio das lamas bentoníticas (Figura 36).



Fonte: Bessa Meireles, (2006)

Figura 36 - Esquema de execução de estacas com lamas bentoníticas

Sendo assim, para a execução das estacas, segue-se o seguinte método:



- 1 – Deve-se, antes de iniciar a escavação, proceder à montagem e instalação do equipamento necessário para o fabrico, distribuição, recuperação e reciclagem das lamas bentoníticas;
- 2 – Executam-se os muros-guia para que não ocorra a contaminação nem perda de lamas bentoníticas para o terreno;
- 3 – Inicia-se a escavação, através do trado suspenso, fazendo-se a substituição do solo por lamas bentoníticas;
- 4 – Faz-se a betonagem através de uma coluna de betonagem, sendo esta efectuada no sentido ascendente (betão é colocado de baixo para cima), possibilitando assim a recolha das lamas;
- 5 – Colocam-se as armaduras;
- 6 – Efectua-se o saneamento da cabeça da estaca.

Depois de executada a cortina e de efectuados todos os saneamentos em todas as estacas, procede-se à construção da viga de coroamento, fazendo a amarração das armaduras longitudinais destas vigas com a das estacas da cortina. Tendo esta viga a finalidade de distribuir os esforços pelas estacas.

Quando está prevista a implantação de ancoragens na viga de coroamento, é necessário prever os negativos necessários para a realização da ancoragem, antes de se efectuar a betonagem.

Após a viga de coroamento estar executada, procede-se à execução das ancoragens e/ou escoramentos.

Terminada a construção de toda a estrutura da cortina e de se ter realizado a escavação no interior da contenção, pode dar-se início à construção das fundações da superestrutura, realizando-se esta de baixo para cima, devendo proceder-se às amarrações necessárias entre a cortina de estacas e a superestrutura.

## 7. Método de escolha da contenção

Na sequência da análise desenvolvida nos capítulos anteriores e tendo como base a interligação de três variáveis, que são importantes para a realização deste tipo de estudo: a geologia do local, as condicionantes presentes na obra e na envolvente desta e o tipo de contenção que se pretende utilizar. Procurar-se-á estabelecer uma metodologia que permita, numa primeira observação e em função das variáveis em presença identificar o tipo de contenção mais aconselhável

Para se realizar este estudo, vai-se variar unicamente o tipo de solo conforme os tipos referidos no capítulo 3 deste trabalho.

Para se proceder a escolha do tipo de contenção que se vai utilizar deve-se seguir os passos do diagrama seguinte:

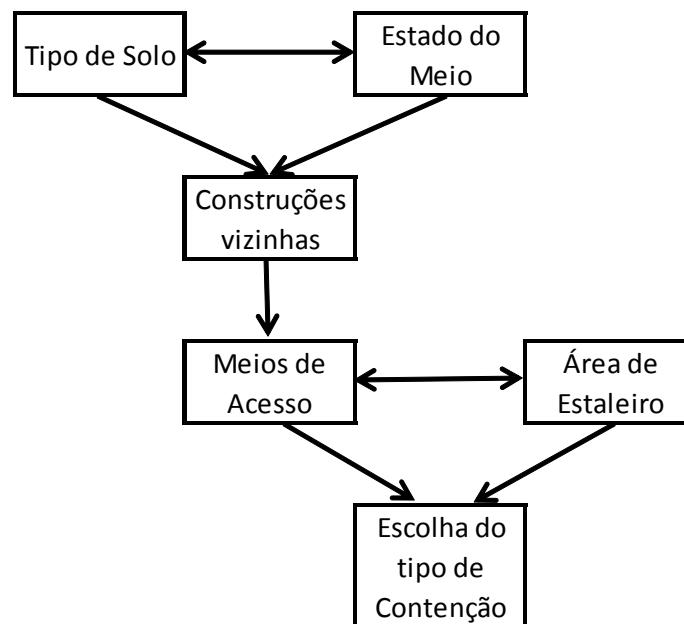


Figura 37 - Diagrama para escolha de contenção

As condicionantes variáveis a considerar são:

Impermeabilização da cortina, sendo a existência de nível freático acima da cota de escavação.



As construções vizinhas, a condição mais desfavorável verifica-se quando existem edifícios ou outros tipos de construções que possam ser afectados.

A área disponível para estaleiro, a condição mais desfavorável ocorre quando a área para estaleiro é diminuta, em função do tipo de equipamentos necessários para a execução e das áreas necessárias para a preparação dos trabalhos acessórios (como por exemplo as armaduras)

As características dos acessos, a condição que tem maior peso neste aspecto será quando os acessos à obra são desfavoráveis para equipamentos de grandes dimensões e pesados, ou existam limitações de gabarito.

O custo da realização da contenção: pretende-se sempre que a solução seja a mais económica possível.

O prazo de execução da contenção.

Definiu-se previamente uma classificação qualitativa de maneira a poder-se avaliar qual a solução mais indicada:

- B – Boa;
- R – Razoável;
- M – Má.

Nestes termos, considerando por um lado os tipos de contenção descritos, e por outro as características e estado do solo que se indicam de seguida:

- Solo incoerente sem nível freático (Tabela 3);
- Solo incoerente com nível freático (Tabela 4);
- Solo coerente sem nível freático (Tabela 5);
- Solo coerente com nível freático (Tabela 6).

Podemos estabelecer as matrizes que se apresentam, em função do tipo do solo.



Tabela 3 - Solo Incoerente Sem Nível Freático

Tipo de Contenção	Condicionantes						
	Impermeabilização	Construções Vizinhas	Área para Estaleiro	Meios de Acesso	Adaptabilidade da Contenção ao Meio	Custo da Contenção	Rapidez de Execução da Contenção
Paredes Moldadas	B	B	M	M	B	R	R
Paredes Tipo Berlim	Pouco Aconselhável de ser utilizada						
Cortinas de Estacas Prancha	B	R	B	B	B	R	B
Cortinas de Estacas Moldadas	Espaçadas	Pouco Aconselhável de ser utilizada					
	Tangentes	B	B	R	B	B	B
	Secantes	B	B	R	B	B	B

**- Reflexão sobre a tabela 3**

- A impermeabilização é classificada em todas as contenções como B (Boa), pois trata-se de um caso onde não existe nível freático, sendo que esta impermeabilização é referente às águas de infiltração;
- No caso das paredes tipo Berlim e das cortinas de estacas moldadas espaçadas, não são aconselháveis de serem utilizadas devido ao tipo de terreno que se está a sustentar com a contenção. Para ser possível aplicar estas contenções ter-se-ia de utilizar uma técnica de melhoramento de solo referido anteriormente no capítulo 4;
- A classificação de B (Boa) atribuída às cortinas de estacas prancha nos meios de acesso deve-se à existência da possibilidade de utilização de equipamentos de cravação que não provocam vibração e são de pequeno porte, o que influencia a área para estaleiro, pois a classificação prende-se com o mesmo facto que o dos meios de acesso;
- A classificação de M (Má) atribuída às paredes moldadas em área para estaleiro deve-se ao facto de os equipamentos utilizados para a execução deste tipo de contenção serem de grande porte e muito robustos, o que provoca que os meios de acesso também sejam condicionados por estes equipamentos. Neste tipo de contenção também tem-se parte do estaleiro ocupado por equipamentos de fabrico e reciclagem de lamas bentoníticas, assim como áreas para armação e armazenamento de armaduras;



- A classificação de R (Razoável) que foi dada as cortinas de estacas moldadas em área de estaleiro deve-se por se ter em estaleiro espaço para armação e armazenamento das armaduras que vão ser colocadas na estaca;
- A classificação de B (Boa) atribuída as cortinas de estacas moldadas em meios de acesso deve-se ao facto de os equipamentos utilizados não serem de grande porte.

**Tabela 4 - Solo Incoerente Com Nível Freático**

Tipo de Contenção	Condicionantes							
	Impermeabilização	Construções Vizinhas	Área para Estaleiro	Meios de Acesso	Adaptabilidade da Contenção ao Meio	Custo da Contenção	Rapidez de Execução da Contenção	
Paredes Moldadas	B	B	M	M	B	R	R	
Paredes Tipo Berlim	Pouco Aconselhável de ser utilizada							
Cortinas de Estacas Prancha	B	R	B	B	B	R	B	
Cortinas de Estacas Moldadas	Espaçadas	Pouco Aconselhável de ser utilizada						
	Tangentes	R	B	R	B	M	B	B
	Secantes	B	B	R	B	B	B	B

**- Reflexão sobre a tabela 4**

- A classificação de M (Má) em adaptabilidade da contenção ao meio das cortinas de estacas moldadas tangentes deve-se ao facto de não garantirem a impermeabilização a 100% da contenção quando se está na presença de nível freático, sendo por isso atribuída a classificação de R (Razoável) na impermeabilização;
- As paredes moldadas e as cortinas de estacas prancha são as mais adequadas para quando se está na presença de solos incoerentes com nível freático.



**Tabela 5 - Solo Coerente Sem Nível Freático**

Tipo de Contenção	Condicionantes						
	Impermeabilização	Construções Vizinhas	Área para Estaleiro	Meios de Acesso	Adaptabilidade da Contenção ao Meio	Custo da Contenção	Rapidez de Execução da Contenção
Paredes Moldadas	B	B	M	M	R	M	R
Paredes Tipo Berlim	B	M	B	B	B	B	B
Cortinas de Estacas Prancha	B	R	B	B	B	R	B
Cortinas de Estacas Moldadas	Espaçadas	B	R	B	B	B	B
	Tangentes	B	B	R	B	B	B
	Secantes	B	B	R	B	B	B

**- Reflexão sobre a tabela 5**

- A impermeabilização é classificada em todas as contenções como B (Boa), pois trata-se de um caso onde não existe nível freático, sendo que esta impermeabilização é referente às águas de infiltração;
- As paredes tipo Berlim são as mais utilizadas neste tipo de terreno, mas tem de se ter atenção a existência de construções vizinhas que possam ser afectadas.

**Tabela 6 - Solo Coerente Com Nível Freático**

Tipo de Contenção	Condicionantes						
	Impermeabilização	Construções Vizinhas	Área para Estaleiro	Meios de Acesso	Adaptabilidade da Contenção ao Meio	Custo da Contenção	Rapidez de Execução da Contenção
Paredes Moldadas	B	B	M	M	R	M	R
Paredes Tipo Berlim	M	M	B	B	M	B	R
Cortinas de Estacas Prancha	B	R	B	B	B	R	B
Cortinas de Estacas Moldadas	Espaçadas	M	B	R	B	M	B
	Tangentes	R	B	R	B	M	B
	Secantes	B	B	R	B	B	B

**- Reflexão sobre a tabela 6**

- A classificação de M (Má) em adaptabilidade da contenção ao meio das cortinas de estacas moldadas tangentes deve-se ao facto de não garantirem a impermeabilização a 100% da contenção quando se está na presença de nível freático, sendo por isso atribuída a classificação de R (Razoável) na impermeabilização;



- Tanto as paredes moldadas como as estacas prancha são adequadas para a contenção neste tipo de solos com presença de nível freático. Também pode ser aplicada as cortinas de estacas moldadas secantes;
- As paredes tipo Berlim em solos com nível freático não tem condições para serem aplicadas.



## 8. Considerações Finais

A rápida evolução da tecnologia, facilmente detectável ao longo dos últimos anos, nomeadamente no que diz respeito à realização de escavações com contenção periférica em locais muito exigentes, permite que o mercado possua, nos dias de hoje, um conjunto de soluções de qualidade quando adequadamente escolhidas, dimensionadas e projectadas. São todos estes aspectos da competência do Engenheiro Civil, o qual deverá possuir a capacidade de optar pela melhor solução e, ao mesmo tempo, minimizar os custos dos trabalhos e o prazo de execução.

O solo, como elemento caracterizável com imensos parâmetros variáveis, deve ser estudado de uma forma cuidada e competente. Esta análise deve ser materializada por um conjunto de técnicas de reconhecimento e prospecção com o objectivo de obter o maior conhecimento possível, evitando surpresas ao longo dos trabalhos. Em Portugal e em todo o mundo, a técnica mais utilizada para o estudo do solo é o ensaio do penetrómetro dinâmico normalizado (SPT), ensaio este permite uma avaliação previa das condições geológicas e de resistência do subsolo ao longo da profundidade.

As características do solo, podem também ser alteradas, recorrendo-se para isso a técnicas de melhoramento do solo, das quais se destaca com particular interesse as injeções de caldas de cimento, nomeadamente o *Jet Grouting* e o *Deep Mixing*, podendo estas ser aplicadas em diversas situações modificando as características mecânicas do solo e podendo complementar alguns métodos de contenção, podendo até dispensá-los.

Em termos de travamento de paredes de contenção, temos os escoramentos e as ancoragens, que são duas soluções muito utilizadas para esse efeito, sendo a aplicação destes determinada pelos condicionamentos da obra e do meio envolvente. Quando estas duas técnicas não são a melhor solução, recorre-se aos anéis de laje que, servindo-se da alta capacidade resistente do betão à compressão, fazem o travamento provisório da estrutura.

Em relação aos métodos de contenção periférica, há a destacar a grande aplicabilidade e complementaridade que oferecem, mas cada uma tem as suas limitações, pois foi por



isso que foram assim concebidas. Exemplo disso verifica-se na realização de cortinas de estacas espaçadas, complementadas com colunas de *Jet Grouting*.

Em relação ao método de escolha de contenção periférica, o capítulo principal desta dissertação, houve algumas dificuldades em se definir, os parâmetros que se tinham de analisar, optando por fim em fixar um dos parâmetros analisados e os restantes a variarem. Sendo assim, fixou-se o tipo de solo e procedeu-se a uma proposta do método de escolha, chegando-se ao resultado pretendido, mas esta é uma simplificação do problema, pois a probabilidade de realizar uma obra de contenção que interfira apenas com um tipo de solo homogéneo em toda a sua extensão e profundidade é muito baixa.

## **8.1 Desenvolvimentos futuros**

O presente trabalho é um ponto de partida para a realização de futuros trabalhos de forma a aprofundar e complementar alguns dos assuntos tratados nesta dissertação.

Sendo assim, de forma a complementar este trabalho pode e deve-se realizar um estudo mais aprofundado das condicionantes à envolvente da obra, para que todos os condicionalismos impostos pela envolvente sejam tidos em conta.

Por fim, deve-se procurar estudar outros tipos de contenção de utilização menos frequentes, ou mesmo fazer o estudo de soluções compostas por vários métodos.



## Bibliografia

- [1] AMORIM AGUIAR, M. & GUERRA MARTINS, J. (2005) – *Estruturas: Contenção Lateral de Solos*, 1ª Edição, Serie Estruturas.
- [2] BESSA MEIRELES, A. & GUERRA MARTINS, J. (2006) – *Fundações e Contenção Lateral de Solos: Execução de cortinas de estacas*, 1ª Edição, Serie Estruturas.
- [3] BORREGO ALDEIAS, J. (Julho de 2011) – *Soluções de escavação e contenção periférica intersectando o nível freático*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior Técnico (IST).
- [4] BRITO, J. (2006) – *Tecnologias de Contenções e Fundações (Volume I)*, Lisboa, Instituto Superior Técnico (IST).
- [5] COELHO, S. (1996) – *Tecnologias de Fundações*, Lisboa, Edições Escola Profissional Gustavo Eiffel (EPGE).
- [6] COSTA MIRANDA, M. & GUERRA MARTINS, J. (2006) – *Fundações e Contenção Lateral de Solos: Execução de Estacas*, 1ª Edição, Serie Estruturas.
- [7] FERNANDES, MANUEL DE MATOS (2006) – *Mecânica dos solos (Volume I)*, Porto, Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto (FEUP).
- [8] MARQUES, DANIELA ALEXANDRA OLIVEIRA (Fevereiro de 2008) – *Reforço de Solos de Fundação com Colunas de Jet Grouting Encabeçadas por Geossintéticos*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)
- [9] PATRICIO, A. & TEIXEIRA, R. (2006) – *Estruturas: Dimensionamento e Execução de Cortinas do tipo Berlim*, 1ª Edição, Serie Estruturas.



[10] SOUSA, R. & TEIXEIRA, R. & GUERRA, J. (2006) – *Estruturas: Dimensionamento e Execução de Paredes Moldadas*, 1ª Edição, Serie Estruturas.



## Websites

(1) [http://sergiotaborda.javabuilding.com/wp-content/uploads/2009/08/triangulo\\_projeto1.png](http://sergiotaborda.javabuilding.com/wp-content/uploads/2009/08/triangulo_projeto1.png)

Consultado no dia 05-06-2012

(2) <http://siciliawebonline.altervista.org/Bellassai/images/image-1.jpg>

Consultado no dia 28-09-2012

(3) <http://www.dec.ufcg.edu.br/geotec1.jpg>

Consultado no dia 28-12-2013

(4) <http://www.quauhtli.com/gratis/gratuito/penetrometro.gif>

Consultado no dia 28-12-2013

(5) [http://img.directindustry.it/images\\_di/photo-mg/pressiometro-menard-60855-2826489.jpg](http://img.directindustry.it/images_di/photo-mg/pressiometro-menard-60855-2826489.jpg)

Consultado no dia 28-09-2012

(6) <http://www.engenhariacivil.com/imagens/estacas-prancha-escoramento.jpg>

Consultado no dia 19-09-2012

(7) <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tc-pb/12%20Paredes%20moldadas%20-%2016%20AA%20aula%20te%20C3%B3rica-JGF-1.pdf>

Consultado no dia 28-09-2012

(8) [http://www.geradordeprecos.info/imagenes2/ccp\\_murete\\_guia\\_2c\\_367\\_247\\_4BE158.jpg](http://www.geradordeprecos.info/imagenes2/ccp_murete_guia_2c_367_247_4BE158.jpg)

Consultado no dia 28-09-2012

(9) <http://www.omranista.com/per/img/in-page/tech5/14.jpg>

Consultado no dia 02-11-2012

(10) <http://www.projectsmonitor.com/NewsImages/photo%207/Valecha%20Right.jpg>

Consultado no dia 02-11-2012



(11) [http://2.bp.blogspot.com/-](http://2.bp.blogspot.com/-jYDjGD86wRc/UCTeznbDFkI/AAAAAAAAAJY/zfMwxHK7QNA/s1600/Concreting-Diaphragm+Wall.JPG)

[jYDjGD86wRc/UCTeznbDFkI/AAAAAAAAAJY/zfMwxHK7QNA/s1600/Concreting-Diaphragm+Wall.JPG](http://2.bp.blogspot.com/-jYDjGD86wRc/UCTeznbDFkI/AAAAAAAAAJY/zfMwxHK7QNA/s1600/Concreting-Diaphragm+Wall.JPG)

Consultado no dia 02-11-2012

(12) <http://217.19.227.47/module/uploads/bwbouw30.jpg>

Consultado no dia 02-11-2012

(13) <http://www.p3planningengineer.com/productivity/top%20down%20construction/Audi%20Morto.jpg>

Consultado no dia 22-10-2013

(14) [http://www.geosistema.it/image/image/fondazioni\\_spec/sottovoce/diafram.jpg](http://www.geosistema.it/image/image/fondazioni_spec/sottovoce/diafram.jpg)

Consultado no dia 24-10-2013

(15) [http://www.este.com.br/ESTE/jetgrout/Par\\_Diaf-08.jpg](http://www.este.com.br/ESTE/jetgrout/Par_Diaf-08.jpg)

Consultado no dia 24-10-2013

(16) <http://www.structuremag.org/images/0210-is-2.jpg>

Consultado no dia 24-10-2013

(17) <http://2.imimg.com/data2/GV/HN/IMFCP-2986336/vanesheartest2-custom-size-392-378-250x250.jpg>

Consultado no dia 05-12-2013

(18) [https://lh5.googleusercontent.com/\\_mYTyDHbfQCY/TGKL9bJdBUI/AAAAAAAAACQw/WKYmxQqkOno/01.JPG](https://lh5.googleusercontent.com/_mYTyDHbfQCY/TGKL9bJdBUI/AAAAAAAAACQw/WKYmxQqkOno/01.JPG)

Consultado no dia 22-12-2013

(19) <http://www.dicionariogeotecnico.com.br/album/fundacoes/escavada/images/image/DG%20-%2006%20-%20Trado%20Continuo.jpg>

Consultado no dia 24-10-2013

(20) <http://sete.eng.br/media/images/42235.jpg>

Consultado no dia 24-10-2013



(21) [http://www.geodactha.com.br/obras/im\\_obra/queirozgalvao1/1\\_CPTM150302\\_1.jpg](http://www.geodactha.com.br/obras/im_obra/queirozgalvao1/1_CPTM150302_1.jpg)

Consultado no dia 24-10-2013