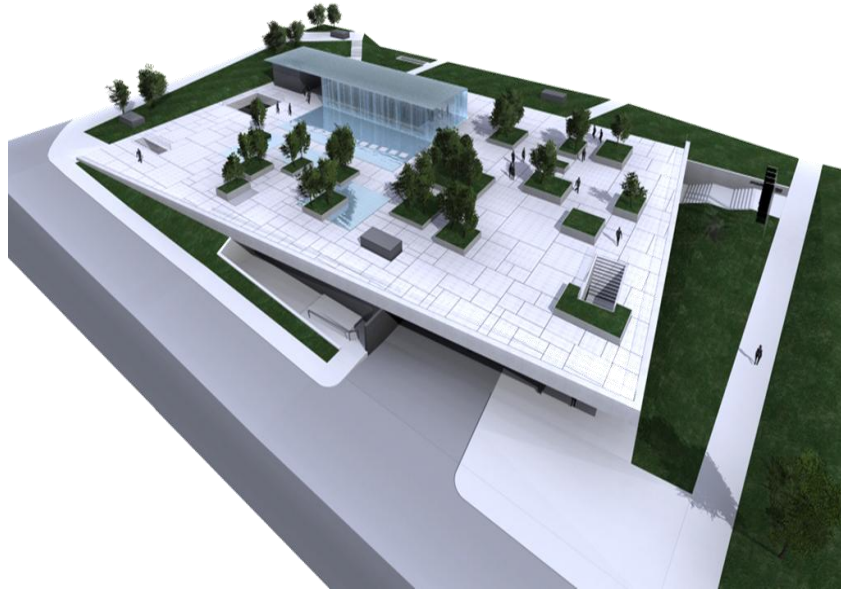




ISEL

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Departamento de Engenharia Civil**



## **Sistemas de impermeabilização de caves: aplicação a dois casos de estudo**

**DANIEL JOSÉ PORFÍRIO HENRIQUE DOS REIS**  
Licenciado em Engenharia Civil

Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Civil na Área de Especialização em Edificações

Orientador e co-orientador:

Engº Jorge Manuel Grandão Lopes, Equiparado a Prof. Adjunto (ISEL)

Engº António Seco do Vale (Ensul Meci)

Júri:

Presidente: Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha, Prof. Adjunto do ISEL

1ª Vogais: Mestre Maria Manuela da Silva Eliseu Ilharco Gonçalves, Prof. Adjunto do ISEL

2º Vogais: Engº Jorge Manuel Grandão Lopes, Equiparado a Prof. Adjunto do ISEL

3º Vogais: Engº António Seco do Vale (Ensul Meci)

**Setembro de 2010**



## Resumo

O presente documento é um relatório de estágio curricular sobre Sistemas de Impermeabilização aplicados em caves de dois parques de estacionamento subterrâneos situados em Lagos: o Parque do Anel Verde e o Parque da Frente Ribeirinha.

Inicialmente é abordada a temática da impermeabilização de uma forma geral, onde se apresentam as soluções mais correntes no nosso País. Posteriormente foram analisadas, do ponto de vista técnico e de execução, as soluções aplicadas em ambos os parques, utilizando sempre um ponto de vista crítico e ao mesmo tempo construtivo. Na obra do Parque do Anel Verde foi também possível apresentar algumas soluções alternativas e compará-las com as soluções aplicadas em termos de vantagens, inconvenientes, custos e mão-de-obra.

## Abstract

This document is a curricular report about Waterproofing Systems used in basements of two underground car-parking buildings located in Lagos: Anel Verde and Frente Ribeirinha car-parkings.

Initially it is discussed the matter of waterproofing in a general way, where are presented the most common types of materials used in our country. After that, both systems used in both buildings are analysed from a technical and executorial point of view, using always constructive critics. In the construction of the Anel Verde car-parking it was possible to present some alternative systems and compare them with the ones that were really used, referring to some advantages and disadvantages, costs and workmanship.

**Palavras-chave:** Sistemas de impermeabilização; estanquidade; caves; paredes enterradas; Anel Verde; Frente Ribeirinha; parque de estacionamento.

**Keywords:** Waterproofing systems; watertightness; basements; buried walls; Anel Verde; Frente Ribeirinha; car-parking.

## Agradecimentos

O meu obrigado a todas as pessoas ou entidades que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste relatório de estágio que acaba por ser o culminar de vários objectivos académicos traçados.

- Agradeço ao Engenheiro Grandão Lopes pela disponibilidade e pelo conhecimento demonstrado, bem como pelo fornecimento de documentação, revisão e crítica deste trabalho.
- À empresa Futurlagos pela oportunidade oferecida em realizar este estágio.
- A toda a equipa da Ensul Meci e Irmãos Cavaco, particularmente o Engenheiro António Seco do Vale que aceitou ser meu co-orientador, que me receberam com muita simpatia e disponibilidade e deram a conhecer o dia-a-dia em obra.
- Aos meus pais, irmãos e avó pelo amor e dedicação que me tornaram na pessoa que sou hoje.
- À minha namorada que me acompanhou e apoiou, não só durante todo o estágio, mas também ao longo de todo o curso.

# Índice de Texto

## Capítulo 1 – Introdução

1.1.	Contextualização.....	1
1.2.	Objectivo do trabalho .....	3
1.3.	Conteúdo do TFM .....	3

## Capítulo 2 – Estado da Arte

2.1.	A importância da impermeabilização.....	6
2.2.	Soluções de Impermeabilização.....	10
2.3.	Impermeabilização de caves.....	16
2.4.	Bentonites.....	22

## Capítulo 3 – Obra do Anel Verde / Parque da Cidade

3.1.	Generalidades.....	24
3.2.	Condicionalismos Geológicos / Geotécnicos.....	25
3.3.	Estrutura de Contenção.....	27
3.4.	Sistema de Drenagem adjacente à contenção.....	31
	3.4.1. Generalidades.....	31
	3.4.2. Procedimentos adoptados.....	32
3.5.	Sistema de Impermeabilização em Muros de Suporte.....	40
	3.5.1. Descrição genérica da solução.....	40
	3.5.2. Emulsão Betuminosa “Imperkote L”.....	42
	3.5.3. Painel de Drenagem “Aguadrain”.....	48
	3.5.4. Fase de aterro.....	50
	3.5.5. Trabalhos não previstos.....	52
	3.5.6. Tubo colector na base dos muros de suporte.....	54
	3.5.7. Solução alternativa de painéis bentoníticos.....	59
3.6.	Sistema de Impermeabilização na Cobertura.....	64
	3.6.1. Generalidades.....	64

3.6.2. Solução aplicada.....	65
3.6.2.1. Camada de forma em betão leve.....	66
3.6.2.2. Membrana de betume-polímero “APP”.....	70
3.6.2.3. Manta geotêxtil e protecção mecânica em betonilha.....	72
3.6.2.4. Brita compactada de calibre 25/40 e pavimento em ladrilhos de secção quadrada.....	72
3.6.3. Solução alternativa.....	75

#### **Capítulo 4 – Obra da Frente Ribeirinha**

4.1. Generalidades.....	79
4.2. Condicionalismos geológicos.....	80
4.3. Melhoramento do solo com base no método de “Jet Grouting”...	81
4.4. Estrutura de contenção com base no método de “Cutter Soil Mixing” (CSM).....	86
4.5. Impermeabilização do parque ao nível da laje de fundo.....	91

#### **Capítulo 5 – Conclusões**

5.1. Síntese Geral.....	99
5.2. Recomendações para trabalhos futuros.....	100

<b>Bibliografia.....</b>	<b>103</b>
--------------------------	------------

<b>Anexos.....</b>	<b>108</b>
--------------------	------------

## Índice de Figuras

Figura 1. Exemplo de uma banda do tipo “Waterstop” .....	20
Figura 2. Enquadramento do Parque do Anel Verde.....	24
Figura 3. Corte tipo 1: primeiro e segundo níveis de ancoragens e drenos sub-horizontais.....	29
Figura 4. Corte Tipo 2: segundo nível de ancoragens e drenos sub-horizontais .....	29
Figura 5. Vista de cortina de estacas com o primeiro e segundo níveis de ancoragens.....	30
Figura 6. Aplicação em obra dos drenos sub-horizontais.....	30
Figura 7. Pormenor de ligação das lajes à cortina de estacas no piso -2.....	32
Figura 8. Pormenor de ligação das lajes à cortina de estacas no piso -1.....	32
Figura 9. Pormenor de ligação das lajes à cortina de estacas no piso 0.....	33
Figura 10. Pormenor final de ligação da laje à cortina de estacas no piso -2.....	34
Figura 11. Pormenor final de ligação da laje à cortina de estacas nos pisos -1 e 0.....	34
Figura 12. Aplicação em obra da viga “recortada” para a introdução da caleira no piso -2.....	35
Figura 13. Zona da caleira após aplicação de duas demãos de emulsão betuminosa no piso -2.....	37
Figura 14. Corte estrutural na zona de pendente mínima do piso -2.....	38
Figura 15. Corte estrutural na zona de pendente mínima do piso -1.....	38
Figura 16. Zona da caleira após execução de alvenaria em blocos de betão com 60 cm de altura no piso -2.....	39
Figura 17. Zona da caleira após colocação das chapas perfiladas caneladas no piso -2.....	39
Figura 18. Sistema de Impermeabilização aplicado em MS1.....	41
Figura 19. Emulsão betuminosa “Imperkote L” em latas de 25 kg.....	46
Figura 20. Área ocupada por uma lata de “Imperkote L”.....	47
Figura 21. Aplicação da primeira demão no sentido horizontal.....	47
Figura 22. Queda dos painéis “Aguadrain” após mau tempo.....	49

Figura 23. Fixação do painel de drenagem com de tampas de garrafão.....	51
Figura 24. Fase de aterro e compactação por camadas.....	51
Figura 25. Recolocação dos painéis de drenagem.....	52
Figura 26. Zonas “remendadas” e zonas por preencher.....	53
Figura 27. Tubos colectores $\phi 200$ em rolos de 50 m.....	57
Figura 28. Sistema drenante/filtrante aplicado na base dos muros.....	57
Figura 29. Corte construtivo de sistema de impermeabilização e drenagem aplicado.....	58
Figura 30. Painel bentonítico Volclay Tipo 1.....	59
Figura 31. Painéis Volclay em dupla camada com juntas desfasadas.....	60
Figura 32. Painéis Volclay em camada unida com sobreposição de juntas.....	61
Figura 33. Pormenor construtivo da cobertura e respectivas camadas.....	65
Figura 34. Pendentes definidas pela camada de forma com inclinações de 0,5 %.....	67
Figura 35. Aplicação das membranas de betume-polímero “APP”.....	71
Figura 36. Aplicação da segunda camada do sistema de impermeabilização com juntas desfasadas.....	71
Figura 37. Pormenores construtivos relativos às secções da cobertura onde estão inseridos os drenos.....	73
Figura 38. Drenos envoltos em manta geotêxtil e caixas de visita.....	74
Figura 39. Pavimento em ladrilhos de secção quadrada.....	74
Figura 40. Comparação entre a solução inicial e a solução alternativa.....	78
Figura 41. Enquadramento do Parque da Frente Ribeirinha.....	79
Figura 42. Camadas geológicas, junto à muralha, perceptíveis após a fase de escavação.....	81
Figura 43. Principais métodos de “Jet Grouting”.....	82
Figura 44. Corte construtivo - “Jet Grouting” entre a muralha e a estrutura de contenção.....	84
Figura 45. Execução do “Jet Grouting” junto à muralha.....	85
Figura 46. Vantagem do CSM em relação ao “Jet Grouting” em termos de ocupação de espaço, cimento consumido e número de juntas.....	87
Figura 47. Pormenor da painelização (dimensões).....	88
Figura 48. Painéis de CSM ainda com fraca consistência.....	89

Figura 49. Rodas de corte e mistura.....	90
Figura 50. Painel electrónico no interior da cabine da máquina de CSM.....	90
Figura 51. Poço de bombagem provisório antes da fase de escavação.....	91
Figura 52. Quatro frentes de trabalho bem perceptíveis.....	91
Figura 53. Camadas de PVC, betão de limpeza e laje em betão armado (sem qualquer dispositivo Waterstop).....	92
Figura 54. Planta dos poços de bombagem provisórios 1 a 6.....	93
Figura 55. Planta dos poços de bombagem provisórios 7 a 14.....	94
Figura 56. Pormenor da junta de dilatação na laje de fundo.....	95
Figura 57. Corte construtivo do pavimento do piso -2.....	96
Figura 58. Poço de bombagem provisório desactivado e camada de brita.....	97
Figura 59. Caleira para recolha de águas na zona das caixas de escadas do piso -1.....	98
Figura 60. Tubo de queda no fosso de ventilação, proveniente do piso -1, que conduz as águas para a camada intermédia de brita.....	98
Figura I. Parque de estacionamento do Anel Verde (vista da Rua José Afonso).....	109
Figura II. Parque de estacionamento do Anel Verde (vista junto à muralha).....	109
Figura III. Parque de estacionamento do Anel Verde (vista da Estrada da Piedade).....	110
Figura IV. Piso 0 terminado do Parque de estacionamento do Anel Verde...	110
Figura V. Vista da cobertura do Parque de estacionamento da Frente Ribeirinha junto à muralha.....	111
Figura VI. Zona da cobertura depois de terminada sem os arranjos exteriores.....	111
Figura VII. Floeiras na zona da cobertura para posterior acabamento.....	112
Figura VIII. Interior terminado do piso -1 do Parque de estacionamento da Frente Ribeirinha.....	112
Figura IX. Trabalhos de arqueologia.....	113
Figura X. Esqueleto encontrado durante os trabalhos de arqueologia.....	113
Figura XI. Vista dos trabalhos de arqueologia numa fase inicial da obra.....	114

Figura XII. Catalogação levada a cabo durante os trabalhos de arqueologia.....	114
Figura XIII. Pendentes da caleira adjacente à contenção periférica no piso -2.....	115
Figura XIV. Planta de localização dos muros de suporte.....	116

## Índice de Quadros

Quadro 1. “Níveis de protecção de caves consoante o seu uso” .....	19
Quadro 2. Consumos medidos em obra na aplicação da emulsão betuminosa .....	44
Quadro 3. Materiais de impermeabilização, quantidades a aplicar e número de demãos em paredes.....	45
Quadro 4. Coeficientes de escoamento.....	55
Quadro 5. Dimensionamento do tubo colector.....	56
Quadro 6. Custo da solução alternativa de painéis Volclay.....	62
Quadro 7. Custo da solução aplicada.....	63
Quadro 8. Classificação das coberturas em terraço quanto à pendente segundo as Directivas UEAtc.....	68
Quadro 9. Estudo económico da solução de projecto para a laje de cobertura .....	76
Quadro 10. Estudo económico da solução alternativa para a laje de cobertura.....	77

# CAPÍTULO 1

## Introdução

### 1.1. Contextualização

A cidade de Lagos deu início a um processo de renovação urbana com vista à reabilitação da Frente Ribeirinha e à criação de cerca de 900 lugares de estacionamento (exactamente 876), através da construção de dois novos parques subterrâneos.

Resultado de uma Parceria Público-Privada – entre a empresa municipal Futurlagos, Empresa Municipal para o Desenvolvimento EM, e um consórcio privado constituído entre as empresas FDO Construções, Ensul Mec e Irmãos Cavaco – tratam-se de projectos independentes, embora decorrendo sensivelmente ao mesmo tempo.

O parque do Anel Verde/Parque da Cidade (Anexo A) situa-se numa zona alta da cidade bem acima do nível freático e tem capacidade total para 396 viaturas, sendo constituído por três pisos. Ao nível da cobertura/praça, um jogo de espelhos de água, vegetação e cascatas marcará de forma significativa a entrada do Parque da Cidade, definindo este espaço como uma zona de lazer, ideal para a realização de eventos.

O futuro parque da Frente Ribeirinha (Anexo B) está integrado no objectivo estratégico de reformulação do sistema viário da Avenida dos Descobrimentos, na qual se privilegiará o uso pedonal, sem inviabilizar totalmente o acesso automóvel, pretendendo-se, desta forma, a deslocalização para o subsolo da totalidade do actual estacionamento automóvel de superfície. Com uma área bruta de construção próxima dos 12800 metros quadrados, este edifício subterrâneo comporta 480 lugares de estacionamento automóvel, desenvolvendo-se em dois pisos.

De referir que ambas as obras foram acompanhadas por equipas de arqueologia, tendo-se encontrado, nos dois locais, achados considerados importantíssimos e uma mais-valia para o património histórico e arqueológico da cidade de Lagos dos Descobrimentos; nomeadamente, no Parque da Cidade foram encontrados vestígios do Edifício da Gafaria (leprosaria) e confirmada a presença de dois cemitérios na zona, nos quais foram encontrados dezenas de esqueletos, uns com sinais muito evidentes de lepra e outros com marcas culturais distintas ou a forma como se encontravam depositados permitiu concluir tratar-se de escravos africanos (Anexo C).

No Parque da Frente Ribeirinha os achados resumiram-se basicamente a cerâmicas encontradas através de sondagens geoarqueológicas levadas a cabo pela entidade construtora, que vieram comprovar a antiguidade da ocupação fenícia em Lagos que remonta ao século VIII / VII a.C.

Ficam de seguida alguns dados relativamente às duas obras:

**Dono de Obra:** EL – Estacionamentos de Lagos, S.A.

**Projectistas:** Firma A 400 – Projectistas e Consultores de Engenharia Civil, Lda.

**Empreiteiro:** Agrupamento de empresas constituído pelas sociedades: FDO Construções, S.A; Ensul Meci – Gestão de Projectos de Engenharia, S.A. e Irmãos Cavaco, S.A.;

**Valor Global:** 15.789.549,24 € + IVA

• **Parque de Estacionamento do Anel Verde**

**Área de implantação:** aprox. 4200 m<sup>2</sup>

**Área bruta de construção:** aprox. 12600 m<sup>2</sup>

**Valor da Empreitada:** 5.625.608,82 €

**Prazo de Execução:** 12 meses

• **Parque de Estacionamento da Frente Ribeirinha**

**Área de implantação:** aprox. 6400 m<sup>2</sup>

**Área bruta de construção:** aprox. 12800 m<sup>2</sup>

**Valor da Empreitada:** 10.163.940,42 €

**Prazo de Execução:** 14 meses

## **1.2. Objectivo do Trabalho**

O Trabalho Final de Mestrado desenvolveu-se sob a forma de um estágio curricular, no âmbito do Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Área de Especialização de Edificações, no período de Março de 2009 a Maio de 2010, sob a orientação do Eng.º Grandão Lopes (LNEC), no qual resultou o presente relatório. O estágio iniciou-se na empresa municipal Futurlagos onde foi feita uma breve introdução às duas obras, e, posteriormente, através da integração, até ao final do estágio, nos escritórios da obra do parque de estacionamento do Anel Verde sob a supervisão do co-orientador Eng.º António Seco do Vale (Ensul Meci).

O objectivo do trabalho foi a análise do ponto de vista técnico das soluções ao nível dos Sistemas de Impermeabilização aplicadas nas caves dos dois parques subterrâneos, bem como da sua execução, procurando sempre ser feita de um ponto de vista crítico e ao mesmo tempo construtivo em relação aos trabalhos desenvolvidos. Foi também possível a apresentação de uma solução alternativa para o parque subterrâneo do Anel Verde na qual se apresentaram algumas vantagens e desvantagens em comparação com a solução realmente aplicada.

## **1.3. Conteúdo do TFM**

O estágio curricular foi realizado com vista à elaboração do relatório sobre os sistemas de impermeabilização utilizados na construção de dois parques de estacionamento subterrâneos. O facto de o estágio ter sido realizado na obra do parque de estacionamento do Anel Verde (tendo-se desenvolvido, paralelamente à execução do relatório, várias tarefas a nível de preparação de obra) e também por ser nesse local que se encontrava o co-orientador de estágio, foi atribuído um maior grau de detalhe ao capítulo relacionado com a obra do parque do Anel Verde.

Relativamente à obra do parque subterrâneo da Frente Ribeirinha, o acompanhamento da mesma foi feito através de visitas diárias e do estudo do projecto de execução com vista a recolher toda a informação necessária. De notar que em ambas as obras foi autorizada, por parte do Dono de Obra, a

consulta dos vários documentos relativos às duas obras (plantas, desenhos construtivos, memórias descritivas, caderno de encargos) bem como o total acesso às mesmas. No entanto, foram encontradas algumas dificuldades relativamente ao acesso a alguma informação, nomeadamente ao projecto de Escavação e Contenção Periférica do parque da Frente Ribeirinha que se revelou bastante incompleto sem qualquer Memória Descritiva ou Justificativa onde houvesse referências a estudos geológicos do terreno ou a procedimentos a desenvolver durante os trabalhos. Assim sendo, e uma vez que a contenção periférica do parque foi executada recorrendo a um método pioneiro ao nível da perfuração de solos em toda a Península Ibérica (Cutter Soil Mixing – CSM), foi necessária a solicitação de informação detalhada acerca do processo ao subempreiteiro responsável por esta fase da construção. Após vários pedidos de informação sobre este processo o autor apenas conseguiu reunir junto do empreiteiro geral alguma informação, embora muito vaga, sobre o processo de execução da contenção periférica do parque da Frente Ribeirinha.

Relativamente à obra do parque de estacionamento do Anel Verde as dificuldades encontradas referem-se somente à difícil tarefa de executar um planeamento preciso e rigoroso do andamento dos trabalhos devido à incerteza do tempo de permanência em obra dos trabalhos de arqueologia. Os achados arqueológicos foram-se sucedendo e, por este ser um trabalho bastante meticuloso e, conseqüentemente, moroso, os trabalhos de execução de ancoragens, escavação e execução de fundações do parque acabaram por ficar muito limitados, tendo atrasado a obra em cerca de quatro meses. Ultrapassada esta fase, todos os trabalhos das fases seguintes decorreram com normalidade sem grandes imprevistos a nível de prazos.

Apesar de todas estas condicionantes, a análise técnica das soluções aplicadas nos dois parques foi feita e estruturada da seguinte forma, segundo os vários capítulos:

Neste Capítulo 1 o autor procurou então dar a conhecer o contexto em que se realizou este estágio curricular, bem como o contexto em que se realizaram as duas obras dos parques de estacionamento. Foram também definidos os objectivos e o conteúdo deste relatório.

No Capítulo 2, em primeiro lugar, abordou-se a temática da impermeabilização de uma forma geral, onde se indicaram as qualidades que um sistema de impermeabilização deve apresentar bem como os aspectos fundamentais que devem marcar presença em obra de modo a garantir a maior qualidade nos trabalhos de impermeabilização. Foram também apresentadas e classificadas as várias soluções de impermeabilização existentes, em que foi feita uma descrição sintética de cada tipo e referidas as particularidades de cada uma (vantagens e inconvenientes). Seguidamente, foi abordada a impermeabilização de caves em que se apresentaram alguns requisitos para alcançar a estanquidade no interior da construção e também os níveis de protecção de caves em que se inserem os dois parques de estacionamento. Finalmente, abordaram-se as bentonites que constituem uma solução muito comum em caves.

No Capítulo 3 foi feita uma descrição da solução de impermeabilização do interior do parque de estacionamento do Anel Verde, tanto a nível de paredes enterradas/muros de suporte como da própria cobertura do parque, onde se analisaram todas as fases que constituíram o processo. Neste capítulo foram referidos também os aspectos positivos e negativos encontrados ao longo de todo o processo e foram feitas algumas críticas construtivas, tanto a nível de projecto como de execução em obra. Foi também analisada uma alternativa à solução de impermeabilização aplicada neste parque subterrâneo ao nível das paredes enterradas, referindo-se as vantagens e desvantagens em relação à solução real, tanto a nível técnico como a nível de mão-de-obra ou financeiro.

No Capítulo 4 procedeu-se à descrição do sistema de impermeabilização implantado na obra do parque subterrâneo da Frente Ribeirinha, desde a impermeabilização ao nível das paredes verticais da contenção periférica como ao nível da laje de fundo.

Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões, não só relativamente às soluções de impermeabilização aplicadas em ambas as obras como também da forma como decorreu todo o processo de estágio curricular.

# CAPÍTULO 2

## Estado da Arte

### 2.1. A importância da Impermeabilização

Uma correcta impermeabilização é extremamente importante na conservação das estruturas da construção civil. Esta é fundamental na protecção contra humidades, quer provenham das águas do solo quer de precipitação, devendo actuar em várias zonas como na protecção de fundações (evitando que a humidade do solo atinja as estruturas superiores de construção), em lajes, paredes, coberturas e floreiras.

Sendo assim, a impermeabilização pode definir-se como uma barreira estanque concebida para evitar a entrada ou saída de água de várias zonas de um elemento construtivo, contribuindo desta forma para a longevidade da mesma. É então justo dizer que a importância da impermeabilização é reflectida nas consequências da não impermeabilização.

A garantia da estanquidade à água de uma construção impede a entrada da humidade nos próprios elementos estruturais bem como no seu interior, garantindo assim uma melhor qualidade de vida aos seus utilizadores, ao evitar o aparecimento de patologias diversas, tais como bolores, manchas ou queda de reboco das paredes.

A água que entra ou sai das edificações pode causar efeitos deteriorantes a curto ou longo prazo, sendo que no último caso a estrutura poderá ser a principal afectada se o problema persistir. Os danos causados pela água ou pela inexistente ou deficiente impermeabilização são das principais razões que levam à decadência ou deterioração das edificações. Tal facto acontece devido ao “tempo de vida” dos materiais diminuir

consideravelmente quando expostos prolongadamente à humidade ou ao contacto directo com a água.

Assim, a importância da impermeabilização não pode ser subvalorizada. Os danos provocados à estrutura das edificações juntamente com os elevados custos de reparações remetem para os cuidados a ter nas fases prévias à construção (projecto de impermeabilização) e durante as aplicações dos Sistemas de Impermeabilização.

Um ponto a realçar é o facto de a maioria das obras não apresentarem projecto de impermeabilização, apesar de este representar uma pequena fatia do custo da construção. É de salientar também o facto de muitas das obras utilizarem materiais inadequados e mão-de-obra não especializada, bem como a falta de manutenção dos Sistemas de Impermeabilização. Todos estes factos resultam da necessidade de controlar os custos, o que leva a que muitas vezes, aliado ao facto de se dar pouca importância à fase de impermeabilização, se opte por materiais e técnicas que assentam no baixo custo que está geralmente directamente ligado à baixa qualidade do produto final.

Desde o momento da concepção duma construção e devido ao facto de cada estrutura ter zonas de características variadas, cada uma destas deve ser abordada individualmente, pois as tecnologias e os materiais utilizados no fabrico dos Sistemas de Impermeabilização diferenciam-se justamente para atender às necessidades de cada zona a ser impermeabilizada.

Com efeito, pode afirmar-se que a função de um Sistema de Impermeabilização é a de proteger a integridade estrutural e visual da edificação onde está inserido, devendo para tal ser formada uma membrana estanque que evite a entrada ou saída de água de zonas molhadas para zonas secas. De forma a cumprir tal objectivo a membrana deve apresentar as seguintes qualidades:

- Ser impermeável de forma a evitar a passagem de água;
- Ser flexível de forma a acompanhar algum possível movimento que ocorra na estrutura;
- Apresentar boa durabilidade, mantendo as suas propriedades durante um longo período de tempo;

- Ajustar-se de forma a cobrir detalhes específicos da estrutura; se esta não conseguir ser aplicada devido a este tipo de situação, então deixa de ser funcional;
- Ser de fácil aplicação e relativamente leve;
- Apresentar-se como uma camada contínua, dando-se assim particular atenção à execução das juntas que poderão ser a origem de eventuais entradas de água;
- Ser apropriada para suportar as várias condições climáticas.

Um aspecto que deve ser referido é o facto de muitas das reclamações relativas a edificações (edifícios, parques subterrâneos, etc) serem acerca de patologias relacionadas com a impermeabilização, o que remete para a importância que o investimento num Sistema de Impermeabilização adequado representa. Estas patologias poderiam ser evitadas com a aplicação de sistemas específicos desde as fundações até à fase de revestimento e acabamento da envolvente exterior da construção.

Assim sendo, é necessário clarificar o que a impermeabilização representa em termos económicos numa obra, pois quando se tratam de procedimentos que visam corrigir patologias relacionadas com a impermeabilização já depois de terminada a obra, o custo de tais procedimentos pode atingir cinco vezes mais os custos das soluções dos projectos iniciais. Tais gastos com a impermeabilização representam normalmente uma pequena percentagem do custo total de uma obra (1 a 3%) [1].

A impermeabilização como medida preventiva revela-se então de extrema importância, pois não só evita futuros danos causados à obra como os seus gastos, quando comparados com os da recuperação de uma estrutura já danificada pela humidade ou pela água, são muito menores.

Assim, a impermeabilização não deve ser encarada de ânimo leve ou ser estudada de forma rápida e pouco cuidada. O estudo de uma impermeabilização é um processo longo e rigoroso que deve ter em conta muitos aspectos, pois, a montante da escolha de um Sistema de Impermeabilização, nomeadamente daquele utilizado em elementos de construção em contacto com o terreno, devem avaliar-se uma série de factores,

como o tipo de solo, o tipo de utilização a que se destina a edificação, as pendentes do terreno, as pressões actuantes na estrutura, etc. Todos estes factores devem ser analisados e reduzidos a um projecto de impermeabilização acompanhado de memória descritiva. Tal documento será de grande importância para a empresa executante do trabalho de impermeabilização.

Conforme referido, a impermeabilização deve ter então um projecto específico no qual se apresentem as características dos produtos e a sua forma de execução com as técnicas de impermeabilização mais aconselhável para cada caso. Sendo assim, para que a impermeabilização cumpra o seu objectivo deve garantir a 100% a estanquidade do elemento construtivo onde está aplicada, devendo para tal, ter-se em conta o seguinte:

- Estudo do Sistema de Impermeabilização;
- Projecto de impermeabilização (desenhos e memória descritiva de acordo com as normas);
- Materiais e mão-de-obra especializada;
- Fiscalização / Controlo de qualidade;
- Planeamento de trabalhos;
- Estimativa de custos / Controlo financeiro.

Numa impermeabilização de uma obra, a escolha de material adequado e certificado por si só não garante a eficácia desejada, pois existem materiais com qualidade que não estão certificados e materiais certificados sem a qualidade desejável, sendo hoje em dia cada vez mais importante em obra, e ainda mais no caso das impermeabilizações, a mão-de-obra especializada.

As zonas impermeabilizadas são na maioria dos casos afectadas pelas intervenções das equipas anteriores e posteriores à aplicação dos Sistemas de Impermeabilização. Tal facto remete para a necessidade de haver uma maior consciencialização dos riscos responsáveis por futuros danos ao sistema, por parte dos próprios executantes da obra, pois são os mesmos a tornar-se o principal inimigo devido à falta de aviso acerca dos riscos e cuidados a serem tomados.

## **2.2. Soluções de Impermeabilização**

Existem no mercado variadas soluções de impermeabilização, sejam estas aplicadas em coberturas em terraço (visitáveis ou não) ou em paredes enterradas. Como tal, antes de proceder à descrição das soluções de impermeabilização aplicadas nas duas obras, é necessário classificar de uma forma geral os revestimentos de impermeabilização quanto ao seu tipo, quer se tratem de revestimentos tradicionais, em que a sua utilização é comum, a ponto de serem bem conhecidas as suas características e a sua prática de utilização é satisfatória, quer se tratem de revestimentos não-tradicionais. Estes últimos são caracterizados através de campanhas experimentais e também por meio de visitas a obras onde estes materiais estejam a ser aplicados, de forma a definir o seu campo de aplicação [2].

Tanto os revestimentos tradicionais como os não-tradicionais podem ser constituídos por materiais aplicados “in situ” (sob a forma líquida ou pastosa e a quente ou a frio) ou por produtos prefabricados (sob a forma de membranas em peça). Pretende-se, de seguida, fazer uma descrição sintética, e assim dar a conhecer, os vários tipos de revestimentos existentes nas categorias anteriormente referidas [2].

No que diz respeito aos revestimentos de impermeabilização tradicionais aplicados “in situ” existem vários materiais como os betumes, o alcatrão e bréus de alcatrão de hulha, asfalto e produtos elaborados.

### **a) Betumes**

De um modo geral, os betumes podem ser considerados como uma mistura orgânica complexa de hidrocarbonetos pesados, de origem natural ou artificial, que apresentam características fundamentais como o facto de serem um aglomerante, como a cal e o cimento, sem precisarem de água para fazer presa, serem hidrófobos (repelem a água) e são quimicamente inertes. Apresentam também como vantagem o custo relativamente baixo. No entanto, os betumes apresentam também algumas desvantagens: facilidade de envelhecimento (o que os torna mais quebradiços) e um ponto de fusão baixo.

- **Betumes Naturais** - a utilização de betumes naturais é conhecida desde os tempos antigos, desde a aplicação em coberturas, muros enterrados, canalizações de água ou cisternas. Os betumes naturais definem-se como “hidrocarbonetos sólidos ou semi-sólidos, podendo ser geralmente considerados como resíduos de antigos jazigos de petróleo onde os elementos mais voláteis haviam migrado e evaporado para o exterior” [3]. Relativamente às suas aplicações, este material é basicamente utilizado na preparação de sistemas com base em asfaltos.
- **Betumes de destilação directa** - são produzidos directamente por destilação do petróleo bruto. Por apresentarem como desvantagens os valores elevados de penetração e pontos de amolecimento baixos (40° C a 50° C), as aplicações mais correntes dos betumes de destilação directa são na impregnação de feltros betuminosos e de armaduras orgânicas, no fabrico de membranas de betumes polímeros e na obtenção de betumes insuflados.
- **Betumes insuflados** – são obtidos a partir dos betumes de destilação directa por insuflação de ar quente na sua massa. Quando comparados com estes últimos, os betumes insuflados apresentam vantagens como o melhoramento das suas características, como a temperatura de amolecimento e a penetração com valores mais baixos, tal como os valores da ductilidade que demonstram que estes betumes são efectivamente mais duros. No que diz respeito às suas utilizações, este material é aplicado na preparação de misturas betuminosas para o fabrico de feltros ou telas betuminosas e também na aplicação “in situ” como produto de ligação desses feltros e telas entre si e ao suporte [2].

#### **b) Alcatrão e bréus de alcatrão de hulha**

O alcatrão é um produto betuminoso obtido através da queima de matérias orgânicas (hulha, lenhite, turfa e madeira). Este produto é utilizado na preparação de produtos elaborados e de feltros com base em alcatrão. Através

do processo de destilação fraccionada obtém-se o breu de alcatrão de hulha cujas aplicações são idênticas às do alcatrão.

### **c) Asfalto**

O asfalto natural é extraído de rochas sedimentares que se encontram impregnadas de betume solúvel. Os revestimentos com base neste material são normalmente constituídos por duas camadas com funções impermeabilizantes, e, eventualmente, uma terceira camada de protecção, cujas espessuras vão aumentando desde a camada inferior (cerca de 5 mm), seguida da camada superior (na ordem dos 15 mm) e, finalmente, a camada de protecção (20 a 25 mm). Relativamente às suas aplicações, os revestimentos com base em asfaltos devem ser utilizados em sistemas independentes sobre coberturas com inclinação inferior a 3%. De forma a garantir a independência do sistema deve colocar-se uma camada de dessolidarização, geralmente constituída por duas folhas de papel “kraft”. Em casos de coberturas acessíveis à circulação de pessoas ou de veículos automóveis, deve proceder-se à execução de uma protecção pesada composta por uma camada de asfalto com inerte grosso com 20 mm de espessura [2].

### **d) Produtos elaborados**

- **Emulsões betuminosas** – são caracterizadas pela sua homogeneidade, na medida em que quando estas se encontram em estado de repouso não se deve verificar a separação da água nem a coagulação do betume. São utilizadas como produtos de impregnação de suportes porosos em paredes enterradas e coberturas, intercaladas ou não com armaduras (em geral de tela de fibra de vidro). Esta solução é cada vez menos utilizada devido à necessidade de executar um grande número de camadas para que se obtenha a massa mínima por unidade de área que permita a satisfação das exigências funcionais [2].
- **Pinturas betuminosas** – podem ser utilizadas como produto de tratamento da superfície de aderência (primário) de sistemas de

impermeabilização ou como produto de protecção aplicado, neste caso, sobre a última camada. São produtos aplicados no estado líquido que se transformam após secagem numa película sólida.

- **Produtos betuminosos modificados** – são produtos de base betuminosa aos quais se adicionam pequenas quantidades de aditivos (na maioria das vezes resina) com vista a melhorar ligeiramente as suas características. Quando se adicionam quantidades significativas de aditivos estes poderão vir a alterar as propriedades fundamentais dos produtos resultantes e, como tal, deverão passar a fazer parte da categoria dos revestimentos não-tradicionais [2].
- **Cimento vulcânico** – resulta da mistura de bréu de alcatrão de hulha com enxofre, resinas e outros aditivos. É um produto de maior consistência e tem como vantagem, em relação ao bréu de alcatrão, o maior poder de aderência e também um comportamento melhorado aos agentes atmosféricos. As suas aplicações são idênticas às do alcatrão.

De seguida apresentam-se os revestimentos tradicionais prefabricados. Estes consistem basicamente em telas e feltros betuminosos. Tratam-se de materiais prefabricados constituídos por uma ou duas armaduras de feltro ou de tela, por misturas betuminosas que envolvem as armaduras e por materiais de acabamento superior e inferior.

No que diz respeito às armaduras, existem três tipos: as orgânicas (feltros de cartão e telas de juta ou de algodão), as inorgânicas (feltros de fibra de vidro, telas de fibra de vidro e metálicas de folhas de alumínio) e as sintéticas (feltros de poliéster). As armaduras orgânicas têm, correntemente, muito pouco uso, limitando-se apenas a camadas de dessolidarização dos revestimentos de impermeabilização ou das protecções pesadas, quando existentes. As mais utilizadas em Portugal são os feltros e as telas de fibra de vidro [2].

Os sistemas de impermeabilização compostos por telas ou feltros betuminosos são formados por múltiplas camadas coladas entre si e, eventualmente, ao suporte com betume insuflado ou por soldadura por meio de

chama sempre que a massa por unidade de área ou a espessura das telas ou feltros betuminosos seja suficientemente elevada de forma a que a chama não afecte as respectivas armaduras.

As membranas podem ser aplicadas cruzadas alternadamente entre si ou na mesma direcção, sendo que esta última técnica não deve ser utilizada quando as membranas são constituídas por armaduras de tela de fibra de vidro, pois a resistência na direcção transversal é diminuta.

Quanto ao seu campo de aplicação estes sistemas de impermeabilização de múltiplas camadas podem ser usados na generalidade das coberturas em terraço: coberturas de acessibilidade limitada e coberturas acessíveis à circulação de pessoas e/ou de veículos ligeiros e pesados.

Finalizada a descrição dos revestimentos tradicionais, dão-se agora a conhecer os revestimentos não-tradicionais, quer os aplicados “in situ” quer os prefabricados.

Os primeiros são produtos aplicados sob a forma líquida ou pastosa e podem ser constituídos por um ou dois componentes. São também de natureza diversa, tendo no entanto, em geral, como base uma resina, das quais são mais correntes as de polietileno clorossulfonado, de policloropreno, de poliuretano, de poliéster não-saturadas, epoxídicas, vinílicas e acrílicas. Além destes, existem também outros produtos líquidos não-tradicionais que incorporam materiais betuminosos [2].

Este tipo de revestimentos pastosos apresenta como desvantagem o campo de aplicação bastante limitado, adicionado ao facto de não ser prática corrente o uso destes materiais em Portugal, embora se conheçam algumas aplicações de sistemas deste tipo, como por exemplo, utilizações em reparações de coberturas e constituição de revestimentos de impermeabilização novos de coberturas de acessibilidade limitada e coberturas acessíveis a pessoas e/ou veículos. Nestes últimos casos os revestimentos deverão ser sempre armados e aplicados em camadas com espessuras superiores às utilizadas nos sistemas de reparação [2].

Os sistemas de impermeabilização constituídos por revestimentos não-tradicionais aplicados “in situ” devem ser compostos por mais de uma camada, intercalando ou não armaduras com espessuras da ordem dos 2 a 3 mm.

Como principais vantagens dos sistemas de impermeabilização em questão, podem enumerar-se a relativa facilidade na sua aplicação, nomeadamente em zonas singulares (função bastante difícil de executar com materiais prefabricados), e a sua simplicidade de reparações, a qual consiste, em geral, na simples deposição de novo produto na zona afectada [2].

Quanto às regras de aplicação destes materiais, estas incidem basicamente no método de aplicação sobre o suporte, que pode ser feita manualmente, utilizando trinchas, escovas, rolos, talochas e rodos dentados, ou mecanicamente, através do recurso a pistolas de ar. Outro dos principais cuidados a ter na aplicação destes produtos é a necessidade de garantir a sua uniformidade sobre o suporte, de modo a obter-se uma película com espessura idêntica em toda a sua superfície, o que por si só acaba por ser uma desvantagem destes sistemas.

Finalmente, os revestimentos não-tradicionais prefabricados englobam três grupos: o das membranas de betumes-polímeros, das membranas termoplásticas e das membranas elastoméricas. Em Portugal, apesar de não se conhecerem valores em relação à utilização de cada um deste tipo de membranas, é seguro que, actualmente, as membranas que são mais utilizadas no nosso país são as de betumes-polímeros (“APP” e “SBS”), pelo que apenas se fará referência a estas últimas [2].

As membranas de betumes-polímeros “APP” e “SBS” são obtidas por recobrimento de uma ou duas armaduras, com uma mistura betuminosa modificada por incorporação de uma resina plastomérica, no caso das membranas “APP”, e de uma resina elastomérica, no caso das membranas “SBS”. Tanto uma como outra são constituídas por betume de destilação directa e cargas minerais e aditivos diversos [2].

O fabrico destas membranas de betume-polímero processa-se de modo semelhante ao das telas ou feltros betuminosos tradicionais, com excepção da preparação da mistura betuminosa modificada, que necessita dum controlo mais apertado da regulação da temperatura a que é misturada, compreendida entre 180 e 200 °C.

Relativamente às juntas transversais das membranas “APP”, estas apresentam na maioria dos casos maior resistência à tracção-corte que as

juntas longitudinais, resultado de ensaios efectuados sobre estas membranas novas e envelhecidas após acção do calor ou da água.

Quando comparadas com as membranas “SBS”, as membranas “APP” têm em termos médios temperaturas de amolecimento superiores às primeiras (variação da ordem dos 35 °C). O efeito de envelhecimento em estufa faz-se sentir mais nas membranas “SBS”. Em termos de ensaios de tracção têm as duas as mesmas características, já que as armaduras utilizadas nos dois tipos são de natureza e massa semelhantes.

No que se refere ao campo de aplicação das membranas de betumes-polímeros, estas são normalmente utilizadas em sistemas aderentes, semi-aderentes ou independentes do suporte. Tais sistemas podem ser de uma única camada ou de camada dupla, sendo mais usual nas membranas “APP” a única camada e nas “SBS” a dupla camada. Para executar a ligação das membranas de betumes-polímeros entre si, ou ao suporte, recorre-se à soldadura por meio de chama, sendo que a utilização de betume insuflado a quente como processo de ligação das membranas ao suporte também é viável [2].

### **2.3. Impermeabilização de Caves**

Em certa altura da sua utilização, praticamente todas as caves serão colocadas à prova no que à impermeabilização diz respeito, sendo sujeitas à pressão da água. Mesmo quando as respectivas verificações do local efectuadas a montante indicam condições secas, sem a presença de água, o risco de inundação em qualquer altura nunca deverá ser posto de lado, devendo sempre ser considerado, pois o contacto das paredes enterradas com a água pode ocorrer em diversas situações: quando o terreno apresenta elevada capilaridade, quando as pendentes do terreno se encontram voltadas para a estrutura, permitindo que as águas pluviais entrem em contacto com estes elementos construtivos [4] (como acontece com a estrutura de contenção e muros de suporte do Parque do Anel Verde) e, como é óbvio, em situações onde o nível freático se apresente elevado (caso do Parque da Frente Ribeirinha).

Assim sendo, antes de quaisquer estudos ou projectos sobre trabalhos abaixo do nível do solo, devem ser feitas investigações acerca das condições geotécnicas no local de construção, incluindo a exploração dos níveis de água e testes a amostras de solo e água subterrânea para detectar a presença de sulfatos ou outros agentes agressivos. Nos locais onde se verifique a presença dos mesmos, deverá ser considerado o uso de membranas ou argamassas especiais, tanto na estrutura como em qualquer zona de impermeabilização, a fim de fornecer a resistência adequada [4].

Em caves, um bom sistema de impermeabilização deverá ser sempre acompanhado de um bom sistema de drenagem, pois não basta impedir que a água entre em contacto com a estrutura, é preciso encaminhá-la para zonas afastadas da mesma. Como tal, a drenagem de caves deve procurar impedir que a água e outros agentes de degradação com que as paredes e os pisos estão em contacto provoquem estragos no interior das edificações independentemente do uso a que estas se destinam. É também importante a circulação das águas, evitando a sua estagnação contra a estrutura enterrada, o melhoramento das condições de drenagem dos solos húmidos envolventes das edificações, reduzindo ou eliminando as pressões hidrostáticas e facilitando uma rápida evacuação da água existente no solo e, não menos importante, protegendo a impermeabilização da estrutura [4].

Um aspecto muito importante numa cave é o facto de ser recomendado que estas estejam providas de sistemas resistentes a pressões equivalentes a pelo menos 1 metro de coluna de água, pois em solos permeáveis a água subterrânea demora algum tempo a ser drenada e se houver alguma falha no sistema de bombagem o espaço de trabalhos envolvente das caves pode a curto prazo ficar comprometido, correndo o risco de inundação com água de superfície [4].

A água tem a capacidade de penetrar até nas mais pequenas imperfeições, mesmo quando as caves em betão armado são correctamente projectadas e executadas para resistir à infiltração da água a pressões superiores às que normalmente se encontram. Então, com vista a conferir uma completa estanquidade à estrutura, é requerida mão-de-obra especializada que execute os trabalhos de acordo com os projectos e de forma rigorosa

cumprindo todos os requisitos de qualidade que se impõem, sejam estes respeitantes aos próprios materiais ou às técnicas de construção aplicadas [4].

Em certas situações não é possível atingir uma completa estanquidade, umas vezes por razões económicas, outras do ponto de vista de execução e outras devido ao método de construção escolhido não garantir a impermeabilização, especialmente em zonas de juntas da base da laje de fundação e de paredes. Um bom exemplo disso são as caves de elevadas profundidades em grandes centros urbanos onde o acesso à face exterior das paredes periféricas não é possível e as restrições do local fazem com que os elevados padrões de mão-de-obra especializada sejam difíceis ou mesmo impossíveis de alcançar [4].

Ao dispor do projectista está a tabela presente na Norma Britânica “BS 8102:1990 – Code of practice for Protection of structures against water from the ground” [4] referente aos “Níveis de protecção de caves consoante o seu uso” onde se classificam as construções consoante o seu grau de exigência e o seu tipo de utilização de forma a encontrar alternativas de construção e impermeabilização que poderão ser utilizadas para atingir os requisitos pretendidos. Apresenta-se no Quadro 1 a tabela referida que constitui uma tradução integral do indicado nessa Norma Britânica.

Quadro 1. “Níveis de protecção de caves consoante o seu uso”.

GRAU	USO DA CAVE	NÍVEL DE DESEMPENHO	TIPO DE CONSTRUÇÃO	NOTAS
1	Parqueamento automóvel; Instalações industriais (exclui-se equipamento eléctrico); Oficinas	Pequenas infiltrações e manchas de humidade toleráveis	<b>Tipo B</b>	A água presente no solo deverá ser examinada para se detectarem substâncias químicas que possam ter um impacto deteriorante na estrutura ou em acabamentos exteriores.
2	Oficinas e instalações industriais que exigem um ambiente seco; áreas de comércio	Inexistência de penetração de água; Algum vapor de água tolerável	<b>Tipo A</b> <b>Tipo B</b>	É necessário um acompanhamento cuidado de todas as fases de construção; as membranas podem ser dispostas em multicamadas com juntas sobrepostas.
3	Áreas residenciais e de trabalho ventiladas (escritórios, restaurantes, etc); áreas de lazer	Ambiente seco	<b>Tipo A</b> <b>Tipo B</b> <b>Tipo C</b>	Igual ao grau 2
4	Zonas de arquivos e armazéns que exigem um ambiente controlado	Ambiente completamente seco	<b>Tipo A</b> <b>Tipo B</b> <b>Tipo C</b>	Igual ao grau 2  Igual ao grau 1

Numa construção do tipo A a estrutura por si só não impede a penetração da água. A impermeabilização está dependente de uma barreira estanque aplicada interna ou externamente de forma a impedir a entrada de água ou apenas a presença de humidade [4].

Uma construção do tipo B, e é neste tipo que se inserem os parques subterrâneos do Anel Verde e da Frente Ribeirinha, é executada de maneira a impedir a penetração de água mas não a presença da humidade, ficando ao critério do projectista a inclusão de uma barreira estanque, ou seja, é admissível que a construção deste tipo de estruturas em betão armado apenas cumpra as exigências de natureza estrutural e a estanquidade à água seja garantida através da aplicação de uma membrana apropriada. O projecto deve então assegurar a não ocorrência de assentamentos diferenciais, o controlo da fendilhação e a presença de uma estrutura de betão de maneira a evitar especificamente a entrada de água [4].

Finalmente, as construções do tipo C dispõem de caixas de ar ao nível das paredes e do pavimento com vista a eventuais drenagens de água de maneira a proporcionar um elevado grau de estanquidade. São também executadas membranas impermeáveis tanto ao nível do pavimento térreo como dos elementos verticais em contacto com o exterior de forma a impedir o aparecimento de humidades dentro da edificação. Nas juntas de contacto das paredes com a laje de fundação e antes das betonagens é também colocada uma banda elastomérica do tipo “WaterStop” (Figura 1), pois as zonas de juntas são muitas das vezes as principais “portas” de entrada de água [4].

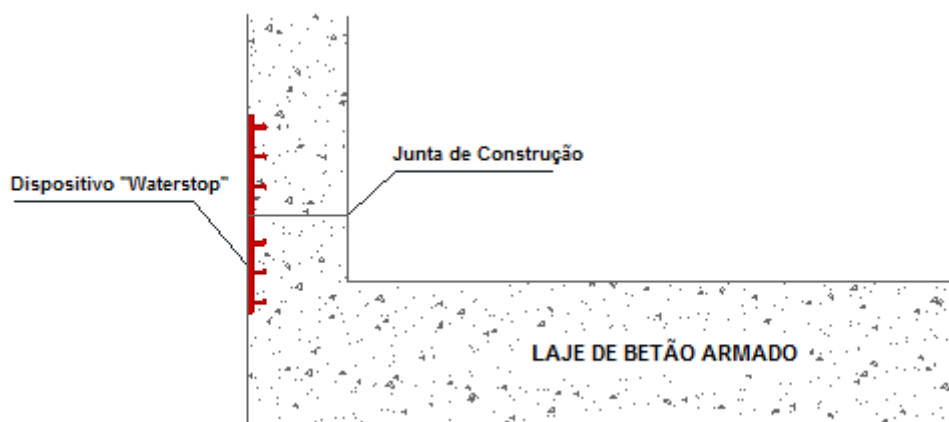


Figura 1. Exemplo de uma banda do tipo “Waterstop”.

No que diz respeito às soluções mais correntes de impermeabilização em caves, existem vários materiais como as argamassas aditivadas, as emulsões betuminosas, as membranas de betume-polímero, membranas líquidas à base de resinas e membranas de PVC.

As argamassas aditivadas apresentam na sua constituição cimentos, areias, resinas, sais activos e aditivos. O seu uso em paredes enterradas deve seguir regras de aplicação como a limpeza da superfície do suporte para boa aderência entre os dois e a humedificação da superfície do suporte para que esta não absorva a humidade da argamassa, originando processos de retracção e fendilhação. Geralmente aplicam-se duas camadas, sendo que a primeira serve de regularização e a segunda de acabamento [5]. Normalmente são utilizadas nos paramentos interiores das caves.

As emulsões betuminosas, apesar do que já foi referido em 2.2, são aplicadas sobretudo na face exterior das paredes enterradas, não devendo ser utilizadas quando se requer elevada elasticidade. À imagem do que acontece com as argamassas aditivadas, a superfície do suporte deve apresentar-se limpa de impurezas. A sua aplicação faz-se com trincha, rolo ou escova e sempre com duas camadas cruzadas, no mínimo [5].

Relativamente às membranas de betume-polímero, as suas principais características já foram referidas em 2.2. A sua aplicação em caves é bastante comum, sendo que devem ser aplicadas pelo exterior. A sua utilização em paramentos interiores de caves é desaconselhável devido às pressões negativas causadas pela humidade que atravessa o paramento, acabando por provocar o seu destacamento da superfície [5].

Outro material disponível são as membranas líquidas à base de resinas, que, sendo muito parecidas com as emulsões betuminosas em termos de cor e consistência, apresentam algumas diferenças na sua constituição. Estas são constituídas por compostos à base de resinas epoxídicas e endurecedores em dispersão aquosa, combinados com monómeros derivados do carvão fóssil. Apresentam como vantagem principal a facilidade de aplicação, nomeadamente em zonas singulares das paredes enterradas. Normalmente aplicam-se duas camadas cruzadas, sendo que, no caso de paredes enterradas, geralmente é exigida a utilização de armaduras de feltro de poliéster ou de fibra de vidro. A espessura da membrana deve situar-se entre

os 2 mm e os 3 mm. Um dos inconvenientes tem a ver justamente com a espessura da membrana uma vez que não é fácil garantir a uniformidade da membrana sobre o suporte [2].

Finalmente, as membranas de PVC são produtos fabricados a partir de resinas de PVC plastificado. Normalmente utilizam-se membranas armadas (as de poliéster e fibras de vidro são as mais comuns) com vista à minimização das retrações destas devidas à perda de plastificantes e também pelo facto da acção do calor ser bastante menor nas membranas armadas. Um inconveniente das membranas de PVC é a sua limitação à existência, na superfície do suporte, de produtos betuminosos ou óleos, pelo que, por exemplo, a utilização de produtos descofrantes em paredes enterradas fica condicionada. A ligação das membranas de PVC entre si faz-se ou por soldadura com ar quente ou utilizando solventes orgânicos. A sua fixação ao suporte, no caso das membranas armadas e de paredes enterradas, é feita mecanicamente. Uma vantagem que este material apresenta é a variedade de suportes onde pode ser aplicada, apenas com excepção de suportes em poliuretano ou poliestireno expandido [2].

#### **2.4. Bentonites**

A impermeabilização de caves recorrendo à utilização de bentonites é bastante comum. As membranas de bentonite são compostas por bentonite de sódio natural que, na presença de água no solo onde estão instaladas, absorvem-na e formam uma barreira estanque e contínua de gel de bentonite. Os sistemas de bentonite mais comuns são os não hidratados (ou secos) em que a bentonite se apresenta confinada entre painéis canelados de cartão “kraft” ou parcialmente hidratados em que a bentonite se encontra confinada entre dois geotêxteis sob forma de rolo. Existe também a possibilidade de utilização de isolante bentonítico em gel, sendo que esta opção é aplicada sobretudo em pontos singulares de paredes enterradas [6].

As membranas de bentonite, normalmente os painéis ou os rolos, apresentam espessuras na ordem dos 5 mm. Estas são fixadas temporariamente ao suporte podendo ser aplicadas em uma ou duas camadas.

Posteriormente executa-se o aterro por camadas, ou seja, à medida que se vai aterrando vão-se colocando as membranas, camada após camada, para não haver o risco de desprendimentos e, conseqüentemente, o solo ficar em contacto com a estrutura.

Este material tem as vantagens de se auto-vedar na presença de água em casos de perfurações ou mesmo de defeitos do produto, de necessitar de muito pouca mão-de-obra para a instalação e de poder ser aplicado em superfícies irregulares ou mesmo sem a necessidade de betão de limpeza. No que respeita às suas limitações, as membranas de bentonite não foram concebidas para situações de não-confinamento, nem devem ser instaladas em zonas de pressões hidrostáticas permanentes ou de acumulação de água. Não devem também ser utilizadas em solos ácidos ou de níveis alcalinos elevados [7].

Para além da impermeabilização em caves, as membranas de bentonite apresentam um campo de aplicação variado desde instalações sob lajes de betão armado, cabeças de estaca, sapatas e poços de elevadores.

# CAPÍTULO 3

## Obra do Anel Verde / Parque da Cidade

### 3.1. Generalidades

O parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde localiza-se em Lagos, no Parque da Cidade, situado na zona alta da cidade. O edifício é constituído por três pisos e uma cobertura, dois deles enterrados e um piso à cota do arruamento. A laje da cobertura serve de piso a uma zona ajardinada, estando prevista a execução de um espelho de água e de uma estrutura de sombreamento que será também uma cascata de água, constituindo, assim, um prolongamento do Parque da Cidade (Figura 2).

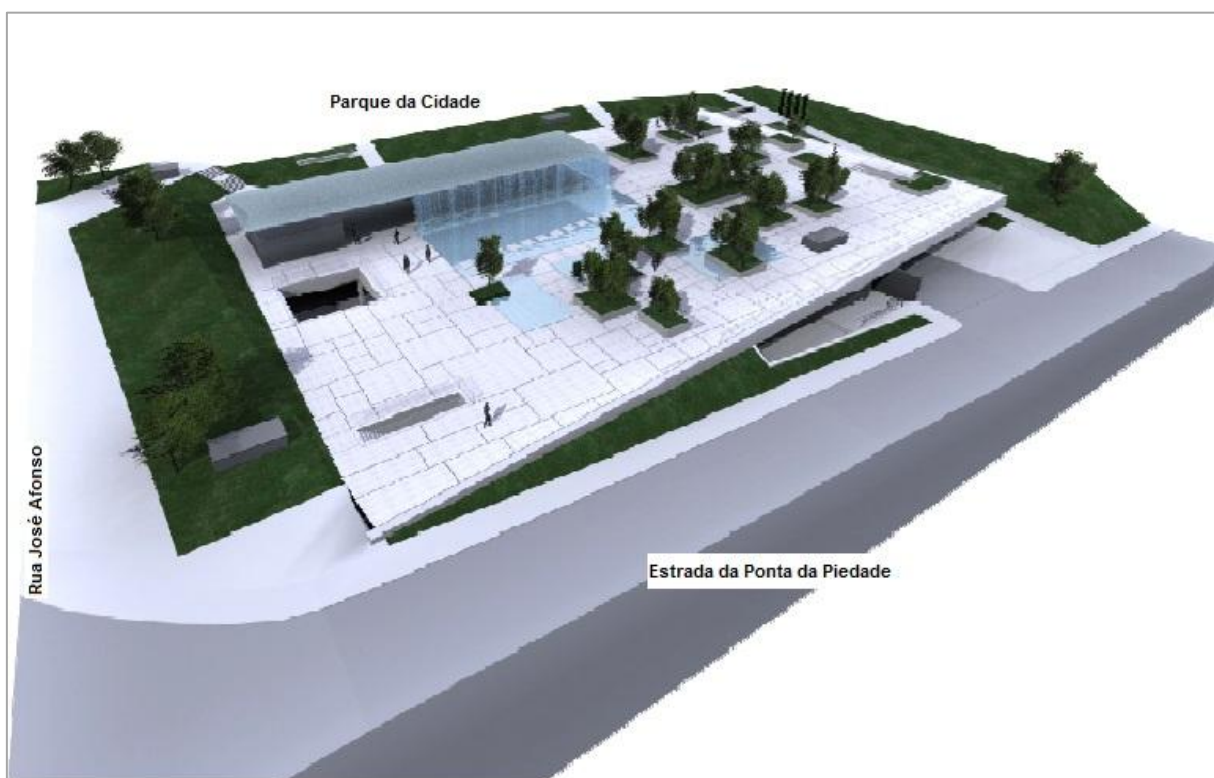


Figura 2. Enquadramento do Parque do Anel Verde.

Em termos estruturais, as lajes do piso -1 e 0 são maciças e fungiformes, e estão apoiadas em pilares de secção rectangular de betão armado. A laje de cobertura é, na sua maioria, também maciça com capitéis na parte superior dos pilares. Apenas na zona do vão de quase 9 m em consola, e de forma a vencer o mesmo, foi adoptada uma solução de lajes de pequena espessura e blocos de poliestireno apoiadas em vigas pré-esforçadas. As ligações das lajes dos pisos -2, -1 e 0 à estrutura de contenção, foram feitas através de ferrolhos. Quanto à zona de fundação, a solução adoptada foi um ensoleiramento geral, com capitéis na zona dos pilares.

Relativamente aos estudos geológicos efectuados anteriormente à construção do parque e até mesmo do próprio projecto de execução, apenas se fazem referências à realização de uma campanha de prospecção. Devido ao facto de este procedimento ter sido feito numa fase bastante prévia a todos os projectos (Novembro de 2007), no sentido de se encontrarem condicionalismos que pudessem afectar a solução proposta, não foi possível obter qualquer informação acerca de localizações em planta dos furos de sondagem efectuados. Apenas se obtiveram referências ao número de furos, diâmetros e o seu acompanhamento com ensaios complementares. No entanto, pressupõe-se que em termos de disposição dos furos em planta, estes tenham sido feitos de modo a abranger a maior área possível ocupada pelo parque de estacionamento.

### **3.2. Condicionismos Geológicos / Geotécnicos**

A verificação de condicionismos de ordem geológica-geotécnica foi feita através da realização de uma campanha de prospecção que consistiu na realização de 9 furos de sondagens à rotação com trado oco de 200 mm (S1 a S9), acompanhados da realização de ensaios de penetração dinâmica tipo SPT, a cada 1,50 m.

Apresentam-se em seguida os resultados obtidos nas sondagens realizadas retirados da Memória Descritiva e Justificativa do Projecto de Execução da Contenção do Parque de Estacionamento do Anel Verde [8], onde se individualizaram as seguintes unidades lito-estratigráficas:

“ **(At) Aterro heterogéneo** – Apresenta-se com uma tonalidade castanho-escuro em todas as sondagens, desde a superfície até uma profundidade média observada de 3,0 m. Foram observados pequenos fragmentos de calcarenito e cerâmicos, e registados valores de Ensaio SPT compreendidos entre 6 e 48 pancadas, tratando-se por isso de um solo de compactidade solto a compacto;

**(PQ1) Solo de aparência areno-siltosa, de tonalidade castanho alaranjado e castanho avermelhado** – Ocorre em todas as sondagens, à excepção de S3, até uma profundidade máxima observada de 19,50 m. Foi observada subjacente ao estrato de aterro atrás descrito, tendo sido obtidos valores de ensaio SPT entre 11 e 60 pancadas, tratando-se por isso de um solo mediamente compacto a muito compacto;

**(PQ2) Solo de aparência argilo-arenosa, de tonalidade castanho avermelhado** – Ocorre nas sondagens S3, S4, S5, S6, S8 e S9, geralmente subjacente à litologia atrás descrita, até uma profundidade máxima observada de 31,50 m, exceptuando em S3, onde foi observado este tipo de solo logo após a intersecção do estrato de aterro heterogéneo. Apresenta valores de ensaio SPT entre 8 e 50 pancadas, tratando-se por isso de um solo de consistência dura a rija;

**(M1-2) Calcarenito de tonalidade castanho claro, de granulometria fina, rico em fósseis de moluscos, com os seguintes graus de alteração:**

- a) **Decomposto (W5)** – Ocorre em todas as sondagens, excepto em S7, a profundidades variadas. A rocha desagrega-se com a mão num silte arenoso, apresentando vestígios de carcificação com presença de argilas como material de preenchimento dos poros. Obtiveram-se os seguintes valores de Ensaio STP entre 4 a 60 pancadas, correspondendo a um solo de compactidade solto a muito compacto.
- b) **Muito Alterado (W4)** – Ocorre no final das sondagens S1, S2, S3 e S7 subjacente ao grau de alteração atrás descrito, excepto em S7,

onde sucede após intersecção do solo de aparência argilo-arenosa. Apresenta valores de Ensaio SPT de 60 pancadas (1ª Fase) correspondendo a um solo muito compacto. ”

No que diz respeito aos níveis de água, a sua verificação foi feita através da instalação de 3 piezómetros nos furos de sondagem S3, S4 e S5, sendo que, aquando da prospecção realizada, os níveis de água revelaram encontrar-se muito abaixo da plataforma de escavação.

### **3.3. Estrutura de Contenção**

Quanto à contenção propriamente dita, a solução adoptada constituiu numa cortina de estacas de 600 milímetros de diâmetro, com afastamento de cerca de 1,0 m entre eixos e encastramento de 3,0 m de forma a garantir o adequado funcionamento estrutural.

A contenção foi executada também com um ou dois níveis de ancoragens/escoras de carácter provisório. A zona constituída por dois níveis corresponde ao alçado que confronta com a Rua José Afonso (Figura 2), e respectivas abas laterais, onde foi realizada uma escavação com cerca de 8,80 m de altura (Figuras 3 e 5). O restante perímetro de escavação corresponde a uma altura de escavação de aproximadamente 5,50 m (Figuras 4 e 5). De forma a atingir a cota das plataformas necessárias à execução da cortina de estacas, foram realizados taludes de escavação, com inclinação máxima de 30º com a horizontal. A cota geral de escavação localizou-se 0,40 m abaixo da cota de limpo do ensoleiramento geral (cota 11,30 m), correspondendo, deste modo, à cota 10,90 m.

A estrutura de contenção foi complementada com a aplicação de betão projectado intercalado com as estacas, com 10,0 cm (5,0 + 5,0) de espessura, armado com rede electrossoldada AQ50; esta armadura foi fixada por meio de ferrolhos selados às estacas com resina epoxi.

Na zona do betão projectado foram colocados drenos sub-horizontais, constituídos por tubos de PVC com 50 mm de diâmetro, envoltos em geotêxtil, os quais efectuarão a drenagem de eventuais águas provenientes de

infiltrações no terreno. Estes elementos possuem um comprimento de 4,0 m, encontram-se espaçados em planta de 6,0 m e estão inclinados para a parede de contenção em cerca de 15% (Figuras 3 e 4). Quanto à designação de “drenos sub-horizontais”, não foi possível encontrar a explicação precisa acerca do porquê desta denominação. No entanto, pensa-se que a designação “sub-horizonta” se deve ao facto de os drenos apresentarem, geralmente, inclinações ascendentes baixas de 3 a 5 %, próximas da horizontalidade (neste caso a inclinação aplicada de 15% foi bastante mais elevada), e se apresentarem repartidos em uma ou mais camadas, com furos sensivelmente paralelos entre si, e regularmente espaçados ao longo do talude (Figura 6) [9].

Posteriormente, aquando das betonagens das lajes dos pisos -2, -1 e 0, foi executada uma caleira de drenagem adjacente à contenção, no interior do recinto de escavação, que por sua vez foi ligada a um poço com sistema de bombagem de água. Este procedimento será analisado no capítulo a seguinte.

Deste modo, no âmbito da solução estudada, é possível resumir este processo no seguinte faseamento construtivo:

- 1) Preparação da plataforma de trabalho;
- 2) Execução das estacas a partir da cota da plataforma de trabalho;
- 3) Demolição do encabeçamento das estacas de betão armado;
- 4) Escavação e execução da viga de coroamento;
- 5) Execução das ancoragens e escoras ao nível da viga de coroamento;
- 6) Escavação do primeiro patamar de trabalho até cerca de 0,50 m abaixo da cota do 2º nível de ancoragens;
- 7) Colocação de rede electrossoldada, projecção de betão, marcação e execução dos drenos sub-horizontais;
- 8) Execução da viga de distribuição em betão armado;
- 9) Execução do 2º nível de ancoragens e escoras;
- 10) Escavação até à cota final;
- 11) Colocação de rede electrossoldada, projecção de betão, marcação e execução dos drenos sub-horizontais;
- 12) Execução da estrutura do edifício;
- 13) Desactivação de todas as ancoragens e remoção de escoras, após a execução das lajes altimetricamente equivalentes.

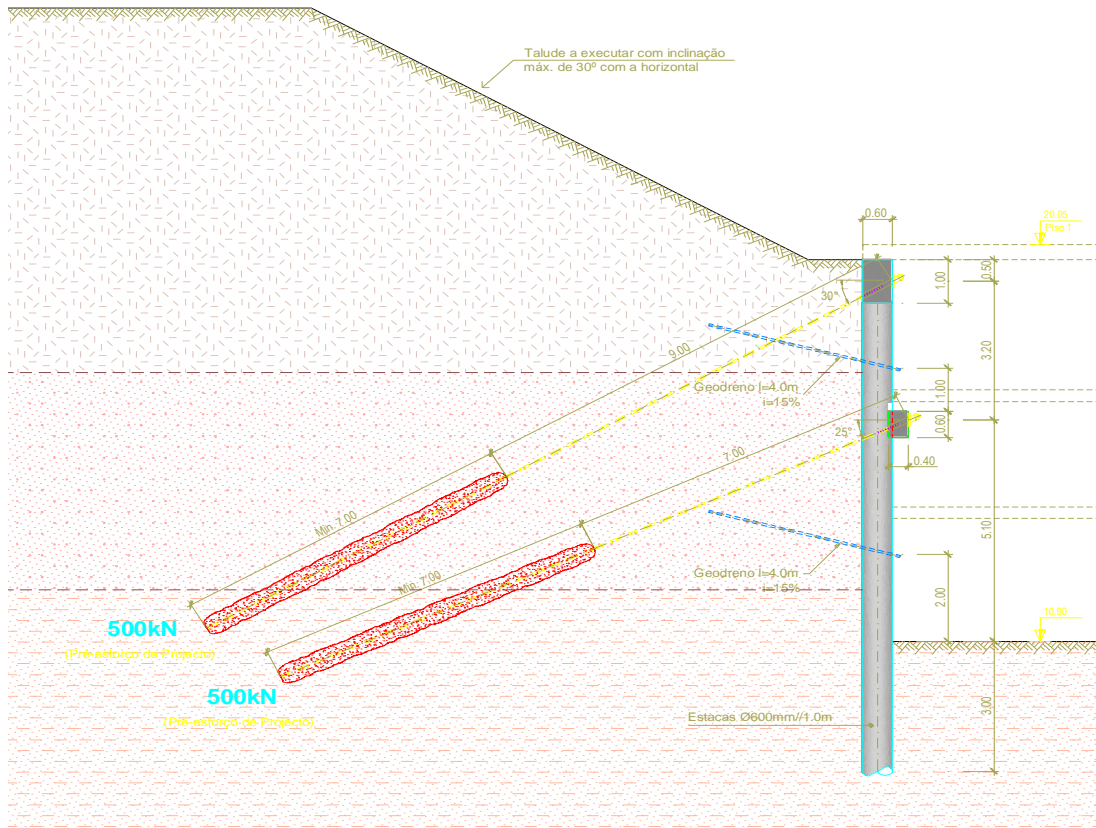


Figura 3. Corte tipo 1: primeiro e segundo níveis de ancoragens e drenos sub-horizontais.

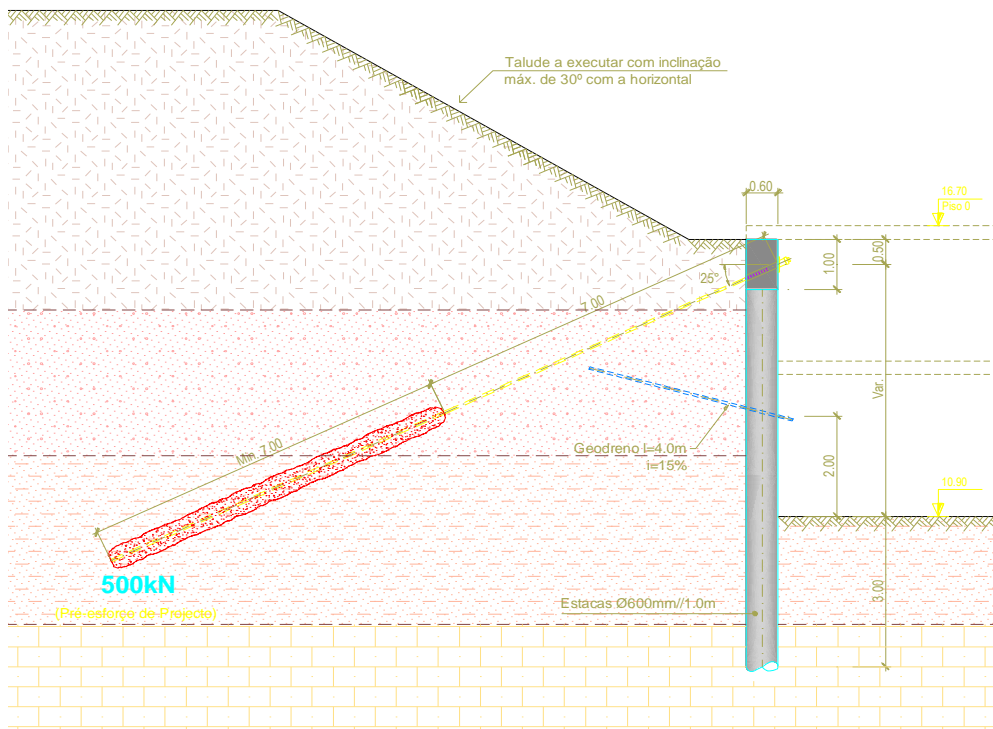


Figura 4. Corte Tipo 2: segundo nível de ancoragens e drenos sub-horizontais.



Figura 5. Vista de cortina de estacas com o primeiro e segundo níveis de ancoragens.



Figura 6. Aplicação em obra dos drenos sub-horizontais.

### **3.4. Sistema de Drenagem adjacente à contenção**

#### **3.4.1. Generalidades**

Para encaminhar as águas provenientes do terreno, ao nível da contenção, foram executadas em cada piso caleiras de drenagem adjacentes às estacas no interior do recinto de escavação.

De salientar que ao nível de peças escritas e desenhadas apenas se faz referência a estes trabalhos na Memória Descritiva e Justificativa [8] de uma forma muito curta, vaga e pouco específica, não havendo dados acerca de pendentos, larguras ou revestimentos a executar:

**“De acordo com a prática corrente neste tipo de solução, propõe-se a execução de uma caleira de drenagem adjacente à contenção, no interior do recinto da escavação, que por sua vez deverá ser ligada a um sistema de recolha de água apropriado.”**

Verificou-se também a ausência de desenhos de pormenor com cortes em pontos singulares da zona de drenagem adjacente à contenção.

Assim sendo, os desenhos apresentados mais adiante foram executados através de medições feitas em obra e reflectem a solução adoptada de acordo com as boas práticas de construção neste tipo de situações, sendo que todos os processos envolvidos neste tipo de execução foram discutidos em obra e cuidadosamente pensados de forma a garantir o melhor funcionamento da estrutura ao nível de impermeabilizações e drenagem de águas.

A existir uma Memória Descritiva e Justificativa cuidada e rigorosa onde houvesse referências específicas e detalhadas acerca da execução das caleiras de drenagem, esta deveria fazer parte de um Projecto de Impermeabilização, onde figurariam outros elementos, como: desenhos e detalhes específicos; especificações dos materiais necessários à realização dos trabalhos; mapa de quantidades de trabalhos a serem realizados; estimativa de custos dos trabalhos e formas de medição dos mesmos.

Todos estes documentos técnicos se revelariam de extrema importância na execução desta fase da obra e certamente que tornariam dispensável a procura de soluções adequadas já numa fase avançada da construção.

### 3.4.2. Procedimentos adoptados

Para a execução da caleira adjacente à contenção, devido ao facto de o projecto não contemplar este elemento fundamental na drenagem das águas provenientes do terreno, foram necessárias algumas alterações aos desenhos construtivos de projecto, nomeadamente no “Pormenor de ligação das lajes à cortina de estacas” apresentados de seguida nas Figuras 7, 8 e 9:

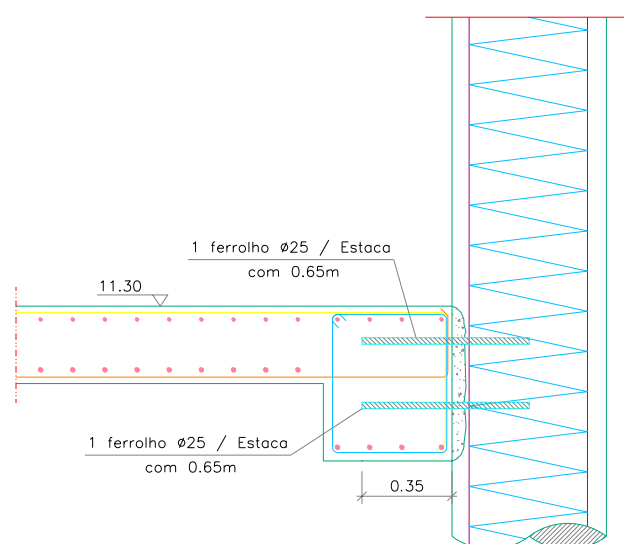


Figura 7. Pormenor de ligação das lajes à cortina de estacas no piso -2.

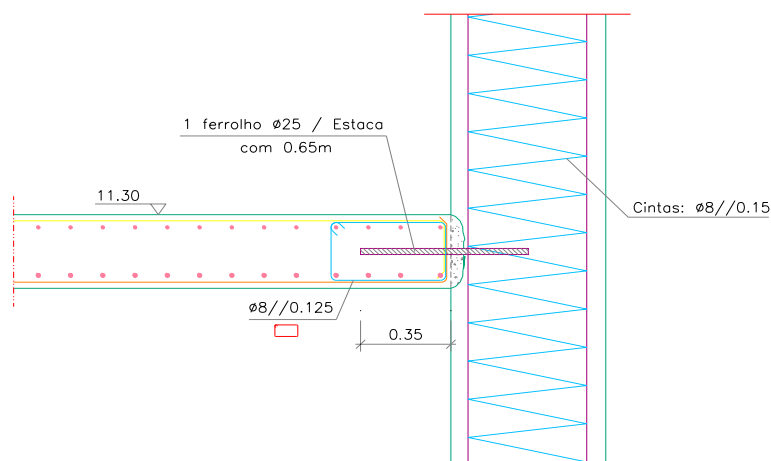


Figura 8. Pormenor de ligação das lajes à cortina de estacas no piso -1.

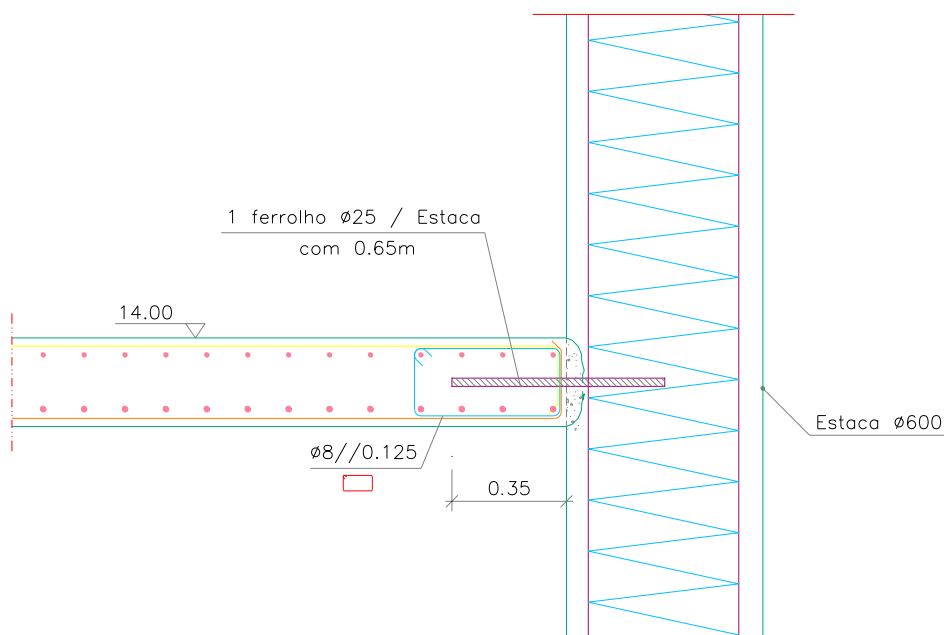


Figura 9. Pormenor de ligação das lajes à cortina de estacas no piso 0.

A introdução da caleira na estrutura implica um “recorte” na laje e respectivas armaduras. Ao nível do piso -2 a caleira foi executada com uma profundidade máxima de 15 cm e uma largura constante também de 15 cm (Figuras 10 e 12). Nos pisos -1 e 0 a caleira terá dimensões menores com uma profundidade máxima de 5 cm e uma largura de 12 cm (Figura 11).

De notar que tanto a detecção da ausência de desenhos construtivos onde figurariam as caleiras na caixa-de-ar periférica como a solução da situação com o projectista em que foram adicionadas as caleiras nos pormenores construtivos e todas as alterações que daí resultaram, foram feitas em tempo útil e resultaram também do bom trabalho de preparação e direcção de obra.

Se tais factos não fossem detectados atempadamente e apenas depois das betonagens das lajes, os mesmos implicariam a execução de trabalhos a mais (picagem das lajes em toda a periferia da contenção e remoção das armaduras na zona do “recorte” da caleira) em que não só atrasariam os trabalhos da obra como acarretariam custos não previstos (betão e aço desperdiçados e mão de obra utilizada para as reparações).

De seguida apresentam-se os desenhos construtivos finais com a introdução das caleiras nos respectivos pisos bem como as alterações ao nível das armaduras:

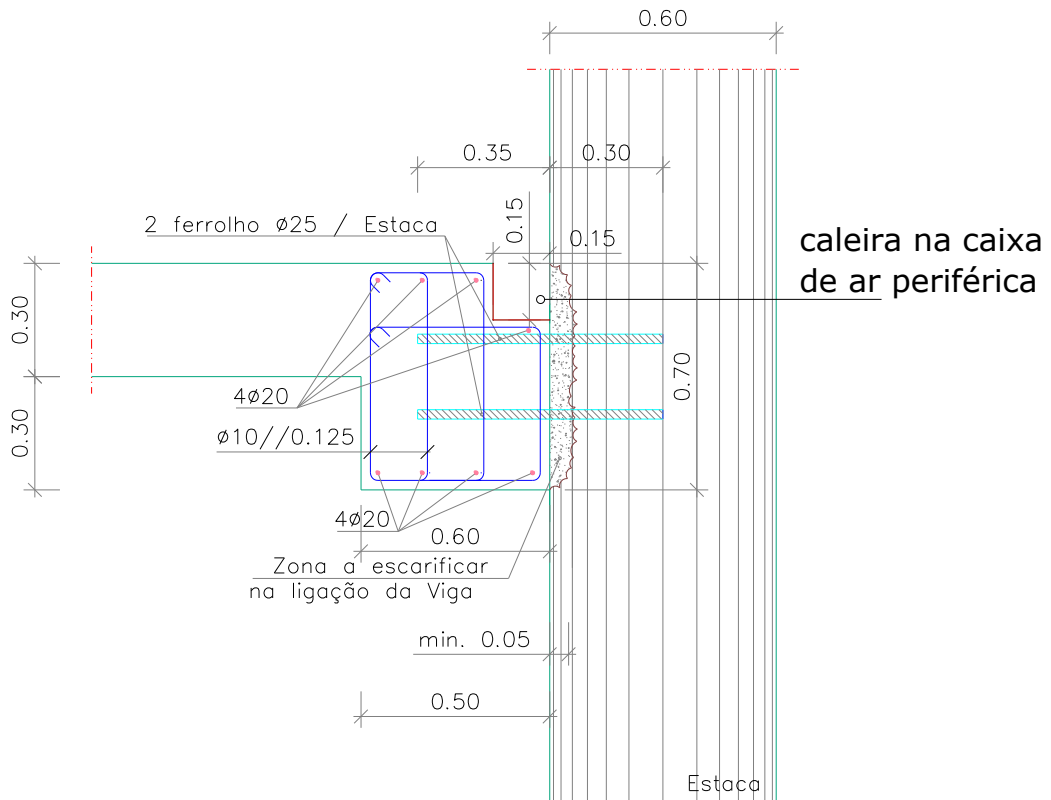


Figura 10. Pormenor final de ligação da laje à cortina de estacas no piso -2.

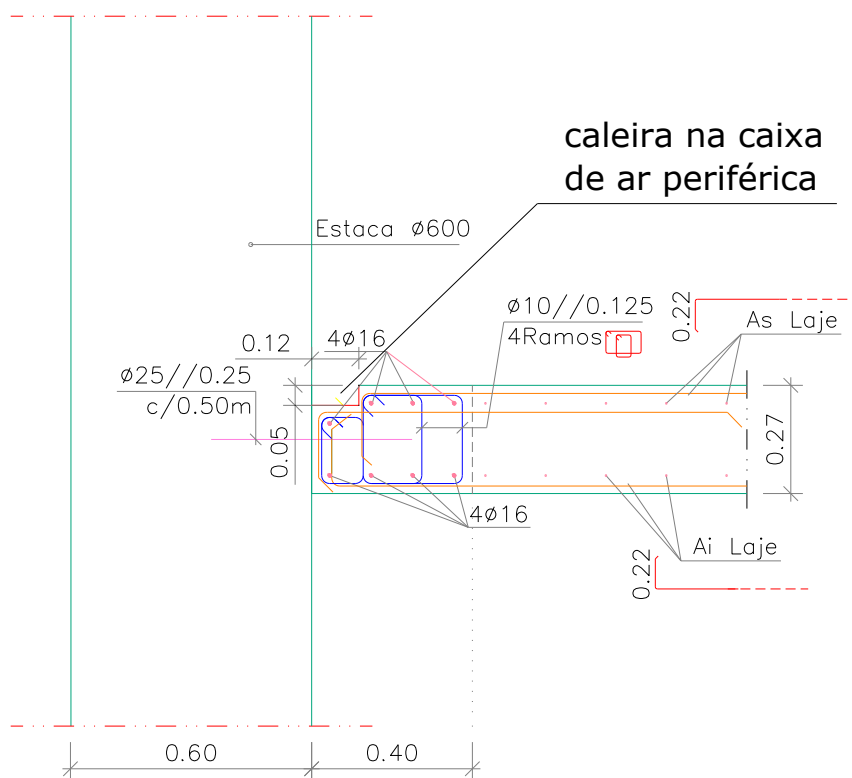


Figura 11. Pormenor final de ligação da laje à cortina de estacas nos pisos -1 e 0.



Figura 12. Aplicação em obra da viga “recortada” para a introdução da caleira no piso -2.

Para a execução dos negativos das caleiras foram “deixadas” tábuas com cerca de 20 cm de largura. Estas foram colocadas aquando da colocação da cofragem e armaduras das lajes e previamente às betonagens.

Posteriormente procedeu-se à execução das pendentes. Estas foram executadas através de pontos altimétricos desnivelados conforme a inclinação. No piso -2 adoptou-se uma profundidade mínima de 7 cm e para os pisos -1 e 0 de 3 cm.

Inicialmente procedeu-se à regularização das superfícies das caleiras bem como à definição das pendentes através da aplicação de argamassa com o auxílio de uma régua de sarrafar. Após este processo seguiu-se a aplicação de duas demãos de emulsão betuminosa do tipo “Imperkote L” em toda a superfície da caleira bem como no paramento vertical da estrutura de contenção (cerca de 15 cm) de modo a prevenir futuras patologias ao nível do pavimento do parque de estacionamento, ou seja, neste caso a emulsão

betuminosa funciona como factor de protecção da estrutura de betão contra o contacto directo com a água, atrasando o início da carbonatação.

O fenómeno da carbonatação do betão caracteriza-se pela reacção do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) com os hidróxidos do betão provocando alterações na sua estrutura como a diminuição do pH e volume de poros.

Devido ao facto de o  $\text{CO}_2$  ser um dos elementos presentes na atmosfera pode afirmar-se que todas as estruturas de betão armado são afectadas pelo fenómeno da carbonatação. Em zonas urbanas a velocidade de carbonatação é maior devido ao facto de as concentrações de  $\text{CO}_2$  serem maiores, e, em ambientes com características específicas, como é o caso dos parques de estacionamento, ainda que devidamente ventilados, os valores podem ainda ser superiores [10].

Contudo, o  $\text{CO}_2$  encontra-se na atmosfera sob a forma gasosa e como tal não reage directamente com os hidróxidos presentes na pasta cimentícia do betão, precisando para tal da presença de água para que seja possível a sua dissolução e consequente difusão na fase aquosa dos poros do betão [10].

Assim sendo, a ausência da camada de emulsão betuminosa na superfície da caleira faria com que a água de escoamento proveniente do terreno em contacto com a estrutura, cujas pendentes estão viradas para a mesma, não se escoasse na totalidade, acabando uma pequena parte por infiltrar-se na argamassa que forma as pendentes e posteriormente nos poros do betão. Tal facto iria criar o ambiente ideal para a dissolução do  $\text{CO}_2$  em estado gasoso, e posterior difusão, que provocaria uma série de reacções químicas no interior do betão que levariam a uma diminuição do pH de valores de aproximadamente 13 para valores inferiores a 9, permitindo que a corrosão do aço pudesse ter início [10].

As patologias provenientes do fenómeno de corrosão das armaduras por carbonatação manifestar-se-iam a médio/longo prazo sob forma de expansão, fissuração, destacamento de recobrimento, perda de aderência e redução significativa da secção da armadura.

É então justo afirmar que a aplicação da camada de emulsão betuminosa na superfície da caleira se revela de extrema importância no que diz respeito à prevenção de futuras patologias nessa zona da estrutura, tendo sido correcta a decisão de aplicar tal material, mesmo que não tenha sido feita

qualquer referência à sua aplicação na memória descritiva e justificativa do projecto de execução (Figura 13).

Nas Figuras 14 e 15 apresentam-se dois cortes representativos das zonas notáveis da caleira na estrutura, nomeadamente as zonas das pendentes mínimas nos pisos -2, com 7 cm de profundidade, e nos pisos -1 e 0, com 3 cm. De notar que estes desenhos foram executados através de medições feitas em obra e consulta de outros desenhos pertencentes ao projecto de execução.

Nas Figuras 16 e 17 pode verificar-se a presença de uma alvenaria em blocos de betão até uma altura de 60 cm, sendo a restante parte preenchida com chapas perfiladas caneladas fixadas sobre uma estrutura de cantoneiras metálicas. Este método de execução torna tanto a caleira como a pendente vertical onde se situam os drenos sub-horizontais visitáveis de modo a efectuar eventuais reparações.

No Anexo D apresenta-se a planta do piso -2 com as distribuições das pendentes bem como as suas dimensões e inclinações.



Figura 13. Zona da caleira após aplicação de duas demãos de emulsão betuminosa no piso -2.

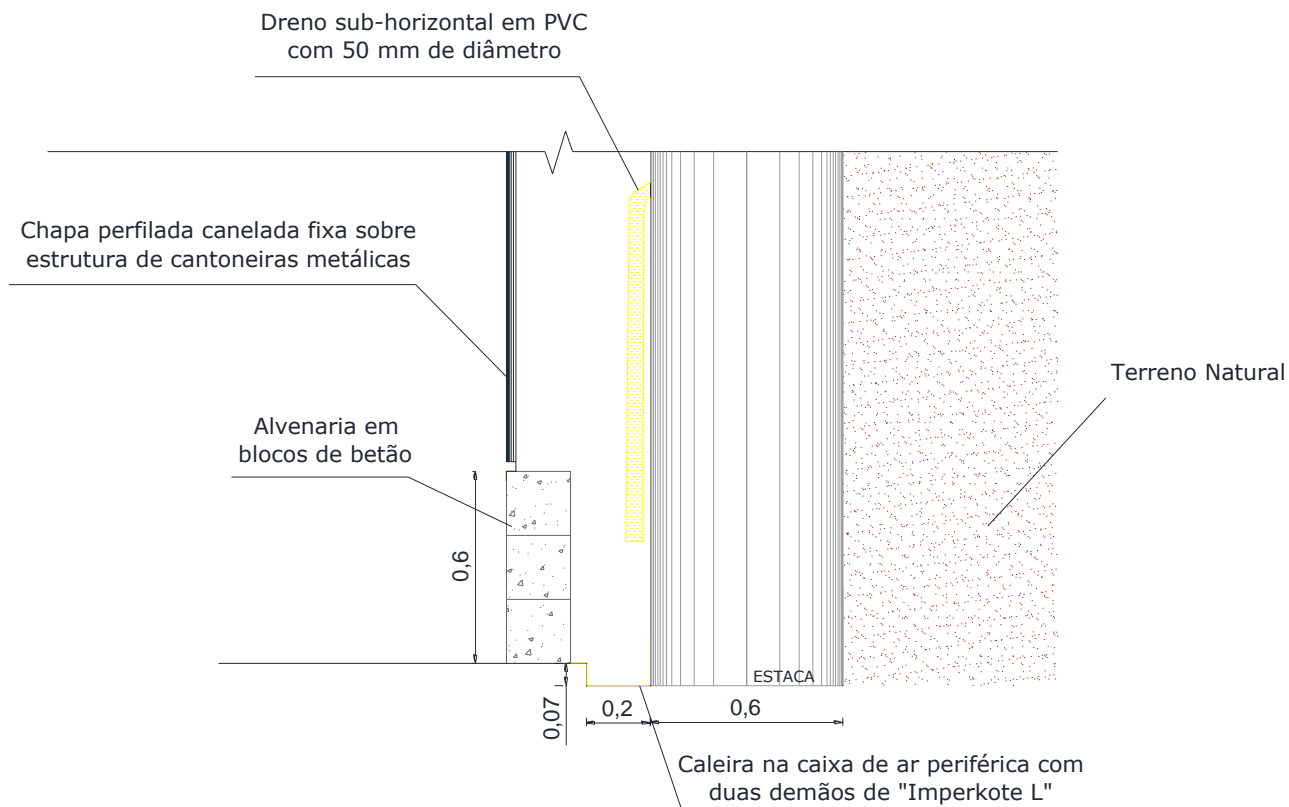


Figura 14. Corte estrutural na zona de pendente mínima do piso -2.

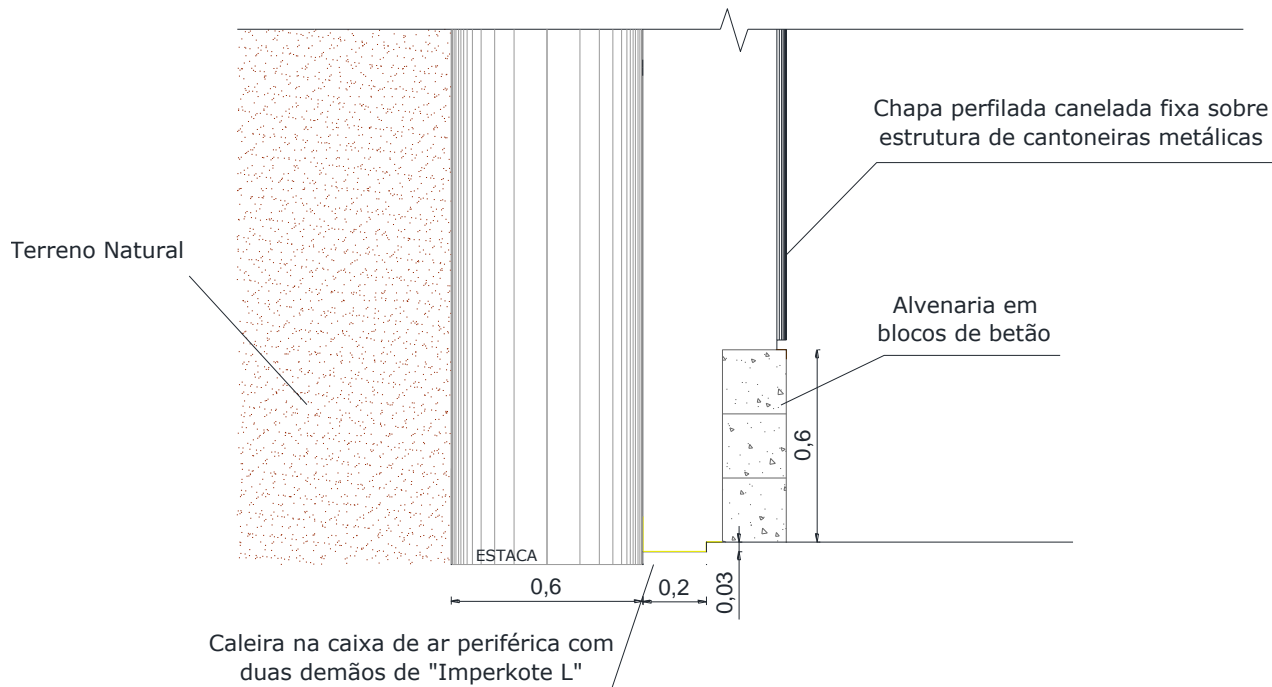


Figura 15. Corte estrutural na zona de pendente mínima do piso -1.



Figura 16. Zona da caleira após execução de alvenaria em blocos de betão com 60 cm de altura no piso -2.



Figura 17. Zona da caleira após colocação das chapas perfiladas caneladas no piso -2.

### **3.5. Sistema de Impermeabilização em Muros de Suporte**

#### **3.5.1. Descrição genérica da solução**

Pretende-se com este capítulo fazer uma análise detalhada da solução aplicada nos muros de suporte de forma a caracterizar cada um dos elementos constituintes do sistema de impermeabilização, indicar os procedimentos correctos a adoptar antes e após a aplicação de cada um dos materiais bem como as consequências da ausência ou da incorrecta aplicação de tais metodologias.

Em qualquer obra existem sempre aspectos negativos sejam eles de ordem técnica, relacionados com a mão-de-obra, com o cumprimento de prazos ou mesmo de projecto. Assim sendo, na obra do parque subterrâneo do Anel Verde foi possível identificar alguns desses aspectos negativos, explicar em que medida condicionam o desempenho do sistema onde foram identificados e procurar as soluções adequadas no sentido de melhorar procedimentos incorrectos ou mesmo de aplicação de novos materiais.

Por outro lado, devido às inúmeras soluções de impermeabilizações que é possível encontrar no mercado, foram estudadas algumas alternativas ao sistema aplicado nesta obra ao nível de muros de suporte e foram analisadas as vantagens e desvantagens tanto em termos técnicos, económicos e de mão-de-obra.

Por último será importante frisar que todas as críticas ou referências a aspectos menos positivos desta obra, mais especificamente no campo das impermeabilizações, devem funcionar como chamadas de atenção ou mesmo como críticas construtivas para a problemática da qualidade no final de uma obra onde todas as entidades intervenientes no processo, seja o dono de obra, o empreiteiro geral ou mesmo a fiscalização, têm a sua quota-parte da responsabilidade do que será o produto final, para que não se repitam os mesmos erros que muitas vezes resultam em reparações futuras com custos elevados para o dono de obra. Estes poderiam ser evitados apenas com a presença de uma memória descritiva detalhada, desenhos de pormenor adequados à situação - neste caso um projecto de impermeabilização - ou mesmo a utilização de mão-de-obra especializada que certamente traria outro

grau de exigência ou de profissionalismo a esta subempreitada, que muitas das vezes é subvalorizada.

Assim sendo, de forma a conseguir a estanquidade no interior do parque de estacionamento e, sobretudo, suportar as cargas impostas pelo terreno com as pendentes orientadas para a estrutura, foram executados quinze muros de suporte, cuja planta de localização se encontra no Anexo E, e dos quais apenas oito receberam camada de impermeabilização (MS1, MS2, MS3, MS6, MS7, MS8, MS14 e MS15) visto que os restantes desempenham somente funções estruturais não sendo necessários quaisquer requisitos no que diz respeito à estanquidade.

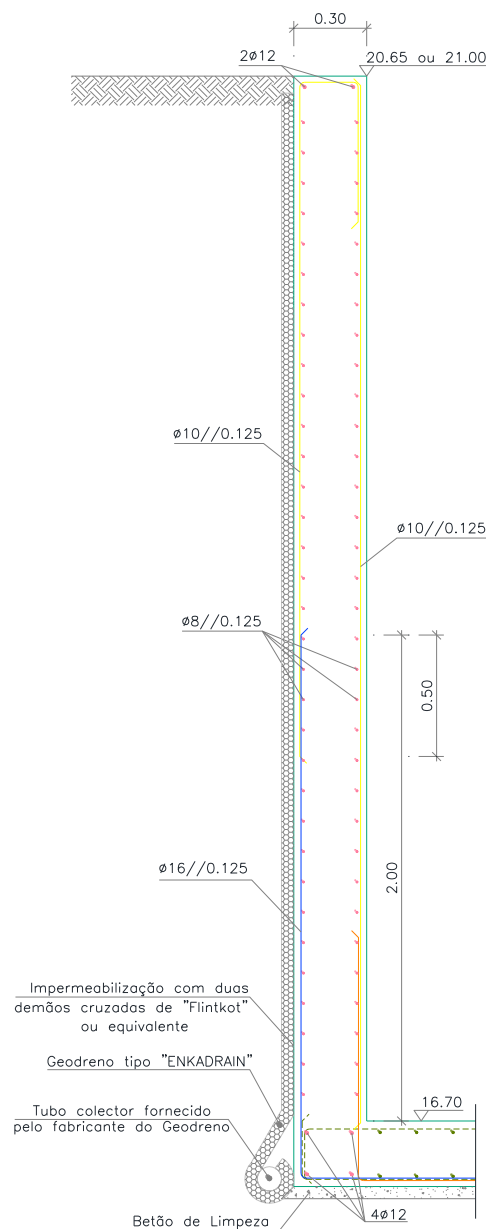


Figura 18. Sistema de Impermeabilização aplicado no muro MS1.

O sistema aplicado nos oito muros de suporte, como se pode verificar na Figura 18, é constituído pelos seguintes elementos segundo o projecto de estruturas: duas demãos cruzadas de emulsão betuminosa “Flintkot” ou equivalente, geodreno tipo “Enkadrain” e tubo colector fornecido pelo fabricante do geodreno, sem referências a diâmetros, como se poderá verificar em 3.5.6.

### **3.5.2. Emulsão Betuminosa “Imperkote L”**

O primeiro elemento a ser aplicado na superfície vertical dos vários muros de suporte foi uma emulsão betuminosa “Imperkote L” (equivalente ao “Flintkot”) não-iónica de aspecto pastoso, solúvel em água e misturável, se necessário, com vários materiais (areia, cimento, gravilha, fibras minerais, etc). Segundo a ficha técnica do produto [11] esta emulsão betuminosa é constituída por betumes aditivados com polímeros elastoméricos, filerizada e estabilizada com emulsionantes minerais coloidais que asseguram a sua estabilidade.

As emulsões betuminosas normalmente apresentam um desempenho algo limitado no que diz respeito à capacidade de proteger as paredes enterradas de um edifício. Quando se verificam situações onde são impostas pressões hidrostáticas quando o solo está saturado, a barreira formada pela emulsão betuminosa perde a sua eficácia e acaba por deixar passar a água para o interior da estrutura. Basicamente este material apenas permite colmatar os poros da superfície vertical onde é aplicado, formando assim uma camada contínua, e apenas será eficaz se não se encontrar na presença de um terreno saturado e a estrutura estiver estável do ponto de vista dos seus movimentos.

Na periferia da estrutura de contenção do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde poderão verificar-se períodos de saturação do terreno devido ao facto das pendentes do mesmo se encontrarem orientadas para a estrutura e estarem providas de sistema de rega, e, também, devido a eventuais precipitações intensas. Por estas razões o sistema de impermeabilização aplicado nesta obra é composto por mais elementos (painel drenante e tubo colector na base do muro de suporte) para que a água não se infiltre na estrutura nos períodos de maior saturação do solo e possa ser drenada para o exterior, nomeadamente, para a rede pública de águas pluviais.

Quanto à aplicação propriamente dita da emulsão betuminosa, inicialmente procedeu-se à remoção de pequenas irregularidades devidas à cofragem na superfície betonada. Foram também removidas eventuais gorduras, óleos, pó ou qualquer outro material que prejudicasse a normal aplicação e aderência do “Imperkote L”.

De seguida, com o auxílio de uma trincha, foi aplicada como primário a primeira camada de emulsão betuminosa a frio diluída da seguinte forma e de acordo com a ficha técnica do produto: 2/3 de emulsão e 1/3 de água. De notar também que esta primeira demão foi aplicada no sentido horizontal. A segunda camada foi aplicada também com diluição em água e com um intervalo de tempo relação à primeira de mais de 24 horas. Esta demão deveria ter sido, segundo o projecto, aplicada de forma cruzada relativamente à anterior, ou seja, no sentido vertical, pois desta forma conseguir-se-ia uma maior uniformidade do produto na superfície do muro de suporte (melhor distribuição do consumo). Tal não aconteceu e a segunda demão foi mesmo aplicada no sentido horizontal tal como a primeira. Este facto poderá diminuir de certa forma a eficácia desta barreira contra a passagem de humidade.

Esta falha na execução ao nível da emulsão betuminosa tem como principal causa a falta de mão-de-obra especializada. A tarefa de aplicação da emulsão betuminosa “Imperkote L” foi desempenhada por um servente que não dispunha da informação correcta acerca dos procedimentos necessários a adoptar, nem lhe foram transmitidos todos os pormenores acerca da execução destas camadas, neste caso as duas demãos cruzadas.

À margem deste procedimento e no âmbito deste Trabalho Final de Mestrado, foi feito um pequeno estudo/controlo de qualidade em relação ao consumo de emulsão betuminosa por unidade de área. Segundo a ficha técnica, a utilização deste produto na impermeabilização de muros de suportes e caves pelo exterior deve ser feita com a aplicação de, no mínimo, duas demãos não havendo indicações acerca do consumo adequado nesta situação. Assim sendo, e como o produto se apresentou em latas de 25 kg (Figura 19), foram feitas medições no sentido de perceber a área onde foi aplicado o produto de uma lata e a partir daí concluir o seu consumo por unidade de área tanto da primeira como da segunda demãos (Figuras 20 e 21). Através das marcas deixadas pelo conjunto de tábuas da cofragem (2 m comprimento x 0,5

m largura) e também com o auxílio de uma fita métrica foi possível calcular o consumo aproximado de 2 latas de “Imperkote L” em cada demão e a partir daí apresentar um valor médio. Os resultados apresentam-se no quadro 2 e foram os seguintes:

Quadro 2. Consumos medidos em obra na aplicação da emulsão betuminosa.

	Latas 25 kg "Imperkote L"	Área ocupada (m <sup>2</sup> )	Consumo (kg/m <sup>2</sup> )
1ª demão	1ª Lata	66,67	0,37
	2ª Lata	64,82	0,39
2ª demão	3ª Lata	61,35	0,41
	4ª Lata	62,45	0,40

- Valor médio da 1ª demão (primário):

$$C_{1ªdemão} = \frac{0,37 + 0,39}{2} = 0,38 \text{ kg/m}^2$$

- Valor médio da 2ª demão:

$$C_{2ªdemão} = \frac{0,41 + 0,40}{2} \approx 0,41 \text{ kg/m}^2$$

- Valor médio das duas demãos:

$$C_{1ªdemão} + C_{2ªdemão} = 0,38 + 0,41 = 0,79 \text{ kg/m}^2$$

Segundo o documento “Impermeabilização e Drenagem na Construção – Protecção contra as águas freáticas”, por Wilfried Muth [12], as pinturas betuminosas apresentam-se como a forma mais comum de impermeabilizações em paredes verticais e deverão ser aplicadas com duas demãos a quente e com três demãos a frio. O Quadro 3 retirado do mesmo

documento, na falta de dados das fichas técnicas para o consumo da emulsão betuminosa aplicada em muros de suporte de parques subterrâneos, informa acerca das quantidades a aplicar e do número de demãos necessárias dos diferentes materiais de impermeabilização, no qual os valores apresentados podem servir de referência.

Quadro 3. Materiais de impermeabilização, quantidades a aplicar e número de demãos em paredes [12].

Materiais de Impermeabilização		Massa volúmica do produto endurecido (kg/dm <sup>3</sup> )	Quantidades a aplicar (kg/m <sup>2</sup> )			Demãos
			1 camada	2 camadas	3 camadas	
Aparelho (aplicação a frio)	Solução betuminosa	aprox. 1,0	aprox. 0,3	-	-	1
	Solução de pez de alcatrão e carvão de pedra	aprox. 1,2	aprox. 0,3	-	-	
	Emulsão betuminosa	1,1 - 1,3	aprox. 0,3	-	-	
	Emulsão de pez de alcatrão e de carvão de pedra	1,4 - 1,6	aprox. 0,3	-	-	
Demãos de recobrimento aplicadas a frio	Solução betuminosa	1,0 - 1,6	-	-	0,75 - 1,0	3
	Solução de pez de alcatrão e carvão de pedra	1,2 - 1,9	-	-	0,75 - 1,15	
	Emulsão betuminosa	1,1 - 1,3	-	-	1,15 - 1,5	
	Emulsão de pez de alcatrão e de carvão de pedra	1,4 - 1,6	-	-	1,25 - 1,9	
Demãos de recobrimento aplicadas a quente	Betumes saturados ou não saturados	1,0 - 1,5	-	2,5 - 3,5	-	2
	Pez de alcatrão e de carvão de pedra	1,2 - 1,8	-	2,4 - 4,0	-	
Produtos pastosos aplicados a frio	Betumes, em solução ou emulsão	1,1 - 1,8	-	2,5 - 3,5	-	2
	Pez de alcatrão e de carvão de pedra, em solução ou emulsão	1,4 - 2,0	-	2,5 - 4,0	-	
Produtos pastosos aplicados a quente	Betumes saturados	aprox. 2,0	-	20,0 - 30,0	-	2
	Pez de alcatrão e de carvão de pedra saturado	aprox. 2,0	-	20,0 - 30,0	-	

Analisando o Quadro 3 observa-se que o consumo para a primeira camada aplicada como primário é de aproximadamente  $0,3 \text{ kg/m}^2$ . O consumo observado em obra para esta primeira demão foi ligeiramente superior ( $0,38 \text{ kg/m}^2$ ), o que significa que este é um valor bastante bom para uma camada inicial utilizada como primário.

Com a aplicação da camada seguinte de aproximadamente  $0,41 \text{ kg/m}^2$  o valor final do consumo das duas demãos de emulsão betuminosa foi de aproximadamente  $0,79 \text{ kg/m}^2$ . Observando novamente o mesmo quadro verifica-se que este último valor deveria situar-se entre  $1,15$  e  $1,50 \text{ kg/m}^2$  num total de 3 camadas. Para tal acontecer teria de se aplicar uma terceira camada semelhante à segunda de  $0,41 \text{ kg/m}^2$  e dessa forma a quantidade de material aplicado seria de aproximadamente  $1,2 \text{ kg/m}^2$ . Assim sendo, pode afirmar-se que a aplicação das duas camadas de “Imperkote L” será insuficiente e não deverá garantir a sua eficácia no sentido de servir de barreira contra a passagem de humidade.

Finalmente, apenas uma nota relativa aos dois últimos materiais do Quadro 3 onde se registam consumos demasiado elevados ( $20$  a  $30 \text{ kg/m}^2$ ); presume-se assim que tenha havido um lapso na colocação da vírgula, situando-se então o consumo no intervalo de  $2,0$  a  $3,0 \text{ kg/m}^2$ .



Figura 19. Emulsão betuminosa “Imperkote L” em latas de 25 kg.



Figura 20. Área ocupada por uma lata de “Imperkote L”.



Figura 21. Aplicação da primeira demão no sentido horizontal.

### 3.5.3. Painel de Drenagem “Aguadrain”

Este material consiste, segundo a ficha técnica do produto [13], numa lâmina nodular de polietileno de alta densidade; foi utilizado na drenagem e escoamento de águas em oito dos muros de suporte executados, tendo também as funções de proteger a camada de impermeabilização constituída pelas duas demãos de “Imperkote L” aquando do impacto do terreno na fase de aterro dos muros de suporte. Noutras situações pode também funcionar como substituto para o betão de limpeza em pavimentos em contacto directo com o terreno, impedindo a saída de água do betão para o solo aquando da betonagem da laje e também como barreira à capilaridade.

Após a aplicação das duas demãos de “Imperkote L” procedeu-se à colocação do painel de drenagem “Aguadrain”. Este material apresentou-se em rolos de 2,0 m de largura por 20,00 m de comprimento, pelo que houve necessidade de medir a altura dos muros de suporte e cortar o painel segundo as respectivas dimensões. Para o muro de suporte MS1 foram necessárias as maiores dimensões, mantendo-se a largura do painel e cortando-o com 4,0 m de comprimento. Para os muros MS2, MS3, MS6, MS7, MS14 e MS15 o comprimento do painel foi de 3,5 m. Para o muro MS8, de menores dimensões, o painel foi aplicado com 2,0 m de comprimento.

Os painéis foram colocados com uma sobreposição de 7 cm entre eles tal como indica a ficha técnica do produto, embora com produtos equivalentes se recomende uma sobreposição de 10 cm [14] [15]. Seguidamente, no que diz respeito à sua fixação aos muros de suporte foram utilizados “botões Aguadrain” com pregos nos nódulos do painel, os quais, segundo a ficha técnica, deveriam apresentar um espaçamento de 25 cm entre si devido à profundidade dos muros de suporte não ultrapassar os 4 metros [15]. Na verdade observou-se um espaçamento de mais do dobro do valor recomendado (aproximadamente 60 cm) e uma colocação de certa forma aleatória destes elementos de fixação nos primeiros painéis afixados. Nos seguintes, o número de “botões” com pregos por painel diminuiu bastante tendo a sua aplicação sido restringida praticamente à extremidade superior dos painéis para que estes não caíssem por gravidade. Verificou-se também a colocação de pedras na base dos muros de suporte no sentido de manter o

painel fixo até à fase de aterro da vala. Estes factos, juntamente com a ocorrência de precipitação e ventos intensos nalguns dos dias em que se processou esta fase construtiva, provocaram a queda dos painéis de drenagem e, conseqüentemente, ligeiros danos na sua superfície (pequenos rasgos) bem como a perda da maioria dos “botões” com os pregos aplicados (Figura 22).



Figura 22. Queda dos painéis “Aquadrain” após mau tempo.

Assim que as condições meteorológicas o permitiram, foi recolocado o painel de drenagem, desta vez utilizando em alguns dos pontos de fixação tampas de garrações com pregos (Figura 23) cujas dimensões, maiores que os botões de fixação recomendados, não permitiram a sua inserção nos nódulos do painel, criando assim potenciais entradas de água através dos furos dos pregos, o que não aconteceria com os botões de fixação pois estes têm as dimensões ideais para ocupar toda a zona do nódulo selando qualquer espaço por onde a água pudesse entrar.

#### **3.5.4. Fase de aterro**

Após a colocação do tubo colector na base dos muros de suporte, cuja descrição do procedimento será feita em 3.5.6, iniciou-se a fase de aterro da vala criada para a execução destes elementos estruturais de suporte às cargas impostas pelo terreno. Um erro geralmente cometido nesta fase é o da execução do aterro de uma só vez e a compactação do solo aterrado apenas na zona da superfície. Esta forma de aterrar uma vala com um sistema de impermeabilização instalado no paramento vertical dos muros de suporte levaria a que uma boa parte dos painéis de drenagem se soltassem durante o processo de aterro deixando a camada de emulsão betuminosa sem protecção, em contacto directo com o terreno e, conseqüentemente, com a água. Devida à fraca compactação do terreno verificar-se-iam também pequenos movimentos do solo que poderiam ter como conseqüências pequenas roturas no painel (pedras com angulosidades em contacto com o painel e sujeitas aos movimentos do terreno).

O que se verificou em obra foi precisamente o contrário ao acima referido, tendo por isso o aterro sido bem aplicado. A fase de aterro da vala foi executada por camadas, aproximadamente de 1 m de espessura cada, com o auxílio de um cilindro compactador de maneira a “acomodar” o painel de drenagem de forma correcta. O único aspecto menos positivo verificado nesta fase foi a não remoção de alguns pedregulhos presentes no solo a aterrar. Este facto levou a que aquando da colocação do solo através da pá carregadora de uma altura de aproximadamente 5 metros (Figura 24) os pedregulhos não

retirados do solo de aterro causassem perfurações nos painéis de drenagem “Aguadrain”, que no futuro servirão como pontos de passagem da água para o interior da estrutura e que poderiam ter sido evitadas com um simples procedimento.



Figura 23. Fixação do painel de drenagem com de tampas de garrafão.



Figura 24. Fase de aterro e compactação por camadas.

### 3.5.5. Trabalhos não previstos

Já numa fase final da obra verificou-se a necessidade de remover temporariamente parte do aterro que havia sido feito, no sentido de se executar uma ligação à rede pública de um dos tubos colectores, desactivados antes do início dos trabalhos, situados na vertente virada para a estrutura e cujas funções são a drenagem e o encaminhamento de parte das águas de rega e precipitação. Este procedimento levou a que a maioria dos painéis instalados nessa zona do aterro se desprendessem aquando da remoção do solo e também à perda de alguns dos elementos de fixação, incluindo as tampas de garrafão com pregos.

Finalizada a instalação à rede pública do tubo colector foi altura de recolocar os painéis de drenagem. Como alguns se encontravam bastante danificados foram utilizados novos painéis. Desta vez foram fixados com o auxílio de tábuas pregadas sensivelmente a meia altura e centradas (Figura 25). Para os topos não se moverem do lugar, estes foram fixados temporariamente (até se executar de novo o aterro da vala e colocar a camada de protecção mecânica ao sistema de impermeabilização aplicado na cobertura) na zona do rebordo através da colocação de tábuas e tijolos em cima dos mesmos.

Esta situação, nomeadamente a remoção do aterro já efectuado para permitir a ligação à rede pública de um tubo colector de drenagem de águas de rega e precipitação resulta da falta de planeamento rigoroso. Isto levou a pequenos gastos desnecessários, tanto ao nível da mão-de-obra que foi utilizada no processo como ao nível dos painéis de drenagem danificados que acabaram perdidos e levaram à utilização de material novo.



Figura 25. Recolocação dos painéis de drenagem.

Em algumas zonas do rebordo dos muros de suporte e da cobertura foram adicionados painéis de menores dimensões com vista a ocupar espaços que ficaram por preencher. Verificou-se no entanto o não preenchimento da totalidade destes espaços o que levou a que certas zonas do terreno ficassem em contacto directo com a camada de emulsão betuminosa (Figura 26). A adição destes “remendos” à camada de drenagem deu origem a novas juntas e consequentemente novos pontos de entrada de água. Tal necessidade de “remendos” e zonas com ausência de painéis de drenagem (terreno em contacto com a emulsão betuminosa) não se verificaria se os painéis tivessem sido inicialmente cortados segundo as dimensões correctas de modo a que a zona do rebordo não ficasse por preencher.



Figura 26. Zonas “remendadas” e zonas por preencher.

A montante de todo este processo de impermeabilização dos muros de suporte, e ainda numa fase de consultas de materiais, foi colocada a possibilidade de se verificar no painel de drenagem a incorporação de uma manta geotêxtil de polipropileno – “AguadrainGeo” [13]. Esta possibilidade teria como vantagens o aumento da capacidade de drenagem e a filtração de partículas finas do solo, bem como a protecção conferida ao painel drenante. Por outro lado, a desvantagem seria o factor económico visto que com a adição da manta geotêxtil o painel drenante seria quase o dobro do preço. Assim sendo, e devido aos factos de se verificar a presença de um tubo colector na

base dos muros bem como o grau de exigência a nível de impermeabilizações de paredes enterradas deste parque de estacionamento não ser muito elevado, considera-se que, do ponto de vista custo/benefício, foi uma decisão bem tomada a aplicação do painel de drenagem “Aguadrain” sem a manta geotêxtil.

### **3.5.6. Tubo colector na base dos muros de suporte**

Após a execução da barreira estanque constituída pelas camadas de emulsão betuminosa e painel de drenagem “Aguadrain” que permitirão evitar que a água entre em contacto com os elementos construtivos, foi necessária a realização de um sistema drenante. Sem este sistema de encaminhamento de águas poderiam surgir problemas devido ao aumento da pressão hidrostática no paramento exterior da parede o que colocaria em evidência o facto da barreira estanque executada não ser uma superfície contínua em toda a sua extensão (com número excessivo de juntas devido aos “remendos” aplicados) e onde a água acabaria por se infiltrar.

Assim sendo, a opção de realizar um sistema drenante/filtrante tem como objectivo a recolha da água que atinge o paramento exterior dos muros de suporte e também a redução da pressão que a água exerce sobre este. A drenagem e o encaminhamento da água para a rede pública de águas pluviais será feita no ponto mais baixo da estrutura, onde foram colocados um tubo colector, uma camada drenante de brita e uma manta geotêxtil como filtro. Devido à ausência de referências ao diâmetro do tubo colector a utilizar, tanto a nível de peças escritas como desenhadas (no corte tipo do muro de suporte MS1 apresentado na Figura 15 apenas se faz referência à utilização de um tubo colector fornecido pelo fabricante do painel de drenagem, cujas medidas feitas em computador permitiram concluir tratar-se de um tubo com 100 mm de diâmetro) foi decidida a utilização de um tubo colector com um diâmetro de 200 mm visto que a medida retirada dos desenhos se revelou à partida insuficiente face ao contemplado no Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais [16].

Com efeito, procedeu-se à determinação do caudal de cálculo, neste caso de precipitação, pois o tubo colector apenas recebe águas de precipitação e eventuais regas, através da seguinte expressão [17]:

$$Q = C \times I \times A$$

em que:

Q – caudal de cálculo (l/min)

C – coeficiente de escoamento

I – intensidade de precipitação (l/min.m<sup>2</sup>)

A – área a drenar em projecção horizontal

Relativamente ao coeficiente de escoamento (C), este foi obtido considerando-se um tipo de terreno semi-arenoso com uma inclinação situada no intervalo de 1,5 a 8%, como se pode verificar no Quadro 4 [16][17]:

Quadro 4. Coeficientes de escoamento.

Tipo de terreno	Coeficientes de escoamento			
	Inclinação do terreno (%)			
	0 a 1	1 a 1,5	1,5 a 8	>8
<b>Arenoso</b>	0,13	0,22	0,31	0,49
<b>Semi-arenoso</b>	0,22	0,31	0,40	0,58
<b>Semi-compacto</b>	0,31	0,40	0,49	0,70
<b>Compacto</b>	0,40	0,49	0,58	0,82

No que diz respeito à Intensidade de precipitação (I), retirou-se da Memória Descritiva e Justificativa do Projecto de Execução de Instalações Hidráulicas e Prediais do Parque do Anel Verde [18] o seguinte valor para a intensidade de precipitação: I = 1,75 l/min.m<sup>2</sup>.

Finalmente, para o valor da área a drenar em projecção horizontal (A), considerou-se a porção de terreno cujas pendentes se encontram orientadas

apenas para as paredes enterradas onde se instalou o tubo colector. Após medidas feitas em computador chegou-se a um valor aproximado de 3800 m<sup>2</sup>.

Substituindo estes valores na expressão, obteve-se o seguinte caudal:

$$Q = 0,40 \times 1,75 \times 3800 = 2660,0 \text{ l/min}$$

Consultando o Quadro 5 [17] verificou-se que a escolha de aplicar um tubo colector com um diâmetro de 200 mm foi a correcta:

Quadro 5. Dimensionamento do tubo colector.

DN (mm)	Diâmetro interior (mm)	Caudais (l/min)			
		Inclinação			
		1%	2%	3%	4%
110	105,1	552	781	956	1104
125	119,5	777	1100	1347	1555
140	133,9	1053	1489	1824	2106
160	153,0	1503	2125	2603	3006
200	191,4	2730	3861	4729	5461
250	239,4	4959	7013	8589	9918
315	301,8	9197	13006	15929	18394

Com o tubo colector de drenagem definido (Figura 27), procedeu-se à realização da primeira camada de aterro com vista à criação de uma superfície estável e bem compactada ao nível da base dos muros de suporte onde o tubo colector irá assentar. Caso contrário o tubo colector ficaria sujeito a movimentos do terreno e consequentemente poderia não receber de forma correcta as águas provenientes da barreira estanque e também da superfície do terreno inclinada na direcção da estrutura. Seguidamente colocou-se uma manta geotêxtil com uma gramagem de 200 g/m<sup>2</sup>, de forma a conseguir a retenção de partículas finas, onde assentou o tubo colector. Aquando da instalação deste elemento foi-lhe conferida uma pequena inclinação (aproximadamente 1%) no sentido de evitar a sedimentação de partículas em

suspensão na água no seu interior. O procedimento seguinte foi a colocação de uma camada de brita de forma a cobrir todo o tubo colector, para que esta camada permeável permita o escoamento de um elevado caudal sem que se verifiquem colmatações dos poros (Figura 28). Finalmente, enrolou-se a manta geotêxtil de forma a acomodar a camada de brita e o tubo colector e prosseguiu-se com a fase de aterro por camadas compactadas.



Figura 27. Tubos colectores  $\phi 200$  em rolos de 50 m.



Figura 28. Sistema drenante/filtrante aplicado na base dos muros.

O sistema de impermeabilização e drenagem aplicado em obra diferiu de certa forma, tanto ao nível dos materiais utilizados como na forma como estes foram dispostos em obra, quando comparados com os desenhos construtivos dos muros de suporte. Segundo estes últimos o painel drenante “Aquadrain”

deveria ter sido enrolado no tubo colector sem quaisquer camada de brita ou de manta geotêxtil filtrante. Apresenta-se então na Figura 29 um corte construtivo do que realmente foi aplicado em obra:

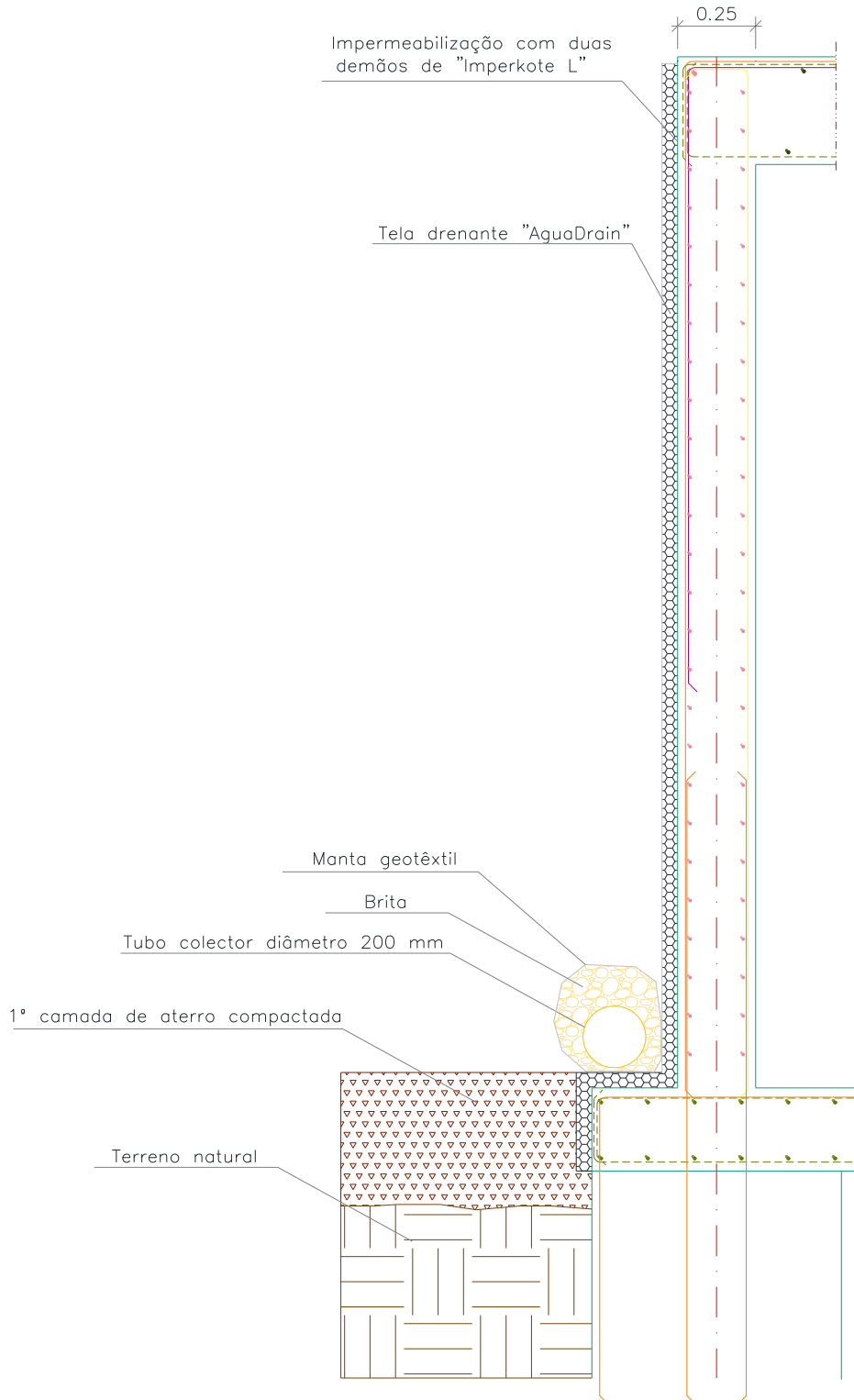


Figura 29. Corte construtivo de sistema de impermeabilização e drenagem aplicado.

### 3.5.7. Solução alternativa de painéis bentoníticos

Esta solução alternativa seria composta pela colocação de painéis bentoníticos Volclay Tipo 1 nas faces exteriores dos muros de suporte do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde para posterior aterro, de forma a constituir um sistema de paredes enterradas. Tratam-se de painéis ondulados de cartão, de geometria quadrada (1,22 m de lado e 5 mm de espessura), preenchidos com bentonite de sódio natural seca e isolados nas extremidades, constituindo assim um sistema não hidratado. Cada painel apresenta um peso aproximado de 8 kg (Figura 30) [19].

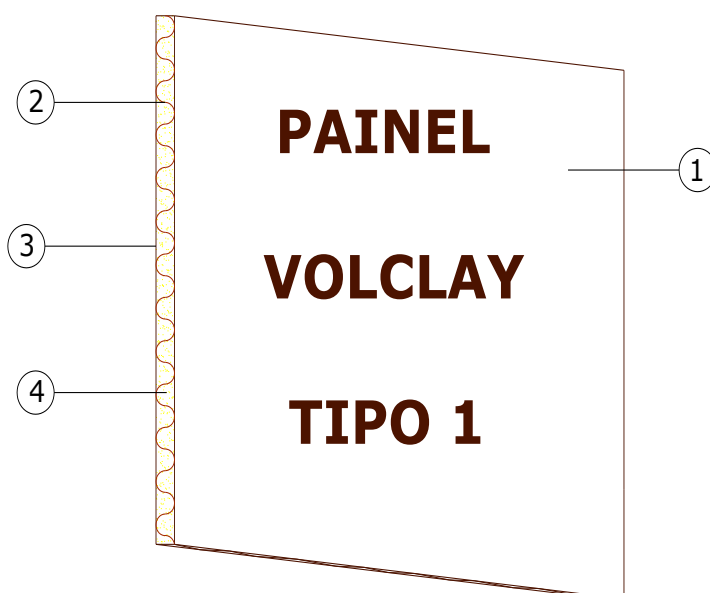


Figura 30. Painel bentonítico Volclay Tipo 1.

Legenda:

- 1 – Cobertura de papel “kraft”;
- 2 – Painel ondulado de cartão;
- 3 – Extremidades isoladas;
- 4 – Preenchimento com bentonite;

Antes da instalação dos painéis bentoníticos seria preciso analisar parâmetros/propriedades como a resistência à pressão da água, ao vapor de água, ao movimento do terreno, ao carregamento e ao punçamento, de

maneira a que, estando totalmente protegidos e sujeitos às condições normais de serviço, os painéis Volclay forneçam uma eficaz barreira à passagem de água durante toda a vida da estrutura do parque subterrâneo onde seriam incorporados.

Em relação à resistência à pressão da água, para pressões superiores a 1 bar, os painéis seriam aplicados segundo um sistema de dupla camada com as juntas desfasadas (Figura 31) [19].

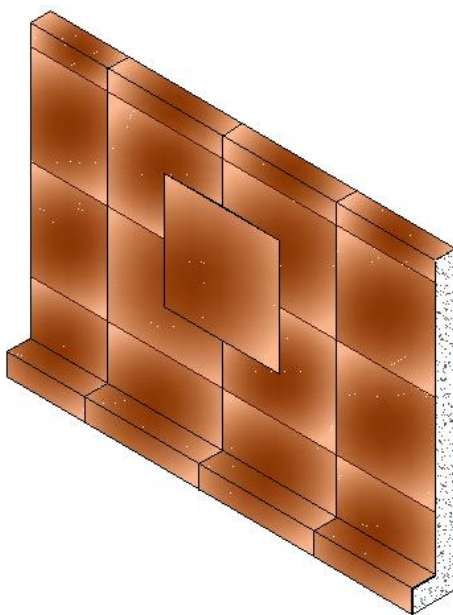


Figura 31. Painéis Volclay em dupla camada com juntas desfasadas.

Para pressões até 1 bar, como é o caso do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde que se situa numa zona alta da cidade bem acima do nível freático, a solução que se impunha seria uma única camada de painéis com sobreposição de juntas de cerca de 4 cm, sendo que este sistema de camada única também é suficiente para a resistência ao vapor de água (Figura 32) [7][19].

Devido ao facto de os painéis não estarem solidarizados com o terreno, poderão assim adaptar-se a quaisquer movimentos estruturais, seja eles assentamentos diferenciais ou movimentos de juntas, e, desta forma, apresentar uma boa resistência ao movimento do terreno.

Relativamente à resistência ao carregamento dos painéis, esta é verificada na medida em que, desde que os painéis estejam adequadamente confinados e devidamente hidratados e não estejam sujeitos a cargas pontuais,

os painéis Volclay instalados nas faces exteriores dos muros de suporte transmitirão ao solo as cargas a que estão sujeitos de forma segura e sem deformação excessiva.

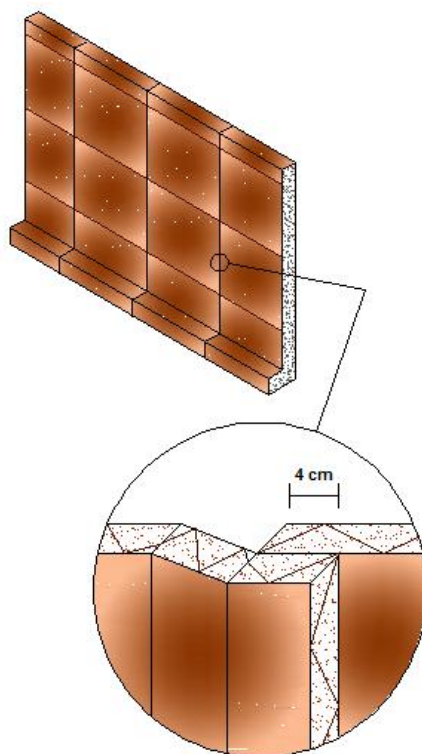


Figura 32. Painéis Volclay em camada unida com sobreposição de juntas.

Finalmente, o outro parâmetro a ser verificado é a resistência ao punçamento/perfuração. Esta propriedade remete para uma das vantagens destes painéis que é a sua capacidade de “auto-cicatrização”. Se um painel for perfurado não existe o risco de perda de material bentonítico, pois este auto veda-se na presença de água. No entanto, associado a esta vantagem está também um inconveniente destes painéis, ou seja, se por acaso houver perda de material, as capacidades impermeabilizantes do painel afectado ficam reduzidas ou até mesmo comprometidas, sendo por isso necessária a aplicação de uma camada de isolante bentonítico em gel ou uma segunda camada de painel na zona danificada ou, em situações mais graves, procede-se mesmo à substituição do próprio painel danificado [19]. Em qualquer dos casos estas reparações em paredes enterradas envolvem movimentos de terras que se traduzem em custos relativamente elevados para uma simples reparação.

No que respeita à instalação propriamente dita dos painéis Volclay, as superfícies a impermeabilizar não necessitam de limpeza, podendo até estar humedecidas, devendo, no entanto, estar livres de quaisquer cavidades ou de qualquer contacto com águas paradas. Em situações de aplicação em paredes de alvenaria deve aplicar-se, antes da instalação dos painéis, um reboco com um mínimo de 1,2 cm de espessura. Se houver a necessidade de evitar tubagens, condutas, etc, os painéis poderão ser cortados conforme as dimensões necessárias, devendo aplicar-se selante bentonítico na zona das juntas de forma a garantir a continuidade da membrana [19].

A fixação dos painéis deve ser feita através de pregos ou através do preenchimento com material granular. De notar que na zona da descontinuidade da base do muro/soleira é conveniente a colocação de um tubo plástico hidrosolúvel, de 50 mm de diâmetro, com bentonite no seu interior de modo a garantir a estanquidade dessa zona notável das paredes enterradas. Normalmente, o preenchimento com material granular é aplicado imediatamente, ou seja, à medida que se vão colocando os painéis vai-se aterrando a vala. O material granular deverá ser bem calibrado, de forma redonda, não excedendo os 50 mm de tamanho e livre que quaisquer material quebrado com angulosidades [19].

Como se verificou em 3.5.4 não houve separação do material granular e o solo foi depositado de uma altura de cerca de 5 m, havendo o risco de perfuração dos painéis aquando da fase de aterro da vala. Assim sendo, recomenda-se nestes casos a protecção dos painéis com tábuas.

Comparando esta solução alternativa com a que foi realmente aplicada pode verificar-se o seguinte em termos de custos (Quadros 6 e 7):

Quadro 6. Custo da solução alternativa de painéis Volclay.

<b>Solução Alternativa Painéis Volclay</b>			
<b>Material</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Custo</b>
Painéis Volclay Tipo 1 e Tubo Hidrosolúvel	565,40 m <sup>2</sup>	7,50 €/m <sup>2</sup>	<b>4240,50 €</b>

Quadro 7. Custo da solução aplicada.

<b>Solução aplicada</b>			
<b>Material</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Custo</b>
Emulsão betuminosa "Imperkote L"	17 latas	52,2 €/lata	887,40 €
Painel de drenagem "Aguadrain"	565,40 m <sup>2</sup>	2,82 €/m <sup>2</sup>	1.594,43 €
Tubo colector de diâmetro 200 mm	150 ml	8,08 €/ml	1.212,00 €
Manta geotêxtil a envolver o tubo colector	188,4 m <sup>2</sup>	1,72 €/m <sup>2</sup>	324,05 €
Brita 25/40	5,88 m <sup>3</sup>	20,00 €/m <sup>3</sup>	117,60 €
<b>TOTAL</b>			<b>4.135,48 €</b>

Analisando os Quadros 6 e 7 é possível verificar que a solução alternativa de painéis Volclay seria ligeiramente mais cara. Um aspecto positivo desta solução prende-se com facto da mão-de-obra ser menor em comparação com a solução aplicada onde foram executados vários trabalhos, desde as camadas de emulsão betuminosa, colocação do painel de drenagem, tubo colector, camada de brita e manta geotêxtil. No entanto, a solução alternativa de painéis bentoníticos não possui um sistema de drenagem, nem é adequado para situações onde se verifique acumulação de água. Ora no parque de estacionamento do Anel Verde, com as pendentes orientadas para as paredes enterradas, poderão verificar-se eventuais acumulações temporárias de água em que se exige um escoamento eficaz. O tubo colector aplicado na base do muro de suporte resolve esse problema.

Assim sendo, face ao exposto, é justo afirmar que a solução do sistema de impermeabilização/drenagem aplicado, em comparação com a solução alternativa apresentada, é mais adequada neste caso do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde, pelo que a sua escolha foi acertada.

## **3.6. Sistema de Impermeabilização na Cobertura**

### **3.6.1. Generalidades**

Nas coberturas em terraço recorre-se ao uso de revestimentos de impermeabilização para a vedação das mesmas, pois a laje estrutural por si só é insuficiente para garantir a estanquidade. “A característica fundamental que se exige para estes revestimentos é a da manutenção, com o tempo e nas condições de exposição previstas, da plasticidade e da hidrofugidade que lhes permitam, por um lado, deformar-se, sem rotura ou fissuração, acompanhando os eventuais movimentos da laje da cobertura, e, por outro, impedir a penetração da água que sobre eles estacione ou circule” [20]. Ao contrário do que acontece nas coberturas inclinadas (ou de revestimento descontínuo), a superfície vedante deverá apresentar-se num plano contínuo, sem juntas e, normalmente, em grandes extensões. Tal facto deve-se à superfície estar praticamente de nível, contando apenas com inclinações muito pequenas que não permitem o rápido escoamento da água [20].

A cobertura do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde é uma cobertura em terraço, visitável por pessoas. Este tipo de coberturas, devido às suas funções de vedação e estanquidade, implicam o uso de revestimentos de impermeabilização que se podem realizar com a variedade de materiais já referida no Capítulo 2.

No que diz respeito à drenagem e circulação das águas sobre a cobertura, esta pode ser feita através de caleiras perimetrais (como aconteceu no caso dos pisos inferiores), ou, como aconteceu nesta obra, por linhas de água definidas na própria superfície da cobertura que recebem as águas através das pendentes apropriadas. De seguida apresenta-se a solução aplicada em obra, juntamente com os respectivos pormenores construtivos retirados do Projecto de Execução da Obra do Anel Verde, bem como certos pormenores construtivos considerados importantes e relevantes executados pelo autor. Finalmente, apresenta-se também a solução alternativa, proposta em obra, para a cobertura, onde foi realizado um pequeno estudo económico com vista a estabelecer uma comparação com a solução aplicada e onde

também é explicado em que medida esta solução condiciona ou não o revestimento de impermeabilização.

### 3.6.2. Solução aplicada

A solução idealizada para a cobertura do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde, e posteriormente aplicada em obra, assentou na escolha de um revestimento não-tradicional prefabricado, nomeadamente uma membrana de betume-polímero “APP”.

Apresenta-se de seguida um pormenor construtivo retirado do Projecto de Execução de Arquitectura do parque do Anel Verde [21], onde estão evidenciadas as camadas sub e sobrejacente à membrana de betume-polímero “APP” (o elemento principal do revestimento de impermeabilização).

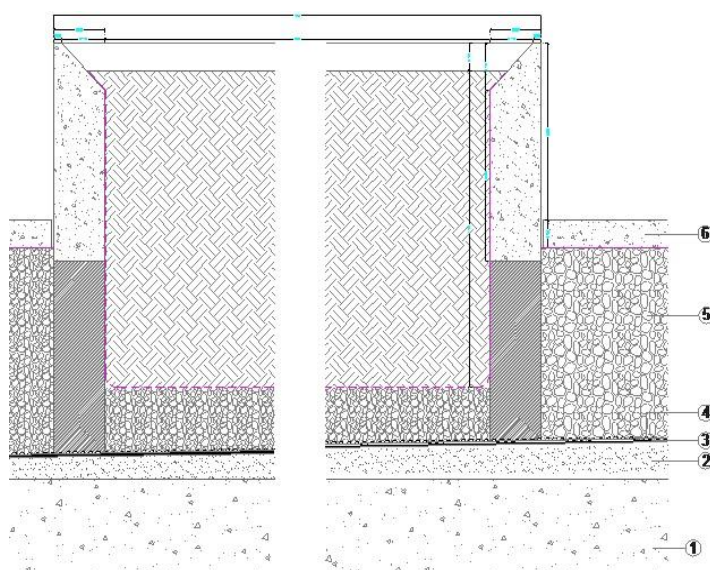


Figura 33. Pormenor construtivo da cobertura e respectivas camadas.

Legenda da Figura 33:

- 1 – Laje de betão armado;
- 2 – Enchimento com betão leve para formação da camada de forma;
- 3 – Impermeabilização com duas membranas de betume-polímero APP de  $3 \text{ kg/m}^2$  da marca “Polyplas 30” [22];
- 4 – Polietileno nodular com geotêxtil;
- 5 – Camada de brita compactada calibre 25/40;
- 6 – Pavimento em betonilha esquadrelada com 10 cm de espessura;

É importante salientar que na Figura 33 se verifica a presença de uma floreira. Este elemento construtivo integrou parte da empreitada dos arranjos exteriores que não pertencia ao empreiteiro geral com o qual foi desenvolvido este estágio, pelo que não se fazem referências a qualquer tipologia construtiva respeitante a estes elementos, até porque o Dono-de-Obra decidiu executar os arranjos exteriores da cobertura sem qualquer construção de floreiras ou espelhos de água.

#### **3.6.2.1. Camada de forma em betão leve**

A camada de forma é designada como “o elemento constituinte da cobertura cuja espessura varia com o objectivo de permitir o escoamento das águas acumuladas na cobertura” [23].

Normalmente as camadas de forma são executadas recorrendo a betão leve (como foi o caso desta obra) ou mesmo betão normal. A vantagem da utilização do betão leve em relação ao betão comum prende-se com o facto de este introduzir solicitações muito menores à estrutura de suporte e também pelo facto de conferir por si só um certo isolamento térmico à cobertura, sendo que, neste caso, esta última vantagem torna-se irrelevante visto tratar-se da cobertura de um parque de estacionamento, em que as exigências a nível de conforto térmico são muito reduzidas. Na Figura 34 apresenta-se, em planta, as pendentes conferidas pela camada de forma, com inclinações de 0,5 %, e que permitem o escoamento das águas pelos tubos colectores embutidos na camada de brita e respectivas caixas de visita.

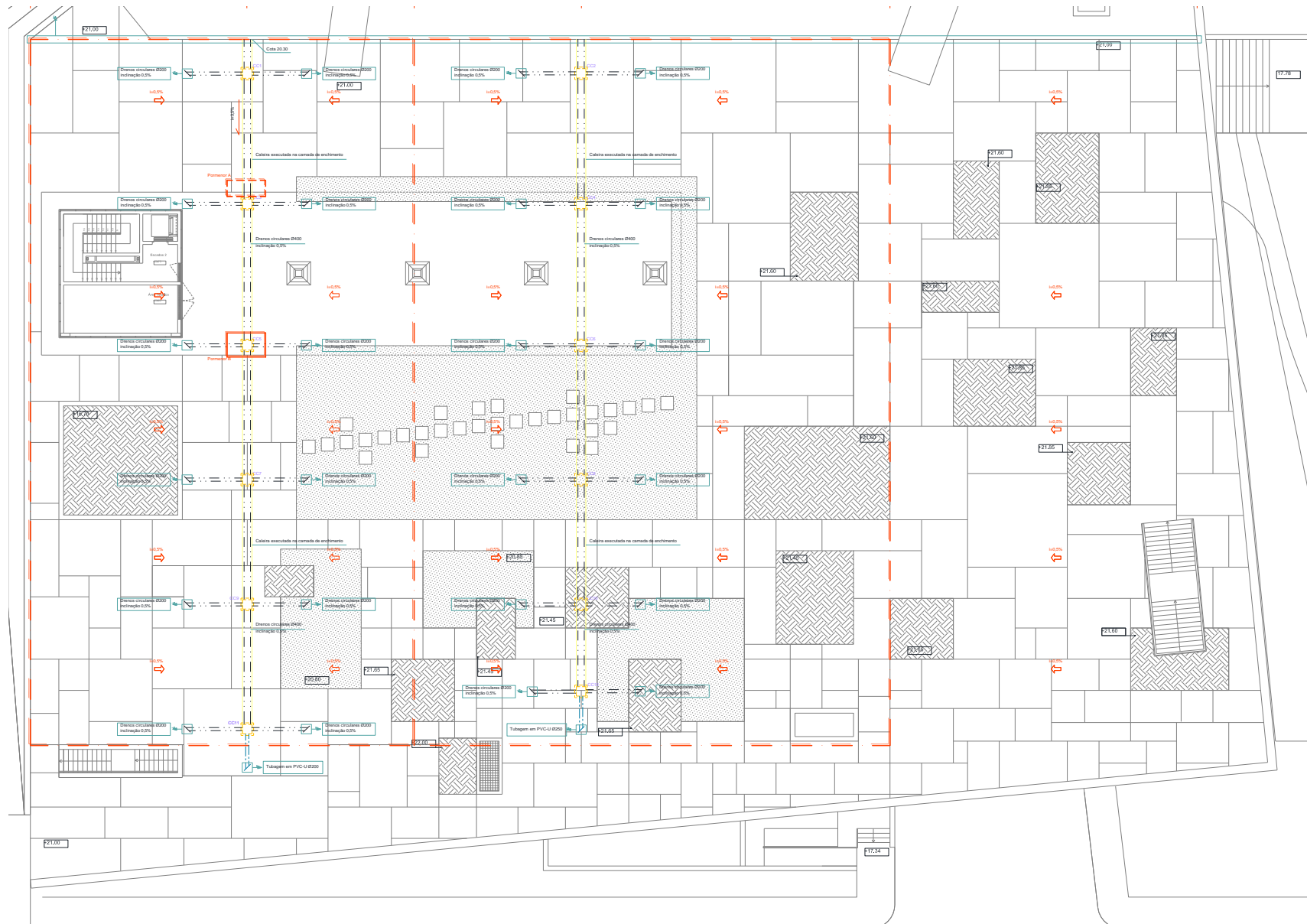


Figura 34. Pendentes definidas pela camada de forma com inclinações de 0,5 % [18].

No que diz respeito ao limite mínimo das pendentes de coberturas em terraço em Portugal, o artigo 43º do RGEU [24] estabelece um valor mínimo de 1% de inclinação das vertentes em superfície corrente. Na obra do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde o valor mínimo adoptado para as vertentes de 0,5% situa-se abaixo do limite definido no nosso país. No entanto, pode considerar-se este valor aceitável se houver um controlo muito apertado em obra de modo a não se verificar, efectivamente, em toda a superfície da cobertura, valores inferiores a este. Embora até se admita a possibilidade de haver pendentes nulas, tal obriga a haver um estudo do sistema de impermeabilização que evidencie a sua adequabilidade nestes casos.

Assim sendo, é possível classificar esta cobertura em terraço quanto à pendente, tendo em conta parâmetros como a facilidade de escoamento da água e a possibilidade de aplicação de determinados tipos de protecção sobre a mesma (Quadro 8) [2]. Esta classificação é adoptada pelas Directivas UEAtc [25] e diz respeito especificamente a sistemas de impermeabilização não-tradicionais, como é o caso deste aplicado nesta cobertura, embora também possa ser aplicável a sistemas de impermeabilização tradicionais:

Quadro 8. Classificação das coberturas em terraço quanto à pendente segundo as Directivas UEAtc.

<b>Classe I</b>	Coberturas cuja pendente origina estagnação de água e permite a aplicação de protecção pesada
<b>Classe II</b>	Coberturas cuja pendente permite o escoamento de água e a aplicação de protecção pesada
<b>Classe III</b>	Coberturas cuja pendente, embora permitindo o escoamento fácil da água, não aceitam a aplicação de protecção pesada
<b>Classe IV</b>	Coberturas cuja pendente impõe medidas especiais na aplicação das suas camadas

Esta classificação especifica quatro classes de coberturas – Classes I, II, III e IV, sendo que a cobertura em terraço do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde se enquadra na Classe II.

No que respeita a regras relativas à colocação em obra do betão leve para a execução das pendentes foi necessária a preparação da laje em betão armado de maneira a que a sua superfície ficasse bem limpa e rugosa. Estes cuidados foram postos em prática com o objectivo de se obter uma melhor aderência ao suporte, uma vez que os betões leves apresentam, normalmente, grandes retracções e, como tal, é necessário haver uma boa distribuição da fissuração (conduzindo assim a uma menor abertura das fendas), quando esta surgir [23].

Outro aspecto importante é o facto das camadas de forma executadas com base em betões leves apresentarem uma quantidade de água muito superior à necessária à hidratação do cimento, o que implica a existência de um escoamento antes da execução da impermeabilização [23]. Assim sendo, o procedimento correcto a seguir seria a execução de orifícios, na laje de suporte, de 4 em 4 ou 5 em 5 metros e em todas as zonas de depressão, que tornariam possível o escoamento da água em excesso. Posteriormente, tais orifícios seriam rebocados, e assim, conseguir-se-ia uma secagem satisfatória da camada de forma em betão leve [23].

Na obra do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde verificou-se a inexistência de processos que permitissem o escoamento da água em excesso no betão leve da camada de forma, pelo que o risco de aparecimento de manchas de humidade, na face interior da laje de cobertura, a curto/médio prazo é real.

Finalmente, um inconveniente da utilização de betão leve na camada de forma de uma cobertura é o facto de estas camadas estarem sujeitas a fortes retracções e, conseqüentemente, fissuração (que já foi limitada com a limpeza da superfície de suporte), o que torna incompatível a utilização de um sistema de impermeabilização aderente à camada de forma de betão leve [23], como é o caso desta cobertura, onde se utilizaram membranas de betume-polímero “APP”, havendo assim o risco de desprendimento das membranas de impermeabilização da camada de forma.

### 3.6.2.2. Membrana de betume-polímero “APP”

A membrana de betume-polímero utilizada em obra, ao contrário do que estava previsto nos desenhos construtivos de projecto (“Polyplas 30” vd.3.6.2), tem a designação de “Ecoplas PY 40” e consiste numa membrana impermeabilizante, cuja mistura betuminosa tem um elevado ponto de amolecimento (150 °C segundo a ficha técnica [26]), com armadura em feltro de poliéster e acabamento a filme termofusível em ambas as faces das membranas.

Quanto ao modo como este material se apresentou em obra, de referir que a ficha técnica não indicava a espessura das membranas, pelo que após uma medição se verificou um valor de aproximadamente 4 mm, sendo esta a espessura nominal mais corrente para sistemas de camada única [2]. O material apresentou-se em rolos de 10 m<sup>2</sup> (10 m x 1 m) e com uma massa nominal de 4 kg/m<sup>2</sup>, resultando, portanto, cada rolo com uma massa de 40 kg.

As armaduras utilizadas nas membranas de betume-polímero “APP” são correntemente os feltros de poliéster ou de fibra de vidro, sendo que nas membranas que apresentam na sua constituição o primeiro tipo de armadura verificam-se valores para a força de rasgamento (tanto na direcção transversal como na direcção longitudinal) superiores e, conseqüentemente, melhores do que as membranas com armaduras de feltros de fibra de vidro [2].

Relativamente ao número de camadas a aplicar, foi tido em conta o facto dos valores das pendentes serem muito baixos, sendo que nestes casos se considera recomendável o uso de mais do que uma camada (Figura 35). Também pelo facto de se tratar de uma cobertura acessível recomenda-se a aplicação de duas membranas em que pelo menos uma delas deverá ser armada com feltro de poliéster [2] (neste caso ambas as camadas o são).

A ligação das membranas de betume-polímero “APP” entre si e ao seu suporte foi feita por meio de chama com a utilização de um maçarico, constituindo portanto um sistema aderente. De notar que a nível de projecto se fazia referência à colocação das membranas de forma cruzada. No entanto, estas foram aplicadas segundo um sistema de juntas desfasadas (Figura 36), ou seja, as juntas de cada membrana ficaram desencontradas, aproximadamente a meio de cada uma (com uma distância de cerca de 50 cm,

valor bastante superior ao limite mínimo recomendável de 10 cm), sendo esta também uma opção válida na colocação das camadas das membranas de betume-polímero “APP” [2].



Figura 35. Aplicação das membranas de betume-polímero “APP”.



Figura 36. Aplicação da segunda camada do sistema de impermeabilização com juntas desfasadas.

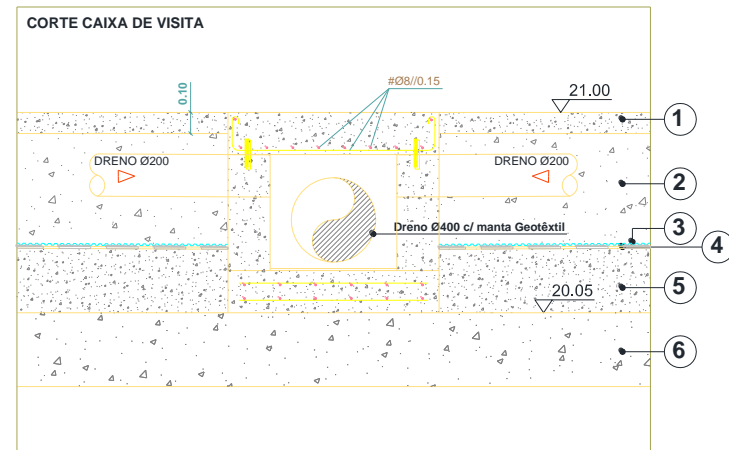
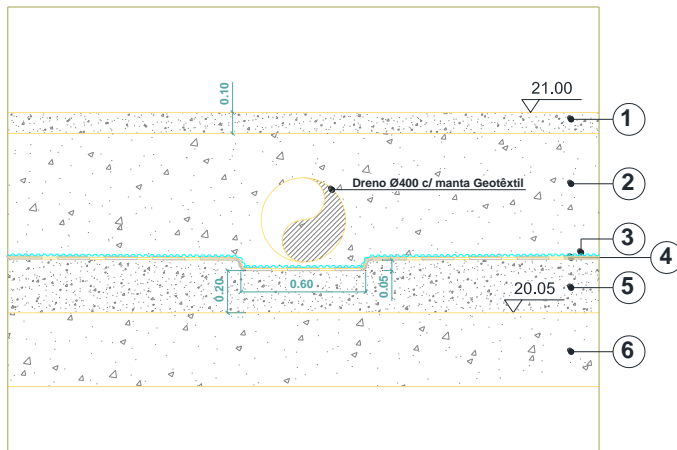
### **3.6.2.3. Manta geotêxtil e protecção mecânica em betonilha**

A nível de projecto, e de acordo com a legenda da Figura 33, estas camadas de manta geotêxtil e protecção mecânica em betonilha seriam constituídas por um painel de polietileno nodular incorporado também com manta geotêxtil. Em substituição do primeiro e, de maneira a proporcionar uma protecção mecânica ao revestimento de impermeabilização, foi realizada uma camada em betonilha com cerca de 3 cm de espessura. Esta camada oferece um maior grau de protecção à membrana de betume-polímero “APP” do que o painel de polietileno nodular, visto que as camadas seguintes são constituídas por 60 cm de brita de calibre 25/40 e 10 cm de pavimento em ladrilhos de secção quadrada, o que implica uma considerável sobrecarga sobre o revestimento de impermeabilização.

Quanto à manta geotêxtil, esta apresenta uma gramagem de 200 g/m<sup>2</sup> e tem como função fundamental funcionar como camada de dessolidarização entre a membrana de betume-polímero “APP” e a camada de protecção mecânica em betonilha.

### **3.6.2.4. Brita compactada de calibre 25/40 e pavimento em ladrilhos de secção quadrada**

Antes da execução da camada de brita foram instalados drenos com 400 mm de diâmetro envolvidos com manta geotêxtil, no sentido longitudinal (de escoamento da água), e drenos com 200 mm de diâmetro no sentido transversal, de forma a ficarem embebidos na camada de brita para drenagem das águas das chuvas e de lavagem dos pavimentos (Figura 37). Estas águas serão recolhidas por caixas de visita e conduzidas até à rede pública existente (Figura 38). Posteriormente, foi então colocada e compactada a camada de brita com uma média de 60 cm de espessura.

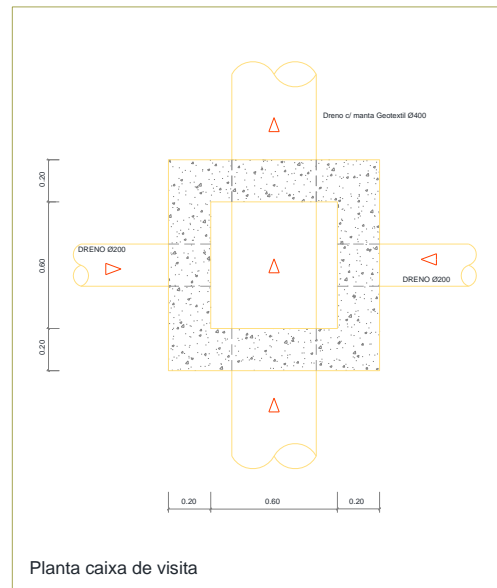


Legenda:

- 1 - Ladrilhos de secção quadrada
- 2 - Camada de Brita
- 3 - Manta geotêxtil e protecção mecânica em betonilha
- 4 - Membranas de Impermeabilização
- 5 - Camada de Enchimento de betão leve
- 6 - Laje de Tecto do Piso 0

Legenda:

- 1 - Ladrilhos de secção quadrada
- 2 - Camada de Brita
- 3 - Manta geotêxtil e protecção mecânica em betonilha
- 4 - Membranas de Impermeabilização
- 5 - Camada de Enchimento de betão leve
- 6 - Laje de Tecto do Piso 0



Planta caixa de visita

Figura 37. Pormenores construtivos relativos às secções da cobertura onde estão inseridos os drenos.



Figura 38. Drenos envoltos em manta geotêxtil e caixas de visita.

No que diz respeito à execução do pavimento, este foi executado na empreitada dos arranjos exteriores, que não fazia parte da empreitada geral correspondente a este estágio curricular, e também já numa fase posterior ao fim do referido estágio, pelo que não foi possível acompanhar, na íntegra, os trabalhos respeitantes a este procedimento.

No entanto, foi possível verificar a colocação de argamassa de regularização com cerca de 5 cm de espessura, sobrejacente à camada de brita compactada, que serviu de base de assentamento para os ladrilhos de secção quadrada (15 cm x 15 cm) com 5 cm de espessura (Figura 39). Esta solução diferiu também do que se verificava nos desenhos construtivos de projecto onde fazia referência à colocação de uma camada de 10 cm de betonilha esquadrelada.

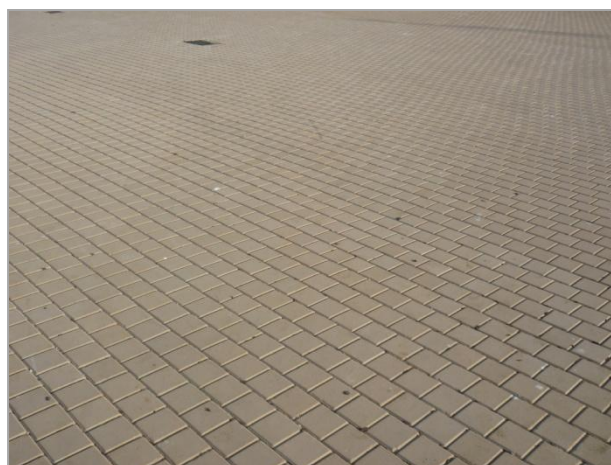


Figura 39. Pavimento em ladrilhos de secção quadrada.

### 3.6.3. Solução alternativa

Esta solução constituiu, já numa fase avançada da obra, uma variante para a laje de cobertura onde, de um modo geral, se propunha uma redução da espessura da laje e a substituição da camada de 60 cm de brita por um sistema “Cupolex” [27], mantendo as restantes camadas do revestimento de impermeabilização. Basicamente, este sistema seria constituído por “cúpulas” ou “estrados” de plástico que, encaixados uns nos outros, iriam formar uma estrutura auto-sustentada com um peso próprio bastante inferior ao da camada de 60 cm de brita.

Esta alternativa iria ter como vantagens, a nível do revestimento de impermeabilização, a diminuição considerável de sobrecarga actuante e, conseqüentemente, a diminuição da probabilidade de, no futuro, haver danos causados na membrana de betume-polímero “APP” aplicada (rasgos, perfurações).

Assim sendo, e de um modo mais pormenorizado, a laje da cobertura passaria de uma espessura original de 0,35 m e ábacos invertidos de 0,70 m para uma laje de 0,28 m com ábacos de 0,40 m, resultando daí uma diminuição das cargas (enchimento) e originando uma redução do consumo de betão e do consumo de armadura (Figura 40). Na zona pós-esforçada, para além da redução da sua área de implantação, previa-se a realização de uma laje nervurada com incorporação de blocos de poliestireno e pós-esforço não aderente, originando também uma redução do consumo de betão e armadura [28].

Esta solução, para além das vantagens já mencionadas, resultaria globalmente numa poupança significativa em termos financeiros, cujo estudo é apresentado nos Quadros 9 e 10. Contudo, devido ao facto de a obra se encontrar numa fase relativamente avançada aquando do surgimento desta proposta e de o projectista dispor de pouco tempo para analisar esta solução face ao planeamento efectuado, nomeadamente a data da betonagem da laje da cobertura, optou-se por não efectuar quaisquer alterações e seguir com a solução inicial.

Quadro 9. Estudo económico da solução de projecto para a laje de cobertura.

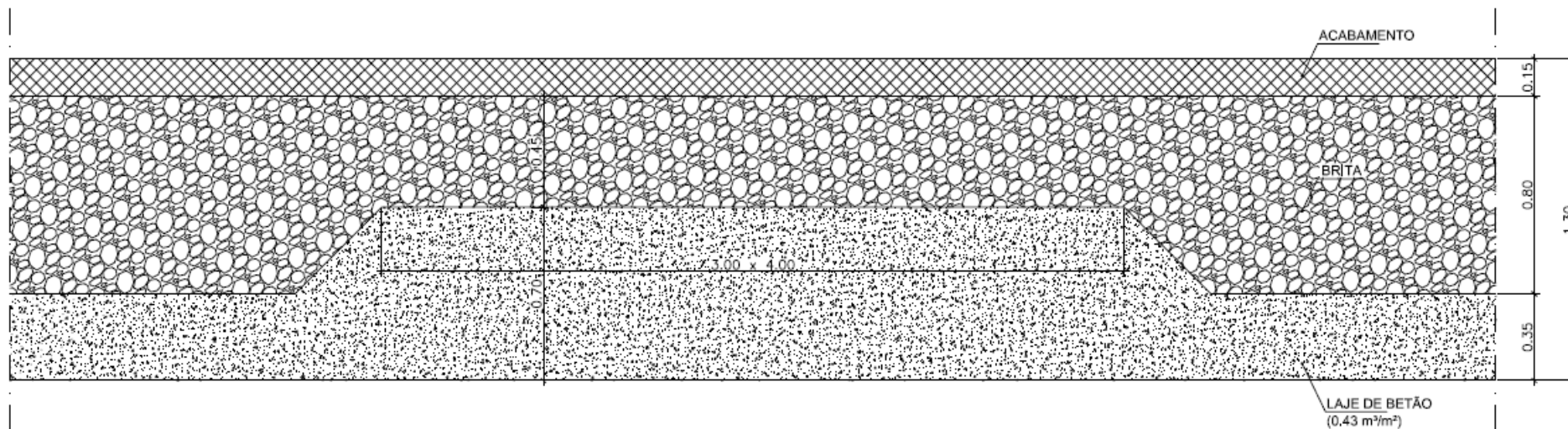
<b>ESTUDO ECONÓMICO</b>				
<b>SOLUÇÃO DO PROJECTISTA</b>				
<b>Material</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Unidades</b>	<b>Preço (€/unid)</b>	<b>Custo (€)</b>
<b>Laje Corrente</b>				
Betão (C30/37 XS1)	1.586,42	m <sup>3</sup>	71,81	113.920,82
Aço (A500NR)	164.000,00	kg	0,64	104.960,00
Camada de enchimento	474,13	m <sup>3</sup>	90,64	42.975,14
Membranas de impermeabilização	4.741,31	m <sup>2</sup>		
Polipropileno nodular com geotêxtil	4.741,31	m <sup>2</sup>		
Camada Protecção sistema impermeabilização	4.741,31	m <sup>2</sup>		
Brita (25/40)	2.844,79	m <sup>3</sup>	20,00	56.895,80
Acabamento betão lavado	3.073,65	m <sup>2</sup>		
Dreno com manta geotêxtil Ø400	94,00	m		
Dreno com manta geotêxtil Ø200	332,00	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø75	62,50	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø110	18,00	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø125	59,00	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø200	6,50	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø250	27,50	m		
			<b>Sub-Total</b>	<b>318.751,76</b>
<b>Pré-Esforço</b>				
Betão (C35/45 XS2)	385,00	m <sup>3</sup>	78,25	30.126,25
Aço (A500NR)	46.000,00	kg	0,64	29.440,00
Blocos poliestireno expandido	547,00	m <sup>3</sup>	120,00	65.640,00
Cabos pré-esforço (EN10138-3Y Classe 1860)				22.000,00
			<b>Sub-Total</b>	<b>147.206,25</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>465.958,01</b>

Quadro 10. Estudo económico da solução alternativa para a laje de cobertura.

<b>SOLUÇÃO ALTERNATIVA</b>				
<b>Material</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Unidades</b>	<b>Preço (€/unid)</b>	<b>Custo (€)</b>
<b>Laje Corrente</b>				
Betão (C30/37 XS1)	1.360,00	m <sup>3</sup>	71,81	97.661,60
Aço (A500NR)	126.000,00	kg	0,64	80.640,00
Camada de enchimento	474,13	m <sup>3</sup>	90,64	42.975,14
Membranas de impermeabilização	5.100,00	m <sup>2</sup>		
Polipropileno nodular com geotêxtil	5.100,00	m <sup>2</sup>		
Camada Protecção sistema impermeabilização	4.741,31	m <sup>2</sup>		
Cupolex	3.004,00	m <sup>2</sup>	19,51	58.608,04
Acabamento betão lavado	3.073,65	m <sup>2</sup>		
Alvenaria	110,00	m <sup>2</sup>		
Dreno com manta geotêxtil Ø400	94,00	m		
Dreno com manta geotêxtil Ø200	332,00	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø75	62,50	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø110	18,00	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø125	59,00	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø200	6,50	m		
Tubagem Ferro Fundido Ø250	27,50	m		
			<b>Sub-Total</b>	<b>279.884,78</b>
<b>Pré-Esforço</b>				
Betão (C35/45 XS2)	280,25	m <sup>3</sup>	78,25	21.929,56
Aço (A500NR)	21.000,00	kg	0,64	13.440,00
Blocos poliestireno expandido	325,80	m <sup>3</sup>	120,00	39.096,00
Cabos pré-esforço (EN10138-3Y Classe 1860)				17.823,68
			<b>Sub-Total</b>	<b>92.289,24</b>
<b>SOL. PROJ – SOL. ALT = 93.783,99 €</b>			<b>TOTAL</b>	<b>372.174,02</b>

### SOLUÇÃO DE PROJECTO

ESC: 1/20



### SOLUÇÃO PROPOSTA

ESC: 1/20

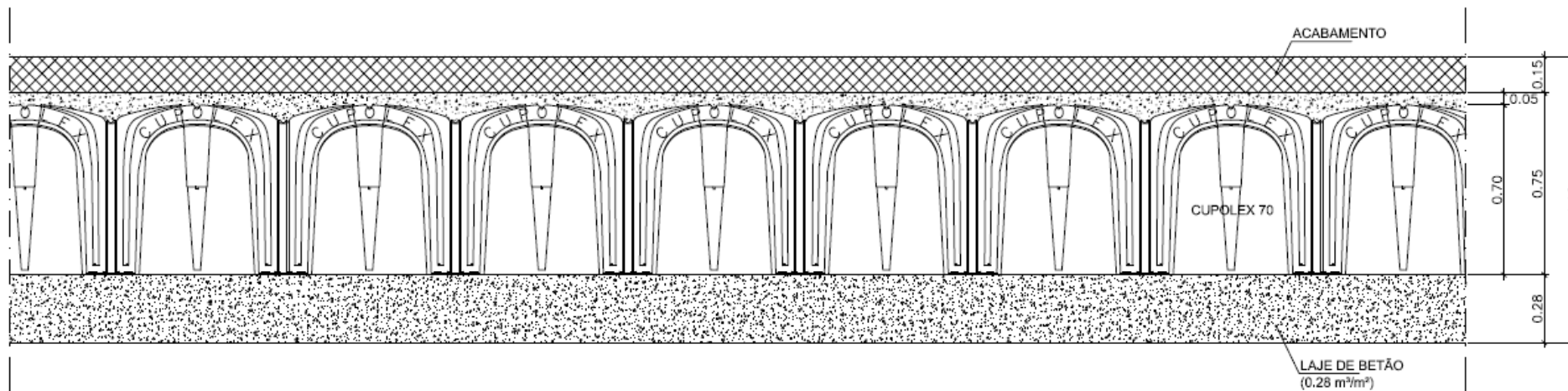


Figura 40. Comparação entre a solução inicial e a solução alternativa [28].

# CAPÍTULO 4

## Obra da Frente Ribeirinha

### 4.1. Generalidades

O parque de estacionamento subterrâneo da Frente Ribeirinha localiza-se em Lagos, na Avenida dos Descobrimentos, junto à Praça do Infante D. Henrique, mais propriamente no perímetro Nascente e exterior da muralha da cidade de Lagos (Figura 41).



Figura 41. Enquadramento do Parque da Frente Ribeirinha.

O edifício em si é constituído por três pisos, dois deles enterrados e um piso à cota da envolvente, sendo dividido em quatro corpos através de juntas de dilatação, estando prevista a aplicação de dispositivos Waterstop. As lajes do piso 0 e -1 são do tipo maciças fungiformes, apoiadas em pilares circulares de betão armado. A solução da laje de fundo é do tipo ensoleiramento geral, com capitéis na zona dos pilares, ancorada ao maciço calcário através de ancoragens pré-esforçadas. É também importante referir que esta laje foi dimensionada para a situação de cheia máxima, o que equivale a considerar uma altura máxima de água de 6,0 metros [29]. Superiormente à laje de fundo realizou-se um pavimento térreo em betão com fibras, apoiado numa camada de brita, de maneira a integrar um sistema de laje dupla, com vista à impermeabilização total do piso -2, servindo a camada de brita como vazio sanitário.

A nível geotécnico, e com vista ao melhoramento das características do solo junto à muralha, bem como à criação de uma zona de separação entre a estrutura de contenção e o terreno adjacente à muralha, recorreu-se à técnica de “Jet Grouting”. Para a execução da estrutura de contenção utilizou-se um método pioneiro a nível de toda a Península Ibérica – o “Cutter Soil Mixing” (CSM) [30].

#### **4.2. Condicionalismos geológicos**

Relativamente aos condicionalismos geológicos, apenas foram encontradas referências a um maciço calcário situado na zona do parque, não havendo quaisquer referências a profundidades ou a outras camadas. Sendo assim, a partir das observações feitas no local, junto à muralha, verificou-se a presença de um aterro de origem arenosa até à profundidade de aproximadamente 4 m a partir da cota de superfície, encontrando-se a partir daí o referido maciço calcário até uma profundidade desconhecida (Figura 42).



Figura 42. Camadas geológicas, junto à muralha, perceptíveis após a fase de escavação.

### 4.3. Melhoramento do solo com base no método de “Jet Grouting”

O método de “Jet Grouting” consiste no tratamento de solos por mistura destes com a calda de cimento *in situ*, por via hidráulica e jacto de alta pressão, o que permite aplicá-lo a todos os terrenos não rochosos, qualquer que seja a sua compacidade ou heterogeneidade [9]. Trata-se de uma técnica bastante desenvolvida nos últimos anos e o seu campo de aplicação tornou-se bastante variado, desde a utilização em túneis, escavações, reforço de fundações, estabilização de taludes e cortinas impermeáveis.

O processo de “Jet Grouting” pode incluir até três tipos de jactos horizontais - o monojecto, o duplo jacto e o triplo jacto (Figura 43). No primeiro apenas o jacto de calda é utilizado a pressões elevadas, para desagregar e misturar a calda de cimento com as partículas de solo desagregadas. No segundo é acrescentado o jacto de ar que potencia o efeito de desestruturação no terreno. Finalmente, no triplo jacto é adicionado o jacto de água que, a grande pressão e envolvido pelo jacto de ar, torna o seu raio de acção maior, bem como, pelo facto de haver uma emulsão ar/água, facilita a retirada de parte do terreno na corrente ascendente de água [9] [31]. O triplo jacto é o método mais generalizado, pois é o que permite maiores diâmetros, e apresenta a vantagem, devida ao efeito de “air-lift” do jacto de ar anelar, da segurança adicional por redução da pressão dinâmica do monojecto, evitando as consequentes avarias devidas a levantamento ou fracturação hidráulica, para além da economia do desmonte ser feito com água (menor custo do fluido e menor abrasão na bomba) [9].

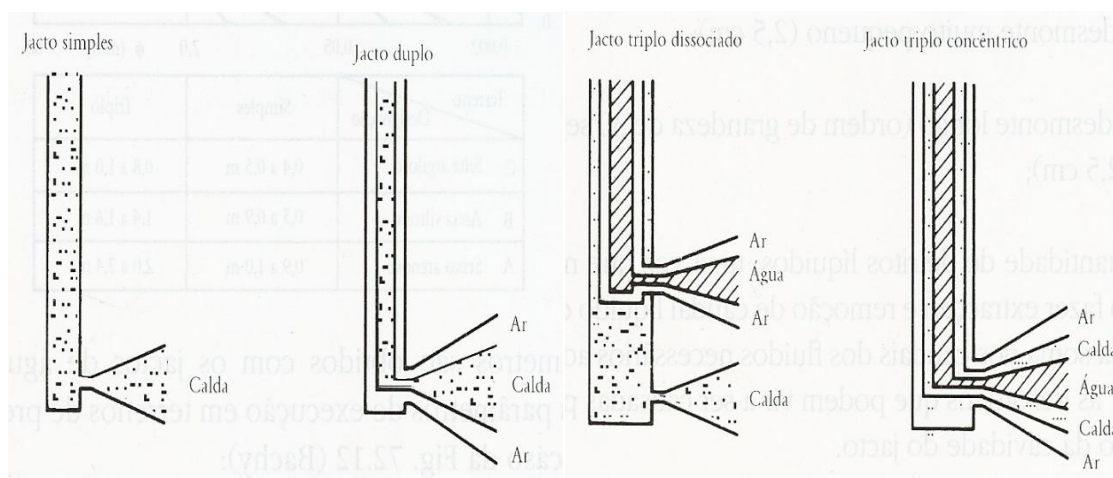


Figura 43. Principais métodos de “Jet Grouting” [16].

Assim sendo, o método do triplo jacto dissociado foi aplicado nesta obra, entre a zona da muralha e a cortina de contenção periférica (Figuras 44 e 45), de forma a criar um efeito de rolhão entre as duas superfícies e também a proceder a uma melhoria das características do solo, reduzindo a sua permeabilidade. Ao longo do processo foi possível dividir os trabalhos em duas etapas:

- **Furação** – esta etapa caracterizou-se pelo facto de não haver necessidade de escavação prévia. Apenas se executaram furos de pequeno diâmetro até à profundidade desejada de 13 m, com o auxílio de um jacto de água vertical;
- **Injecção** – terminada a etapa da furação, na base do furo iniciou-se a injecção de água envolvida por ar através do bico superior. No bico inferior foi feita a injecção de calda. À medida que a vara foi sendo elevada com movimento rotacional, o jacto de água foi desagregando o solo, enquanto o jacto de calda permitiu a substituição e mistura da calda cimentícia com algum do material desagregado que permaneceu na cavidade, formando uma coluna de 0,70 m de diâmetro, entre os 3 e os 13 m de profundidade em relação à cota de superfície de escavação (Figura 41). Assim sendo, o processo físico da injecção por “Jet Grouting” pode ser dividido em três fases:
  - em primeiro lugar dá-se a fase do **corte do solo** em que a estrutura natural do mesmo é quebrada e as partículas ou fragmentos do solo são dispersos pela acção do jacto a elevadas velocidades [31];
  - seguidamente ocorre a **mistura e substituição** parcial do solo em que uma parte das partículas ou fragmentos do solo é substituída (transportada para o exterior através da corrente de água ascendente) e a outra parte é misturada intimamente com a calda injectada a partir dos bicos de injecção [31];
  - finalmente, dá-se a **cimentação** que consiste na aglutinação das partículas ou fragmentos do solo entre si pela acção auto-endurecedora da calda, formando um corpo consolidado [31].

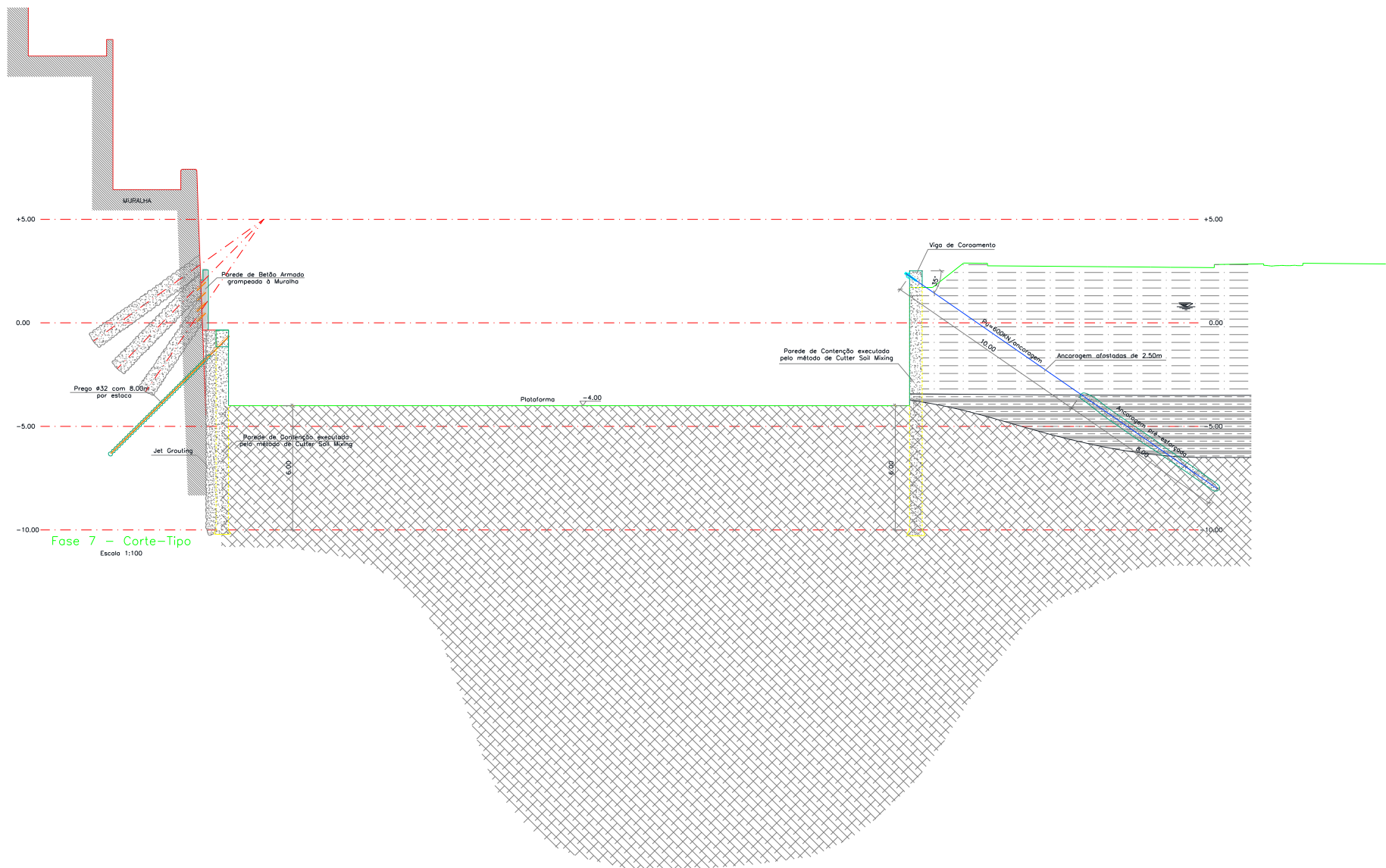


Figura 44. Corte construtivo - “Jet Grouting” entre a muralha e a estrutura de contenção [29].

Relativamente ao parâmetro da permeabilidade é necessário mencionar que esta nova mistura de solo remexido e calda de cimento, para além da resistência, é tão pouco permeável como o betão [32]. Um dos requisitos a cumprir com a injeção de calda, neste caso, foi o de uniformizar e diminuir a permeabilidade do maciço junto à muralha, dificultando a circulação de água [33]. No entanto, considera-se que as várias utilizações do “Jet Grouting” em cortinas de estanquidade ao longo do tempo permitiram constatar que a permeabilidade é directamente afectada pela verticalidade das colunas e não tanto pela própria capacidade que o material tratado tem de deixar passar a água [31]. Consequentemente, durante todo o processo de execução do “Jet Grouting” foi feito um controlo de qualidade eficiente em relação à verticalidade. Este controlo consistiu na verificação do posicionamento e da verticalidade das hastes de perfuração bem como na verificação do perfeito estacionamento e nivelamento da máquina para que não houvesse nenhum deslocamento durante a execução dos trabalhos, utilizando para tal a ajuda de um nível.

Este procedimento foi executado coluna a coluna, sempre antes do início da perfuração e após ter sido cravado metade do comprimento da haste.

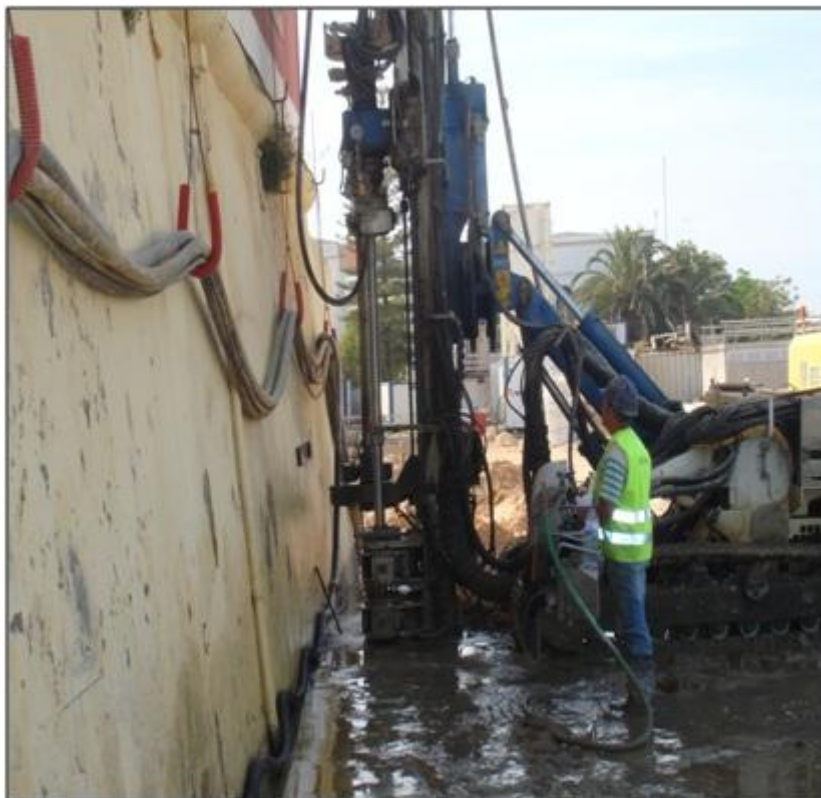


Figura 45. Execução do “Jet Grouting” junto à muralha.

#### **4.4. Estrutura de contenção com base no método de “Cutter Soil Mixing” (CSM)**

Este método de perfuração de solos foi aplicado pela primeira vez na Península Ibérica, na obra do parque subterrâneo da Frente Ribeirinha de Lagos, diferindo dos outros sistemas de perfuração de solos tradicionais (por exemplo o “Jet Grouting”), onde o terreno existente é misturado com a calda de cimento através de ferramentas cuja rotação se processa através de um eixo vertical e em que os elementos construtivos são executados utilizando conjuntos de jactos combinados numa única ferramenta, baseados em princípios da tecnologia de perfuração por rotação. Em contraste, a técnica de “Cutter Soil Mixing” deriva da tecnologia de corte, em que a matriz base do solo é solta e quebrada pelas “rodas de corte” e, de seguida, o solo é misturado “in situ” através das “rodas misturadoras rotativas” (semelhantes a uma fresa) juntamente com a calda de cimento. Todo este processo, ao contrário das técnicas tradicionais, é executado segundo um eixo horizontal de forma a produzir painéis rectangulares de solo tratado, em vez das já conhecidas colunas circulares [34].

A técnica de CSM foi desenvolvida em 2003, através da experiência acumulada ao longo dos anos no desenvolvimento e execução de paredes de contenção periféricas e cortinas de estanquidade, que são o seu principal campo de aplicação, para além de poder também ser utilizado como elemento de fundação ou apenas como uma técnica de tratamento de solos [34]. Relativamente às vantagens introduzidas por este método, e neste caso interessa compará-lo com a técnica de “Jet Grouting”, é possível enumerá-los do seguinte modo [34]:

- O solo existente é utilizado como material de construção, com um grau de aproveitamento muito maior do que o “Jet Grouting”, uma vez que o ressurgimento do terreno natural à superfície, durante os trabalhos, é consideravelmente menor;
- A pouca quantidade de material desperdiçado torna a técnica favorável em termos ambientais sendo ideal para ser utilizada em solos contaminados;

- Profundidades de 25 m podem ser facilmente atingidas (o máximo atingido foi de 55 m através de um sistema suspenso por cabos) e rendimentos de 200 m<sup>2</sup>/dia podem ser atingidos;
- Um elevado grau de verticalidade dos painéis é atingido através dos sensores colocados nas zonas de mistura e corte e da instrumentalização digital situada na cabine;
- A tecnologia de corte assegura a construção de juntas mesmo em painéis de diferentes períodos de execução, ou seja, quando estes já ganharam presa (por exemplo, após fins de semana prolongados);
- Terrenos duros podem ser facilmente penetrados, quebrados e misturados, utilizando as rodas de corte e mistura.
- O trabalho é realizado com mínima perda de espaço e com a criação de uma forma mais vantajosa em termos de quantidade de pasta de cimento consumida (rectangular) e de número de juntas, tornando-se assim uma melhor opção em termos económicos (Figura 46).

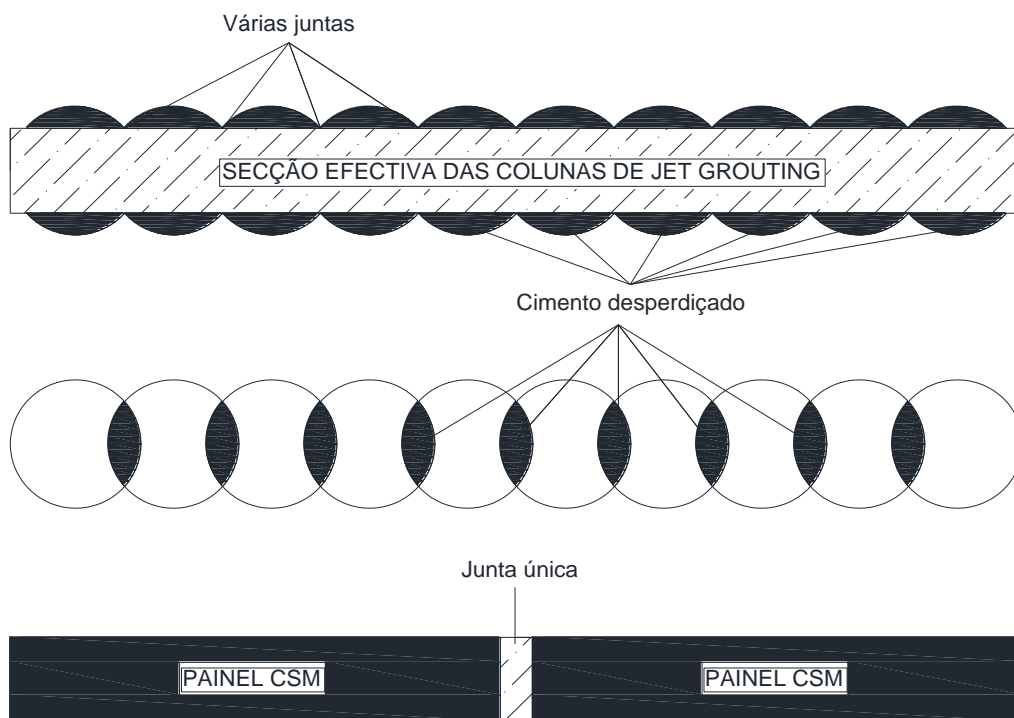


Figura 46. Vantagem do CSM em relação ao “Jet Grouting” em termos de ocupação de espaço, cimento consumido e número de juntas.

Assim sendo, de um modo geral o solo é misturado com a calda de cimento, que é simultaneamente introduzida na matriz do solo, de forma a produzir o material fundamental no desempenho das principais funções das paredes de contenção periférica e cortinas de estanquidade. Na obra da Frente Ribeirinha foi possível verificar a seguinte sequência construtiva:

- Execução de uma vala de largura superior à dos painéis a executar, de modo a reter o excesso de calda acumulada;
- Quebra da massa de solo durante a penetração até à profundidade pretendida de aproximadamente 13 m, à medida que foi sendo introduzida a calda em quantidades adequadas, conforme a velocidade de penetração. Durante a fase ascendente (retirada das rodas misturadoras e de corte) é injectada a quantidade correcta de calda para executar as paredes definitivas da contenção periférica;
- Uma parede contínua é formada através da execução de painéis de forma alternada onde se verifica a sobreposição de 20 cm na zona das juntas dos painéis primários e secundários. Pelo que se apurou, a designação de “primários” ou “secundários” apenas tem a ver com a disposição dos painéis em planta. Em primeiro lugar executaram-se os painéis primários e, imediatamente após a conclusão destes, os painéis secundários foram executados, numa altura em que os primários ainda apresentavam fraca consistência. No entanto, a tecnologia CSM permite a execução/corte em painéis que já se encontrem no estado endurecido. Relativamente às suas dimensões, os painéis foram executados com 0,60 m de espessura e 2,40 m de comprimento (Figura 47), sendo que o CSM pode permitir a execução de painéis com comprimentos de 2,2 m até 2,8 m e espessuras de 0,5 m até 1,0 m.

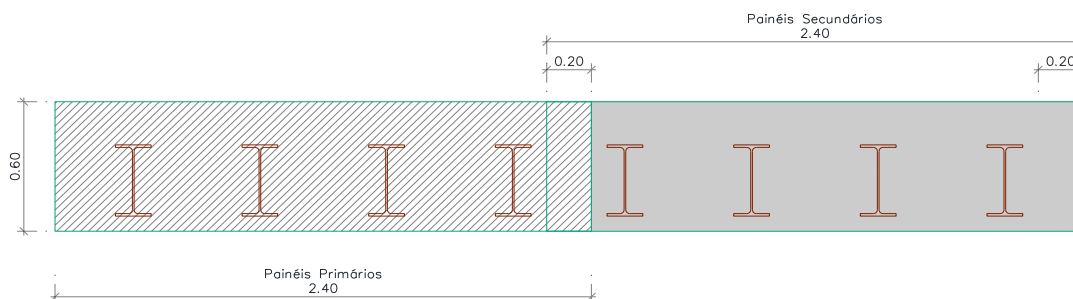


Figura 47. Pormenor da painelização (dimensões) [28].

- Finalmente, e de forma a completar os requisitos estruturais para a parede de contenção periférica, foram introduzidos, por gravidade, perfis metálicos IPE 360, espaçados de 0,50 m (Figura 47), imediatamente a seguir à execução dos painéis, quando estes ainda apresentavam fraca consistência (Figura 48).



Figura 48. Painéis de CSM ainda com fraca consistência.

Relativamente à permeabilidade, e à semelhança do que acontece com o “Jet Grouting”, este parâmetro é afectado pela verticalidade dos painéis de CSM. Uma das vantagens deste método é o de conseguir maiores graus de verticalidade devido à presença de instrumentação na zona superior das rodas munidas de dentes (Figura 49), o que permite ao operador verificar os valores da verticalidade segundo os eixos X e Y através de um painel electrónico situado na cabine da máquina (Figura 50), conseguindo-se assim reduzir os níveis de permeabilidade da parede de contenção periférica.

Contudo, foram observados alguns pontos de entrada de água na cortina de CSM à medida que a fase de escavação foi avançando, nomeadamente na

zona das juntas dos painéis. Tal facto já era esperado devido à proximidade do nível freático a cerca de 2 metros de profundidade. No entanto, toda esta água tendeu a desaparecer devido ao rebaixamento do nível freático através da instalação de poços de bombagem provisórios que aliviaram a pressão hidrostática exercida nos paramentos verticais da contenção periférica, causadora do aparecimento de água freática no interior da estrutura.

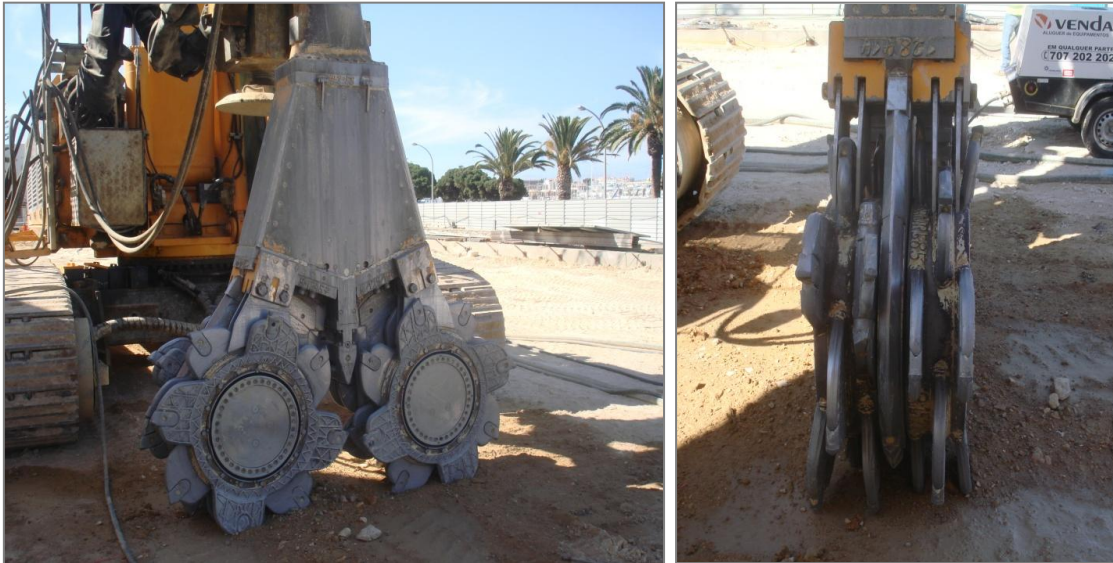


Figura 49. Rodas de corte e mistura.



Figura 50. Painel electrónico no interior da cabine da máquina de CSM.

#### 4.5. Impermeabilização do parque ao nível da laje de fundo

Finalizada a execução da estrutura de contenção periférica, procedeu-se à execução de poços de bombagem provisórios, de forma a baixar o nível freático para, a partir daí, proceder à escavação do terreno, na zona interior da estrutura de contenção periférica, por patamares, em segurança e em terreno seco. No final da fase de escavação foram contabilizados 14 poços de bombagem provisórios (Figura 51).



Figura 51. Poço de bombagem provisório antes da fase de escavação.

A escavação foi dividida em quatro fases, criando-se assim quatro frentes de trabalho, de forma a acompanhar o mesmo número de elementos em que se divide a laje de fundo (Figura 52), sendo que em cada fase se verificou, aproximadamente, a execução de 4 poços de bombagem provisórios.

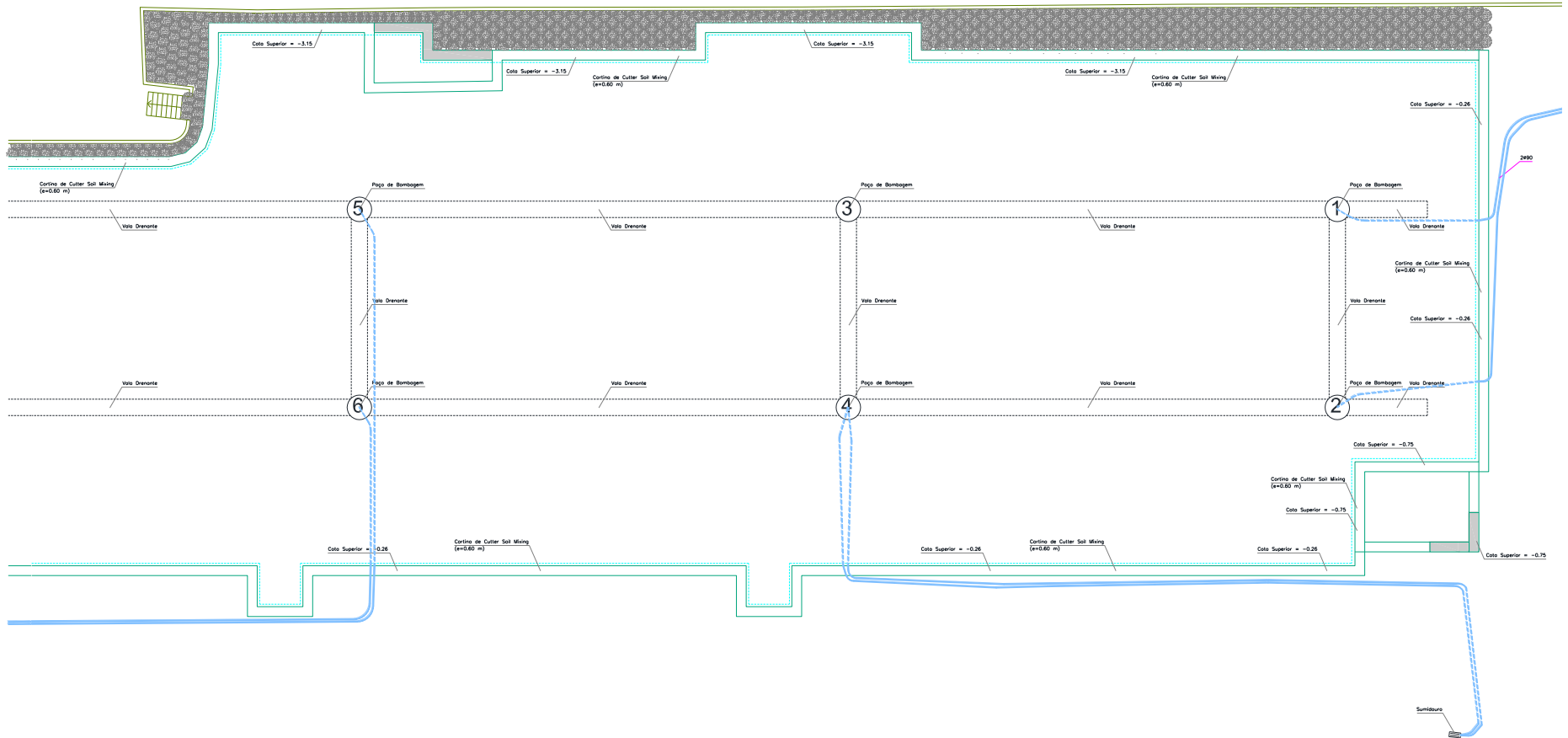


Figura 52. Quatro frentes de trabalho bem perceptíveis.

Atingida a cota de fundo pretendida, e com o nível freático logo abaixo da cota de escavação, foi necessária a estabilização da plataforma de trabalhos, de forma a criar condições de estabilidade para o assentamento da laje de fundo, e também a criação de uma rede de valas drenantes com a função de encaminhar a água para os poços de bombagem (Figuras 54 e 55). Foram então colocados tubos colectores  $\varnothing 200$  envoltos numa camada de rachão/calhau de, aproximadamente, 1,0 m de altura e uma manta geotêxtil. Posteriormente, foi realizada uma camada de 20 cm de brita de calibre 25/40, devidamente compactada, e, de seguida, colocada uma membrana de PVC (para servir de superfície de separação entre a brita e o betão de limpeza), que subiu cerca de 1,5 m nos paramentos verticais, para depois assentar o betão de limpeza. A fase seguinte foi a execução da laje de fundo em betão armado no piso -2, em cada uma das frentes de trabalho, com 0,40 m de espessura (Figura 53). Para o posterior escoamento de águas na camada intermédia de brita, antecedente ao piso térreo, foi aplicada uma camada de betão leve, com cerca de 1% de inclinação.



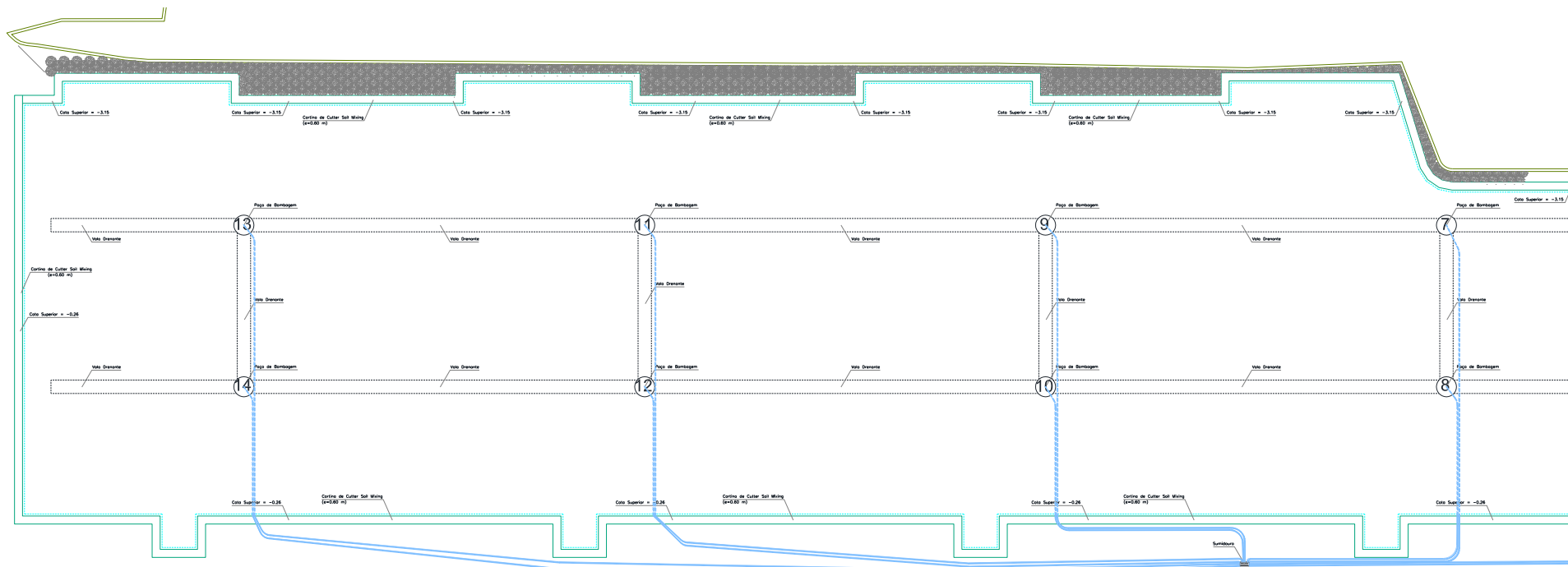
Figura 53. Camadas de PVC, betão de limpeza e laje em betão armado (sem qualquer dispositivo Waterstop).



Poço n.º	Tubagem	Bombas / Modelo
1	2ø90	2un / DTM550
2	2ø90	1un DTM550 + 1un Grimdesse
3	----	-----
4	2ø70	2un / DTM550
5	1ø70	1un / DTM550
6	1ø70	1un / DTM550

SIMBOLOGIA	
	Tubagem de PEAD embecida ou enterrada
	Tubagem de PEAD à vista

Figura 54. Planta dos poços de bombagem provisórios 1 a 6 [29].



Poço n.º	Tubagem	Bombas / Modelo
7	1ø70	1un / DTM550
8	1ø70	1un / DTM550
9	1ø70	1un / DTM550
10	2ø70	2un / DTM550
11	1ø70	1un / DTM550
12	1ø70	1un / DTM550
13	1ø70	1un / DTM550
14	1ø70	1un / DTM550

SIMBOLOGIA	
	Tubagem de PEAD embebida ou enterrada
	Tubagem de PEAD à vista

Figura 55. Planta dos poços de bombagem provisórios 7 a 14 [29].

Apesar de nos desenhos construtivos de projecto estar prevista a aplicação de dispositivos “Waterstop” na zona das juntas de dilatação, estes não foram aplicados pelo facto de se considerar permitida a entrada de alguma água na zona intermédia do sistema de laje dupla do piso -2 correspondente à camada de brita, para depois ser escoada pelas pendentes até ao poço de bombagem definitivo e encaminhada para a rede pública de águas pluviais. No entanto, se estes dispositivos fossem aplicados nestes pontos notáveis da laje de fundo, o pormenor construtivo da Figura 56 deveria ser executado da seguinte forma:

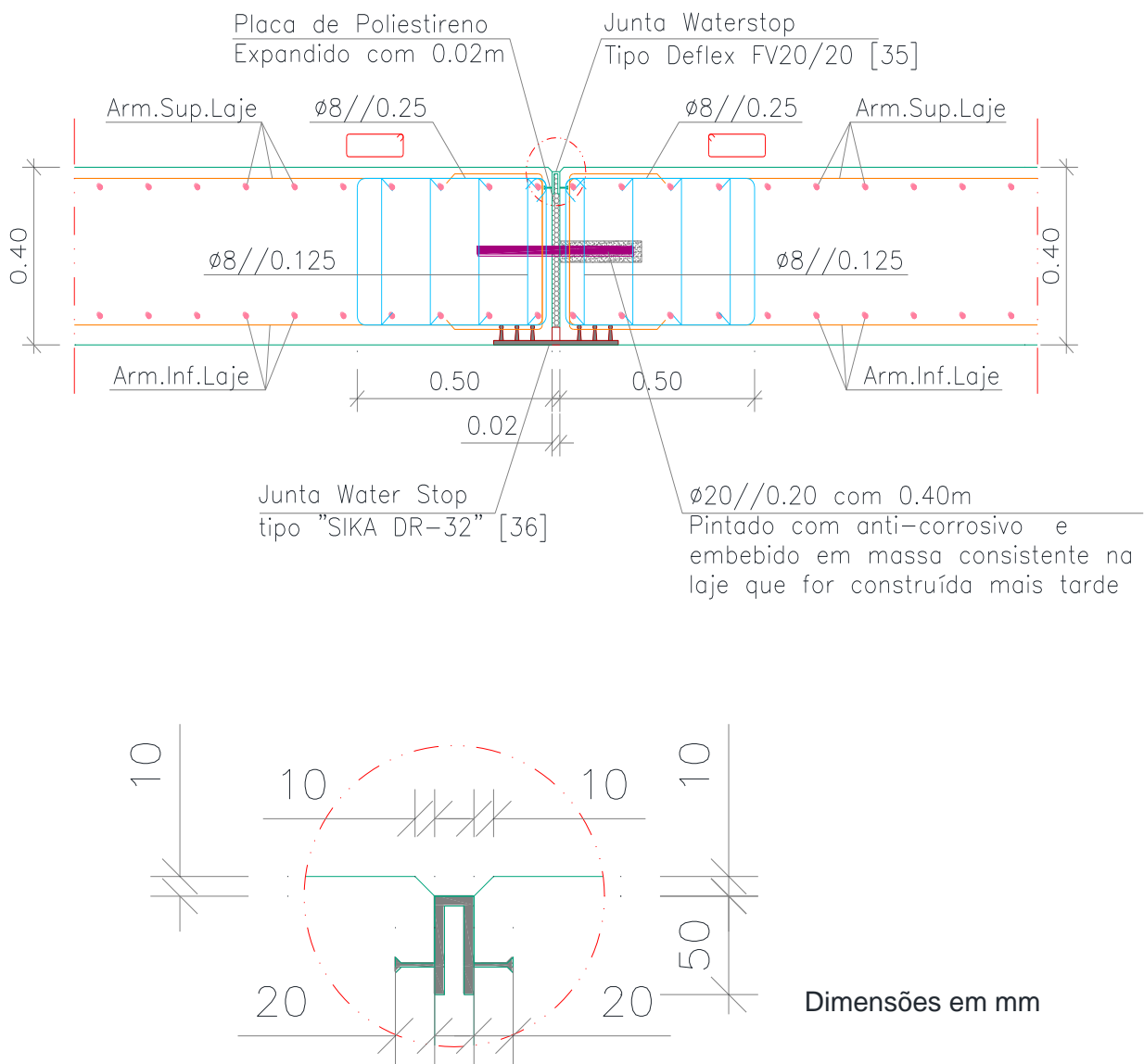


Figura 56. Pormenor da junta de dilatação na laje de fundo.

Após a realização das pendentes com o betão leve, procedeu-se à execução da restante estrutura do parque de estacionamento subterrâneo (piso -1 e piso 0). Só depois, já numa fase avançada da obra, é que se executou a camada intermédia de brita, compactada, com uma espessura de, aproximadamente, 40 cm. Nessa camada foram também embutidos geodrenos  $\varnothing 100$  para receber as águas das pendentes e, posteriormente, reencaminhá-las para os poços de bombagem definitivos. Finalmente, a última camada que constitui o pavimento térreo foi executada em betão com fibras metálicas. Estes pequenos elementos são adicionados ao betão com o objectivo de absorverem as forças resultantes da retracção do betão que dão origem à microfissuração do betão. As fibras encontram-se aleatoriamente distribuídas e mantêm o material coeso, impedindo que as microfissuras se transformem em microfissuras [37].

Apresenta-se de seguida, na Figura 57, um corte construtivo de todas as camadas aplicadas no piso -2, onde foi aplicado o sistema de laje dupla, já com um dos 14 poços de bombagem desactivado (Figura 58):

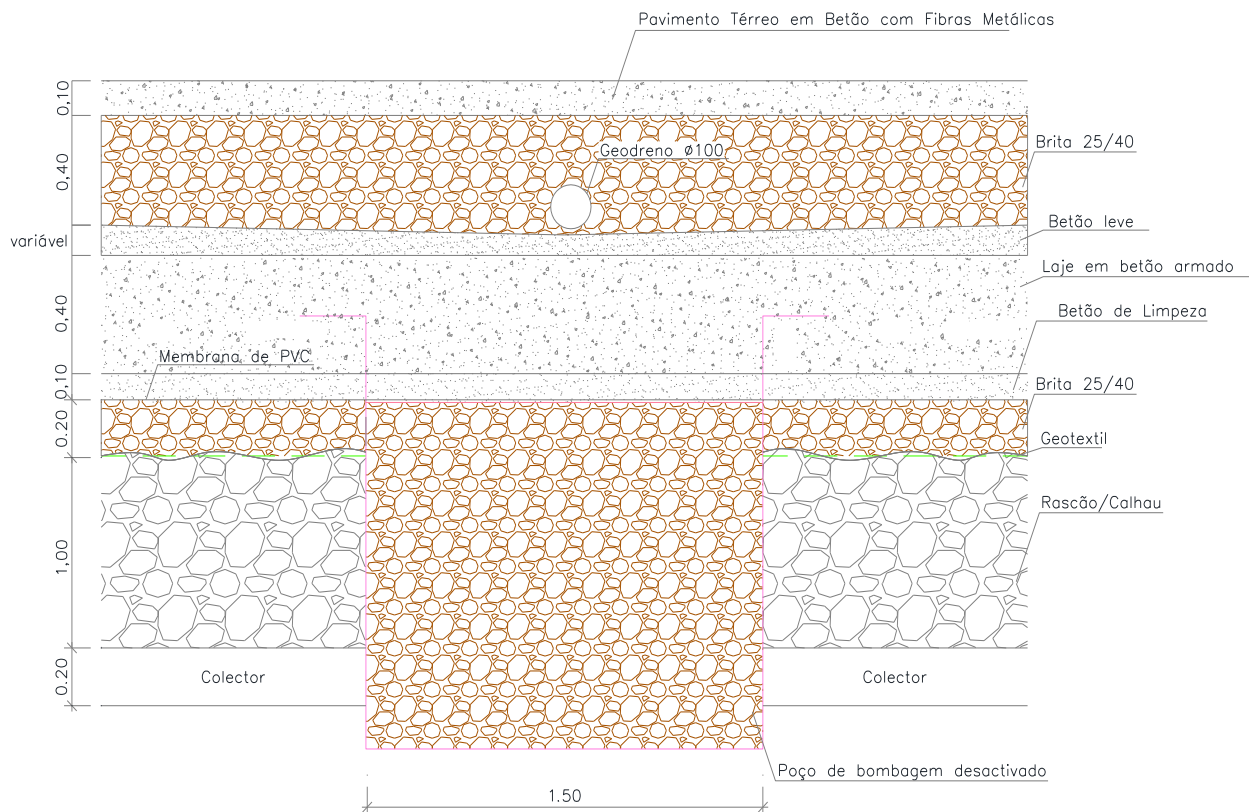


Figura 57. Corte construtivo do pavimento do piso -2.



Figura 58. Poço de bombagem provisório desactivado e camada de brita.

De notar que as águas de lavagem dos pavimentos destinados a estacionamento e circulação de automóveis (pisos -1 e -2) serão drenadas para o colector público de águas pluviais, depois de tratadas, ou seja, a drenagem das águas de lavagem destes pavimentos será garantida através da existência de caleiras executadas no pavimento; essas caleiras conduzem a água através de tubos de queda para uma rede enterrada no piso -2 (camada intermédia de brita) que dispõe de caixas de visita que conduzem as águas de lavagem até um separador de hidrocarbonetos e posteriormente a um poço de bombagem [29].

Foi também executada uma meia cana para recolha das águas das chuvas que caem nas caixas de escadas de acesso ao parque, junto à muralha, e colocados tubos de queda nos fossos destinados à ventilação do parque para recolha das águas das chuvas e eventuais águas provenientes da parede da muralha (Figura 59). Essa água será também descarregada na camada de brita intermédia que existe entre o ensoleiramento (laje de betão armado) e a laje do piso térreo em betão com fibras metálicas, onde foram executadas pendentes de encaminhamento de todas as águas das chuvas para um geodreno que as lançará directamente no poço de bombagem (Figura 60) [29].



Figura 59. Caleira para recolha de águas na zona das caixas de escadas do piso -1.



Figura 60. Tubo de queda no fosso de ventilação, proveniente do piso -1, que conduz as águas para a camada intermédia de brita.

# CAPÍTULO 5

## Conclusões

### 5.1. Síntese Geral

O estágio curricular realizado, para além de representar a fase que antecede a entrada no mundo do trabalho e de dar a conhecer o lado prático de muita da matéria leccionada no curso de Engenharia Civil, permitiu o desenvolvimento de várias actividades enriquecedoras, tanto na pesquisa de conteúdos para a elaboração deste relatório como no acompanhamento de duas obras de parques de estacionamento subterrâneo, a do Anel Verde e a da Frente Ribeirinha, onde foi possível o cumprimento de várias tarefas a nível de preparação de obra (medições, consultas de materiais, etc.), e o acompanhamento e análise das soluções aplicadas, não só a nível de impermeabilizações e drenagens mas também a nível estrutural, geotécnico e, de certa forma, também financeiro. Por outro lado, as pessoas com as quais tive a oportunidade de trabalhar também tiveram um papel fundamental neste estágio, pois estas foram sempre capazes de demonstrar apoio e disponibilidade sempre que surgiram algumas dúvidas.

Relativamente à obra do parque de estacionamento subterrâneo do Anel Verde, apesar dos atrasos iniciais devido aos trabalhos de arqueologia, todos os processos construtivos decorreram, de uma maneira geral, dentro da normalidade e sem grandes imprevistos. Ao nível das soluções de impermeabilização e drenagem aplicadas é possível concluir que os sistemas executados foram os correctos, bem como a maioria dos procedimentos construtivos adoptados. No entanto foram verificados alguns lapsos de execução, tanto a nível de muros de suporte (emulsão betuminosa, fixação e distribuição dos painéis drenantes, fase de aterro, trabalhos não previstos)

como da própria cobertura (camada de forma). Assim sendo, devido ao grau de exigência ao nível da protecção da cave contra a presença de água no seu interior ser baixo, por se tratar de um parque de estacionamento automóvel, os lapsos verificados também se revelam de baixa importância e sem grandes consequências futuras. Se se tratasse de um edifício com um grau de protecção elevado, tais procedimentos poderiam ter consequências futuras a nível de patologias relacionadas com a presença de humidade no interior da edificação e, como tal, teriam de ser revistos.

Finalmente, em relação à obra do parque de estacionamento subterrâneo da Frente Ribeirinha apenas foi feita uma descrição técnica do que foi aplicado em obra a nível de soluções que contribuíram para a impermeabilização do interior do parque (colunas de “Jet Grouting” na zona adjacente à muralha, contenção periférica através do método inovador de Cutter Soil Mixing – CSM e a execução de uma laje dupla ao nível do pavimento de fundo), sendo que esta obra também decorreu dentro da normalidade e sem grandes imprevistos. No entanto, é possível apontar como a maior dificuldade encontrada nesta obra o rebaixamento do nível freático através da execução de vários poços de bombagem provisórios de maneira a criar uma zona de frentes de trabalho seca.

## **5.2. Recomendações para trabalhos futuros**

Com a realização deste estágio e após o acompanhamento das obras em questão foi possível identificar vários pontos de interesse e de eventuais desenvolvimentos temáticos a nível de futuros estágios que possam vir a acontecer, nomeadamente a nível de planeamentos onde a antecipação rigorosa dos trabalhos a executar se pode revelar de extrema importância, não só devido ao facto de ser um passo importante no cumprimento dos prazos como também previne a necessidade de haver trabalhos não previstos e, consequentemente, gastos também não previstos.

Outro ponto de interesse é a utilização de materiais com as devidas certificações e homologações bem como a utilização de mão-de-obra especializada, porque hoje em dia cada vez mais é importante a utilização dos

correctos materiais e da mão-de-obra com a qualidade desejada de forma a garantir o máximo de qualidade do produto final, cabendo à entidade da fiscalização um papel determinante neste processo.

O cumprimento pormenorizado dos procedimentos construtivos a realizar e a procura de soluções alternativas também podem constituir uma questão interessante e de possível desenvolvimento temático onde nem sempre o que é proposto a nível de projecto pode ser o mais correcto, sendo necessária alguma experiência ao nível do conhecimento abrangente dos materiais e das soluções mais comuns para cada caso para depois poder haver uma atitude crítica e construtiva em relação às soluções propostas e a eventuais soluções alternativas.

A nível de experiência pessoal ao longo de todo o processo de estágio é também possível enumerar algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Numa fase inicial do estágio, dedicar algum tempo a analisar os projectos de execução das obras em questão, tanto ao nível de peças escritas como de peças desenhadas;
- Estabelecer desde logo contactos com os encarregados presentes em obra no sentido de acompanhar todos os trabalhos que se vão desenvolver e também em seguir eventuais recomendações que possam ser feitas (devido à grande experiência destes intervenientes da fase de obra);
- Efectuar pesquisas no sentido de verificar se os procedimentos aplicados em obra são os correctos bem como no sentido de procurar soluções alternativas;
- Complementar os apontamentos descritivos dos trabalhos com fotografias de maneira a que, na elaboração posterior do relatório, possa haver uma memória fotográfica que facilite a elaboração do mesmo;
- Finalmente, a nível de postura a demonstrar durante todo o processo de estágio, de referir aspectos como a humildade, a capacidade de ouvir as experiências vividas pelos principais intervenientes em obra, a capacidade de questionar qualquer assunto que possa estar a levantar algum tipo de dúvida e também a disponibilidade para ajudar em qualquer tipo de tarefa, seja a nível de preparação de obra, através de

consultas de materiais, medições feitas em obra ou esclarecimentos de dúvidas com os projectistas, a nível administrativo ou mesmo de direcção de obra.

## Bibliografia

- 1- PORCIÚNCULA, Elka - *A importância do projecto de impermeabilização*. [Em linha] (Sem data). Disponível na Internet em: WWW:<URL: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=137>>.
- 2- LOPES, Jorge M. Grandão – *Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2002. Informação Técnica ITE 34.
- 3- VARLAN, G. Edouard – *L'étanchéité dans la construction*. Paris: Éditions Eyrolles, 1964.
- 4- BS 8102 : 1990 – *Code of practice for Protection of structures against water from the ground*. London: BSI, May 1990.
- 5- PERDIGÃO, Raul da Costa Cabanas – *Impermeabilização de Construções: soluções tecnológicas e critérios de selecção*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Setembro 2007. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.
- 6- Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc) – *Rapport technique UEAtc: Étanchéité extérieure et protection des murs enterrés*. Cahiers du CSTB. Juillet 2000.
- 7- Colloid Environmental Technologies Company (CETCO) – *Volclay Panels: Bentonite Waterproofing System Technical Data*. Illinois, September 2002.
- 8- CATALÃO, João; AZEVEDO, José Pedro – *Parque de Estacionamento do Anel Verde/Parque da Cidade de Lagos Escavação e Contenção Periférica em Cortina de Estacas: Projecto de Execução*. Alfragide: Tecnasol, Janeiro 2009.

- 9- COELHO, Silvério – *Tecnologia de Fundações*. Amadora: Escola Profissional Gustave Eiffel (EPGE), Setembro 1996.
- 10- SIMAS, Marcos da Silva Lopes – *Sistemas de protecção do betão face à carbonatação*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Novembro 2007. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.
- 11- IMPERALUM – *Imperkote L*. Montijo: Imperialum, Fevereiro 2009. Ficha Técnica.
- 12- MUTH, Wilfried – *Impermeabilização e Drenagem na construção: protecção conta águas freáticas*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1974. Tradução 467.
- 13- IMPERALUM – *Aguadrain e Aguadrain Geo*. Montijo: Imperialum, sem data. Ficha Técnica.
- 14- SCHILD, E.; OSWALD, R.; ROGIER, D.; SCHWEIKERT, H.; SCHNAPAUFF, V. - *L'Étanchéité dans l'habitation prévention des sinistres: 3 Caves et Drainages Points Faibles*. Paris: Éditions Eyrolles, 1978.
- 15- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) – *GXP N8 et GXP N8 DRAIN: procédé de protection et de drainage de murs enterrés*. Paris: CSTB, Juillet 2008. Avis Technique 7/08-1407.
- 16- RODRIGUES, José Alves – *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Lisboa: Editora Rei dos Livros, Abril 2004. Colecção Construção Civil 12. 5ª ed.
- 17- PEDROSO, Vítor M. R. – *Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004. Colecção Edifícios 7. 2ª ed.

- 18- A400 Projectistas e Consultores de Engenharia Civil, Lda. – *Projecto de Execução Instalações Hidráulicas Prediais e Instalações de Combate a Incêndio do Parque de Estacionamento do Anel Verde/Parque da Cidade Lagos*. Porto. Agosto 2008.
- 19- British Board of agrément (BBA) – *Volclay Type 1 Panel and Bentoseal*. Garston, June 1997. Detail Sheet 2 Third issue.
- 20- GOMES, Ruy José – *Coberturas em Terraço: constituição e disposições construtivas*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003. 5ª ed. in CPP 516 – Coberturas de Edifícios.
- 21- BRANDÃO, João – *Projecto de Execução Arquitectura do Parque de Estacionamento do Anel Verde/Parque da Cidade Lagos*. Sintra, Agosto 2008.
- 22- LNEC – *POLYPLAS 30 + POLYXIS R40, POLYPLAS 30 + POLYSTER 40T, POLYSTER 40 + POLYSTER 40T: Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Abril 2007. Documento de Aplicação nº7.
- 23- DELGADO, João Eduardo Sintra - *Coberturas em Terraço: III Suportes de impermeabilização*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003. 5ª ed. in CPP 516 - Coberturas de Edifícios.
- 24- Decreto-Lei n.º 38302 - *Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU)*. (51-08-07). Porto: Porto Editora, Novembro 2003.
- 25- Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc) – *Directives générales UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité de toitures*. Paris: UEAtc, Juillet 1982. Cahiers du CSTB (234). Cahier 1812. Novembre 1982.
- 26- SOTECNISOL – *ECOPLAS PY 40*. Lisboa: Sotecnisol, sem data. Ficha Técnica.

- 27- FERCA – *Cúpalex*. Lisboa: Ferca - Construções Racionalizadas e Estruturas, sem data. Ficha Técnica/Catálogo.
- 28- ORNELAS, Hugo – *Proposta solução variante da cobertura do Parque do Anel Verde em Lagos*. Lisboa: Ferca - Construções Racionalizadas e Estruturas, Março 2009.
- 29- A400 Projectistas e Consultores de Engenharia Civil, Lda. – *Projecto de Execução Fundações e Estruturas do Parque de Estacionamento da Frente Ribeirinha em Lagos*. Porto. Setembro 2008.
- 30- *Técnica Inovadora utilizada na Frente Ribeirinha de Lagos*. [Em linha] (Maio 2009). Disponível na Internet em: WWW:<URL: <http://www.barlavento.pt/index.php/noticia?id=33283>>.
- 31- CARRETO, Joana Rodrigues – *Jet Grouting: uma técnica em desenvolvimento*. Lisboa: COBA, S.A, Abril 2000. VII Congresso Nacional de Geotecnia. Melhoramento de solos.
- 32- FRANCISCO, Ruben Filipe Frango - *Caracterização técnico-económica dos diferentes tipos de fundações profundas*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Setembro 2007. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.
- 33- RODRIGUES, Daniel Filipe Neves - *Jet Grouting: Controlo de qualidade em terrenos do Miocénico de Lisboa*. Monte da Caparica: UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2009. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica (Geotecnia).
- 34- STOETZER, E., GERRESSEN, F. W., SCHOEPF, M. - *A new technique for the construction of subterranean walls: initial experiences gained on completed projects*. Germany: Bauer Maschinen, sem data.
- 35- BESAPLAST – *Deflex Série FV*. Borken: Besaplast, sem data. Ficha Técnica.

36- SIKA S.A. – *Sikadur 32*. Brasil: Sika S.A, Junho 2005. Ficha Técnica

37- EVANGELISTA, Luís Manuel Rocha - *Betão Reforçado com Fibras de Aço: aplicação em pavimentos industriais*. Oeiras: Construlink Press, Janeiro 2003. Mestrado em Construção. Tecnologia de Construção de Edifícios.

# **ANEXOS**

**ANEXO A. Fotografias do Parque de estacionamento do Anel Verde  
depois de terminada a obra**



Figura I. Parque de estacionamento do Anel Verde (vista da rua José Afonso).



Figura II. Parque de estacionamento do Anel Verde (vista junto à muralha).



Figura III. Parque de estacionamento do Anel Verde (vista da Estrada da Piedade).



Figura IV. Piso 0 terminado do Parque de estacionamento do Anel Verde.

**ANEXO B. Fotografias do Parque de estacionamento da Frente Ribeirinha  
depois de terminada a obra**



Figura V. Vista da cobertura do Parque de estacionamento da Frente Ribeirinha junto à muralha.



Figura VI. Zona da cobertura depois de terminada sem os arranjos exteriores.



Figura VII. Floreiras na zona da cobertura para posterior acabamento.

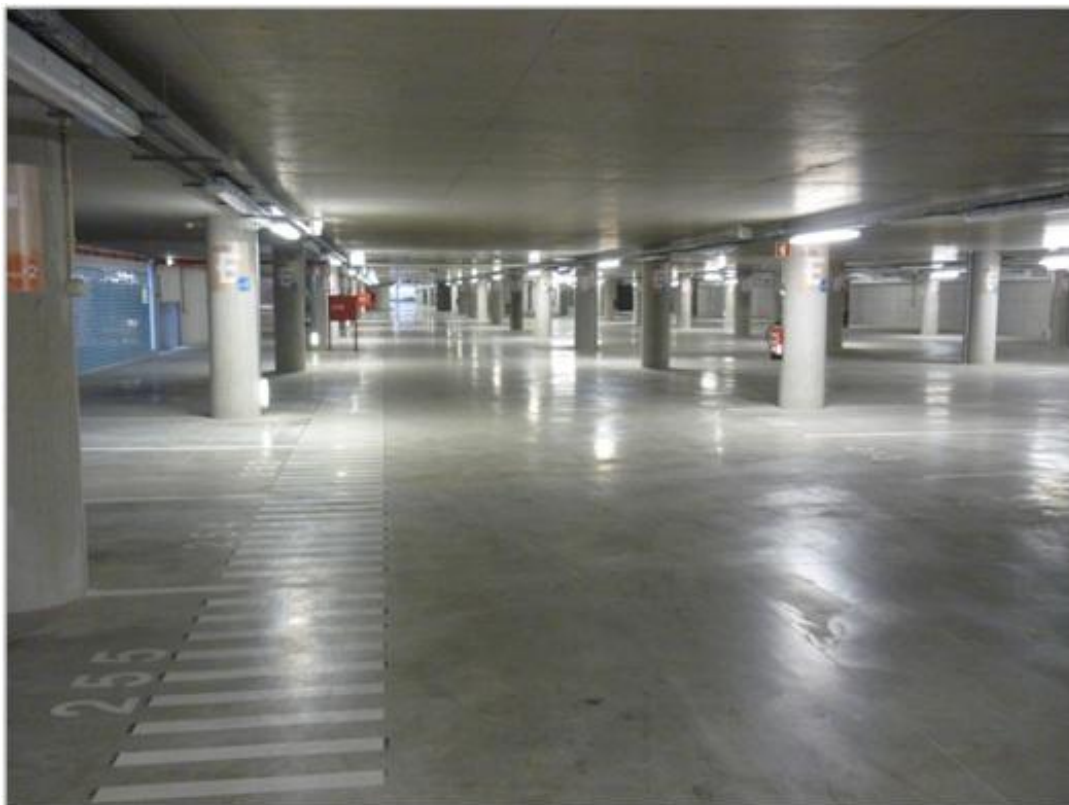


Figura VIII. Interior terminado do piso -1 do Parque de estacionamento da Frente Ribeirinha.

**ANEXO C. Fotografias dos trabalhos de arqueologia levados a cabo na obra do Parque do Anel Verde**



Figura IX. Trabalhos de arqueologia.



Figura X. Esqueleto encontrado durante os trabalhos de arqueologia.



Figura XI. Vista dos trabalhos de arqueologia numa fase inicial da obra.



Figura XII. Catalogação levada a cabo durante os trabalhos de arqueologia.

## ANEXO D. Pendentes da caleira adjacente à contenção periférica no piso -2

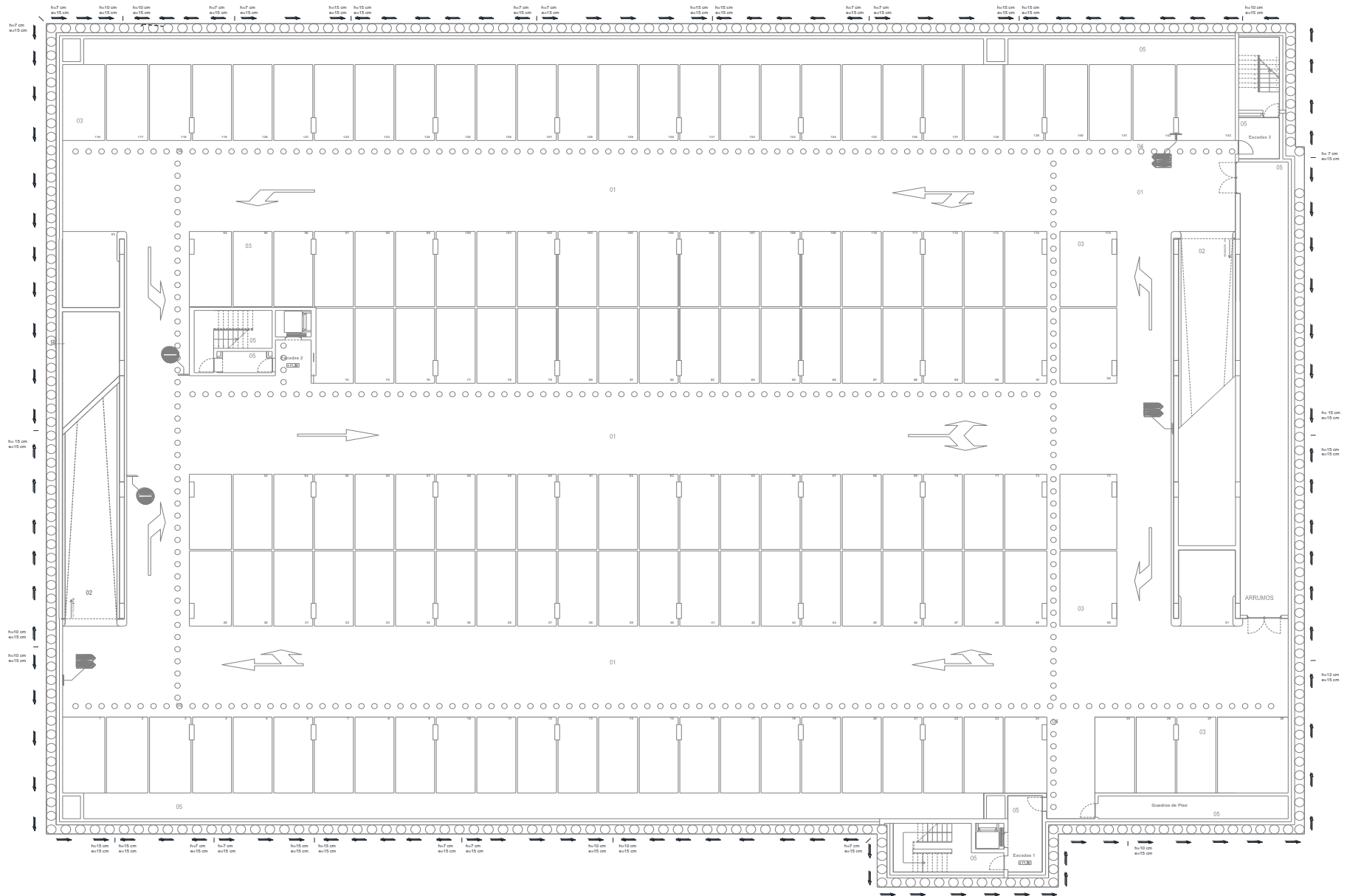


Figura XIII. Pendentes da caleira adjacente à contenção periférica no piso -2.

