



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Impermeabilização de fundações de edifícios e estruturas especiais

Paula Alexandra da Silva Mendes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof. Augusto Martins Gomes (IST)

Orientador: Eng. Jorge Manuel Grandão Lopes (LNEC)

Co-orientador: Prof. Jorge Manuel Calião Lopes de Brito (IST)

Vogais: Prof. João Paulo Janeiro Gomes Ferreira (IST)

Novembro 2011

Resumo

As fundações, como elementos fundamentais aos edifícios, devem ser executadas e protegidas da melhor forma, com o objectivo de aumentar a sua vida útil e consequentemente a do edifício onde se insere.

Nos últimos anos, em Portugal, começa a existir uma maior preocupação nesta área, aplicada principalmente em obras de grande porte. Mas este tema carece de informação técnica, regulamentação e estudos sobre a impermeabilização de fundações em edifícios até agora inexistente. É por isso fundamental realizar-se este estudo, com o intuito de reunir a maior informação possível sobre o tema, tanto por pesquisa bibliográfica, como por experiência adquirida de fornecedores e comerciantes.

Nesta dissertação, são referidas as fundações passíveis de ser impermeabilizadas: sapatas (isoladas, corridas ou vigadas); ensoleiramentos gerais (pela face superior ou inferior) ou estacas (topo ou maciço de encabeçamento). São ainda apresentados quais os principais agentes de degradação existentes no solo: água / humidade; micro-organismos e raízes; pH e a altura a que o nível freático se encontra. A presença destes agentes provoca a degradação acelerada do elemento.

Como materiais passíveis de se usar em sistemas de impermeabilização, tem-se os prefabricados (membranas e geocompósitos) e os manufacturados *in situ* (emulsões betuminosas, revestimentos de base cimentícia). São ainda abordadas técnicas relevantes de impermeabilização, bem como a pormenorização de pontos singulares a prevenir.

De seguida, são referidas as anomalias correntes em fundações e nos materiais que as protegem. É possível ainda abordar técnicas de reabilitação, focando-se fundamentalmente em ensoleiramentos gerais, uma vez que os restantes tipos de fundação são, na maioria, das vezes de difícil acesso e economicamente inviáveis.

Por fim, é apresentada uma estimativa geral de custos, baseada em produtos fornecidos pelas principais empresas de impermeabilização em Portugal. O presente estudo termina com a apresentação de conclusões retiradas e algumas sugestões úteis de desenvolvimento futuro.

Palavras chave: impermeabilização, fundações, sapata, ensoleiramento geral, estacas

Abstract

Building foundations, as a fundamental structural element, must be carefully executed and protected against the deteriorating agents in order to ensure a satisfactory performance level during its service life, and, therefore, the building's good performance.

Concern with the risk of not using a waterproofing system to protect concrete elements of foundations against water has been increasing recently in Portugal, especially in important construction works. However, there is neither normative or technical information regarding this subject, nor published studies about the waterproofing solutions used in existing buildings. It is therefore imperative to collect all the possible information on the subject, either using existing bibliography or by inquiring the producers and the people that apply those materials.

This dissertation refers the types of foundations that are able to receive waterproofing protection: foundation footings (isolated, linear or connected by lintels), mat-slab foundations (either on top or at the bottom surfaces of the concrete slab) and piles (either the pile heads or the pile cap block). The main deterioration agents present on the soil are also mentioned: water/humidity, microorganisms, vegetation roots, soil acidity (pH) and groundwater level. The presence of these elements enables a fast deterioration of the concrete elements, and therefore the protection against them must not be disregarded.

The materials used on the waterproofing of building foundations are described, as well as their properties. These materials can be prefabricated (membranes and geocomposite) or manufactured in situ (bituminous emulsions or cement based coating). The application techniques and the critical points on each waterproofing system are illustrated and explained, as well as some ideas about how to prevent the appearance of leakage points on the membranes.

Moreover, the most common anomalies that deteriorate the foundations and the protection materials are also presented. The most adequate methods to eliminate or repair the anomalies are referred, focusing on the mat-slab foundations case, since the piles and the foundation footings are very difficult (and sometimes impossible) to access, which makes the repair economically unviable.

An estimation of costs for each waterproofing solution is also presented, based on information given by brands, producers and technicians that apply them.

Finally, the conclusions of the study carried out during this dissertation and some suggestions for future research about the subject are presented.

Keywords: Waterproofing; foundation; footing; mat-slab foundation; piles

Agradecimentos

Ao Eng.º Grandão Lopes, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), meu orientador científico, por todo o tempo disponibilizado na discussão do tema, bem como pelo acompanhamento e sugestões técnicas. Um muito obrigada por todo o apoio demonstrado na elaboração da dissertação.

Quero agradecer do fundo do coração ao Prof. Jorge de Brito, do Instituto Superior Técnico (IST), meu co-orientador, pelo apoio constante, tanto em sugestões e opiniões técnicas, como por todo o apoio psicológico prestado. Acima de tudo, nunca me deixou desistir desta caminhada. Um muito obrigada.

Quero agradecer ao Eng.º João Justo, da empresa Sotecnisol, pela disponibilidade sempre constante, partilha de conhecimentos e experiências, assim como a oportunidade de visitar a obra do Metro da Reboleira, Amadora. Quero também agradecer ao Eng.º Jorge Ramos, da empresa Imperialum, que me recebeu com grande simpatia, partilha de conhecimentos, documentação e amostras de materiais. Ao Sr. António Robalo, da empresa H Pedro Martins, por toda a informação cedida sobre geocompósitos bentoníticos, bem como amostras do material.

À empresa Construsan, Turiprojecto, e às pessoas que nela trabalham, principalmente à Eng.ª Cátia Cardoso, ao Eng.º Queiroz de Morais, que sempre me apoiaram na elaboração desta dissertação.

Aos meus pais, que, nesta fase complicada, sempre proporcionaram uma palavra de conforto, e apoio mesmo nas minhas ausências e tiveram uma enorme paciência. À minha irmã por todo o tempo perdido na entrega de material, mas principalmente pelo apoio e paciência demonstrados.

À minha querida tia Ana Mendes, por todas as horas entregues de revisão e orientação de escrita, ao longo de toda a dissertação, cuja elaboração também não seria possível sem ela. Agradeço ainda aos restantes da minha família, que sempre directamente ou indirectamente estiveram comigo, principalmente pela preocupação demonstrada. Por isso, um muito obrigada à minha madrinha e tia Teresa Mendes, ao meu tio Paulo Mendes, ao meu primo Ruben Martins, à minha prima Rafaela Mendes e, com um a maior ênfase, aos meus avós, Josefina e Jorge Mendes.

Por último, mas com elevada importância, agradeço a todos os meus amigos que sempre me apoiaram, motivaram, se preocuparam, e que com grande facilidade proporcionaram momentos de descontração, tão úteis no incentivo da elaboração deste meu trabalho. Entre eles, agradeço aos meus amigos Christopher Apps, Guilherme Gomes, João Segurado, José Pais, Pedro Tavares, Madalena Ventura, Mónica Correia e Rita Lopes, que nunca me deixaram desistir.

Um muito obrigada a todos, Paula Mendes.

Índice geral

| | Pág. |
|--|-----------|
| RESUMO | i |
| ABSTRACT | ii |
| AGRADECIMENTOS | iii |
| ÍNDICE GERAL | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| ÍNDICE DE QUADROS | xi |
| ABREVIATURAS | xi |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 - Âmbito da dissertação | 1 |
| 1.2 - Objectivos da dissertação | 2 |
| 1.3 - Metodologia e organização da dissertação | 3 |
| CAPÍTULO 2 | 7 |
| ASPECTOS GERAIS SOBRE IMPERMEABILIZAÇÃO DE FUNDAÇÕES | 7 |
| 2.1 - Evolução histórica da temática | 7 |
| 2.2 - Factores que condicionam o contacto da água com o elemento | 11 |
| 2.2.1 - Tipos de águas presentes no solo | 12 |
| 2.2.2 - Tipos de humidades existentes | 13 |
| 2.2.3 - Micro-organismos e raízes | 16 |
| 2.2.4 - PH no solo | 17 |
| 2.2.5 - Nível freático | 17 |
| 2.3 - Tipos de fundações passíveis de serem impermeabilizadas | 18 |
| 2.4 - Síntese do capítulo | 22 |
| CAPÍTULO 3 | 25 |
| MATERIAIS APLICADOS | 25 |
| 3.1 - Considerações preliminares | 25 |
| 3.2 - Materiais usados em soluções de impermeabilização | 28 |
| 3.2.1 - Materiais prefabricados | 28 |
| 3.2.1.1 - Membranas betuminosas | 28 |
| 3.2.1.1.1 - Membranas de betume oxidado | 28 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.1.1.2 - Membranas de betume-polímero APP | 31 |
| 3.2.1.1.3 - Membranas de betume-polímero SBS | 34 |
| 3.2.1.2 - Membranas sintéticas | 36 |
| 3.2.1.2.1 - Membranas termoplásticas | 36 |
| 3.2.1.2.2.1 - Membranas de PEAD..... | 36 |
| 3.2.1.2.2.2 - Membranas de PVC plastificado | 38 |
| 3.2.1.2.2.3 - Membranas de TPO..... | 43 |
| 3.2.1.2.2.4 - Membranas de PP e PE | 43 |
| 3.2.1.2.2 - Membranas elastoméricas - membranas de EPDM..... | 44 |
| 3.2.2 - Geocompósitos..... | 46 |
| 3.2.2.1 - Geocompósitos impermeabilizantes..... | 46 |
| 3.2.2.1 - Geocompósitos drenantes | 47 |
| 3.2.3 - Materiais manufacturados <i>in situ</i> | 54 |
| 3.2.3.1 - Emulsões e tintas betuminosas..... | 54 |
| 3.2.3.2 - Revestimentos de base cimentícia..... | 57 |
| 3.2.4 - Alguns acessórios complementares aos sistemas de impermeabilização | 59 |
| 3.2.4.1 - Juntas de dilatação | 59 |
| 3.2.3.2 - Arandelas..... | 60 |
| 3.2.5 - Comparação das diversas vantagens e desvantagens dos produtos apresentados | 61 |
| 3.3 - Síntese do capítulo | 66 |
| CAPÍTULO 4..... | 69 |
| SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO, TÉCNICAS E CAMPOS DE APLICAÇÃO..... | 69 |
| 4.1 - Fundações | 69 |
| 4.1.1 - Sapatas | 71 |
| 4.1.2 - Ensoleiramento geral | 77 |
| 4.1.3 - Estacas..... | 85 |
| 4.2 - Pontos singulares | 91 |
| 4.2.1 - Pormenor das dobras a realizar em volta da sapata..... | 92 |
| 4.2.2 - Pormenor da extremidade da membrana impermeável na base do pilar..... | 96 |
| 4.2.3 - Pormenor de ligação entre o ensoleiramento geral e o elemento vertical | 97 |
| 4.3 - Síntese do capítulo | 100 |
| CAPÍTULO 5..... | 105 |
| ANOMALIAS CONSTRUTIVAS E PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO | 105 |
| 5.1 - Considerações gerais..... | 105 |

| | |
|--|------------|
| 5.2 - Anomalias..... | 106 |
| 5.2.1 - Anomalias no decorrer da execução da fundação..... | 108 |
| 5.2.2 - Anomalias no decorrer da vida útil do elemento..... | 110 |
| 5.2.3 - Anomalias em membranas impermeáveis..... | 114 |
| 5.3 - Propostas de reabilitação..... | 118 |
| 5.4 - Síntese do capítulo..... | 120 |
| CAPÍTULO 6..... | 123 |
| ESTIMATIVA DE CUSTOS..... | 123 |
| 6.1 - Considerações gerais..... | 123 |
| 6.2 - Custos de base associados às respectivas técnicas..... | 123 |
| 6.2.1 - Sapatas..... | 125 |
| 6.2.2 - Ensoleiramento geral..... | 129 |
| 6.2.3 - Estacas..... | 131 |
| 6.3 - Síntese do capítulo..... | 134 |
| CAPÍTULO 7..... | 139 |
| CONCLUSÃO..... | 139 |
| 7.1 - Considerações finais..... | 139 |
| 7.2 - Principais conclusões do estudo..... | 140 |
| 7.3 - Perspectivas de desenvolvimento futuro..... | 142 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 145 |
| ANEXOS..... | 153 |

Índice de figuras

Pág.

CAPÍTULO 2 - ASPECTOS GERAIS SOBRE IMPERMEABILIZAÇÃO DE FUNDAÇÕES

| | |
|---|--------------------------------------|
| Figura 2.1 - Esquema da água no solo | Error! Bookmark not defined.2 |
| Figura 2.2 - Afluência da água junto das paredes | 13 |
| Figura 2.3 - Humidade no terreno (ascensional) em fundações | 14 |
| Figura 2.4 - Sapata isolada..... | 19 |
| Figura 2.5 - Impermeabilização da sapata..... | 19 |
| Figura 2.6 - Sapata corrida | 20 |
| Figura 2.7 - Impermeabilização da sapata corrida | 20 |
| Figura 2.8 - Ensoleiramento geral | 21 |
| Figura 2.9 - Impermeabilização de ensoleiramento geral..... | 21 |
| Figura 2.10 - Encabeçamento da estaca..... | 22 |
| Figura 2.11 - Impermeabilização do encabeçamento da estaca..... | 22 |

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS APLICADOS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 - Simbologia representativa de tipos de impermeabilização | 27 |
| Figura 3.2 - Ligação a outra membrana de betume através de chama de maçarico, sistema bicapa | 30 |
| Figura 3.3 - Aplicação da membrana de betume-polímero APP | 33 |
| Figura 3.4 - Constituição de uma membrana de polímero-betume SBS..... | 35 |
| Figura 3.5 - Membrana termoplástica PEAD | 37 |
| Figura 3.6 - Exemplo de possíveis dimensões apresentadas pelo fornecedor..... | 37 |
| Figura 3.7 - Membrana de PVC-P opaca..... | 39 |
| Figura 3.8 - Membrana de PVC-P opaca com sinal..... | 39 |
| Figura 3.9 - Membrana de PVC-P translúcida | 40 |
| Figura 3.10 - Ligação ao suporte utilizando cunha quente | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.11 - Ligação ao suporte por insuflação de ar quente | 42 |
| Figura 3.12 - Aplicação da membrana de EPDM num ensoleiramento geral | 46 |
| Figura 3.13 - Geocompósito impermeabilizante..... | 46 |
| Figura 3.14 - Diversos geotêxteis | 47 |
| Figura 3.15 - As cinco principais funções dos geotêxteis..... | 48 |
| Figura 3.16 - Geocompósito drenante | 49 |
| Figura 3.17 - Geocompósito impermeabilizante e drenante, com bentonite sódica | 49 |
| Figura 3.18 - Sobreposição mínima em mantas bentoníticas | 50 |
| Figura 3.19 - Cravagem no caso de geocompósitos bentoníticos..... | 51 |
| Figura 3.20 - <i>Redstop</i> numa junta de betonagem vertical | 52 |
| Figura 3.21 - <i>Redstop</i> preta numa junta de betonagem horizontal..... | 52 |
| Figura 3.22 - <i>Redstop</i> preta fixada por colagem, devidamente moldada à superfície | 53 |
| Figura 3.23 - Dimensões mínimas de recobrimento | 53 |
| Figura 3.24 - Aplicação de emulsão betuminosa como primário e elemento de colagem..... | 57 |
| Figura 3.25 - Aplicação do cimento especial (revestimento de base cimentícia), com talocha ... | 59 |
| Figura 3.26 - Junta de dilatação em PVC | 59 |
| Figura 3.27 - Junta de dilatação aplicada numa membrana de PVC..... | 60 |
| Figura 3.28 - Arandelas de suporte | 60 |

CAPÍTULO 4 - SISTEMAS FORMADOS, TÉCNICAS E CAMPOS DE APLICAÇÃO

| | |
|---|----|
| Figura 4.1 - Cabouco para receber fundação directa, sapata isolada | 71 |
| Figura 4.2 - Cabouco para receber fundação directa, sapatas unidas por vigas..... | 71 |
| Figura 4.3 - Sapata impermeabilizada com um geocompósito bentonítico | 73 |
| Figura 4.4 - Sapatas isoladas prefabricadas impermeabilizadas com emulsão betuminosa e membrana | 74 |
| Figura 4.5 - Soterramento depois das sapatas impermeabilizadas | 74 |
| Figura 4.6 - Exemplo de impermeabilização de uma sapata isolada | 75 |
| Figura 4.7 - Possível sistema de impermeabilização | 75 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.8 - Desenho técnico de uma solução de impermeabilização de uma sapata com um geocompósito bentonítico | 76 |
| Figura 4.9 - Impermeabilização de fundações do tipo sapata vigada | 77 |
| Figura 4.10 - Compactação do solo com o auxílio do equipamento cilindro | 78 |
| Figura 4.11 - Ensaio de carga com o auxílio de um camião carregado de terra | 78 |
| Figura 4.12 - Exemplo de sistema de impermeabilização de um ensoleiramento geral | 79 |
| Figura 4.13 - Um possível sistema de impermeabilização de ensoleiramento geral | 79 |
| Figura 4.14 - Representação da membrana PEAD no fundo da fundação ensoleiramento geral. | 80 |
| Figura 4.15 - Betonagem da laje de fundo depois de impermeabilizado o ensoleiramento geral na face superior | 81 |
| Figura 4.16 - Exemplo de sistema de impermeabilização de um ensoleiramento geral na superfície superior | 82 |
| Figura 4.17 - Diversos modos de aplicação do produto impermeabilizante manufacturados <i>in situ</i> | 83 |
| Figura 4.18 - Aplicação de membrana EPDM sobre ensoleiramento geral | 84 |
| Figura 4.19 - Limpeza da zona superior da estaca | 85 |
| Figura 4.20 - Impermeabilização do encabeçamento da estaca | 85 |
| Figura 4.21 - Proposta de impermeabilização da cabeça de estaca | 86 |
| Figura 4.22 - Pormenor de impermeabilização da cabeça da estaca | 86 |
| Figura 4.23 - Maciço de encabeçamento que une as várias estacas | 87 |
| Figura 4.24 - Maciço de encabeçamento a ser impermeabilizado | 87 |
| Figura 4.25 - Proposta de impermeabilização de um encabeçamento de estaca | 88 |
| Figura 4.26 - Impermeabilização dos maciços de encabeçamento com o recurso a geocompósitos bentoníticos | 88 |
| Figura 4.27 - Impermeabilização do topo da estaca com <i>grout</i> | 89 |
| Figura 4.28 - Solução apresentada pela empresa Sotecnisol | 90 |
| Figura 4.29 - Sistema final de impermeabilização da estaca (obra do Banco de Portugal) | 90 |
| Figura 4.30 - Pormenor técnico da solução apresentada pela empresa Sotecnisol | 91 |
| Figura 4.31 - Quatro imagens representativas de impermeabilização de sapatas | 92 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.32 - Continuação da sequência de imagens representativas de como impermeabilizar uma sapata | 93 |
| Figura 4.33 - Pontos singulares e frágeis do sistema de impermeabilização..... | 94 |
| Figura 4.34 - Continuação da sequência de imagens representativas de como impermeabilizar uma sapata | 94 |
| Figura 4.35 - Finalização da sequência de imagens representativas de como impermeabilizar uma sapata | 95 |
| Figura 4.36 - Ponto singular no canto protegido com uma pasta bentonítica..... | 95 |
| Figura 4.37 - Cortes necessários a aplicar no topo do pilar | 96 |
| Figura 4.38 - Remates finais de ligação entre a membrana do pilar e a da sapata, através de soldadura..... | 97 |
| Figura 4.39 - Empalme do geotêxtil e a soldadura da membrana na vertical | 98 |
| Figura 4.40 - Empalme do geotêxtil e soldadura da membrana na horizontal..... | 99 |
| Figura 4.41 - Sistema de impermeabilização com remate da membrana com chapa quinada e mastique..... | 100 |

CAPÍTULO 5 - ANOMALIAS CONSTRUTIVAS E PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO

| | |
|---|-----|
| Figura 5.1 - Bolhas de pele na superfície de betão | 108 |
| Figura 5.2 - Aparecimento de chochos na superfície de betão..... | 109 |
| Figura 5.3 - Segregação do betão, os chamados “ninhos de pedras” | 109 |
| Figura 5.4 - Diferentes tipos de fundação aplicados no mesmo edifício | 111 |
| Figura 5.5 - Fissuração devido ao assentamento do apoio provocado pela contracção do solo | 111 |
| Figura 5.6 - Pilar danificado devido ao ataque de sulfatos | 113 |
| Figura 5.7 - Desagregação do betão armado | 114 |
| Figura 5.8 - Corrosão de armaduras de vigas de fundação e do pilar adjacente | 114 |
| Figura 5.9 - Pregas em membrana com protegido com folha de alumínio..... | 116 |
| Figura 5.10 - Exemplo de empolamento numa membrana de EPDM..... | 116 |
| Figura 5.11 - Rolos achatados devido ao seu incorrecto armazenamento | 117 |
| Figura 5.12 - Fissuração do revestimento de impermeabilização..... | 118 |

Índice de quadros

Pág.

CAPÍTULO 2 - ASPECTOS GERAIS SOBRE IMPERMEABILIZAÇÃO DE FUNDAÇÕES

| | |
|---|---|
| Quadros 2.1 - Materiais prefabricados impermeáveis..... | 8 |
|---|---|

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS APLICADOS

| | |
|--|----|
| Quadros 3.1 - Características de alguns betumes insuflados de produção nacional..... | 30 |
| Quadros 3.2 - Quadro síntese das características de membranas polímero-betume de APP e diferentes armaduras..... | 32 |
| Quadros 3.3 - Quadro síntese das características de membranas de polímero-betume SBS e respectivas armaduras | 34 |
| Quadros 3.4 - Quadro síntese das características de membranas de PVC-P | 40 |
| Quadros 3.5 - Características exigidas a satisfazer por emulsões betuminosas | 56 |
| Quadros 3.6 - Quadro resumo dos vários produtos..... | 67 |
| Quadros 3.7 - Possível aplicação de monocapa ou multicapa nos diversos tipos de materiais ... | 68 |

CAPÍTULO 4 - SISTEMAS FORMADOS, TÉCNICAS E CAMPOS DE APLICAÇÃO

| | |
|--|-----|
| Quadros 4.1 - Membranas que podem ser aplicadas nas diversas fundações | 103 |
|--|-----|

CAPÍTULO 6 - ESTIMATIVA DE CUSTOS

| | |
|--|-----|
| Quadros 6.1 - Média de preços dos diversos produtos, Março de 2011, sem I.V.A incluído | 124 |
| Quadros 6.2 - Preços médios das diversas categorias de mão-de-obra aptas a impermeabilizar | 125 |
| Quadros 6.3 - Rendimento dos produtos maioritariamente usados em sapatas | 126 |
| Quadros 6.4 - Rendimentos do oficial de impermeabilizador e o respectivo ajudante em sapatas | 126 |
| Quadros 6.5 - Custos associados à solução A do sistema de impermeabilização com o recurso a uma membrana de PVC..... | 126 |

| | |
|--|-----|
| Quadros 6.6 - Custos associados à solução B do sistema de impermeabilização com o recurso a uma membrana de PVC..... | 100 |
| Quadros 6.7 - Custos associados à solução C do sistema de impermeabilização com o recurso a uma membrana de PVC..... | 127 |
| Quadros 6.8 - Custos associados à solução C do sistema de impermeabilização com o recurso a uma manta bentonítica | 128 |
| Quadros 6.9 - Rendimento dos produtos maioritariamente usados em ensoleiramentos gerais | 129 |
| Quadros 6.10 - Rendimentos do oficial de impermeabilizador e o respectivo ajudante em ensoleiramentos gerais | 130 |
| Quadros 6.11 - Custos do primeiro caso de sistema de impermeabilização com a um sistema de continuidade..... | 132 |
| Quadros 6.12 - Custo médio das juntas de PVC (<i>waterstop</i>) | 133 |
| Quadros 6.13 - Custos do segundo caso com recurso a um <i>waterstop</i> e revestimento de base cimentícia | 133 |
| Quadros 6.14 - Custos do quarto caso de sistema de impermeabilização com a um sistema de continuidade..... | 134 |
| Quadros 6.15 - Quadro de síntese dos diferentes sistemas de impermeabilização, com respectivos custos | 134 |
| Quadros 6.16 - Quadro de síntese dos diferentes sistemas de impermeabilização, com respectivos custos (continuação)..... | 135 |
| Quadros 6.17 - Quadro de síntese dos diversos sistemas de impermeabilização em ensoleiramentos gerais, com respectivos custos..... | 135 |
| Quadros 6.18 - Quadro de síntese dos diversos sistemas de impermeabilização em ensoleiramentos gerais, com respectivos custos (continuação)..... | 136 |
| Quadros 6.19 - Quadro de síntese dos diversos sistemas de impermeabilização em estacas, com respectivos custos | 136 |

Abreviaturas

- APP** - (membrana impermeável à base de) polímero polipropileno atático
- ASTM** - American Society for Testing and Materials
- CEN** - European Committee for Standardization
- CT** - Comissões Técnicas de Normalização
- DIN** - Deutsches Institut für Normung
- EPDM** - (membrana impermeável à base de) polímero etileno-propileno-dieno
- EOTA** - European Organisation for Technical Approvals
- EPUSP** - Escola Politécnica da Universidade São Paulo
- ETAG** - European Technical Approval Guideline
- FCTUC** - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
- FUNDEC** - Associação para a Formação e o Desenvolvimento em Engenharia Civil e Arquitectura
- FV** - (armadura de) fibra de vidro
- IPQ** - Instituto Português da Qualidade
- IST** - Instituto Superior Técnico
- LNEC** - Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- NP EN** - Versão portuguesa de Normalização Europeia
- ONS** - Organismos de Normalização Sectorial
- PE** - (membrana impermeável à base de) polímero polietileno
- PEAD** - (membrana impermeável à base de) polímero polietileno de alta densidade
- PP** - (membrana impermeável à base de) polímero polipropileno
- PVC** - (membrana impermeável à base de) polímero cloreto de polivinilo
- PY** - (armadura de) poliéster
- RGEU** - Regulamento Geral das Edificações Urbanas
- SBS** - (membrana impermeável à base de) polímero estireno-butadieno-estireno
- TPO** - (membrana impermeável termoplástica à base de) polímero de poliolefinas
- UCLA** - Universidade da Califórnia, Los Angeles
- UEAtc** - Union Européenne pour l’Agrément Technique dans la Construction

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Âmbito da dissertação

O tema desta dissertação prende-se com a “Impermeabilização de fundações de edifícios e estruturas especiais”, focando-se na impermeabilização destes elementos fundamentais aos edifícios, onde toda a estrutura assenta. Sem as fundações devidamente protegidas, o risco de as características iniciais serem alteradas é elevado o que poderá levar à sua degradação.

Entende-se por impermeabilizar o acto de isolar e proteger os elementos e consequentemente os seus materiais numa edificação contra a passagem indesejável de líquidos e vapores, mantendo assim pouco alteráveis as condições normais da construção ao longo do tempo. Esta operação tem como objectivo prolongar a vida útil dos elementos de construção que se encontram em contacto com o solo e, consequentemente, aumentar a vida de toda a estrutura que daí provém, prolongando as suas características iniciais por mais tempo, sem se deteriorarem.

Deve por isso investir-se cada vez mais neste área devido às vantagens que daí provêm. Assim sendo, deve-se ter sempre em conta o sistema de impermeabilização aplicado, com o intuito de racionalizar o investimento realizado em função da durabilidade dos materiais de impermeabilização utilizados. Por exemplo, em relação ao tipo de fundação, o sistema de impermeabilização deve ser devidamente estudado, evitando gastos excessivos que não trarão benefícios à protecção do elemento.

Como tal, deverá realizar-se um estudo prévio do tipo de solo que ficará em contacto com a superfície a impermeabilizar ou a drenar, para se proceder a uma escolha adequada dos materiais e métodos a utilizar, uma vez que ainda não existe um critério único consagrado de selecção de sistemas de impermeabilização. A pouca informação técnica sobre este tema obriga os comerciantes e fornecedores a aconselhar métodos de aplicação através do seu próprio conhecimento e experiência adquiridos ao longo dos anos na área. Estes passam por certas dificuldades em obra, que com uma maior sensibilidade no tema, lhes permita adoptar as técnicas consoante o objectivo e factores condicionantes do trabalho ou da aplicação, tais como: o tipo de fundação, os materiais a usar; os agentes deteriorantes no solo; os pontos singulares a reforçar em sistemas de impermeabilização, entre outros.

Na Sociedade actual, é cada vez mais comum, em zonas urbanas lotadas, a construção abaixo do nível térreo. Assim sendo, devem ser tomadas medidas de precaução nesta área. Devido à sua inacessibilidade, o investimento na impermeabilização deve ser feito logo no início da construção, evitando gastos futuros e provavelmente pouco eficientes na protecção das fundações.

De seguida, são enumerados os objectivos da presente dissertação.

1.2 - Objectivos da dissertação

O objectivo principal desta dissertação prende-se com a análise global das técnicas e sistemas de impermeabilização mais adequados, dependendo do tipo de fundação a impermeabilizar. Esta dissertação tem como objectivo estudar as várias técnicas a aplicar em fundações do tipo sapata, ensoleiramento geral e maciço de encabeçamento de estacas.

Como forma de complementar o estudo principal, é útil introduzir e desenvolver um pouco os materiais usados nos diversos sistemas de impermeabilização. As características gerais variam consoante o material, modo de aplicação, bem como as suas dimensões. O campo de aplicação irá também influenciar o tipo de material ou sistema de impermeabilização a utilizar.

Outro dos objectivos é o de prever e precaver as anomalias que possam ocorrer em fundações, com e sem meios de protecção (impermeabilização), bem como indicar propostas de reabilitação que permitam restaurar as propriedades iniciais do sistema danificado. É importante também neste caso incluir propostas de reabilitação, fundamentalmente em fundações do tipo ensoleiramento geral, uma vez que os restantes tipos (sapatas e estacas) são de difícil acesso e economicamente inviáveis.

Por último, e não menos importante, é feita uma estimativa de custos associada a cada técnica usada, incluindo o material, mão-de-obra e os equipamentos necessários à sua aplicação. Reunindo a informação de vários fornecedores de materiais de impermeabilização, é possível apresentar uma estimativa de custos que permita um valor aproximado de cada uma das soluções apresentadas. Em todos os capítulos, revela-se a importância da criação de um subcapítulo de resumo, onde é realizada uma síntese da informação abordada.

Ao realizar este estudo sobre a impermeabilização de fundações, torna-se evidente a quase nula informação técnica disponível sobre a protecção contra a acção da água neste tipo de elementos fundamentais à vida dos edifícios. Esta dissertação pretende dar um contributo para colmatar essa lacuna, extensiva também à bibliografia internacional.

O subcapítulo seguinte apresenta a metodologia e organização de toda a dissertação.

1.3 - Metodologia e organização da dissertação

A metodologia usada na elaboração do presente documento consistiu na análise de bibliografia sobre o tema ou temas afins, tais como: estado de arte no país e no mundo; materiais aplicados; características e propriedades gerais; técnicas e sistemas de impermeabilização usados nos diversos tipos de fundação; anomalias comuns neste tipo de elementos e catálogos de custos dos diversos produtos a aplicar, com o objectivo de recolher informação técnica e estimar os custos da aplicação das mesmas.

Esta pesquisa exaustiva e complexa permitiu perceber o pouco desenvolvimento e estudos científicos que existem nesta área, dificultando por isso a base científica necessária e fundamental em dissertações.

Assim sendo, além da pesquisa bibliográfica, foi necessário o contacto com empresas da especialidade, fabricantes e aplicadores, com vista a compreender as dificuldades e diferentes perspectivas de aplicação dos materiais e técnicas passíveis de utilização neste domínio. Foi assim possível, através da base da experiência destes fornecedores, desenvolver um trabalho que reúna as várias opiniões e sucesso de aplicação de sistemas de impermeabilização, revelando-se muito útil ao desenvolvimento deste tema.

A presente dissertação é dividida em sete capítulos, onde são desenvolvidos os seguintes temas: introdução ao tema, o presente capítulo; o segundo capítulo introduz os aspectos gerais sobre a impermeabilização de fundações; o terceiro indica quais os materiais a usar nos diversos sistemas; o quarto apresenta as várias hipóteses de sistemas de impermeabilização a aplicar; o quinto reúne as anomalias provenientes da não ou incorrecta impermeabilização; o sexto capítulo apresenta os custos médios de cada solução, que permite facilmente calcular o valor aproximado de um sistema de impermeabilização que se queira aplicar. É possível, assim, abordar os diversos capítulos da seguinte forma.

Capítulo 1:

O presente capítulo é dividido em três pequenos subcapítulos: âmbito da dissertação; objectivos e metodologia / organização adoptada. O primeiro subcapítulo faz uma pequena introdução ao tema que será desenvolvido ao longo de toda esta dissertação. De seguida, são apresentados os objectivos, justificando quais as razões de escolha do tema e qual a necessidade de abordar este assunto. O subcapítulo actual indica o método usado de pesquisa, bem como os assuntos abordados em cada um dos capítulos.

Capítulo 2:

O segundo capítulo deste estudo inicia-se pelo levantamento do estado de arte existente sobre impermeabilização de fundações. Foca-se fundamentalmente a importância da sua aplicação nos elementos da construção em estudo. Nele são identificados também os factores que condicionam o contacto da água com o elemento, influenciando futuramente o sistema de impermeabilização mais apropriado a aplicar. Como agentes degradantes, incluem-se os seguintes: tipos de águas e humidades presentes no solo; micro-organismos e raízes; pH do solo e profundidade a que o nível freático se encontra. No final do capítulo, são salientados os tipos de fundações passíveis de ser impermeabilizados: sapatas; ensoleiramento geral e estacas.

Capítulo 3:

No terceiro capítulo, são abordados os diferentes materiais inseridos nos diversos sistemas de impermeabilização, focando as suas principais características (vida útil, estado de tensão e deformação, envelhecimento, resistência ao frio e às raízes, flexibilidade, modo de aplicação e as dimensões comercializadas mais comuns). Os materiais estudados dividem-se em três grandes grupos: materiais prefabricados; geocompósitos e materiais manufacturados *in situ*.

No primeiro grupo de estudo são incluídos os seguintes produtos: membranas de betume oxidado; de betume-polímero polipropileno atáctico (APP); de betume-polímero estireno-butadieno-estireno (SBS); de polietileno de alta densidade (PEAD); de cloreto de polivinilo (PVC); de poliolefinas (TPO); de polipropileno (PP); de polietileno (PE) e de etileno-propileno-dieno (EPDM). No caso dos geocompósitos, dividem-se em impermeabilizantes e/ou drenantes. Por último, os materiais manufacturados *in situ* tipicamente usados são as emulsões betuminosas e os revestimentos de base cimentícia.

Capítulo 4:

O objectivo deste capítulo passa por apresentar os sistemas de impermeabilização e as respectivas técnicas de aplicação, para os diferentes tipos de fundação, sendo apresentado sempre mais do que um sistema como solução de protecção deste elemento construtivo fundamental à construção. Além dos sistemas e técnicas de aplicação, serão analisados alguns pontos críticos existentes em fundações, cuja necessidade de impermeabilização é premente colmatar da forma mais correcta, tais como: as dobras necessárias a realizar numa sapata; a extremidade da membrana na base do pilar, bem como na base e nas paredes laterais das sapatas; ligação entre o ensoleiramento geral e o elemento vertical (soldaduras necessárias a uma completa e correcta impermeabilização). Todos estes pontos singulares são devidamente pormenorizados e descritos, permitindo que qualquer pessoa leiga no assunto possa compreender e entender a sua necessidade.

Capítulo 5:

Neste capítulo, são abordadas as anomalias tanto em elementos de fundação, durante a sua execução, como as anomalias que tenham tendência em aparecer em membranas. No primeiro subcapítulo, são indicadas como anomalias de pré-execução as seguintes: vazios e zonas porosas e segregação.

No caso de anomalias que podem ocorrer devido à incorrecta ou inadequada impermeabilização, são indicadas as seguintes: fissuração do betão; ataque de sulfatos e corrosão das armaduras. Ainda neste capítulo, são referidas as anomalias das membranas, como: perfurações; pregas; empolamento e fissuração da membrana, com o decorrer da vida útil da membrana.

Por fim, são indicadas possíveis formas de reabilitação, com o objectivo de restabelecer as características iniciais aquando da impermeabilização dos elementos.

Capítulo 6:

Neste capítulo, é elaborada uma estimativa de custos associados a cada técnica enumerada no capítulo quatro. As tabelas de custos dos principais fornecedores são a base de comparação para a diferença de preços e materiais, permitindo reunir a totalidade de informação útil de técnicas e preços a partir de um contacto directo com as principais empresas comerciantes destes produtos impermeabilizantes. Obtêm-se assim custos aproximados (€/m²) para cada solução, consoante os produtos aplicados.

Capítulo 7:

Findo o desenvolvimento do tema, no sétimo capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas ao longo desta dissertação, bem como desenvolvimentos futuros nesta área. Estes desenvolvimentos devem ser estudados, com o intuito de permitir uma melhor uniformização nas soluções e materiais a aplicar, não permitindo apenas soluções baseadas na experiência dos fornecedores, mas também a realização de estudos e a elaboração de normas que permitam a evolução nesta área, impermeabilização de fundações.

Segue-se o segundo capítulo, onde é introduzido o levantamento do estado de arte das membranas estudadas, bem como os diversos agentes de degradação cujo contacto com as fundações deve ser evitado.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS GERAIS SOBRE IMPERMEABILIZAÇÃO DE FUNDAÇÕES

2.1 - Evolução histórica da temática

Quando se trata de proteger uma construção a técnica de impermeabilizar é uma das mais recorrentes e utilizadas pelo Homem. Há cerca de 3500 a.C., desde os primórdios da civilização, o Homem procura proteger as suas construções contra a acção da água, recorrendo a trabalhos de impermeabilização realizados com produtos asfálticos, já conhecidos pelos povos da antiguidade que se fixaram nas regiões entre os rios Nilo e Indo. Registos históricos indicam que os povos da Mesopotâmia, do Egipto, da Pérsia e da Judeia, utilizavam o asfalto como impermeabilizante de grandes construções, sistemas irrigação, embarcações, reservatórios e salas de banhos.

Desde o aparecimento do betão, no século XIX e até meados do século XX, era do entendimento comum que o betão era suficiente para impermeabilizar paredes ou outros elementos. Actualmente, afirma-se que não constitui uma solução suficiente na medida em que se trata de um material demasiado poroso que favorece a migração da água e do ar, assim como a ascensão capilar da humidade. O betão pode ainda ter descontinuidades devidas à sua fendilhação.

Devido à crescente necessidade da construção de novos espaços urbanos face ao contínuo crescimento e grau de exigência da população, construção esta que evoluiu tanto em altura como em profundidade, impulsionou-se uma maior necessidade de impermeabilização das mesmas, aliada também à preocupação com os elevados níveis freáticos e teor de humidade do terreno, visto que algumas das zonas dos edifícios estão permanentemente em contacto com a água. Assim sendo, as zonas mais à superfície ficam sujeitas a infiltrações provenientes da acção da gravidade (água de infiltração), enquanto que as zonas mais profundas ficam sujeitas a águas permanentes exercendo uma maior pressão sobre a estrutura (Justo, 2010) (Machado *et al.*, 2002).

A necessidade de criar novos materiais impermeabilizantes surgiu como forma de dar resposta aos problemas citados, nomeadamente a utilização de novas membranas de impermeabilização, com o intuito de permitir uma maior estanqueidade à água e, conseqüentemente, prolongar a vida útil dos elementos enterrados.

As primeiras membranas surgiram na Europa Central, entre as décadas de 60 e 70, permitindo maior durabilidade e economia nas novas soluções construtivas. Esta descoberta veio

facilitar a construção em profundidade, protegendo os elementos construtivos e diminuindo consequentemente as anomalias neles verificadas (Grandão Lopes, 2006).

Presentemente, são conhecidos dois grandes grupos de materiais em sistemas de impermeabilização: os prefabricados e os manufacturados *in situ*. No Quadro 2.1, são apresentadas as membranas (materiais prefabricados) existentes em Portugal, maioritariamente aplicadas em coberturas.

Quadro 2.1 - Materiais prefabricados de impermeabilização

| | | |
|---|--|--|
| Membranas com base em betume | Betumes modificados | |
| | Betume-polímero de estireno-butadieno-estireno (SBS) | |
| | Betume-polímero atáctico (APP) | |
| Membranas com base em polímeros sintéticos | Termoplásticos | Cloreto de polivinilo plastificado (PVC-P) |
| | | Polietileno de alta densidade (PEAD) |
| | | Polietileno de baixa densidade (PEBD) |
| | | Poliolefinas (TPO) |
| | | Polipropileno (PP) |
| | | Polietileno (PE) |
| | | Poliolefina modificada com etileno propileno (EPR) |
| | | Polietileno clorado (PEC) |
| | | Polisobutileno (PIB) |
| | Termoplásticos-elastómeros | Copolímero de etileno/propileno (E/P) |
| | | Polietileno clorosulfonado (CSM) |
| | Elastómeros | Etileno-propileno-dieno-monómero (EPDM) |
| | | Copolímero isobutileno e de isoprene (Butyl)(IIR) |
| | | Borracha de cloroprene (CR) |
| | | Borracha nitrílica / butadieno (NBR) |

Para o caso específico de impermeabilizações de fundações, os materiais prefabricados usualmente usados são os seguintes:

- membranas de betumes oxidados e de betumes-polímeros APP e SBS;
- membranas de PEAD, PVC-P, TPO, PP e PE;
- membranas de EPDM;
- geocompósitos.

Quanto a materiais manufacturados *in situ*, adequados a este tipo de uso, são indicados os seguintes:

- emulsões e tintas betuminosas;
- revestimentos de base cimentícia.

Até à II Guerra Mundial (1939-1945), apenas eram conhecidos os betumes e asfaltos naturais, tendo entretanto estes caído em desuso, como já salientado. Na década de 50, surgiu o **betume oxidado** (3.2.1.1.1), obtido em reactores de oxidação, com base em betumes de destilação directa.

Em Portugal, tal como na maioria dos países desenvolvidos, as principais soluções construtivas de impermeabilização são feitas através de membranas prefabricadas (podendo por vezes conter uma ou duas demãos de emulsão betuminosa como primário).

Para impermeabilizações posteriores à execução, apenas são aplicadas nos seguintes tipos de fundação: em encabeçamento de estacas (zona superior) e na superfície superior de ensoleiramentos gerais (semelhantes a lajes de fundo). Neste sistema, podem também ser utilizados materiais prefabricados ou manufacturados *in situ*.

No entanto, quando se procede à colocação da impermeabilização antes da execução do elemento construtivo, apontam-se como possíveis aplicações, inicialmente na bases das sapatas de fundação em edifícios, por se tratarem de zonas de difícil acesso após a betonagem, e depois em seu redor. O sistema de impermeabilização mais comum é o revestimento da fundação com uma membrana.

É fácil o uso de uma membrana alveolar do tipo **PEAD** (3.2.1.2.1.1) como forma de substituir o betão de limpeza, auxiliando também a drenagem da zona.

Quanto às membranas de **PVC** (3.2.1.2.1.2), estas surgiram em meados dos anos 60, principalmente aplicadas em coberturas. Acabam por ir adquirindo maior ênfase em construções enterradas por volta da década de 70, passando a ser preferenciais para este tipo de zona. Estas membranas possuem ainda uma vantagem, a sua enorme capacidade de alongamento durante a sua vida útil [w_{11}].

Os produtos à base de **TPO** (3.2.1.2.1.3) surgiram na década de 80, com aplicações em diversos sectores, inclusive na indústria automobilística. No entanto, só no início da década de 90 passou a ser frequente a utilização deste tipo de membranas. Ainda nesta época, procedeu-se à substituição da membrana original por uma reforçada. Esta alteração da constituição da membrana repercutiu-se numa elevada adesão comercial [w_{12}].

A membrana de **EPDM** (3.2.1.2.2.1) é talvez uma das mais antigas membranas conhecidas, remontando ao início da década de 70. Actualmente, é uma solução útil e eficaz, apresentando uma das durabilidades mais competitivas do mercado. Além disso, as membranas de EPDM geralmente possuem uma capacidade de alongamento maior após o envelhecimento do que outras membranas,

perdendo muito pouco as suas características ao longo do tempo. É ainda bastante eficaz quando existem movimentos estruturais nas fundações.

Os **geocompósitos bentoníticos** (3.2.2.2) tiveram origem nos Estados Unidos da América, tendo sido usados pela primeira vez, num aterro sanitário sob uma geomembrana. Na mesma época começou a ser produzido na Alemanha (Engepol, 2006)

As **emulsões betuminosas** (3.2.3.1) foram um dos materiais mais aplicados e usados no passado. Presentemente, a sua utilização tem caído em desuso devido à sua fraca estanqueidade. Em comparação com as membranas, verifica-se que a sua função de impermeabilização pode não ser devidamente cumprida, principalmente em pontos singulares do elemento. Por se tratar de uma camada fina de produto, equiparada a uma tinta, sempre que surgem fendas, este tipo de produto não tem a capacidade de envolver nem proteger devidamente a fundação.

Estas emulsões foram inicialmente desenvolvidas em 1920, tendo apresentado um crescimento relativamente lento e limitado, devido aos inconvenientes apresentados, bem como à falta de conhecimento sobre o seu processo de aplicação. Ainda assim, apresentam-se como produtos bastante económicos (James *et al.*, 1996).

A técnica de impermeabilização, mais usual, corresponde à aplicação de uma pintura como primário (emulsão ou tinta betuminosa) seguida da aplicação de uma membrana prefabricada, originando assim um reforço à durabilidade da impermeabilização. Este sistema pode ainda ser complementado com recurso a produtos e soluções de drenagem.

Na área da impermeabilização, são conhecidas duas técnicas distintas onde os diversos materiais podem ser inseridos (respeitantes aos devidos locais de inserção nos elementos construtivos): impermeabilização e *dampproofing*.

A impermeabilização propriamente dita é efectuada através de sistemas de membranas impermeabilizantes à base de polímeros, isto é, membranas poliméricas. Esta é uma forma de protecção e isolamento dos elementos construtivos de eventuais líquidos e vapores indesejados, mantendo quase inalteráveis as condições normais de construção, durante a vida útil das membranas aplicadas. Qualquer das membranas estudadas pode ser aplicada na técnica de impermeabilizar, bem como o revestimento de base cimentícia.

Ao longo da vida útil da membrana, esta terá tendência a alongar de modo a manter cobertas eventuais fissuras ou fendas, impossibilitando o contacto da água com a fundação. Considera-se que a impermeabilização de uma fundação deve cumprir de forma adequada à maioria destes requisitos:

- resistência à água sob pressão;
- bloqueio da passagem do vapor de água para o interior do edificado;
- garantia de que as fissuras ou fendas já existentes ou que se possam formar *a posteriori* permanecem cobertas.

No entanto, na técnica *damproofing* os produtos mais usados são os líquidos ou em *spray*. Estes revestimentos à base de betume podem atingir espessuras da ordem de 0,25 mm. É prudente que a sua aplicação seja feita do lado exterior do elemento; o lado em contacto directo com solo húmido, denominado por face positiva. No entanto, isso irá rapidamente provocar a degradação do produto ao nível do subsolo, tornando-o bastante frágil, visto que é constante a presença de humidade, de micro-organismos, de raízes e de agentes químicos. Com o passar do tempo, a técnica *damproofing*, ao contrário da impermeabilização, deixa de cobrir eventuais fissuras posteriores à aplicação, desprotegendo assim o elemento construtivo e sujeitando-o à entrada de humidade. Nesta categoria, podem incluir-se as emulsões e as tintas betuminosas.

O objectivo fundamental de qualquer dos métodos é o de aumentar a vida útil dos elementos em contacto directo com o solo, havendo por isso uma preocupação e investimento cada vez maiores nesta área.

No ponto a seguir apresentado, são retratados os factores que condicionam o contacto da água com o elemento, factores esses que, como era de esperar, se localizam no solo (na zona envolvente ao elemento construtivo).

2.2 - Factores que condicionam o contacto da água com o elemento

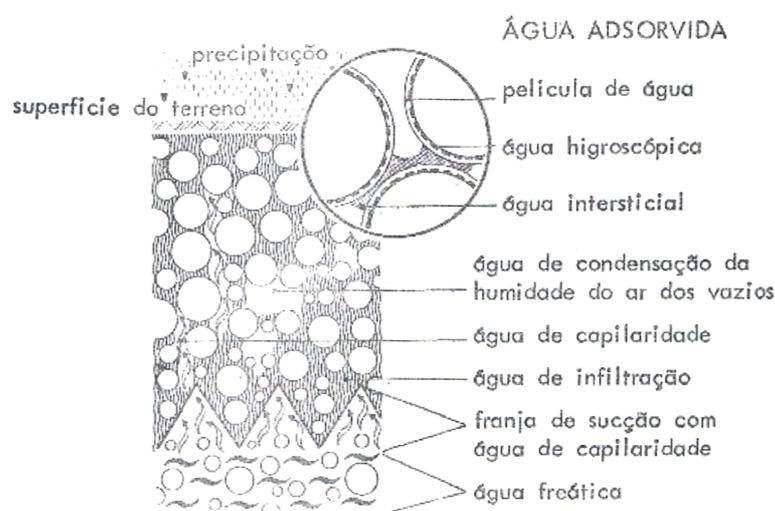
Cada tipo de solo difere na sua capacidade de retenção e apresenta uma absorção de água própria. Verifica-se que os solos com uma capacidade de retenção elevada sofrem saturações hídricas após precipitações durante períodos mais alargados do que os solos permeáveis com uma menor capacidade de retenção, característica que deve ser tida em conta mesmo nos meses de Verão.

É fundamental reter que todos os elementos construtivos em contacto com o solo devem ser devidamente isolados, isto é, impermeabilizados contra a humidade ascendente ou de acesso lateral, segundo a norma DIN 4117, “Impermeabilização das construções contra a humidade do solo” (Muth, 1971).

2.2.1 - Tipos de águas presentes no solo

Como se pode observar na Figura 2.1, existem diferentes sinais de manifestação da água nos solos, sendo algumas delas classificadas da seguinte forma (Brito *et al.*, 2007) (Muth, 1971):

- **água de infiltração** - água que se desloca no sentido descendente, seguindo apenas a lei da gravidade; ao longo do seu percurso, vai preenchendo os poros maiores; nos solos permeáveis, a água infiltrada vai ficando retida no seu interior durante poucos dias; no caso de solos pouco permeáveis, esta mantém-se nos poros, podendo originar saturação hídrica;



- **água acumulada** - a água de infiltração que encontra uma camada impermeável fica aí retida, preenchendo todos os poros subjacentes e conduzindo à saturação hídrica;

- **água suspensa** - água acumulada em zonas impermeáveis mais profundas do subsolo; se o solo impermeável for atravessado por extractos permeáveis, a água de infiltração escoar através deste;

- **água de capilaridade** - água que, devido ao efeito de capilaridade, se movimenta no sentido ascendente (contrário ao da gravidade); a sua pressão é tanto menor quanto maior for a distância ao nível freático; uma menor granulometria origina um acréscimo de ascensão de origem capilar;

- **água de condensação** - os poros cheios de ar das superfícies frias contêm vapor de água susceptível de se condensar;

- **água freática** - água que se consegue infiltrar nas camadas mais profundas, formando toalhas de águas interligadas; caso fique limitada localmente, denomina-se também por água acumulada;

- **água adsorvida** - água que, por forças de ligação de origem molecular e electrostática, se encontra ligada às partículas de solo formando uma película na superfície dos corpos sólidos;
- **água intersticial** - água existente entre partículas de solo muito próximas idênticas a uma película; é considerada uma variante da água adsorvida.

O conjunto das águas de capilaridade, condensação e adsorção representa a parcela principal da humidade permanente nos solos, sendo estas também as que danificam as fundações de edificações com maior frequência. As águas freáticas tanto afectam as fundações, as lajes de fundo como as paredes de contenção, quando situadas abaixo do nível freático. No entanto, no caso de se situarem acima deste nível, só serão afectadas se o terreno possuir elevada capilaridade.

Na Figura 2.2, é apresentado um retrato de como a água se pode distribuir junto a paredes enterradas e fundações.

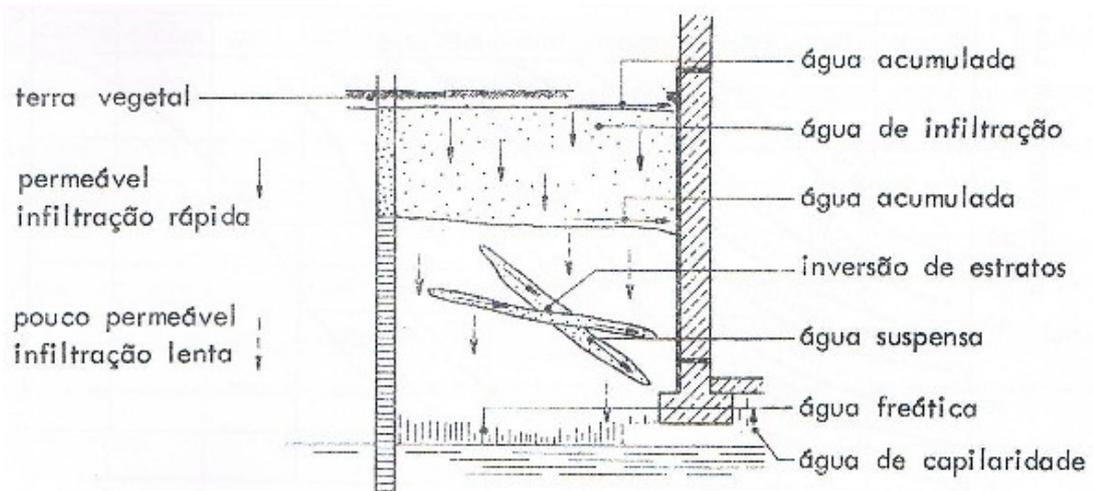


Figura 2.2 - Afluência da água junto das paredes (Muth, 1971)

Além das diferentes manifestações da água no solo, outro parâmetro que influencia o tipo de membrana a aplicar é o tipo de solo (a sua natureza), bem como a sua porosidade, podendo tratar-se de um solo de granulometria grossa, média ou fina. Conclui-se que, quanto mais fino for, maior será a absorção de água no solo, sendo por isso maior a sua ascensão capilar (Muth, 1971). Assim sendo, quanto menor for a permeabilidade de um solo, maior será a sua capacidade de retenção das águas infiltradas, diminuindo a estanqueidade do elemento.

2.2.2 - Tipos de humidades existentes

Pode-se identificar diferentes tipos de humidade causadores de diferentes anomalias no edificado (Brito et al., 1999)(Torres, 2009)[w₁]:

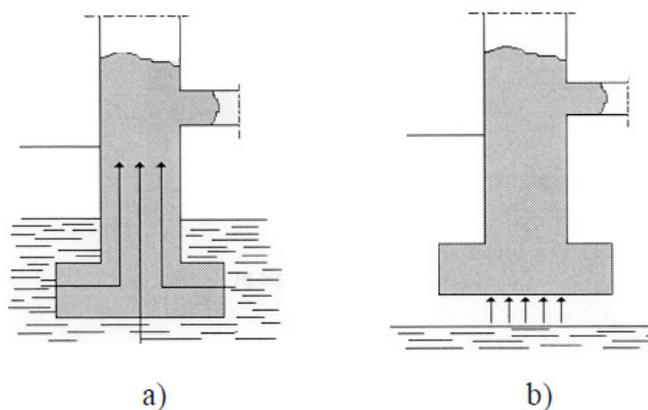
- **Humidade de construção**

A maioria dos materiais usados na construção necessita de água tanto para a sua produção como aplicação. Por vezes, estas quantidades de água são menosprezadas, mas nem sempre demonstram ser irrisórias. Parte desta água evapora-se rapidamente, sendo que, uma quantidade substancial da mesma, demora algum tempo a fazê-lo. Conhece-se o exemplo do betão, que passa por três fases distintas: a evaporação da água superficial dos materiais, a evaporação da água existente nos poros de maiores dimensões e, por último, a água existente nos poros menores. A primeira fase de evaporação ocorre logo após a sua produção, por este motivo, diz-se que se dá rapidamente. A segunda fase, ocorre num tempo mais demorado, enquanto que a última, sucede ao longo dos anos correspondendo a um processo extremamente lento.

Além das águas de confecção ou aplicação, podem ser incluídas na categoria de humidades na construção as águas provenientes de lavagens ou ocorrências meteorológicas durante a fase construtiva.

- **Humidade do terreno e fenómenos de higroscopicidade**

Também conhecida por humidade ascensional (Figura 2.3), deriva de águas freáticas e superficiais (correspondentes à precipitação). A progressão deste tipo de humidade nas construções depende das condições climatéricas e ambientais (temperatura e humidade relativa); da orientação solar; da porosidade dos materiais e da presença de sais.



l)

- a) fundações de paredes situadas abaixo do nível freático
- b) fundações de paredes situadas acima do nível freático. Terreno com elevada capilaridade, provocando a ascensão da água existente a uma cota inferior

Os sais presentes no terreno e nos materiais constituintes, quando em contacto com a água são dissolvidos e transportados através dos elementos para níveis superiores do edificado. Quando ocorre a evaporação da água, os sais são depositados nos poros do elemento construtivo, diminuindo conseqüentemente a sua permeabilidade ao vapor de água dos materiais. A deposição destes sais dá origem a fenómenos de higroscopicidade.

Entende-se por higroscopicidade a propriedade que certos materiais possuem de absorver a água. Se o material for de um grau de absorção extremo, pode facilmente dissolver-se na própria água absorvida. Tal não se verifica nos materiais dos elementos construtivos em estudo, mas deve evitar-se sempre ao máximo o seu contacto directo com a água. Como tal, recorre-se à impermeabilização como forma de protecção.

Caso este tipo de sais consiga atingir a superfície, existe a possibilidade da formação de eflorescências ou criptoflorescências. Entende-se por eflorescências a formação de sais solúveis, que se depositam nas superfícies dos materiais, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas. Estes sais estão presentes nos tijolos, no cimento, na areia, no betão ou na argamassa. As criptoflorescências são formações salinas da mesma causa e mecanismo do que as eflorescências mas formam grandes cristais que se fixam no interior da própria parede ou estrutura, vindo aumentar demasiado o volume dos sais, e causando a desagregação dos materiais.

A anomalia mais comum deste tipo (humidades no terreno) corresponde ao aparecimento de manchas de humidade e à degradação dos revestimentos das paredes junto ao solo, acompanhadas de manchas de bolor ou vegetação parasitária, especialmente em locais de baixa ventilação.

No entanto, quando a humidade provém de águas freáticas de níveis sensivelmente constantes, os fenómenos patológicos apresentam-se sensivelmente inalterados ao longo dos anos. As zonas erodidas, quando existem, apresentam-se com pequenas amplitudes em altura.

No caso de águas superficiais, essas ocorrências patológicas apresentam variações consoante a época do ano, expondo-se de forma mais gravosa no Inverno, com zonas danificadas com grandes amplitudes em altura.

- **Humidade de condensação**

É possível encontrar dois géneros de condensações: as superficiais e as internas. Entende-se por condensação a liquefacção de um gás, geralmente por arrefecimento. As condensações superficiais resultam do arrefecimento do ar; de uma fraca ventilação; bem como de grandes diferenças de temperatura entre o ambiente interior e o exterior. O decréscimo da temperatura superficial das paredes resulta num aumento da humidade relativa da camada de ar que contacta com as paredes podendo provocar condensações. Quanto melhor o isolamento térmico do

elemento, menor será o risco de ocorrência de condensações. Outros dois factores que proporcionam a diminuição dos riscos de condensação são o acréscimo da temperatura do ar interior e a melhoria da ventilação dos espaços.

As condensações internas ocorrem no interior das paredes, sempre que a pressão parcial do vapor de água que atravessa a parede por difusão iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse ponto. Este género de condensação origina o apodrecimento de alguns dos materiais constituintes, diminuindo a sua resistência térmica. Este tipo de humidade é pouco prejudicial a fundações, devido à forma como se origina.

- **Humidade devido a causas fortuitas**

Neste tipo de humidades, são incluídas as que resultam de infiltrações da água de origem pontual. Podem ser provocadas por diversas razões: defeito da construção ou de funcionamento de um dado equipamento, acidentes de responsabilidade humana ou até mesmo por falta de manutenção. A última causa apresentada não é susceptível de ser invocada para os elementos de fundação, visto que é quase impossível existir manutenção nestes locais.

As roturas de canalizações constituem uma das causas mais frequentes para o aparecimento deste tipo de humidades. Constituem um problema grave na medida em que a manifestação das anomalias pode dar-se muito longe da fonte de origem, devido à facilidade de migração de água para vários locais, no interior dos diversos elementos da construção. Outras causas possíveis correspondem à falta de limpeza dos algerozes e caleiras.

A manifestação de humidade, além de influenciar o aparecimento de doenças respiratórias aos utilizadores, pode ainda provocar o aparecimento de eflorescências ou destacamento de pinturas interiores e argamassas de revestimento em contacto com a laje de fundo.

2.2.3 - Micro-organismos e raízes

A resistência contra micro-organismos e raízes é uma característica deveras importante para uma correcta impermeabilização. Alguns micróbios contêm propriedades patogénicas prejudiciais aos sistemas de impermeabilização, podendo deteriorá-los e permitindo consequentemente a entrada de água no elemento.

Quanto às raízes, o seu crescimento ao longo do tempo pode provocar o rompimento das membranas, originando fissuras que acabam por criar zonas críticas de circulação de águas e novamente a passagem de micro-organismos prejudicando os elementos construtivos.

2.2.4 - PH no solo

Outro factor fundamental a considerar, para que se possa obter uma impermeabilização eficaz é o pH do solo. Este parâmetro deverá estar compreendido entre 5 e 12. Em geral, o sistema aplicado deve ter a capacidade de suportar a acidez ou alcalinidade do solo, consoante o valor de pH a que se encontra.

Existem diferentes graus de agressividade de pH no solo, dividindo-se estes em três patamares compreendidos entre 1 e 6,5:

- grau de agressividade débil: entre 5,5 a 6,5;
- grau de agressividade forte: entre 4,5 a 5,5;
- grau de agressividade do tipo muito forte: valores de pH inferiores a 4,5.

Através de estudos e ensaios ao solo, é possível conhecer-se o pH do terreno e assim adequar o sistema a aplicar.

2.2.5 - Nível freático

O nível freático é por definição a profundidade a que se encontra a superfície superior do lençol freático, que geralmente acompanha a topografia do terreno. Quando se inicia a escavação em profundidade, de forma a incorporar as fundações, este é um dos principais factores a ter em consideração, visto que poderá pôr em risco a estrutura enterrada. Em obras de engenharia em que o lençol freático se localiza junto à estrutura do edifício, pode-se bombear a água (chamado rebaixamento do nível freático) com o intuito de efectuar a escavação de forma segura e correcta.

Sabe-se que, no caso de a bomba ser retirada (ou simplesmente desactivada), a água irá novamente atingir a sua altura inicial, isto é, natural. Nesse momento, os elementos enterrados já deverão estar devidamente isolados e impermeabilizados, visto que a partir daí ficarão sujeitos à acção da água.

Existem dois “conceitos” distintos: o de estruturas acima do nível freático e o de estruturas abaixo do nível freático. Entende-se por estruturas acima do nível aquelas que nunca chegam a estar em contacto directo com águas freáticas. Nesta situação, a afluência de água por capilaridade é baixa, mas devem ser tidos cuidados de protecção, tais como a impermeabilização e ou a drenagem do elemento. Contudo, caso o piso térreo se encontre abaixo do nível freático, o elemento construtivo ficará constantemente em contacto com água, provocando a degradação do elemento a curto prazo. Como tal, devem ser aplicadas as técnicas devidas, consoante o tipo de fundação da estrutura, para que o elemento construtivo possa resistir o tempo previsto de utilização. É de

extrema importância a correcta e eficaz protecção, escolhendo os sistemas adequados e evitando assim, gastos futuros de reparação, quase impraticáveis em locais como estes.

2.3 - Tipos de fundações passíveis de serem impermeabilizadas

As fundações têm como função principal a transmissão de cargas da estrutura para o terreno onde se encontram implantadas, constituindo elementos de extrema importância. Como tal, eleva-se assim a pertinência da sua impermeabilização, evitando graus de degradação rápidos e futuros nas fundações. A água acumulada no solo em contacto com o elemento, não devidamente impermeabilizado, conduz a uma elevada absorção por capilaridade, provocando a sua deterioração.

Por se tratar de uma zona de difícil acesso após o seu aterro, a reabilitação das fundações torna-se quase impossível de realizar. Como tal, na fase inicial de construção aconselha-se um maior investimento a este nível, evitando intervenções futuras, que se reflectirão em custos elevados. Na maioria dos casos, quanto maior for o custo inicial de impermeabilização ou drenagem menor será o custo global (custo este, que inclui: custos iniciais, acrescidos aos custos associados a reparações do sistema), no sentido em que se estão a evitar futuras intervenções de reparação. Para este efeito, recorre-se à impermeabilização de fundações, de forma a bloquear a ascensão capilar da humidade e evitar a deterioração dos materiais constituintes da fundação (betão e armaduras).

As fundações são classificadas como directas e indirectas, consoante o processo de transferência das cargas entre a estrutura e o solo. Por fundações directas entendem-se aquelas em que a transferência de cargas é realizada pela base, em que o solo circundante tem capacidade de as suportar sem sofrer grandes deformações. Estas agrupam-se em rasas e profundas; correspondendo as rasas, as que se encontram próximas da superfície, com cerca de 2,5 a 3,0 m de profundidade ou quando apresentam uma cota de profundidade inferior à largura do elemento da fundação. Contrariamente, as fundações profundas são todas aquelas que ultrapassam a cota de profundidade das fundações rasas (Machado *et al.*, 2002) (Sabbatini *et al.*, 2003).

As sapatas (isoladas, contínuas ou agrupadas por vigas de fundação), grelhas de fundação e ensoleiramentos gerais são exemplos de fundações directas rasas. Já as fundações indirectas são entendidas pelo seu modo de execução e profundidade que atingem. Englobam-se nestes tipo de solução as estacas (moldadas ou cravadas), as micro-estacas, as barretas e os pegões (semi-profundas).

Mesmo existindo inúmeros tipos de fundações, nem todas são passíveis de serem impermeabilizadas, quer devido ao seu modo de execução ou acessibilidade, quer a nível económico. Nas possíveis fundações a impermeabilizar, estão incluídas as sapatas, isoladas, contínuas ou

agrupadas; os ensoleiramentos gerais e o maciço de encabeçamento de estacas. Todas elas são de possível acesso antes da execução e nalguns casos após.

Sapatas isoladas, corridas e agrupadas por vigas de fundação:

Este conjunto de fundações trabalha à compressão simples e à flexão, devendo por isso compreender materiais com boa resistência à tracção, utilizando-se, normalmente, para o efeito o aço. As sapatas isoladas, apresentadas nas Figuras 2.4 e 2.5, são utilizadas em terrenos de características normais para níveis de carregamento pequenos e médios. Aplicam-se facilmente nos casos em que se espera que a superestrutura não sofra grandes assentamentos diferenciais. É ainda, bastante resistente a cargas médias distribuídas, transmitindo as cargas dos elementos acima expostos para o solo através da sua base.



Figura 2.4 - Sapata isolada [w₂]



Figura 2.5 - Impermeabilização da sapata [w₆]

Pode-se ainda encontrar dentro do grupo das sapatas a impermeabilizar as sapatas corridas, apresentadas nas Figuras 2.6 e 2.7, que correspondem a um conjunto de sapatas unidas continuamente segundo um determinado alinhamento. De modo geral, este alinhamento acompanha a linha das paredes do edificado, transmitindo a carga por metro linear.



Figura 2.6 - Sapata corrida [w₇]

Este tipo de sapatas é bastante útil na aplicação em terrenos não uniformes, devido à facilidade de distribuição de cargas da superestrutura na fundação, apresentando-se ainda bastante resistente a carregamentos elevados. É igualmente vantajoso para terrenos com uma baixa capacidade de resistência (Brito, 2009).



Figura 2.7 - Impermeabilização da sapata corrida [w₆]

Ensoleiramento geral:

Este tipo de fundação directa é idêntico a uma laje em planta extensa, correspondendo habitualmente à área de implantação do edifício. A sua espessura, quando comparada com a de uma laje de dimensões normais, é superior. Em termos práticos, é uma laje de betão armado que resiste à flexão em resultado do seu contacto com o terreno e da reacção deste às cargas provenientes dos pilares diferencialmente carregados.

A sua utilização é frequente, quando existem carregamentos elevados em todo o ensoleiramento ou apenas numa dada zona da fundação. Pode igualmente ser aplicada em terrenos com características mecânicas elevadas, apenas a grande profundidade ou em terrenos superficiais fracos mas passíveis de receber cargas.

Por comparação, nas sapatas isoladas, as tensões transmitidas ao terreno por um ensoleiramento geral deixam de ser pontuais, passando a mais distribuídas. Nos casos em que a área das sapatas total é superior a 50% da área de implantação do edifício, poderá ser mais vantajoso reunir todas as sapatas num só elemento de fundação, isto é, num ensoleiramento geral (Justo, 2003).

Antes da execução de um ensoleiramento, deve proceder-se à devida compactação do terreno com auxílio de diversos equipamentos de compactação. Procede-se depois à montagem das cofragens, à colocação das armaduras de aço e, finalmente, à betonagem.

Este tipo de fundação é bastante útil para situações em que os níveis freáticos se encontrem próximos ou acima do piso térreo. Apresenta também vantagem a outro âmbito; no sentido em que constitui uma plataforma de trabalho para serviços posteriores, obrigando no entanto o à execução precoce de todas as especialidades enterradas (por exemplo as tubagens sanitárias).

Como exemplo de execução da fundação em ensoleiramento geral, é possível observar na Figura 2.8. Na Figura 2.9, é apresentada uma solução de impermeabilização da fundação do tipo ensoleiramento geral.



Figura 2.8 - Ensoleiramento geral [w₃]



Figura 2.9 - Impermeabilização de ensoleiramento geral [w₄]

Encabeçamento de estacas:

Quando uma estaca é cravada no terreno, a sua ponta (denominada cabeça de estaca) dever ser protegida da melhor forma possível, já que facilmente será um local de transmissão de humidade para os elementos acima expostos (Figura 2.10).



Figura 2.10 - Encabeçamento da estaca [w₅]

A impermeabilização da parte superior da estaca tanto pode ser feita no caso de se tratar de uma cabeça simples, como no caso de um maciço de encabeçamento. Estes são impermeabilizados de forma idêntica ao topo de uma sapata, como se observa na Figura 2.11.



Figura 2.11 - Impermeabilização do encabeçamento da estaca [w₁₀]

2.4 - Síntese do capítulo

Deu-se início a este capítulo através da evolução histórica dos diferentes materiais impermeabilizantes possíveis em fundações. Foi explicada a pertinência do uso da impermeabilização dos vários elementos construtivos, visto que são componentes fundamentais ao edificado. Assim

sendo, é importante prolongar ao máximo a sua vida útil, principalmente por se tratar de zonas em que a manutenção é praticamente nula (locais de difícil acesso).

Actualmente, o uso do betão é cada vez mais habitual nas diversas obras de engenharia. A sua utilização cresceu significativa desde o século XIX aquando da sua descoberta. Na altura, foi considerado como material impermeável, convicção actualmente contrariada.

Actualmente, são as membranas, os materiais de impermeabilização considerados como os mais eficazes e, conseqüentemente, os mais utilizados. Já o material betume oxidado teve origem na década de 50, surgindo apenas como constituinte de membranas na década seguinte. As membranas surgiram na década de 60/70 na Europa Central. Como exemplo tem-se as de PEAD, de PVC, de PE, de PP, de TPO e as de EPDM. Todos estes materiais são incluídos na categoria dos materiais prefabricados.

Incluem-se nos materiais manufacturados *in situ* as emulsões betuminosas, desenvolvidas em 1920, assim como as tintas betuminosas, que surgiram pouco depois, com o intuito de substituir as emulsões, em locais onde se verifica uma maior preocupação estética.

Como factores condicionantes, passíveis de degradar estes elementos, tem-se os vários tipos de água no solo: água de infiltração; água acumulada; água suspensa; água de capilaridade; água de condensação; água freática; água adsorvida e água intersticial. Foram ainda apresentados quatro tipos de humidade distintos; dois dos quais, apresentam um maior perigo quando em contacto com fundações: a humidade de construção e a humidade do terreno e fenómenos de higroscopicidade. Outros factores prejudiciais são os micro-organismos e as raízes no solo, o pH do terreno, bem como a altura a que se encontra o nível freático do solo.

Quanto aos tipos de fundações passíveis de ser impermeabilizados, registam-se todos os tipos de sapatas (isoladas, corridas ou agrupadas por vigas), ensoleiramentos gerais e ainda maciços de encabeçamento das estacas.

No capítulo quatro, abordar-se-ão os sistemas de impermeabilização apropriados para cada um dos tipos de fundações referidos, complementados com os materiais especificados no capítulo três.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS APLICADOS

3.1 - Considerações preliminares

Este capítulo foca-se fundamentalmente na identificação dos principais produtos e materiais de impermeabilização utilizados no ramo da construção civil, quando aplicados em fundações, bem como das suas principais características.

Os vários materiais existentes podem ser divididos consoante a sua natureza, modo de aplicação e utilização. Actualmente, existem dois grandes grupos de materiais para o sistema de impermeabilização: os prefabricados e os manufacturados *in situ*.

Para o caso específico de impermeabilizações de fundações, os materiais prefabricados usados são os seguintes:

- membranas de betume oxidado e betumes-polímeros (APP ou SBS);
- membranas de PEAD, PVC, TPO, PP e PE;
- membranas de EPDM;
- geocompósitos.

No âmbito desta dissertação, são descritos os seguintes materiais manufacturados *in situ*:

- emulsões e tintas betuminosas;
- revestimentos de base cimentícia.

Fundamentalmente, as membranas de impermeabilização podem ser denominadas por materiais prefabricados, devido ao facto de estas se encontrarem no seu estado final de aplicação. Por outro lado, os materiais manufacturados *in situ* apresentam-se na forma líquida ou pastosa, sendo posteriormente preparados em obra. Alguns dos materiais indicados mais adiante podem ser aplicados em sistemas de impermeabilização em conjunto com outros, ou apenas isoladamente.

Após pesquisa, chegou-se à conclusão de que existem poucas ou quase nenhuma especificações referentes ao tema de impermeabilização de fundações. Segundo o autor João Justo (2004): “Regista-se ainda que a normalização sobre este assunto está longe de ser consensual e não existe, para já, normalização europeia que contemple os múltiplos materiais aplicados nas obras

subterrâneas”. Actualmente, já existe alguma especificação para paredes enterradas e pavimentos de caves, existindo ainda mais de coberturas. Como tal, alguma da informação é baseada numas destas variantes, estudando-se assim as características comuns entre as zonas.

Os principais organismos reguladores sobre revestimentos de impermeabilização na Europa são o CEN (normas europeias), a EOTA (aprovações técnicas europeias) e a UEAtc (directivas e guias).

Em Portugal, a entidade que regula o uso dos produtos aplicados na indústria da construção civil é o IPQ, membro do CEN, através de Comissões Técnicas de Normalização (CT) ou de Organismos de Normalização Sectorial (ONS), sendo da responsabilidade destes a elaboração da versão portuguesa das várias Normas Europeias (NP EN), geralmente em colaboração com outras entidades.

Os produtos de impermeabilização aplicados na forma líquida ou pastosa para coberturas encontram-se actualmente cobertos por Aprovações Técnicas Europeias, preparadas com base no Guia da EOTA, ETAG 005 – “Liquid applied roof waterproofing kits”. Dos produtos atrás referidos para impermeabilizações de fundações, este guia é aplicável aos seguintes:

- emulsões e soluções de betume modificado por polímero;
- betumes modificados por polímero aplicados a quente;
- emulsões e soluções betuminosas.

A ficha técnica de uma membrana de impermeabilização deve conter a informação pertinente à caracterização do produto tendo em conta o seu campo de aplicação, nomeadamente as seguintes características:

- natureza da membrana;
- tipo de armadura e gramagem;
- protecção aos agentes atmosféricos, tais como, chuva, vento excessivo, neve, geada, temperaturas extremas;
- resistência à tracção;
- resistência ao rasgamento;
- resistência ao punçoamento estático e dinâmico;
- estabilidade dimensional;
- resistência à perfuração de raízes;
- características de durabilidade;
- ponto de amolecimento, no caso de algumas membranas.

Preferivelmente, as empresas produtoras deveriam estar certificadas segundo as normas ISO 9001:2000 (Sistema de Gestão da Qualidade) e ISO 14001:2000 (Sistema de Gestão Ambiental).

Das várias formas possíveis de apresentar a simbologia para os diversos tipos de impermeabilização (Figura 3.1) regista-se a seguir a que é indicada na norma DIN 4122: “Impermeabilização de construções contra águas superficiais e águas de infiltração sem pressão, por intermédio de materiais betuminosos, bandas metálicas e folhas de plástico” (Muth, 1971).

REPRESENTAÇÃO GERAL

 impermeabilização na construção

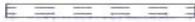
REPRESENTAÇÕES INDIVIDUAIS

 massa colante e demãos de cobertura

 massas aplicadas à espátula

 cartões não revestidos

 membranas de impermeabilização com armaduras de feltro

 membranas de impermeabilização com armadura tecida

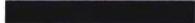
 membranas de impermeabilização com armadura elástica

 membranas de impermeabilização com armadura de folhas de plástico

 folhas de plástico

 bandas metálicas não revestidas

 enchimento de juntas

 reboco impermeável, revestimento contínuo impermeável

 asfalto vazado

Figura 3.1 - Simbologia representativa de tipos de impermeabilização (Muth, 1971)

Todos os ensaios realizados e valores limite apresentados de seguida servem apenas como referência. Podem existir produtos pastosos e membranas prefabricadas com diferentes características de impermeabilização de fundações.

No subcapítulo seguinte, são apresentados alguns dos materiais possíveis para impermeabilizar fundações.

3.2 - Materiais usados em soluções de impermeabilização

Nos subcapítulos seguintes, são apresentados os diferentes materiais possíveis de aplicar em impermeabilizações de fundações. Este subcapítulo é dividido em dois grupos principais de materiais, os prefabricados e os manufacturados *in situ*.

3.2.1 - Materiais prefabricados

Neste tipo de materiais, existem dois grandes grupos: membranas betuminosas e membranas sintéticas. Dentro das sintéticas, surgem outros dois grupos consoante a sua natureza: termoplásticas ou elastoméricas.

Ao longo do subcapítulo, serão referidos diferentes tipos de armaduras; sendo assim, é útil saber o que as distingue:

- feltro - interligação de fibras de origem orgânica, inorgânica ou sintética;
- tela - armadura constituída por fibras de origem orgânica, inorgânica ou sintética, ligadas por fiação, tecelagem ou entrançamento;
- folha - superfície contínua constituída por materiais metálicos ou plásticos não absorventes.

3.2.1.1 - Membranas betuminosas

Este tipo de membrana deriva do seu principal composto, o betume. As mais simples são denominadas de membranas de betume oxidado, sendo ainda possível adicionar à mistura diferentes polímeros. Tem-se o exemplo das membranas de betume-polímero APP e as membranas de betume-polímero SBS.

3.2.1.1.1 - Membranas de betume oxidado

Os betumes oxidados são obtidos com base nos betumes de destilação directa geralmente por insuflação de ar quente da sua massa a temperaturas da ordem dos 250 a 300 °C, desencadeando-se reacções de oxidação complexas, designando-se assim também por betumes insuflados. Entende-se por betumes de destilação directa os obtidos por destilação atmosférica ou em vazio das ramas do petróleo, em que a água emulsionada é previamente separada por

decantação. Consoante a origem do petróleo, maior ou menor será a qualidade do betume obtido (Grandão Lopes, 2006).

Destilação atmosférica é o processo de destilação do petróleo bruto à pressão atmosférica da qual resultam fracções petrolíferas, enquanto que o processo de destilação no vácuo se realiza numa coluna de fraccionamento a uma pressão inferior à pressão atmosférica. Mas a estes tipos de procedimento apenas são sujeitos os resíduos obtidos por destilação atmosférica. A redução da pressão provoca o abaixamento do ponto de ebulição das fracções pesadas e permite separá-las dos resíduos a uma temperatura que não corre o risco de os decompor [w₁₃].

O betume oxidado (ou insuflado) tem como principais aplicações a preparação de misturas betuminosas para o fabrico de feltros ou telas betuminosas e a aplicação *in situ* como produto de ligação desses feltros ou telas entre si ou directamente ao suporte.

Características gerais:

A vida útil de uma membrana de betume oxidado é de cerca de 1 a 2 anos, em locais soterrados, tais como paredes enterradas e fundações (sistema monocapa, uma membrana apenas). Sendo assim, é aconselhável que o seu uso seja apenas em obras provisórias (rito *et al.*, 1999). Por esta razão, este tipo de membranas pode e deve ser aplicado em duas ou mais camadas (sistema multicapa) [w₁₄].

Por possuir uma vida útil mais curta em comparação com outras membranas, a utilização da membrana de betume oxidado pode ser prejudicial à fundação a proteger. Visto que estes elementos na maioria das vezes se encontram em locais sem acessibilidade, a vida útil dos materiais aplicados deve ser a maior possível.

Este betume é designado através de dois números, como por exemplo 85/25, sendo que o primeiro (85 °C) indica a temperatura de amolecimento (temperatura a partir da qual o betume começa a perder algumas das suas características) e o segundo (25 dmm) a penetração a 25 °C (profundidade a que uma agulha normalizada penetra verticalmente num provete de betume a 25 °C sob dadas condições de carga e de tempo). Devido às reacções de oxidação que ocorrem durante o processo de produção, o valor da temperatura de amolecimento dos betumes insuflados é superior ao valor dos betumes de destilação directa. Outra das características melhoradas do betume insuflado é a sua ductilidade (deformação à rotura) que apresenta valores superiores aos dos de destilação directa (Grandão Lopes, 2006).

Em Portugal, os betumes mais aplicados em coberturas são os seguintes: 85/25, 85/40 e 90/40, enquanto que em fundações se utiliza maioritariamente produtos o betume 90/40. Neste tipo de betume, a temperatura de amolecimento ocorre para valores superiores. Este parâmetro é pouco relevante em fundações já que, nestas zonas, raramente se atingem temperaturas muito elevadas;

ainda assim, mantendo este valor elevado, é sempre possível manter as suas características originais durante mais tempo, o que origina uma maior resistência. No Quadro 3.1, são apresentadas as características de alguns dos betumes insuflados produzidos a nível nacional.

Quadro 3.1 - Características de alguns betumes insuflados de produção nacional (Grandão Lopes, 2006)

| Características | Método de ensaio | Valores determinados | |
|---|------------------|----------------------|--------------|
| | | Betume 85/25 | Betume 90/40 |
| Densidade | LNEC E 35 - 1956 | 1,02 | 1,03 |
| Temperatura de amolecimento (°C) | LNEC E 34 - 1955 | 82 | 98 |
| Penetração a 25 °C (dmm) | NP 82 - 1964 | 20 | 40 |
| Ductilidade a 25 °C (cm) | NP 148 - 1967 | 2 | 3 |
| Solubilidade no sulfureto de carbono (%) | LNEC E 37 - 1956 | 99,9 | --- |
| Temperatura de inflamação em vaso aberto (°C) | LNEC E 36 - 1956 | 315 | 244 |
| Temperatura de combustão em vaso aberto (°C) | LNEC E 36 - 1956 | 368 | 290 |
| Perda por aquecimento a 163 °C (%) | LNEC E 67 - 1960 | 0,03 | 0,30 |

Características dimensionais:

A espessura nominal deste tipo de membranas, membranas de betume insuflado, tem valores que geralmente rondam 3 a 5 mm, podendo existir outras dimensões. O produto é geralmente comercializado em rolos de 1 m de largura e 10 m de comprimento.

Modo de aplicação:

O principal processo de aplicação é através de chama de maçarico (soldadura) (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Ligação a outra membrana de betume através de chama de maçarico, sistema bicapa [w₁₅]

3.2.1.1.2 - Membranas de betume-polímero APP

Este tipo de membranas é obtido através do recobrimento de armaduras com uma mistura betuminosa modificada com um polímero de polipropileno atáctico (APP), podendo incorporar uma ou duas armaduras. A designação de membranas de betume-polímero APP deve-se à incorporação do dito polímero nas mesmas.

Os tipos de reforço mais comuns são: as armaduras de poliéster e de fibra de vidro, aplicáveis em membranas de betume-polímero APP, enunciando-se de seguida algumas das principais características.

Armadura de feltro de poliéster:

A utilização de armaduras deste tipo tem como principal benefício a sua capacidade de alongamento que permite aumentar o desempenho dos revestimentos onde são inseridas. O poliéster é um material durável que se caracteriza por uma elevada resistência à perfuração e ao rasgamento quando submetido a movimentos estruturais do edifício, consequentemente nas suas fundações [w₁₆].

Armadura de feltro de fibra de vidro:

A armadura de feltro de fibra de vidro apresenta uma porosidade considerável e corresponde ao tipo mais frágil de armadura. A sua reduzida resistência à tracção reflecte-se num decréscimo das garantias da qualidade da impermeabilização.

As armaduras de feltro de fibra de vidro apresentam uma estabilidade dimensional superior à das de poliéster, quando aplicado em superfícies expostas à temperatura ambiente bem como quando aplicado em asfalto quente (Brito *et al.*, 1999) (Grandão Lopes, 2006) [w₁₆].

Aquando da utilização de sistemas bicapa ou multicapa, deve aplicar-se uma membrana armada com feltro de fibra de vidro de forma a conferir-lhes estabilidade dimensional, e outra armada com feltro de poliéster.

Características gerais:

As membranas de betume-polímero APP possuem, geralmente, um aditivo quando aplicadas em fundações, com o objectivo de repelir raízes de forma a evitar a perfuração da membrana. Este aditivo deve ser aplicado em impermeabilizações de coberturas ajardinadas, constituindo uma vantagem de extrema importância, na medida em que preserva o elemento a proteger (Grandão Lopes, 2006).

Tal como mencionado, as armaduras utilizadas nas membranas de betume-polímero APP são geralmente feltros de poliéster ou de fibra de vidro, podendo ambos os tipos ser integrados na mesma membrana. A massa por unidade de superfície das armaduras de poliéster varia habitualmente entre 150 e 250 g/m² e a das armaduras de fibra de vidro é da ordem de grandeza de 50 g/m².

Segundo Grandão Lopes (2006), após a comparação de diversos documentos que relacionam algumas características das armaduras e das membranas de betume-polímero APP, quando sujeitas a ensaios de tracção, foi possível estabelecer um intervalo de valores possíveis nas duas direcções, longitudinal e transversal. Deste estudo resultou ainda a possibilidade de comparação da extensão na rotura entre diferentes tipos de armaduras aplicadas, poliéster ou fibra de vidro, sintetizada no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Quadro síntese das características de membranas polímero-betume de APP e diferentes armaduras

| | | Poliéster (PY) | | | | Fibra de vidro (FV) | | | |
|----------|---------------------------|----------------|------|-------------|------|---------------------|------|-------------|------|
| | | Longitudinal | | Transversal | | Longitudinal | | Transversal | |
| | | inf. | sup. | inf. | sup. | inf. | sup. | inf. | sup. |
| Membrana | Resistência à tracção (N) | 550 | 1200 | 400 | 950 | 550 | 1200 | 400 | 950 |
| | Alongamento na rotura (%) | 20 | 72 | 30 | 67 | 10 | 72 | 10 | 67 |
| Armadura | Resistência à tracção (N) | 400 | 800 | 350 | 750 | 100 | 150 | 50 | 120 |
| | Alongamento na rotura (%) | 20 | 50 | 20 | 50 | 3 | | 1 | |

O ensaio de tracção das membranas para a direcção longitudinal conduziu a valores entre 550 e 1200 N, ao passo que para a direcção transversal se obtiveram valores inferiores, variando entre 400 e 950 N. Relativamente à extensão na rotura, observa-se uma variação entre 20 e 72% para a direcção longitudinal e de apenas 10 a 67% na direcção transversal. O alongamento na rotura mais reduzido é obtido na direcção longitudinal, correspondendo a 10% no caso de a membrana ser constituída por uma armadura de fibra de vidro. Caso se trate de uma membrana em que na sua constituição a armadura é de poliéster, a percentagem do alongamento na rotura é de 30%.

Quanto a ensaios de resistência à tracção, as armaduras de poliéster apresentam valores de resistência que podem variar de 400 a 800 N e 350 a 750 N, segundo as direcções longitudinal e transversal, respectivamente. A extensão deste tipo de armaduras está compreendida entre 20 e 50%. Estes valores são significativamente mais baixos para a armadura de fibra de vidro, demonstrando não ser esta adequada para fundações. Os alicerces de edifícios são zonas de grandes

tensões, que incessantemente se traduzem em deslocamentos. Isto é, uma armadura que suporte apenas pequenos deslocamentos possui uma baixa percentagem de alongamento. Neste caso, em armaduras de fibra de vidro, os valores da força máxima de tracção estão compreendidos entre 100 a 150 N e 50 a 120 N, para as direcções longitudinal e transversal, respectivamente. A extensão acompanha o decréscimo constatado para a resistência à tracção, verificando-se que os valores são de 3% no caso longitudinal e 1% para o transversal.

As características de rasgamento encontram-se entre os valores 140 e 350 N para armaduras do tipo poliéster em ambas as direcções. Como esperado, a armadura de fibra de vidro apresenta valores de resistência à tracção fora da gama das membranas de poliéster, sendo estes de 100 e 130 N, respectivamente nas direcções longitudinal e transversal (Grandão Lopes, 2006).

A vida útil de uma membrana de betume-polímero de APP é de cerca de 30 anos.

Características dimensionais:

A espessura nominal comum de membranas de betume-polímero APP pode estar compreendida entre 3 e 5 mm, utilizando-se usualmente 4 mm (Joseph, 1985). Quanto à comercialização deste tipo de membranas, pode ser feita em rolos de 1 m de largura por 10 m (valor mais comum, podendo surgir comprimentos superiores) de comprimento, resultando assim em massas entre 30 e 50 kg.

A massa nominal por unidade de superfície pode estar entre 3 e 5 kg/m², característica obtida segundo a norma EN 1849-1. A resistência ao rasgamento das membranas estudadas no Quadro 3.2, é influenciada pelo tipo de armadura que incorpora.

Modo de aplicação:

A aplicação de uma membrana de polímero-betume APP pode ser observada na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Aplicação da membrana de betume-polímero APP [w₁₇]

O principal processo de aplicação no suporte das membranas de betume-polímero APP, ou mesmo entre elas, é feito por soldadura (chama de maçarico), correspondendo este processo ao indicado para a realização de juntas de sobreposição. A utilização de betumes insuflados a quente como elemento de colagem ao suporte surge como um processo alternativo ao anterior.

3.2.1.1.3 - Membranas de betume-polímero SBS

Este tipo de membrana é composto por um betume modificado com polímero de estireno-butadieno-estireno (SBS) e aditivos opcionais, destacando-se os plastificantes, anti-oxidantes e produtos repelentes de raízes (de aplicação essencial quando usados na impermeabilização de fundações). O teor de polímero incorporado na mistura varia entre 7 e 15%, sendo o valor de 12% o mais utilizado pela maioria dos fabricantes (Grandão Lopes, 2006) [w₁₆].

Alguns dos ensaios realizados indicam que o betume modificado com 10% de borracha no seu conteúdo pode ser alongado em seis vezes o seu comprimento original sem haver rotura e possui ainda capacidade de recuperar quase na totalidade a sua forma original [w₁₆].

Características gerais:

À semelhança das membranas de APP, é igualmente possível aplicar em membranas SBS, armaduras de poliéster e de fibra de vidro.

No Quadro 3.3, é apresentada a compilação de ensaios feita por Grandão Lopes (2006), ensaios estes realizados com diferentes tipos de armadura. São apresentados os limites inferiores e superiores das duas principais características do ensaio de tracção. Para cada característica, são indicados os valores obtidos para as direcções longitudinal e transversal da membrana.

Quadro 3.3 - Quadro síntese das características de membranas de polímero-betume SBS e respectivas armaduras

| | | Poliéster (PY) | | | | Fibra de vidro (FV) | | | |
|----------|---------------------------|----------------|------|-------------|------|---------------------|------|-------------|------|
| | | Longitudinal | | Transversal | | Longitudinal | | Transversal | |
| | | inf. | sup. | inf. | sup. | inf. | sup. | inf. | sup. |
| Membrana | Resistência à tracção (N) | 750 | 1100 | 500 | 1000 | 250 | 450 | 350 | |
| | Alongamento na rotura (%) | 20 | 75 | 20 | 75 | 0,5 | 2,9 | 2,8 | |
| Armadura | Resistência à tracção (N) | 450 | 1000 | 400 | 900 | 250 | 300 | 200 | 250 |
| | Alongamento na rotura (%) | 20 | 60 | 20 | 60 | 1,5 | 2 | 1,5 | |

No quadro de síntese acima apresentado, foi excluído o ensaio de ref.^a [240] (bibliografia original, UEAct, 1984), da bibliografia do autor Grandão Lopes (2006), por conter valores demasiado discrepantes da resistência à tracção em comparação com as restantes membranas, já que apresentava 100 N na direcção longitudinal e 80 N na direcção transversal, para uma armadura de poliéster. Foi ainda excluída a ref.^a [228] (bibliografia original BBA, 1989) por apresentar um valor muito superior ao dos restantes ensaios comparativos, referente ao limite superior da percentagem de alongamento na rotura, para uma armadura de fibra de vidro e na direcção longitudinal da membrana, valor este de 25%.

Para a resistência ao rasgamento, obtiveram-se valores de 160 a 380 N, na direcção longitudinal e de 170 a 350 N na outra direcção, para uma membrana com armadura de poliéster, enquanto que para a armadura de fibra de vidro se obtiveram valores de 80 N e 100 N, nas direcções longitudinal e transversal, respectivamente.

De acordo com variados ensaios realizados às membranas, concluiu-se que estas apresentam uma expectativa de vida útil superior a 30 anos (Brito *et al.*, 1999).

Características dimensionais:

A espessura nominal corrente é de 4 mm, podendo encontrar-se no mercado espessuras de entre 2 e 5 mm. A largura habitual do rolo é de cerca de 1 m, apesar de se comercializarem igualmente rolos de 2 m (Grandão Lopes, 2006). Quanto ao comprimento usual, tanto pode ser de 10 m como de 20 m, existindo membranas de vários comprimentos entre estes dois valores.

As membranas de betume-polímero SBS apresentam um melhor comportamento a baixas temperaturas, ao passo que as de betume-polímero APP exibem um melhor desempenho a temperaturas altas. Prova-se, assim, ser a razão pela qual há mais opções comerciais da membrana SBS, no caso de fundações e muros de suporte.

Modo de aplicação:

Na Figura 3.4, é possível observar uma das hipóteses existentes de constituição de uma membrana de polímero-betume SBS.

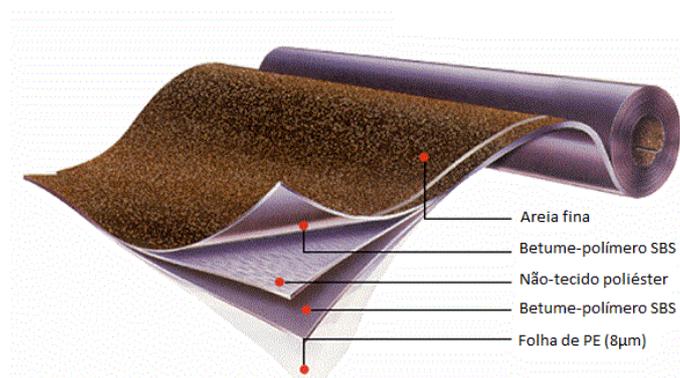


Figura 3.4 - Constituição de uma membrana de polímero-betume SBS [w₁₈]

Utiliza-se um modo de aplicação idêntico ao das membranas polímero-betume APP. O processo de ligação é feito através de soldaduras, formando juntas de sobreposição.

3.2.1.2 - Membranas sintéticas

Membranas sintéticas são membranas constituídas por polímeros sintéticos, como por exemplo, os elastómeros e derivados do poliolefina e poliuretano.

3.2.1.2.1 - Membranas termoplásticas

São substâncias que se tornam plásticas quando aquecidas. Podem também ser denominadas por plastómeros.

3.2.1.2.2.1 - Membranas de PEAD

As soluções em PEAD (polietileno de alta densidade) correspondem a membranas alveolares de polietileno de alta densidade extrudido (acrónimo anglo-saxónico HDPE). Este tipo de membranas tem a dupla funcionalidade de drenagem e de impermeabilização. As propriedades drenantes referidas advêm do geotêxtil (polipropileno, geotêxtil mais usual) presente na sua composição e o comportamento impermeabilizante é atribuído à membrana de polietileno de alta densidade. Este tipo de membrana é também denominado por geomembrana de PEAD. É importante referir e salientar, que este painel não é considerado como uma solução de impermeabilização.

Características gerais:

Membrana formada por uma lâmina nodular que garante uma drenagem das águas do terreno rápida e eficiente, minimizando o efeito negativo das pressões hidrostáticas exercidas sobre as estruturas. Tem ainda a capacidade de proteger o sistema de impermeabilização do impacto sofrido aquando da execução do aterro das fundações, assim como do impulso do terreno durante o tempo de vida útil da fundação.

As membranas de PEAD, devido à sua forma e estrutura, asseguram a sua estabilidade dimensional durante o processo de instalação ao suporte, conferindo igualmente a flexibilidade necessária de aplicação.

Como se pode observar pela Figura 3.5, a estrutura alveolar proporciona um espaçamento entre a membrana e o solo, devido à membrana geotêxtil, formando uma espécie de caixa-de-ar, que permite a ventilação e drenagem das águas de infiltração [w_{19}].

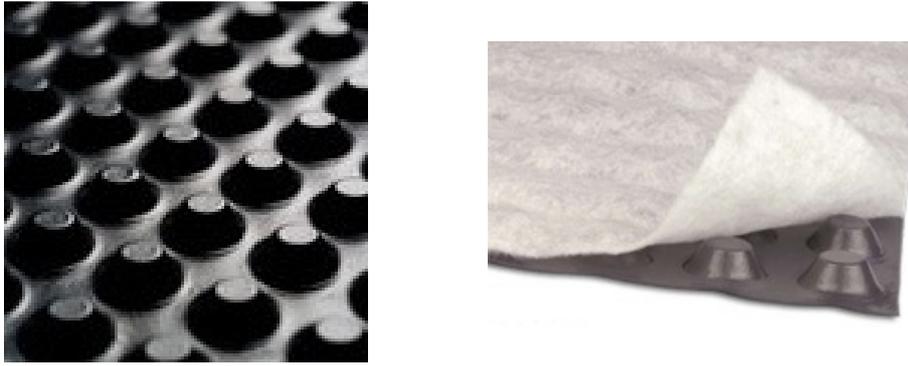


Figura 3.5 - Membrana termoplástica PEAD [w₂₀] [w₂₁]

No caso das membranas de PEAD se encontrarem soterradas, a vida útil está estimada entre 200 e 300 anos, consoante diferentes autores e condições de ensaios. Quando se encontram expostas, a vida útil estimada diminui significativamente, para 50 anos. Mas, caso se trate de um solo constantemente húmido, a membrana pode resistir entre 120 e 150 anos (Sabbatini, 2003) (Tarnowshi *et al.*, 2006).

Características dimensionais:

As dimensões usuais são de 2 m de altura e 20 m de comprimento, podendo existir ainda outras dimensões. A espessura da lâmina está compreendida entre 0,40 e 0,60 mm, provocando uma variação de peso por unidade de superfície entre 400 g/m² e 660 g/m².

Os nódulos de menores dimensões podem ter uma altura de 7,3 mm a 8 mm, correspondendo respectivamente a cada um dos limites um volume de ar compreendido entre os nódulos de 5,9 e 5,3 l/m². A quantidade de nódulos pode também variar segundo o fabricante, encontrando-se frequentemente entre 1600 e 1900 unidades por m².

Na Figura 3.6, é apresentada uma possível solução de nódulo, com altura de 7,3 mm, diâmetro inferior de 8,5 mm e de diâmetro superior de 17 mm.

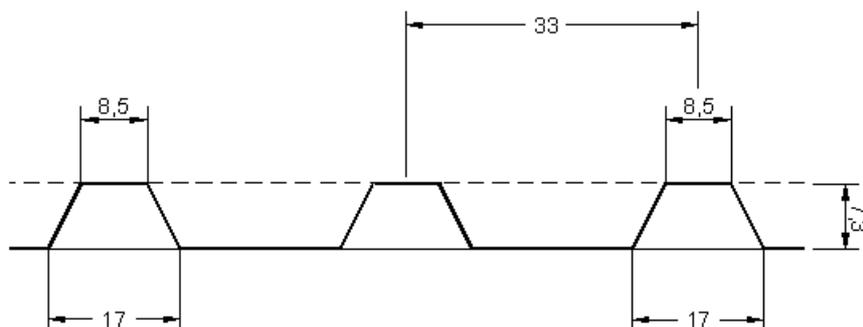


Figura 3.6 - Exemplo de possíveis dimensões apresentadas pelo fornecedor (Perdigão, 2007)

Como se pode observar, nódulos com alturas superiores possuem volumes inferiores, isto é, para uma altura de 8 mm, o volume de ar compreendido entre os nódulos é de cerca de 5,3 l/m². Este facto deve-se à tendência de diminuir o diâmetro do nódulo, consequentemente diminuindo o volume no interior do nódulo. No entanto, o número de nódulos por m² varia consoante o fornecedor.

Segundo a empresa Imperialum [w₁₉], cerca de 1860 nódulos por m² e um volume de ar de 5,3 l/m² proporcionam uma boa ventilação e uma excelente separação entre as paredes enterradas e a humidade do terreno. Entende-se, então, que será também a forma correcta de ventilar e evitar o contacto da água com a fundação.

Um nódulo de dimensões consideráveis pode ter uma altura de 20 mm e a membrana com este tipo de nódulos pode apresentar um volume de ar entre os nódulos de 14 l/m² e um peso de 1000 g/m². Assim sendo, a sua espessura deverá ser de cerca de 1 mm. Existem ainda outras membranas de nódulos intermédios mas os casos limite são os acima referidos.

Modo de aplicação:

Esta membrana alveolar de polietileno de alta densidade permite uma instalação simples e eficaz, sem o problema de soldadura ou o uso de maçarico aquando da sua fixação. Sendo assim, o seu modo de aplicação é feito mecanicamente por meio de sobreposição de bordos, através de cravação ao suporte, com o uso de pregos para a sua fixação. Os nódulos devem ser sempre colocados em contacto com o solo, no caso de não incluir geotêxtil. Caso inclua, os nódulos deverão ser aplicados de forma inversa, isto é, tanto o geotêxtil e os nódulos ficam em contacto com o solo.

3.2.1.2.2.2 - Membranas de PVC plastificado

O principal constituinte deste tipo de membranas é o cloreto de polivinilo, denominado PVC-P, caso se trate de um PVC termoplastificado. A membrana de PVC plastificado é ainda constituída pelas seguintes matérias-primas: plastificantes; cargas minerais; estabilizadores térmicos e de U.V. e aditivos específicos em função dos requisitos de aplicação (Justo, 2004).

Os plastificantes são componentes de grande importância na mistura, pois a sua ausência tornaria as membranas demasiado rígidas e pouco dúcteis, isto é, quebradiças.

Características gerais:

As membranas de PVC-P podem ser constituídas por uma ou mais películas, de espessura não superior a 0,85 mm cada (Grandão Lopes, 2006). Têm ainda a vantagem de poderem ser armadas, com destaque para as armaduras de poliéster e de fibra de vidro.

Caso se trate de uma membrana armada, a armadura mais comum será a de poliéster, com massa nominal na ordem de 100 g/m^2 , podendo atingir uma massa com limite inferior em 45 g/m^2 . Em contrapartida, as fibras de vidro apresentam massas em geral de 50 g/m^2 .

Este tipo de membranas pode apresentar-se sob duas formas, opacas ou translúcidas, podendo as opacas dividir-se em opacas simples ou com camada de sinal. As opacas simples são constituídas por uma ou mais camadas, de igual tonalidade, sem que tal seja detectável visualmente (Figura 3.7). Já no caso das opacas com camadas de sinal, estas são formadas por duas ou mais camadas com composição distinta, como se pode observar na Figura 3.8. Apresentam duas tonalidades diferentes, uma clara e uma mais escura (as cores diferem consoante o fornecedor). A camada de cor clara representa a camada superficial que ficará em contacto com o solo. Esta deve no mínimo possuir uma espessura de $0,15 \text{ mm}$. Por sua vez, esta é termoligada à camada escura, cuja espessura será a diferença entre a camada clara e o total da membrana (Justo, 2004).



Figura 3.7 - Membrana de PVC-P opaca [w₂₂]

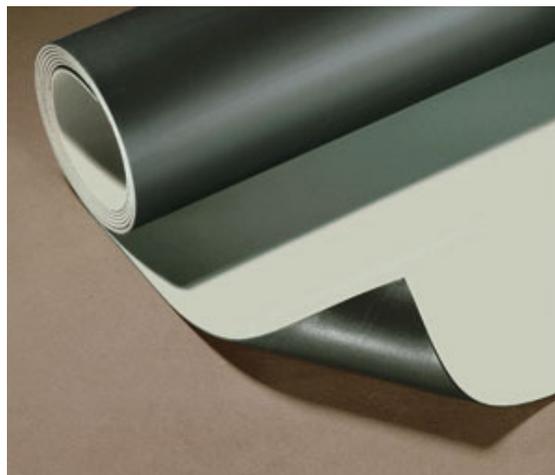


Figura 3.8 - Membrana de PVC-P opaca com sinal [w₂₃]

Esta diferença de cores deve-se à montagem, em tornar visíveis possíveis imperfeições ou zonas em que a membrana é danificada, evidenciando a camada escura sobre a clara. Tornam-se, assim, facilmente observáveis os locais inevitáveis de remendar. As membranas de PVC-P

translúcidas são incolores, podendo ser constituídas por uma ou mais películas, sem que estas sejam visualmente detectáveis, como o exemplo apresentado na Figura 3.9.



Figura 3.9 - Membrana de PVC-P translúcida (Justo, 2004)

“A utilização de geomembranas de PVC-P nos sistemas de impermeabilização e drenagem associada, já tem algumas décadas. Apesar dos problemas de libertação de gases tóxicos durante a sua combustão, continua a ser, actualmente, a geomembrana mais utilizada pois as suas características permitem a sua inclusão em quase todos os tipos de sistemas de impermeabilização e drenagem associada” (Justo, 2004).

Segundo o estudo realizado por Grandão Lopes (2006), em que relaciona diversas membranas de PVC-P, é possível apresentar o seguinte quadro síntese dos diversos valores limite, entre ensaios de tensão e alongamento na rotura (Quadro 3.4). Foram alvo de estudo diferentes tipos de envelhecimento: nenhum envelhecimento; 6 meses a uma temperatura de 80 °C; a 2500 horas exposta a ultravioletas e 28 dias de SO₂, para as diferentes direcções, tanto longitudinal como transversal.

Quadro 3.4 - Quadro síntese das características de membranas de PVC-P

| Tipo de envelhecimento | Tensão de rotura (N/mm ²) | | | | Alongamento na rotura (%) | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|------|-------------|------|---------------------------|------|-------------|------|
| | Longitudinal | | Transversal | | Longitudinal | | Transversal | |
| | inf. | sup. | inf. | sup. | inf. | sup. | inf. | sup. |
| Nenhum | 12,0 | 20,5 | 13,7 | 16,9 | 210 | 348 | 278 | 365 |
| 6 meses a 80 °C | 12,5 | 24,3 | 13,3 | 17,4 | 200 | 329 | 270 | 361 |
| 2500 horas de U.V. | 12,0 | 20,3 | 14,0 | 17,2 | 193 | 330 | 286 | 368 |
| 28 dias de SO₂ | 11,5 | 20,6 | 13,7 | 15,8 | 198 | 368 | 272 | 371 |

No ensaio de tensão de rotura, os valores limite variam entre 11,5 e 24,3 N/mm², segundo a direcção longitudinal. No entanto, na direcção transversal, os valores estão compreendidos entre 13,3 e 17,4 N/mm². Os valores máximos em ambas as direcções são, para o mesmo tipo de envelhecimento, 6 meses a 80 °C.

No caso do ensaio de alongamento na rotura, os valores limite na direcção longitudinal variam entre 193 e 368%. Para a direcção transversal de ensaio, o valor máximo é também ele igual a 368 %, enquanto que o valor mínimo atinge 270%. Pode atingir uma elasticidade média e geral até 240% do seu tamanho original [w_{14}].

Em ambos os ensaios, foi excluído o ensaio de ref.^a [255] (bibliografia original BBA, 1989) por conter valores discrepantes em comparação com os apresentados no quadro síntese (Quadro 3.4).

A vida útil de uma membrana de PVC-P é idêntica à das restantes membranas sintéticas, cerca de 50 anos, à excepção da membrana alveolar PEAD, cuja vida útil é superior [w_{24}].

Características dimensionais:

As espessuras mais recorrentes são de 1,2 e 1,5 mm, conforme o fornecedor. A sua massa volúmica pode variar entre 1,25 e 1,35 g/cm³ com massas por unidade de superfície entre 1,60 e 2,00 kg/m², respectivamente. A sua comercialização é feita em rolos, cujo comprimento pode ir de 15 a 20 m e a largura de 1,0 a 2,0 m.

Modo de aplicação:

A ligação entre membranas é conseguida através de termosoldadura com cunha quente ou insuflação de ar quente. A termosoldadura é um processo idêntico ao da soldadura, sendo que a palavra “termo” deriva de membranas termoplásticas.

Cunha quente:

Este tipo de técnica é aplicado em membranas de impermeabilização de PVC-P, TPO, PP e PE para execução de uniões entre elas. A cunha quente é inserida entre as duas camadas de membranas, cujas superfícies são aquecidas e prensadas entre as rodas do equipamento de soldar, produzindo uma soldadura dupla e forte, conforme a Figura 3.10.

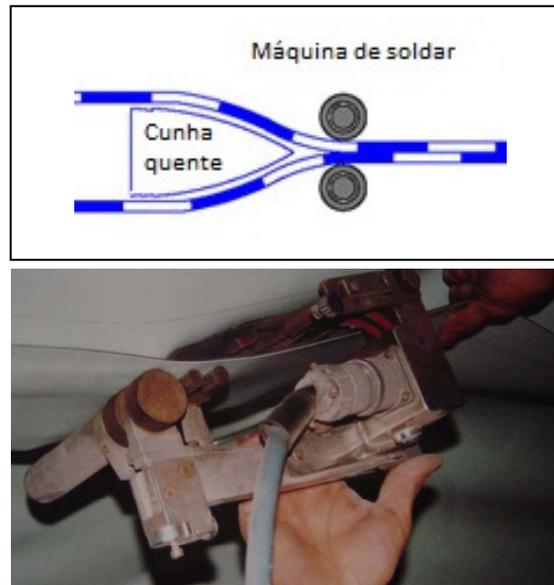


Figura 3.10 - Ligação ao suporte utilizando cunha quente (Justo, 2004) [w₂₅]

Ar quente:

Trata-se de uma soldadura executada através do calor controlado de uma pistola de ar quente colocada entre as membranas. De seguida, as superfícies quentes são pressionadas com um pequeno rolo, completando assim a soldadura, como apresentado na Figura 3.11.

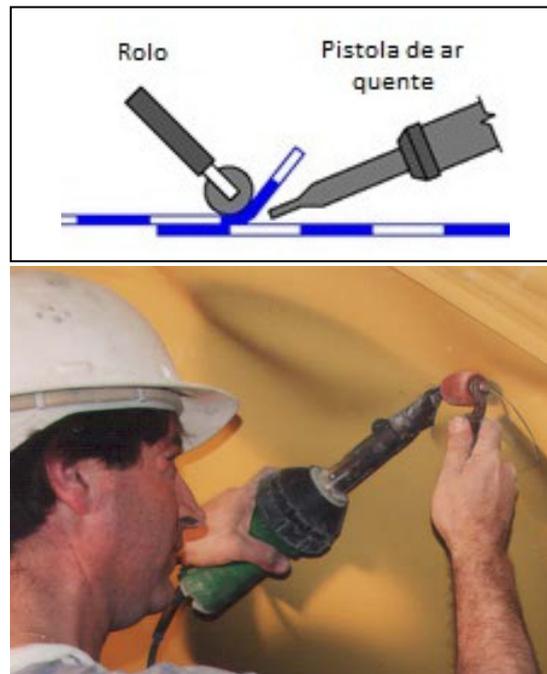


Figura 3.11 - Ligação ao suporte por insuflação de ar quente (Justo, 2004) [w₂₅]

3.2.1.2.2.3 - Membranas de TPO

As membranas termoplásticas flexíveis de poliolefinas (TPO) dividem-se em dois grupos, de acordo com o constituinte principal que pode ser o polipropileno (PP) ou o polietileno (PE). Estas membranas podem ser do tipo armado ou não (armaduras de poliéster e de fibra de vidro) e ter ou não protecção. Em obra, a protecção pode ser executada através de pinturas, não devendo estas membranas estar em contacto com alcatrão (Gonçalves *et al.*, 2005).

Actualmente, a sua aplicação tem crescido significativamente devido à elevada durabilidade destas membranas, apesar de serem relativamente recentes, tendo sido desenvolvidas e lançadas na década de 90.

Características gerais:

Por se tratar de uma membrana bastante durável, pode atingir até 50 anos de vida útil, quando aplicada em superfícies pouco expostas. A vida útil da membrana releva-se um factor de grande importância no caso das fundações, pois aumenta a durabilidade tanto do elemento a proteger como os expostos acima deste (o caso das paredes, pilares e lajes) [w_{26}].

Características dimensionais:

Existem várias espessuras nominais correntes, 1,2, a 2,5 mm, onde a massa por unidade de superfície varia entre 1,1 e 2,27 kg/m², respectivamente. A largura nominal habitual é de 2,10 m, ao passo que o comprimento pode atingir 20 a 25 m (Gonçalves *et al.*, 2005).

As características acima indicadas foram verificadas nas fichas técnicas das empresas que comercializam este tipo de membranas.

Modo de aplicação:

A união entre membranas pode ser feita através de soldadura a quente, com o auxílio de equipamentos próprios. Já a ligação ao suporte é também feita através de soldadura ou então por fixação mecânica. Em obra, a protecção pode ser feita através de pinturas, com o cuidado de as membranas não deverem estar em contacto com o betume.

3.2.1.2.2.4 - Membranas de PP e PE

As membranas PP e PE são impermeáveis e constituídas à base dos polímeros polipropileno e polietileno, respectivamente. Apresentam características idênticas, variando apenas o seu polímero de constituição.

Características gerais:

Geralmente, este tipo de membranas possui três camadas diferentes: a primeira (camada de superfície) é a camada de protecção, a segunda tem a função de resistir ao desgaste e aos ataques químicos e fúngicos (retardando o envelhecimento da membrana) e a terceira de impermeabilizar. Cada camada tem suas próprias características especiais que aumentam significativamente o desempenho global do produto. A camada de resistência ao envelhecimento aumenta a vida útil da membrana até 50 anos de idade [w₂₇].

No ensaio de tracção, a tensão de rotura pode variar entre 1280 e 1340 N, na direcção longitudinal e de 1190 a 1260 N, na direcção transversal. A extensão de rotura pode chegar até 25% em ambas as direcções (Grandão Lopes, 2006).

Em comparação com as membranas de PVC-P, são ecologicamente mais vantajosas por não incluírem na sua constituição plastificantes (Brito *et al.*, 1999).

Características dimensionais:

A espessura nominal pode variar entre 1,2 e 2,5 mm e as massas por unidade de superfície de 1,1 a 2,27 kg/m². As membranas são fornecidas em rolos, com uma largura entre 1,25 e 2,00 m de largura e um comprimento que pode variar entre 20 e 100 m.

Modo de aplicação:

A ligação entre membranas é igualmente conseguida como as membranas de poliolefinas e as de PVC-P, através de termosoldadura, com cunha quente ou insuflação de ar quente.

3.2.1.2.2 - Membranas elastoméricas - membranas de EPDM

Consistem em polímeros com propriedades semelhantes às da borracha, com possibilidade de sofrer deformações por acção de uma força, recuperando a sua forma original quase na totalidade (propriedade de elasticidade).

As membranas elastoméricas de EPDM baseiam-se em borracha vulgar, que é produzida a partir de uma mistura de monómero de etileno-propileno-dieno e possíveis aditivos, tais como cargas, agentes de vulcanização e óleos. A percentagem do monómero na sua forma pura deve rondar 30% da massa total da mistura (Grandão Lopes, 2006).

Características gerais:

Em comparação com as outras membranas, a membrana EPDM constitui uma solução mais duradoura e com um desempenho sustentável. Apresenta uma vida útil de cerca de 40 anos, que pode ser estendida até 50 anos [w_{28}] [w_{29}] [w_{30}].

As armaduras podem ser de duas naturezas, isto é, de poliéster ou de poliamida (“nylon”). Para que não haja possibilidade de aderência nas suas superfícies, aquando do processo de enrolamento, aplica-se-lhes um tratamento à base de talco e mica (Grandão Lopes, 2006).

A tensão de rotura em membranas novas pode variar entre 7,8 e 12,8 N/mm², em ambas as direcções, no caso de esta não ser armada. Em estado envelhecido, varia entre 8,8 e 11,1 N/mm². Quanto à extensão de rotura média, corresponde a 450%, em ambas as direcções e para vários tipos de envelhecimento. Esta característica é extremamente importante, uma vez que permite acompanhar os assentamentos sofridos pelos elementos de fundação sem se danificar e perder a sua função.

No entanto, a tensão correspondente à extensão de 100% exhibe um valor médio de 2,60 N/mm² para a direcção longitudinal e 2,45 N/mm² na direcção transversal, para membranas não armadas e para membranas novas (Grandão Lopes, 2006).

A resistência ao rasgamento de uma membrana nova varia entre 10,8 e 13,1 N/mm e tende a baixar com a temperatura, atingindo valores inferiores a 67% dos iniciais.

Características dimensionais:

A massa por unidade de superfície pode variar entre 1,2 e 2,3 kg/m² e a espessura nominal toma geralmente o valor de 1,5 mm. Quanto às suas dimensões, os rolos tendem a ser fornecidos com largura de 1,35 a 15,20 m e comprimento de 15 a 40 m (Grandão Lopes, 2006).

Modo de aplicação:

A sua aplicação é através de soldadura. No entanto, a ligação entre si é feita através de colas ou de bandas de união (Figura 3.12), auto aderentes nas duas faces (Grandão Lopes, 2006) [w_{31}].



Figura 3.12 - Aplicação da membrana de EPDM num ensoleiramento geral [w₃₂]

3.2.2 - Geocompósitos

Os geocompósitos são produtos compostos por diversos componentes ligados entre si através de uma ligação mecânica, térmica ou química, cumprindo três funções distintas: protecção; drenagem e impermeabilização.

A sua denominação deriva da inclusão de pelo menos um geossintético na sua constituição. Podem dividir-se em dois grupos: os impermeabilizantes e os drenantes.

3.2.2.1 - Geocompósitos impermeabilizantes

Os geocompósitos deste tipo são constituídos por duas membranas impermeáveis, com o intuito de evitar a passagem de água, e um geotêxtil com dupla função, tanto a de protecção como a de filtro. São visíveis na Figura 3.13 as duas camadas impermeabilizantes exteriores e o dreno que surge no seu interior. A função do dreno inserido no geocompósito é a de conduzir qualquer líquido ou gás que venha a transpor a primeira barreira impermeável, drenando-o para uma caixa de inspecção.



Figura 3.13 - Geocompósito impermeabilizante [w₃₃]

3.2.2.1 - Geocompósitos drenantes

A função principal destes geocompósitos é a evacuação de líquidos ou gases do local.. Utilizam-se nos casos em que o caudal de água a drenar é demasiado elevado para a capacidade do geotêxtil usado (Justo, 2004).

Características gerais:

Os geotêxteis podem agrupar-se por grupos: os tecidos, os não tecidos, os tricotados (tecidos de bandas largas) e os alveolares (acolchoados), sendo que os dois primeiros são os principais. Os geotêxteis de tecido obtêm-se através do entrelaçamento do material, geralmente em ângulos rectos, enquanto que os não tecidos são constituídos por fibras orientadas direccional ou aleatoriamente e ligadas numa estrutura plana. Estes tipos de ligação podem ser realizados através de três processos distintos: mecânico (entrelaçamento dos filamentos por agulhas, agulhagem), químico (colagem das fibras utilizando resinas ou emulsões) ou apenas térmico (fusão parcial das fibras através da pressão e temperaturas exercidas por rolos aquecidos). Ambos os geotêxteis são retratados na Figura 3.14 (na imagem mais à direita, um geotêxtil tecido e nas restantes não tecidos).

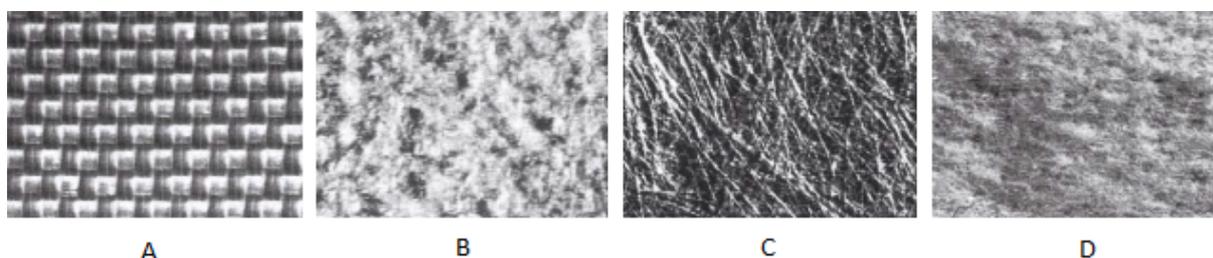


Figura 3.14 - Diversos geotêxteis (Gomes, 2001)

A - Geotêxtil tecido

B - Geotêxtil não tecido ligado quimicamente;

C - Geotêxtil não tecido ligado termicamente;

D - Geotêxtil não tecido ligado mecanicamente (agulhagem).

A constituição de ambos os geotêxteis, os tecidos e os não tecidos, é à base de fibras têxteis de base natural (lã, seda, algodão ou linho), raramente usados devido à sua propriedade biodegradável, ou então de base química. Estas últimas são à base de polímeros sintéticos (poliéster, poliamida, polietileno, tanto polietileno de baixa densidade como de baixa densidade linear, polietileno de alta densidade, polipropileno, polistireno, cloreto de polivinilo, copolímero de etileno com betume e polietileno clorado). Os últimos três materiais sintéticos referidos apenas se aplicam na fabricação de geomembranas (Gomes, 2001).

Os geotêxteis devem cumprir cinco funções representadas na Figura 3.15: protecção; separação; filtração; drenagem e reforço. Deve respeitar-se, sempre que possível, a aplicação sugerida pelo fornecedor para que as características (espessura, porosidade, transmissividade, resistência à tracção, ao rasgamento e punção) não sejam alteradas.

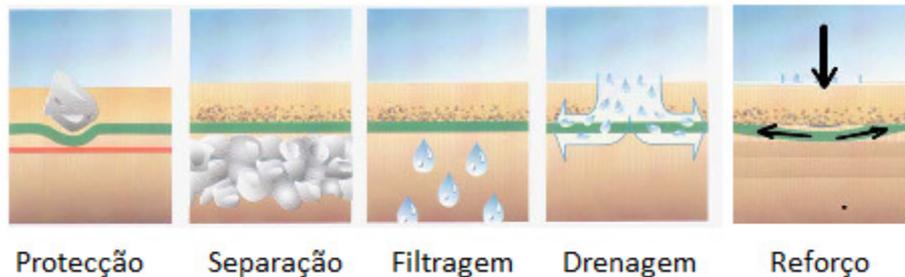


Figura 3.15 - As cinco principais funções dos geotêxteis (Gomes, 2001)

Através da função de protecção, pretende-se que o geotêxtil reduza e proteja as acções localizadas, evitando e reduzindo danos na camada a proteger, prevenindo possíveis perfurações da membrana, provocadas tanto por saliências no solo, como pela betonagem directa sobre a membrana. A sua estrutura e forma proporcionam o efeito de amortecimento no geotêxtil, produzindo uma redistribuição de tensões devido às cargas aplicadas neste. Mais facilmente será cumprido o dever, consoante a sua espessura e compacidade.

Quanto à função de separação, esta pretende evitar o contacto, mistura ou contaminação entre camadas de diferentes materiais. Os geotêxteis têm a capacidade de controlar o crescimento de raízes evitando a aproximação da membrana impermeável. Quando se recorre a um geotêxtil como modo de protecção, beneficia-se também da função de separação. Já quanto à função de filtração, pretende-se que o geotêxtil permita a passagem de líquidos e gases ao mesmo tempo que impede a passagem de partículas sólidas do solo. Assim sendo, tem a característica de um filtro entre camadas evitando que exista contacto directo da humidade e a membrana.

Os geotêxteis não possuem a capacidade de impermeabilizar, mas sim a de drenar, que é a recolha e transporte de fluidos que entrem em contacto com ele. Por último, tem-se a função de reforço, que tira partido da sua capacidade de resistir à tracção para resistir a tensões ou restringir deformações nas estruturas geotécnicas. A resistência à tracção permite que o material trabalhe como uma armadura, melhorando assim a qualidade do solo onde está assente e aumentando a capacidade de suporte e estabilidade do mesmo (Gomes, 2001).

Nas Figuras 3.16 e 3.17, observam-se dois tipos de geocompósitos. A primeira representa um geocompósito constituído por uma camada tridimensional (de monofilamentos de tecido de poliamida), cujas camadas exteriores são constituídas por geotêxtil não tecido de monofilamentos de

poliéster e a segunda um geocompósito formado por dois geotêxteis e uma camada de bentonite sódica.



Figura 3.16 - Geocompósito drenante [w₃₄]



Figura 3.17 - Geocompósito impermeabilizante e drenante, com bentonite sódica [w₃₅]

Os geocompósitos podem ser formados por um núcleo drenante, revestido de ambos os lados, ou apenas por um lado, formado por um geotêxtil não tecido, sendo que as camadas exteriores têm como função filtrar e proteger.

Deve ter-se em atenção a alcalinidade do solo onde se aplicam estes geocompósitos, uma vez que esta pode reduzir expressivamente o seu tempo de vida útil. Assim sendo, para solos de alcalinidade alta (de pH superior a 12), a sua aplicação é desaconselhada.

A camada de bentonite sódica tem a propriedade de expandir entre 10 a 15 vezes o peso do geocompósito quando em contacto com a água, protegendo como maior eficiência a membrana impermeabilizante [w₃₆]. Na maioria destes geocompósitos, os geotêxteis exteriores têm texturas diferentes, um com uma malha mais fechada e outro com uma malha mais aberta (fibras mais soltas). O geotêxtil com estas fibras mais abertas deve ser voltado para o elemento, isto é, deve estar sempre em contacto com o betão. Este tipo de manta tem a capacidade de preencher micro fissuras que se possam criar durante a cura do betão, visto que quando expandem tentam preencher todos os vazios à sua volta.

Além da fissura do betão, pode também ocorrer a própria fissura do geocompósito, o que torna necessário executar um remendo. O remendo é facilmente realizado na horizontal bastando cortar uma nova porção de geocompósito e colocá-la sobre a perfuração, sem a necessidade de aplicar qualquer fixação. O remendo na vertical é igualmente de fácil realização, necessitando apenas de ser cravado para que não caia com o seu próprio peso. Para perfurações entre 1 e 2 cm, o geocompósito tem a capacidade de auto cicatrizar, não sendo por isso necessário realizar qualquer tipo de remendo (acervo pessoal HPedroMartins).

A sobreposição entre geocompósito deve ser no mínimo de 10 cm, para situações que o suporte não possui irregularidades. Caso contrário, pode ser necessário haver sobreposição até metade da largura do rolo. As sobreposições devem ser intercaladas entre si, como é possível observar na Figura 3.18. A sua capacidade de moldar é bastante elevada traduzindo-se numa fácil e rápida aplicação, tanto na vertical como na horizontal. Os cortes são facilmente realizados com um instrumento de corte, não se verificando perdas de bentonite devido aos cortes efectuados.

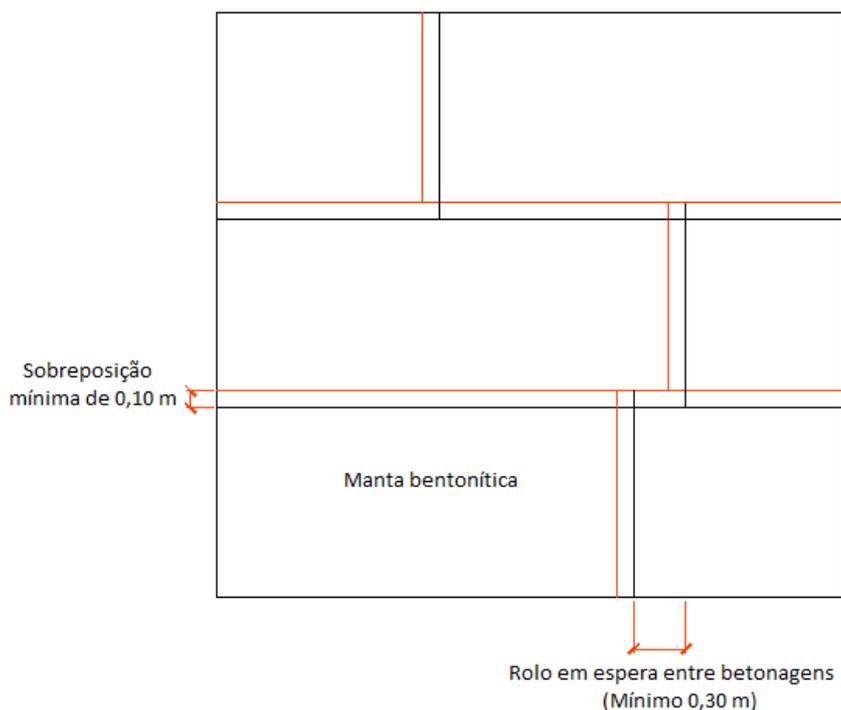


Figura 3.18 - Sobreposição mínima em mantas bentoníticas (acervo pessoal HPedroMartins)

Esta manta não necessita de qualquer protecção, pois ela própria, ao incorporar um geotêxtil na sua constituição, protege a argila no seu interior, permitindo que os trabalhadores circulem sobre ela sem a danificar. No caso de se prever mudança nas condições climáticas durante a aplicação do geocompósito, nomeadamente de chuvas, será necessário proteger o produto, para que este não inicie o processo de absorção de água.

As mantas suportam variações de ciclo de seco-húmido sem alterar as suas propriedades químicas. Estas possuem uma vida útil muito longa, cerca de 100 anos, protegendo o elemento até ao término da sua vida útil [w_{37}].

Características dimensionais:

Este tipo de geocompósito possui cerca de 5 kg/m² de peso próprio por unidade de superfície, podendo ser comercializado em três diferentes dimensões: 1,15 x 5,00 m; 0,40 x 5,00 m; 0,40 x 2,50 m. Como tal, o seu comprimento pode variar de 2,50 a 5,00 m, enquanto a largura varia de 0,40 a 1,15 m.

Modo de aplicação:

Esta manta pode ser aplicada a qualquer temperatura, visto que a sua flexibilidade apenas se altera para temperaturas abaixo de -32 °C (acervo pessoal HPedroMartins). A sua fixação é através de cravação, principalmente nos casos em que tem de ser aplicada na vertical, pois o seu próprio peso iria provocar a sua queda. A pregagem pode ser realizada com qualquer prego, desde que tenha o comprimento necessário e uma anilha, entre o prego e a superfície, ou simplesmente uma arandela.

A fixação na horizontal é dispensada desde que se garanta as sobreposições indicadas acima, podendo aplicar-se na mesma, sempre que se achar necessário. A Figura 3.19 ilustra a impermeabilização da superfície superior da fundação do tipo ensoleiramento geral.



Figura 3.19 - Cravação no caso de geocompósitos bentoníticos (acervo pessoal HPedroMartins)

De forma geral, os sistemas de impermeabilização em que se recorre ao uso de mantas bentoníticas são complementados com produtos *waterstop* em pontos singulares, frequentemente o *redstop*.

Características gerais:

Na Figura 3.20, é possível observar o *redstop* aplicado numa junta de betonagem. Assim como no geocompósito, também neste material, o principal constituinte é a bentonite de sódio natural. Pode-se encontrar este produto com uma cor vermelha ou com a cor preta, geralmente denominadas por RX101 (Figura 3.21).

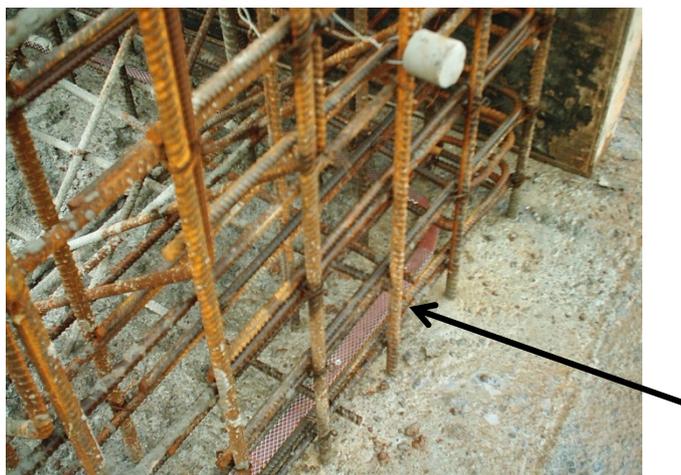


Figura 3.20 - *Redstop* numa junta de betonagem vertical (acervo pessoal HPedroMartins)



Figura 3.21 - *Redstop* preta numa junta de betonagem horizontal (acervo pessoal HPedroMartins)

Deve garantir-se, sempre que possível, a forma do betão, evitando os vazios entre o *redstop* e o elemento onde este é aplicado. Deste modo, evita-se a passagem da água por uma fragilidade do sistema, deixando de atingir a bentonite, que não expandiria, de modo a autocicratizar essa passagem. Quando a junta de betonagem é mais irregular, aconselha-se como modo de fixação a colagem, conforme exemplificado na Figura 3.22. Nesta imagem, pode observar-se também uma malha de protecção ao produto, evitando que a agulha de vibração ou qualquer outro material que atinja a malha o danifique.

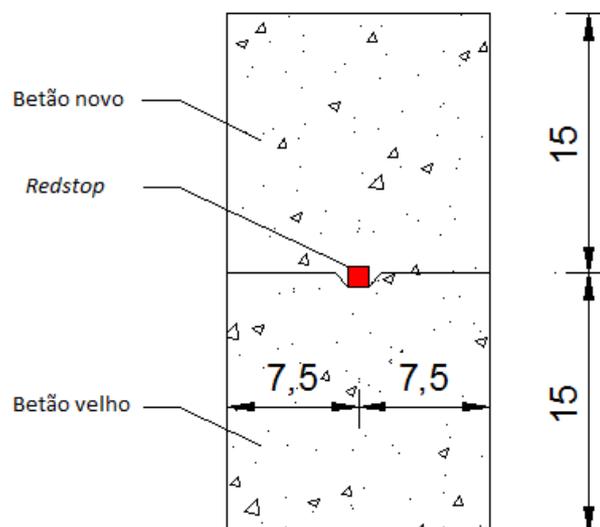


(acervo pessoal HPedroMartins)

A temperatura a que este tipo de produto pode ser aplicado possui uma margem considerável, podendo ser aplicada a temperaturas entre -15 e 52 °C. As temperaturas de serviço podem variar entre -40 e 100 °C. A pressão máxima hidrostática é de cerca 70 m.c.a. (7 bar) (acervo pessoal HPedroMartins).

Características dimensionais:

Existem duas secções diferentes do produto, em que as dimensões podem ir de 19×25 mm a 19×9 mm. A sua aplicação varia consoante a sua dimensão, ou seja: no caso de ser assente numa zona de betonagem vertical, o betão que se encontre acima ou abaixo deve ter no mínimo 15 cm de espessura e 7,5 cm de recobrimento de cada lado em que é aplicado, como se pode observar na Figura 3.23.



(acervo pessoal HPedroMartins)

No caso do *waterstop* de menor dimensão, este poderá ser aplicado numa laje de espessura inferior a 15 cm. Uma vez que o *redstop* pode atingir 15 vezes o seu volume, estas dimensões devem ser respeitadas de modo a que não haja danificação do betão em que está inserido (acervo pessoal HPedroMartins).

Quanto ao seu fornecimento, é realizado em bobines de cerca de 5 m de comprimento.

Modo de aplicação:

A sua fixação pode ser feita numa só face por colagem ou cravagem, recorrendo a um prego de dimensões comuns e no centro do produto. Não é, por isso, necessário contratar mão-de-obra especializada.

No subcapítulo seguinte, são retratados os materiais manufacturados *in situ*.

3.2.3 - Materiais manufacturados *in situ*

No caso das fundações, os produtos que mais se aplicam no estado líquido ou pastoso, correspondem a emulsões e tintas betuminosas e a revestimentos de base cimentícia.

Estes produtos estão a ser fortemente utilizados quando aplicados em sistemas de impermeabilização (emulsão mais membrana), complementando a eficiência das membranas, ao passo que não se utilizam em actos isolados.

Comparando-os às membranas, particularmente em pontos singulares do elemento, este tipo de materiais não cumpre devidamente a sua principal função, a de impermeabilizar, revelando-se essa uma desvantagem bastante condicionante. Este tipo de materiais não tem a capacidade de se alongar de forma a acompanhar as fissuras que possam surgir, como é o caso das membranas acima referidas.

3.2.3.1 - Emulsões e tintas betuminosas

As emulsões são constituídas essencialmente por água e por partículas betuminosas (com diâmetros na ordem de 1 e 5 μm) de dimensões reduzidas em suspensão, com um dado agente emulsionante. Consoante o agente emulsionante utilizado na solução, é possível obter dois tipos de emulsões: aniónicas (alcalinas) e catiónicas. No caso das aniónicas, o agente emulsionante é o sabão, ao passo que para as catiónicas se utiliza argila (Gonçalves *et al.*, 2005) [w_{38}].

É conhecido que a água e o asfalto não se misturam, excepto sob condições cuidadosamente controladas e utilizando equipamentos altamente especializados e aditivos químicos. A mistura do asfalto e da água pode ser comparada a uma lavagem de gordura com água, que dificilmente é efectuada com sucesso, sendo que para o conseguir é necessário recorrer a detergentes ou sabões. As partículas de sabão cercam os glóbulos de gordura, quebrando a tensão superficial que detêm, tornando-os assim laváveis [w₃₈].

Apontam-se como desvantagens destes materiais a impossibilidade de controlar com rigor a espessura do material aplicado, o facto de a sua reduzida espessura a tornar vulnerável a solicitações mecânicas, a necessidade de aplicação de duas demãos cruzadas, sendo que a principal desvantagem se refere à protecção de pontos singulares. Tem-se como exemplo as tijes das cofragens, pelo que deverão ser aplicadas com auxílio de mão-de-obra especializada.

Este tipo de produto, assim como o revestimento de base cimentícia não suportam grandes movimentos por parte da estrutura, principalmente por se tratarem de materiais pouco extensíveis. Alerta-se assim que este tipo de material, por não se tratar de uma membrana, não cumpre devidamente a função de impermeabilizar.

Quando a impermeabilização é feita num elemento betonado, é recomendável esperar 28 dias para que o betão endureça livremente e estabilize de forma a que as zonas para aplicação da emulsão ou a tinta não sejam danificadas (Perdigão, 2007).

Características gerais:

O termo “quebrar” da emulsão designa o processo pelo qual o betume é separado da emulsão, formando uma película contínua de betume a partir de partículas individuais. Isto é, a formação de um filme em torno das “gotas” dispersas, prevenindo a floculação ou coalescência, para que os produtos sejam devidamente separados e não haja mistura de material.

A floculação é definida como o processo físico que promove a aglutinação das partículas já coaguladas (flóculos). Para isso, existe um acrescento de coagulantes (compostos, geralmente de alumínio e ferro, isto é, sulfato de alumínio ou cloreto férrico). A adição do coagulante aumenta o tamanho dos flóculos, sendo possível depois de retirá-los.

Já a coalescência demonstra ser um processo idêntico ao da floculação mas com duas ou mais partículas que, ao entrar em colisão, se unem, formam gotículas de maiores dimensões.

No caso de emulsões betuminosas aniónicas, dá-se uma remoção substancial de água, principalmente por evaporação, mas também por absorção de alguma água que possa existir na superfície em contacto, especialmente em agregados minerais. No caso das emulsões catiónicas, o

fenómeno da “quebra” deve-se à adsorção de emulsionantes positivamente carregados com superfícies negativamente carregadas que provocam uma desestabilização na emulsão.

Por esta razão, as do tipo aniónico demonstram ser as mais indicadas para aplicação em impermeabilizações, por incorporar látex na sua constituição, utilizada como barreira ao vapor.

Em contrapartida, as emulsões catiónicas possuem boas propriedades adesivas no que diz respeito à aderência do betume residual de agregados minerais, justificando-se serem as mais utilizadas e conhecidas. Este tipo de emulsão é principalmente utilizado como primário de aderência das membranas betuminosas. A sua aplicação como primário é justificável pela sua fluidez que permite que penetre mais facilmente nos poros e capilares do material de suporte, garantindo assim uma maior aderência da membrana. A argila incorporada na emulsão betuminosa é o agente emulsionante da solução, apesar de ocupar apenas 4% do volume da emulsão, ao passo que o betume ocupa 60% do volume (Brito *et al.*, 1999) (Grandão Lopes, 2006) [w_{39}].

As emulsões betuminosas constituem uma opção atrativa para os fabricantes dado constituírem um complemento aos sistemas de impermeabilizações e uma opção mais económica. Em alguns casos, a aplicação deste tipo de impermeabilização é aceitável, uma vez que se se tratar de um local acessível onde se poderão efectuar acções de reabilitação sem grandes dificuldades nem custos significativos. No entanto, a sua aplicação em fundações ou em locais inacessíveis não constitui uma boa opção.

As condições atmosféricas devem ser perto da temperatura ambiente, aconselhável entre 10 e 35 °C. Deve ser ainda evitada a exposição em excesso ao sol e ao vento, para que não ocorram alterações significativas do processo de cura que possam provocar alterações das características da emulsão (Perdigão, 2007).

As características dispostas no Quadro 3.5 foram determinadas segundo a norma ASTM D 1227-82 (ASTM, 1982). Como forma de referência, são apresentados no quadro os valores limite das características segundo a normalização espanhola (Grandão Lopes, 2006).

Quadro 3.5 - Características exigidas a satisfazer por emulsões betuminosas (Grandão Lopes, 2006)

| Características | Valores limite |
|---|----------------|
| Massa volúmica (g/cm^3) | 0,98 - 1,20 |
| Teor de água (%) | 40 - 70 |
| Resíduo de evaporação (%) | 30 - 60 |
| Teor de cinzas (%) | 5 - 50 |
| Tempo de secagem (h) | < 24 |

As tintas betuminosas possuem funções idênticas às das emulsões, podendo ser utilizadas como primários mas também como produtos de protecção quando aplicados sobre a última camada dos sistemas. São produtos elaborados no estado líquido que, após a sua aplicação, se transformam numa película sólida que permite desempenhar as funções apresentadas. Por apresentarem um preço superior ao das emulsões, a sua aplicação geralmente ocorre em paramentos elevados, como efeito estético.

Modo de aplicação:

A aplicação das emulsões (Figura 3.24) e tintas betuminosas pode ser feita com recurso a trinchas, rolos ou escovas ou com o auxílio de pistolas, sendo para o efeito necessário recorrer a mão-de-obra especializada, para que não haja diferenças significativas na quantidade de material a aplicar. Independentemente do processo adoptado, é necessário aplicar duas camadas cruzadas com um intervalo de tempo de espera, que consoante os fornecedores, pode ir de 3h a 24h entre camadas..



Figura 3.24 - Aplicação de emulsão betuminosa como primário e elemento de colagem [w₃₇]

3.2.3.2 - Revestimentos de base cimentícia

Os revestimentos de base cimentícia são provavelmente os produtos de impermeabilização com maior facilidade de preparação e aplicação, reflectindo-se no seu baixo preço em comparação com a maioria dos restantes sistemas. Por estas razões, a sua comercialização torna-se mais acessível a qualquer fornecedor e comprador.

São produtos com base em variantes do cimento e aditivos especiais que, juntamente com areias de baixa e controlada granulometria conferem ao material propriedades impermeabilizantes (Justo, 2003).

Por se tratar no fundo de um reboco, deve haver um cuidado especial nos locais a aplicar uma vez que o paramento não deverá fissurar facilmente, diminuindo assim a eficiência do produto. Torna-se essencial que o elemento suporte o revestimento sem se danificar. O elemento de suporte é geralmente executado em betão e deve ser isento de materiais soltos, obtendo-se assim uma ligação ao revestimento quase perfeita, uma vantagem dos revestimentos cimentícios. Estes podem ainda suportar pressões negativas ou positivas, sendo influenciados pelo local de aplicação, isto é, pelo interior ou pelo exterior respectivamente.

Características gerais:

Um dos principais cuidados a ter na aplicação destes revestimentos é a quantidade de água de mistura. As proporções aconselhadas pelo fornecedor devem ser respeitadas, pois será a quantidade certa de água que tornará uma camada eficaz. A tendência de introduzir água com o objectivo de aumentar a trabalhabilidade da mistura resulta em aumentos da porosidade, o que fará com que, mais tarde, a mistura não cumpra o esperado.

Este sistema de impermeabilização é útil no tratamento eficaz de pontos singulares (como é o caso de cobrimento de tijes de cofragem ou em ligações que não sejam sujeitas a movimentos estruturais), sendo necessário utilizar cimentos expansivos de elevada resistência e aderência e de presa rápida. O seu elevado custo torna esta opção desvantajosa e, conseqüentemente, na globalidade não constitui uma opção preferencial, ficando a par de outros tipos de sistemas (Brito *et al.*, 1999)

Conclui-se assim que este tipo de revestimento é aconselhado para paredes enterradas, muros de suporte, sapatas, efectuado principalmente pelo exterior e não constituindo a melhor opção quando comparado a membranas. Mas é principalmente indicado para impermeabilizar pontos singulares, como por exemplo as tijes da cofragem de betão, pelo que deverá ser aplicado com o auxílio de mão-de-obra especializada.

Modo de aplicação:

Deve ser aplicado em duas camadas, tendo a primeira funções de regularização e a segunda de acabamento. O tempo de espera entre as aplicações deve ser o suficiente para que a camada inicial atinja a consistência que lhe permita suportar a camada seguinte. O tempo de cura total é de quatro dias, sendo que durante esse processo a argamassa deve ser molhada em períodos regulares de seis em seis horas, para que a cura se dê o mais próximo das condições óptimas.

Como se pode ver na Figura 3.25, o revestimento de base cimentícia é aplicado pelo interior, com o auxílio de um talocha.



Figura 3.25 - Aplicação do cimento especial (revestimento de base cimentícia), com talocha [w₄₀]

De seguida, são retratados os acessórios auxiliares à aplicação da maioria das membranas, quando não aplicadas mecanicamente.

3.2.4 - Alguns acessórios complementares aos sistemas de impermeabilização

Os acessórios introduzidos neste subcapítulo são apenas aplicados no caso de existir um seguimento da membrana aplicada na fundação e de seguida na parede subjacente, como é o caso das juntas de dilatação e das arandelas (também denominadas bolachas).

3.2.4.1 - Juntas de dilatação

As juntas de dilatação podem ter configurações diferentes da apresentada na Figura 3.26, variando consoante o fabricante que a produz. As dimensões dependem da pressão de água e da eficiência pretendida, sendo que a sua espessura é geralmente de 3 mm.

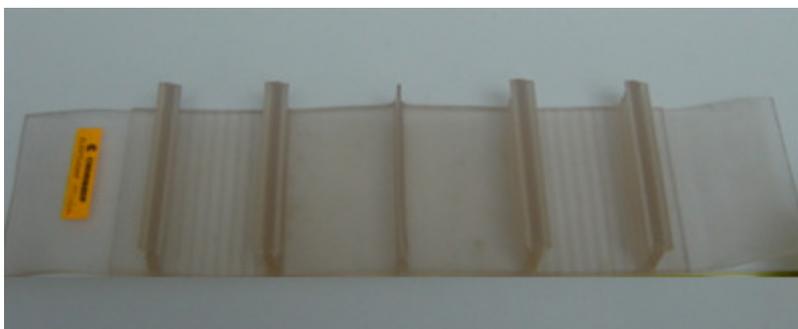


Figura 3.26 - Junta de dilatação em PVC (Justo, 2004)

As ligações de topo a topo são feitas através de um pequeno aparelho que permite um corte recto nos topos, de forma a uni-los correctamente. De seguida, são aquecidos com uma lâmina

quente. O mesmo procedimento é usado em peças prefabricadas: tês, cruzetas, cantos de um plano e dois planos.

De forma geral, quando se utiliza uma membrana de PVC, a junta deve ser do mesmo material. Aconselha-se, sempre que possível, o uso de juntas transparentes que permitam um melhor controlo de soldaduras por bandas, com abas suficientemente largas e flexíveis para uma correcta soldadura (Justo, 2004).

A ligação entre as membranas e este tipo de acessório deve ser feita através de termosoldadura da sua base e ancoradas ao betão através dos seus gomos, garantindo uma estanqueidade adequada. É assim possível observar na Figura 3.27 uma junta de dilatação aplicada numa membrana de PVC, na vertical.



Figura 3.27 - Junta de dilatação aplicada numa membrana de PVC [arquivo pessoal]

3.2.3.2 - Arandelas

Como se pode observar na Figura 3.28, as arandelas são pequenos discos, que por norma devem ser do mesmo material do que a membrana onde são aplicados. Usualmente, possuem uma área de superfície de cerca de 50 cm², com o objectivo de suportar a membrana impermeável.



Figura 3.28 - Arandelas de suporte (Justo, 2004)

As arandelas estão preparadas para ceder, caso se verifiquem movimentos anormais da membrana. Por esta razão, possuem uma resistência menor à rotura do que a membrana, quebrando em vez desta.

Deve-se ter alguns cuidados ao armazenar este tipo de materiais, nomeadamente a baixas temperaturas, dado que, no caso de arandelas em PVC, esta fica demasiado rígida e quebradiça, originando facilmente deficiências na sua futura fixação.

No próximo e último subcapítulo, são enumeradas algumas das vantagens e desvantagens de todos os produtos apresentados ao longo deste capítulo.

3.2.5 - Comparação das diversas vantagens e desvantagens dos produtos apresentados

Envelhecimento:

O betume é talvez o mais antigo material de impermeabilização conhecido. No entanto, tem vindo a apresentar características de envelhecimento muito rápidas, em comparação com as restantes membranas, mostrando-se tal como um grande inconveniente porque, durante o processo de oxidação, algumas das suas características são alteradas, conduzindo a piores desempenhos (tais como: a aderência, a resistência a baixas temperaturas, a flexibilidade, assim como a resistência ao envelhecimento) (Brito *et al.*, 1999) [w₁₃].

Em compartida, a membrana que apresenta uma maior resistência ao envelhecimento é a membrana de PEAD, com uma vida útil estimada em 150 anos (quando soterrada), valor muito superior aos restantes produtos de impermeabilização. Isto deve-se à natureza do material, polietileno de alta densidade, bastante resistente ao envelhecimento e ataques fúngicos e bacteriológicos, apresentando-se também como a mais resistente nestas áreas [w₄₁]. É provavelmente o único material que pode substituir o betão de limpeza [w₁₉].

Já as membranas de PVC e as de TPO e, conseqüentemente, também as de PP e PE, exibem uma excelente resistência ao envelhecimento e uma elevada durabilidade [w₄₂]. Também as membranas de EPDM possuem uma excelente capacidade de anti-envelhecimento, reflectindo-se no aumento da sua vida útil, sendo particularmente vantajosas quando aplicadas em locais não acessíveis ou de acessibilidade condicionada [w₂₉] [w₃₀]. No caso dos geocompósitos bentoníticos ou das mantas bentoníticas, a vida útil esperada é de 100 anos [w₃₇].

Todos os materiais apresentados, tanto os prefabricados como os manufacturados *in situ* apresentam-se como produtos não poluentes e não tóxicos ao meio ambiente. Esta é uma preocupação cada vez mais valorizada nos dias de hoje.

Comportamento sob a acção da temperatura:

O comportamento com a temperatura varia de maneira diferente de membrana para membrana. Começando pelas membranas de betume oxidado, apresentam-se muito frágeis a temperaturas baixas e com fraca resistência ao escorrimento a temperaturas elevadas [w₁₃]. Já as membranas de betume-polímero APP possuem uma elevada resistência a variações de temperatura, apresentando um maior desempenho face a temperaturas elevadas, ao contrário das membranas de betume-polímero SBS, usufruindo estas últimas de uma fácil aplicação a baixas temperaturas [w₁₇]. Uma das suas desvantagens é a baixa eficácia a temperaturas elevadas aquando da aplicação (cerca de 40 °C). Este parâmetro é pouco importante ao longo da vida útil, visto que raramente se atingem valores desta ordem junto às fundações, sendo mais problemática na altura de aplicação. Outra desvantagem também pouco relevante é a fraca resistência à radiação ultravioleta que, também, no caso das fundações tem uma importância residual em virtude de a maioria dos elementos se encontrar soterrada [w₁₆]. Ainda em membranas de betume-polímero APP, a temperaturas da ordem de -15 °C, a elasticidade de corte torna-se elevada (Adamovich, 2001).

Outra das membranas prefabricadas que apresenta uma grande vantagem em termos de comportamento sob a acção da temperatura é a de PEAD, alterando em pouco as suas características, quando aplicadas a muito baixas ou muito altas temperaturas, visto que este tipo de membranas pode ser aplicado a temperaturas entre - 40 e 80 °C [w₄₁]. Também as membranas à base do polímero TPO mantêm uma boa flexibilidade a baixas temperaturas, pela que são adaptáveis a estas condições [w₄₂].

As membranas de PVC apresentam uma resistência à temperatura para gama de valores de -20 °C até temperaturas máxima da ordem de 100 °C, valores dificilmente atingidos em Portugal e em locais soterrados [w₃₅]. Também as membranas de EPDM possuem uma grande gama de valores de temperatura a que podem ser aplicadas. Estas oferecem uma elevada resistência à temperatura, alterando em pouco as suas propriedades físicas entre temperaturas de -50 e 80 °C [w₂₈]. No entanto as membranas de geocompósitos bentoníticos mantêm as suas características acima de -32 °C, concluindo-se serem de fácil aplicação, visto que em Portugal nunca se atinge este grau de temperaturas (Acervo pessoal HPedroMartins).

No caso dos produtos manufacturados *in situ*, as emulsões têm como vantagens as poucas e pequenas alterações das propriedades quando sujeitas a baixas temperaturas, devido à sua alta viscosidade. Trata-se de um produto pronto a aplicar e que resiste a altas temperaturas [w₄₃].

Em contrapartida, os revestimentos de base cimentícia apresentam o comportamento sob a acção da temperatura como uma desvantagem. Devem, sempre que possível, ser aplicados a temperaturas moderadas, tendo diferentes inconvenientes consoante a estação do ano em que são

aplicados. Visto que no Verão as temperaturas facilmente atingem valores elevados, estas acabam por acelerar o processo de cura da argamassa. Já em estações frias, as temperaturas muito baixas suscitam a formação de camadas de gelo que impedem que a ligação entre a argamassa e o suporte seja efectiva. Entende-se, assim, que a temperatura ideal de aplicação deve ser entre 0 e 35 °C (Perdigão, 2007) [w₄₄]. Em países com temperaturas elevadas, a questão da temperatura ambiente é um grave problema, principalmente na estação quente e quando os revestimentos são aplicados pelo exterior (Brito *et al.*, 1999).

Uma das vantagens face às restantes membranas é o facto de as membranas de betume-polímero fazerem parte do grupo de polímeros termoplásticos. Neste caso, possuem a capacidade particular de recuperar a forma original, quando submetidas a deformações [w₁₇].

Resistência a ataques químicos e resistência a micro-organismos:

Quanto à resistência a ataques químicos (cloretos, sulfatos, ácidos, álcalis e acções fúngicas, substâncias comuns presentes no solo), as várias membranas apresentam-na como mais uma vantagem na maioria destes materiais. Tem-se o caso das membranas de PEAD que possuem uma boa resistência a este tipo de ataques [w₄₅]. Também as membranas de betume-polímero APP e SBS têm elevada resistência a ataques químicos provenientes do solo, bem como a ataques de microrganismos [w₁₇]. Por fim, as membranas de PVC, as de EPDM e as mantas bentoníticas desfrutam de uma boa resistência para estes casos [w₂₉] [w₃₀].

No entanto, as membranas TPO, PP e PE apresentam uma resistência inferior às acima indicadas, mas suficiente para resistir pelo menos a grande parte da sua vida útil prevista. O mesmo se passa para as emulsões e as tintas betuminosas [w₄₃].

Resistência à penetração de raízes:

Todas as membranas afiguram-se como eficazes na resistência à penetração de raízes, à excepção das membranas de betume oxidado que, por não exibirem aditivos anti-raízes na sua constituição, ficam sujeitas a pressões exercidas pelas raízes e não as suportem devidamente [w₁₃] [w₄₂] [w₄₅].

Devido às espessuras significativamente finas, também os materiais manufacturados *in situ* manifestam uma baixa resistência à penetração de raízes (principalmente o caso das emulsões e tintas betuminosas). Além do mais, os revestimentos de base cimentícia suportam penetrações idênticas às do betão, implicando que este material não traga nada de novo nesta característica ao elemento de betão.

Condições de aplicação e aderência às superfícies:

Quanto à aderência em superfícies, as membranas de PEAD permitem uma excelente aderência tanto em superfícies verticais como horizontais [w₄₅]. Também as membranas poliméricas se apresentam fáceis e rápidas de aplicar (Adamovich, 2001) [w₁₇]. As membranas de TPO manifestam-se como um produto de fácil instalação e com boa estabilidade dimensional, mesmo em formas mais complexas (fácil trabalhabilidade em cantos e bordos) [w₂₆]. O mesmo se passa com as membranas de PVC que são fáceis de moldar e aplicar, material bastante maleável. Quanto às membranas de PP e PE, são de aplicação semelhante às de PVC e de TPO, sendo que a sua flexibilidade é inferior à das referidas (Brito *et al.*, 1999).

As membranas de EPDM apresentam apenas um inconveniente, a necessidade de requerer mão-de-obra especializada em virtude da ligação das membranas (vulcanização), com o auxílio de colas (extremamente vulneráveis às condições climáticas) (Justo, 2003). Também as mantas bentoníticas possuem uma grande capacidade de aderência e de fácil aplicação ao suporte, devido à sua flexibilidade. As suas propriedades são melhoradas quando em contacto com a água, tornando-se estanques e preenchendo todos os espaços. A sua aplicação pode ser feita apenas por sobreposição das membranas, quando na horizontal, mas também mecanicamente, por meio de cravagem.

Também a aplicação de emulsões e tintas betuminosas deve ser feita com mão-de-obra especializada, dificultando por isso a sua aplicação, visto que a camada de impermeabilização deve ser o mais uniforme possível [w₄₃]. O mesmo ocorre nos revestimentos de base cimentícia, já que também estes apresentam uma certa versatilidade de aplicação (pelo interior ou exterior do elemento). Facilmente exibem uma compatibilidade física e química com o suporte. Além do mais, possuem a competência de incorporar uma armadura, aumentando assim a capacidade de resistir à fissuração (Brito *et al.*, 1999) [w₄₄].

Não obstante, como desvantagens deste tipo de revestimento, tem-se: a necessidade de preparação cuidada da superfície a aplicar; a necessidade de humedecer a superfície com a quantidade de água correcta, de forma a evitar que a superfície absorva a água contida na argamassa, originando processos de retracção e conseqüentemente ocorrendo fendilhação (Perdigão, 2007) [w₄₄].

Resistência ao alongamento e ao rasgamento:

A membrana de betume oxidado, quanto comparada com membranas poliméricas, revela uma menor elasticidade, por se tratar de um material fácil de quebrar, isto é, pouco resistente à

fadiga [w₁₃]. Entende-se por fadiga mecânica o fenómeno de ruptura progressiva de materiais sujeitos a ciclos repetidos de tensão ou deformação.

As membranas de PEAD possuem uma boa resistência ao rasgamento e ao choque [w₄₅]. Também as membranas de betume-polímero, em comparação com outros sistemas de impermeabilização, apresentam uma maior elasticidade. Suportam grandes deformações e fendas na superfície (Adamovich, 2001) [w₁₇].

Como desvantagem deste tipo de membranas (elastómeras), tem-se o facto de serem de difícil recuperação à deformação após extensão. Conseguem melhorar as suas propriedades mecânicas, consoante a armadura que incorporem, sendo a mais indicada a de poliéster [w₁₇]. Além do mais, as armaduras de fibras de vidro apresentam um comportamento mais frágil do que as armaduras poliéster, no sentido em que se rasgam mais facilmente.

As membranas de PVC, em comparação com as de betume, têm uma maior capacidade de alongamento e uma resistência ao punçoamento 10 vezes superior [w₁₄]. No caso das membranas de TPO, também estas mostram uma elevada elasticidade (consoante também a natureza da armadura aplicada), mas inferior às de betume-polímero. Têm uma boa resistência à tracção que se manifesta numa melhor absorção dos movimentos dos substratos (Engepol, 2006) [w₄₂]. O mesmo ocorre com as membranas de PP e PE, bem como com as mantas bentónicas [w₁₇]. As membranas de EPDM caracterizam-se por elevada elasticidade, flexibilidade e alongamento, e são ainda eficazes na protecção de eventuais rasgões que possam ocorrer, aumentando assim o seu desempenho como material de impermeabilização [w₂₉] [w₃₀]. Como desvantagem, aponta-se a fraca resistência ao punçoamento das membranas (Justo, 2003).

Já os materiais manufacturados *in situ* apresentam uma flexibilidade bastante reduzida, o que facilmente se traduz na fissuração na superfície (Brito *et al.*, 1999) [w₄₄].

Permeabilidade ao vapor de água:

Como era de esperar, a permeabilidade ao vapor de água é bastante elevada em materiais prefabricados quando comparados com materiais manufacturados aplicados *in situ*, em que a permeabilidade se mostra moderada.

3.3 - Síntese do capítulo

O Quadro 3.6 constitui a conclusão do capítulo e nele são resumidas as principais características das soluções apresentadas, acompanhadas de uma comparação entre elas. Das várias características, são sintetizadas as seguintes: vida útil, alongamento, resistência ao frio, flexibilidade, resistência às raízes, adequabilidade do material ao meio ambiente, modo de aplicação e dimensões habitualmente comercializadas.

Por leitura do quadro, pode-se observar que a maior vida útil dos materiais apresentados é a do polietileno de alta densidade (PEAD), com uma vida útil de 150 anos. As segundas membranas tabeladas com maior vida útil são as de cloreto de polivinilo, poliolefinas, polipropileno e polietileno (PVC, TPO, PP e PE, respectivamente) e as de etileno-propileno-dieno (EPDM) com uma média de vida útil de 50 anos.

As soluções que apresentam capacidade de cumprir a sua função num período mais curto de tempo são as membranas de betume insuflado e todos os materiais manufacturados *in situ*: as emulsões e tintas betuminosas e os revestimentos de base cimentícia.

Como seria de esperar, o envelhecimento apresenta-se concomitante com a vida útil do produto. A simbologia de sinais positivos e negativos representa a velocidade do envelhecimento do produto, isto é, quanto mais sinais positivos, mais rápida será a perda de função do material.

Já a simbologia dos parâmetros da capacidade de alongamento, da resistência ao frio, da flexibilidade e da resistência às raízes representa que, quanto maior for a quantidade de sinais positivos, maior será a sua capacidade de resistir. De modo geral, de todas estas propriedades, os produtos que apresentam melhores qualidades são as membranas de EPDM.

Como referido, todos os materiais demonstram ser adequados ao meio ambiente, relevando-se tal uma característica importante, principalmente se se encontram em contacto com água ou solo, evitando assim a sua contaminação.

Por último, os modos de aplicação podem ser vários, nomeadamente através da auto adesão, soldadura, mecanicamente, por rolo (trincha) ou talocha. Ainda, consoante o comerciante, as dimensões dos rolos e espessuras nominais das várias membranas podem ser variados. No caso nos materiais manufacturados *in situ*, as quantidades em litros por metro quadrado (l/m^2) podem também variar.

Quadro 3.6 - Quadro resumo dos vários produtos

| Tipo de materiais | Vida útil (anos) | Alongamento | Envelhecimento | Resistência ao frio | Flexibilidade | Resistência às raízes | Meio ambiente | Modo de aplicação | Características gerais | |
|---------------------------------|--|----------------------------------|----------------|---------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------------|---|--|
| Materiais prefabricados | Betume insuflado | + | ++ | - | - | 0 | Inócuo | Soldadura | Espessura de 3 a 5 mm Comprimentos de 1 a 10 m | |
| | Betume -polímero APP | Poliéster (+) Fibra Vidro (-) | - | + | + | + | Inócuo | Soldadura | Espessura de 3 a 5 mm Comprimentos de 1 a 10 m | |
| | Betume -polímero SBS | Poliéster (+) Fibra Vidro (-) | - | + | + | + | Inócuo | Soldadura | Espessura de 2 a 5 mm Comprimentos de 10 a 20 m | |
| | Poliétileno de alta densidade (PEAD) | + | --- | + | + | + | Inócuo | Mecanicamente | Espessura de 0,40 a 0,60 mm Comprimentos de 20 m | |
| | Cloreto de polivinilo (PVC) | + | -- | + | + | + | Inócuo | Soldadura; mecanicamente | Espessura de 1,2 a 1,5 mm Comprimentos de 15 a 20 m | |
| | Polioléfinas (TPO) | + | -- | + | + | + | Inócuo | Soldadura; mecanicamente | Espessura de 1,2 a 2,5 mm Comprimentos de 20 a 25 m | |
| | Polipropileno e polietileno (PP e PE) | + | -- | + | 0 | 0 | Inócuo | Soldadura; mecanicamente | Espessura de 1,2 a 2,5 mm Comprimentos de 20 a 100 m | |
| | Etileno-propileno-dieno (EPDM) | ++ | - | ++ | ++ | ++ | + | Inócuo | Soldadura | Espessura de 1,5 mm Comprimentos de 15 a 40 m |
| | Geocompósito bentonítico | + | -- | ++ | ++ | + | + | Inócuo | Mecanicamente | Espessura de 6,4 mm Comprimentos de 2,5 a 5 m |
| | Materiais manufaturados <i>in situ</i> | Emulsão betuminosa | - | ++ | + | -- | -- | Normal | Rolo, trincha, talocha | - |
| Tinta betuminosa | | - | ++ | + | -- | -- | Inócuo | Rolo, trincha, talocha | - | |
| Revestimento de base cimentícia | | 0 | ++ | - | - | - | Inócuo | Talocha | - | |

Em certos materiais, a sua aplicação pode ser feita em multicapa, isto é, uma membrana aplicada sobre outra. Por exemplo, como apresentado no Quadro 3.7, todas as membranas de betume (oxidado, APP, SBS) podem ser todas aplicadas em mais do que uma camada, mas mantendo sempre o mesmo tipo de membrana. No caso dos materiais aplicados *in situ*, devem ser aplicados em mais do que uma camada, como forma de completar o sistema.

Quadro 3.7 - Possível aplicação de camada única ou múltiplas camadas nos diversos tipos de materiais

| Classificação | Denominação | Monocapa | Multicapa |
|---|---------------------------------|----------|-----------|
| Membranas prefabricadas | Betume | x | x |
| | Betume-polímero APP | x | x |
| | Betume-polímero SBS | x | x |
| | PEAD | x | |
| | PVC | x | |
| | TPO | x | |
| | PP | x | |
| | PE | x | |
| | EPDM | x | |
| | Geocompósitos bentoníticos | x | |
| Produtos manufacturados <i>in situ</i> | Emulsões betuminosas | | x |
| | Tintas betuminosas | | x |
| | Revestimento de base cimentícia | | x |

Foram ainda enumerados dois acessórios completos ao sistema: juntas de dilatação e tirantes. No último subcapítulo foi realizada uma análise de comparação das diversas vantagens e desvantagens dos produtos apresentados ao longo de todo o capítulo.

O conhecimento das características dos materiais é fundamental para se poder encontrar os sistemas de impermeabilização mais adequados a cada situação em particular.

Os sistemas de impermeabilização (Capítulo 4) são conseguidos com um vasto leque de materiais que importa conhecer correctamente e aprofundar cada vez mais, para poder seleccionar adequadamente os sistemas e as técnicas, económica e eficazmente mais vantajosos.

Em relação a materiais complementares, auxiliares e outros, todos os dias aparecem novos produtos que se impõe ensaiar para aferir a sua eficiência e a vantagem da sua utilização (Justo, 2004).

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO, TÉCNICAS E CAMPOS DE APLICAÇÃO

4.1 - Fundações

Assim como em toda a dissertação, são focados neste capítulo apenas três tipos de fundações: sapatas, ensoleiramento geral e estacas. Nos dois primeiros casos, estas fundações estão incluídas no grupo das fundações directas, sendo que as estacas são fundações profundas.

Ao longo do capítulo, são ainda indicados os materiais mais adequados a aplicar nos diferentes elementos e respectivos sistemas enumerados no capítulo anterior. Entre os materiais indicados estão: as membranas de betume oxidado; as de betume-polímero de APP e de SBS; as membranas de PEAD, de TPO, de PP, de PE e de EPDM; as mantas bentoníticas; as emulsões e tintas betuminosas e os revestimentos de base cimentícia.

Os sistemas de impermeabilização dependem da aplicação dos diferentes produtos, da técnica aplicada e do elemento construtivo a impermeabilizar. Estes podem ser formados por um ou mais produtos impermeabilizantes de modo a melhorar as capacidades do sistema de impermeabilização.

Os únicos artigos sobre descrição e execução de fundações no RGEU (Regulamento Geral das Edificações Urbanas) são os seguintes (RGEU, 1951):

Artigo 18.º

As fundações dos edifícios serão estabelecidas sobre terreno estável e suficientemente firme, por natureza ou por consolidação artificial, para suportar com segurança as cargas que lhe são transmitidas pelos elementos da construção, nas condições de utilização mais desfavoráveis.

Artigo 19.º

Quando as condições do terreno e as características da edificação permitam a fundação contínua, observar-se-ão os seguintes preceitos:

1. Os caboucos penetrarão no terreno firme até à profundidade de 50 centímetros, pelo menos, excepto quando se trate de rocha dura, onde poderá ser menor. Esta profundidade deve, em

todos os casos, ser suficiente para assegurar a distribuição quanto possível regular das pressões na base do alicerce;

2. A espessura da base dos alicerces ou a largura das sapatas, quando requeridas, serão fixadas por forma a que pressão unitária no fundo dos caboucos não exceda a carga de segurança admissível para o terreno de fundação;

3. Os alicerces serão construídos de tal arte que a humidade do terreno não se comunique às paredes da edificação, devendo, sempre que necessário, intercalar-se entre eles e as paredes uma camada hidrófuga. Na execução dos alicerces e das paredes até 50 centímetros acima do terreno exterior utilizar-se-á alvenaria hidráulica, resistente e impermeável, fabricada com materiais rijos e não porosos;

4. Nos alicerces constituídos por camadas de diferentes larguras a saliência de cada degrau, desde que o contrário se não justifique por cálculos de resistência, não excederá a sua altura.

Artigo 20.º

Quando o terreno com as características requeridas esteja a profundidade que não permita fundação contínua, directamente assente sobre ela, adoptar-se-ão processos especiais adequados de fundação, com observância, além das disposições aplicáveis do artigo anterior, de quaisquer prescrições especialmente estabelecidas para garantir a segurança da construção.

Artigo 21.º

As Câmaras Municipais, atendendo à natureza, importância e demais condições particulares das obras, poderão exigir que do respectivo projecto conste, quer o estudo suficientemente pormenorizado do terreno de fundação, de forma a ficarem definidas com clareza as suas características, quer a justificação pormenorizada da solução prevista, ou ambas as coisas.

Artigo 22.º

A compressão do terreno por meios mecânicos, a cravação de estacas ou qualquer outro processo de construir as fundações por percussão deverão mencionar-se claramente nos projectos, podendo as Câmaras Municipais condicionar, ou mesmo não autorizar, o seu uso sempre que possa afectar construções vizinhas.

Além das sugestões aqui apresentadas outras devem ser tidas, tais como: a devida compactação do terreno e a correcta limpeza da zona onde vai assentar o elemento, de modo a tornar a superfície regular e livre de sujidade (livre de zonas salientes que facilmente poderiam danificar o sistema de impermeabilização).

No subcapítulo seguinte, são retratados os diversos sistemas de impermeabilização da fundação do tipo sapata.

4.1.1 - Sapatas

Por pertencerem a fundações directas, o processo construtivo das sapatas começa pela abertura de cabouco semelhante ao apresentado nas Figuras 4.1 e 4.2. O elemento construtivo deve ser executado de forma eficiente com as dimensões indicadas no projecto e tendo em atenção as condições climáticas, evitando assim possíveis problemas de cura durante a sua execução. O processo de escavação pode ser manual ou mecanizado com recurso a equipamentos apropriados (retroescavadora) consoante a dimensão dos trabalhos a executar. Deve ser dada especial atenção às condições de segurança na execução da vala, nomeadamente na realização de escoramentos ao atingir profundidades superiores a 50 cm.



Figura 4.1 - Cabouco para receber fundação directa, sapata isolada [w₄₆]



Figura 4.2 - Cabouco para receber fundação directa, sapatas unidas por vigas [w₄₇]

Depois de aberto o cabouco, deve-se proceder à limpeza do solo e da terra vegetal existente no terreno (decapagem do terreno) preparando assim o local da futura fundação. Caso o solo não possua as características satisfatórias, deve proceder-se a algumas tarefas de melhoramento, a compactação, a vibração (no caso de solos arenosos) ou a adição de materiais. No entanto, devido ao nível freático que as águas podem atingir (devido a factores climatéricos ou à sua localização), a água poderá surgir no fundo da escavação. Neste caso, será necessário recorrer ao constante bombeamento da mesma.

O cabouco depois de aberto deve ser devidamente compactado, pois caso contrário poderá ocorrer a reestruturação do solo aquando da betonagem da fundação, diminuindo assim a resistência do solo à carga. De seguida, deve proceder-se à forra do cabouco com o material de impermeabilização adequado. De acordo com a informação disponível das principais empresas aplicadores de sistemas de impermeabilização, os produtos mais aconselhados de serem aplicados são membranas de PVC (3.2.1.2.1.2), de TPO (3.2.1.2.1.3), de EPDM (3.2.1.2.2.1) ou mantas bentoníticas (3.2.2.2), devido à sua grande capacidade de se moldar, sendo por isso a sua aplicação facilitada. As membranas de TPO e as de EPDM possuem uma flexibilidade inferior à das de PVC, o que eventualmente dificultará a sua aplicação.

As membranas referidas são consideradas as mais adequadas, quer pela sua capacidade de resistir a esforços elevados exercidos pelas fundações, quer pela capacidade de se moldar e fixar à superfície. A aplicação dos restantes materiais impermeabilizantes existentes, que teria de ser feita através de soldadura a quente, de pintura ou a espátula no caso de revestimentos de base cimentícia poderia eventualmente provocar defeitos e pontos críticos nas membranas, acabando por não cumprir a sua função ao longo da vida útil do elemento construtivo. Será então descrita a melhor forma de se impermeabilizar este tipo de fundações, focando as sapatas isoladas, visto que o procedimento para sapatas corridas é idêntico.

Após a aplicação do betão de regularização (betão de limpeza) no fundo do cabouco, é aconselhável a aplicação de um geotêxtil sobre o betão e em todas as paredes do cabouco (forrando-o de forma uniforme). Por possuir uma função drenante, o geotêxtil poderia ser dispensado num sistema de impermeabilização mas, devido ao seu carácter protector, o seu uso é aconselhado. No caso da existência de possíveis saliências no betão de limpeza, deve ser colocado um geotêxtil de protecção, de modo a evitar que pressões exercidas sobre as mesmas possam danificar e perfurar a membrana. O uso do geotêxtil permite ainda que os constituintes do solo não entrem em contacto directo com a membrana, o que levaria a uma rápida degradação da mesma. Consoante as forças exercidas sobre a membrana e a quantidade de água em contacto com a sapata a que está sujeita, a escolha do geotêxtil a aplicar deve passar pelo projectista.

Em seguida, deve proceder-se à aplicação de uma membrana prefabricada e, por último, de forma a completar o sistema, um novo geotêxtil, com o objectivo de evitar que a membrana se danifique durante a projecção do betão. É fundamental manter o posicionamento das armaduras durante a betonagem.

Os geocompósitos bentoníticos formam um sistema impermeabilizante uma vez que a argila em contacto com a água expande, levando ao aumento da membrana e à conseqüente união das membranas quando sobrepostas, devido à pressão exercida pelas duas camadas de bentonite. É possível, assim, observar na Figura 4.3 um caso real de impermeabilização da sapata com recurso a este geocompósito, numa obra portuguesa, a Fundação Champalimaud, em Lisboa.



Figura 4.3 - Sapata impermeabilizada com um geocompósito bentonítico (Acervo pessoal HPedroMartins)

Se se procedesse ao recobrimento da fundação com a impermeabilização logo após a betonagem, o betão não iria conseguir libertar a água do seu interior, pois não teria sido respeitado o tempo de cura de modo a permitir ao betão adquirir a resistência mínima, o que levaria à criação de humidades no interior da própria solução de impermeabilização do elemento.

Como tal, quando o betão da fundação atinge a “consistência” necessária, é possível proceder à restante impermeabilização da fundação, envolvendo-a pelas três camadas de material referidas. Para evitar futuros problemas, toda a membrana deve ser devidamente fixada de modo a evitar alterações na configuração do sistema de impermeabilização previsto quando soterrado.

Além das sapatas executadas *in situ*, é possível encontrar no mercado sapatas prefabricadas, raramente utilizadas, cujas condições de fabrico são devidamente controladas em fábrica. As mesmas possuem já o tempo de cura correcto, sendo por isso facilmente impermeabilizadas com uma camada de emulsão betuminosa como forma inicial de sistema, facilmente aplicado em obra ou directamente em fábrica. É desta forma dispensado o geotêxtil entre o elemento e a membrana, pois

o perigo de ruptura por pressão da betonagem deixa de existir (Figura 4.4). As sapatas são depois facilmente envolvidas por qualquer uma das membranas prefabricadas enumeradas no capítulo três.



Figura 4.4 - Sapatas isoladas prefabricadas impermeabilizadas com emulsão betuminosa e membrana [w₄₈]

Na Figura 4.5, pode observar-se a inexistência de caboucos, dado que o terreno foi devidamente compactado em toda a sua extensão. As sapatas prefabricadas foram distribuídas pelos locais estipulados e, por último, procedeu-se ao aterro de toda a área livre. Após este processo, o solo aterrado deve ser novamente compactado e, por fim, dá-se início à execução da laje de fundo do edifício.

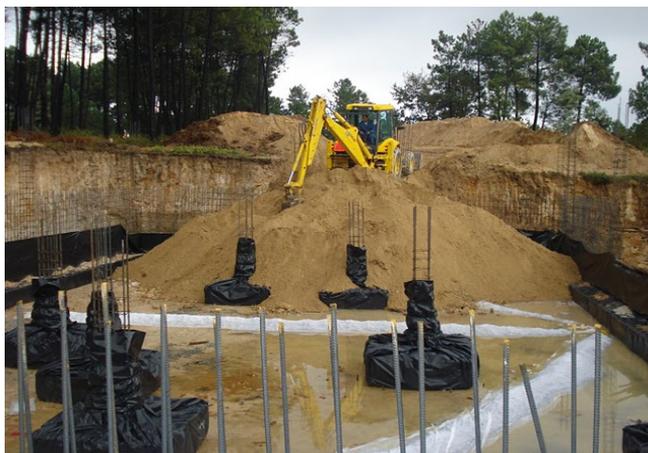


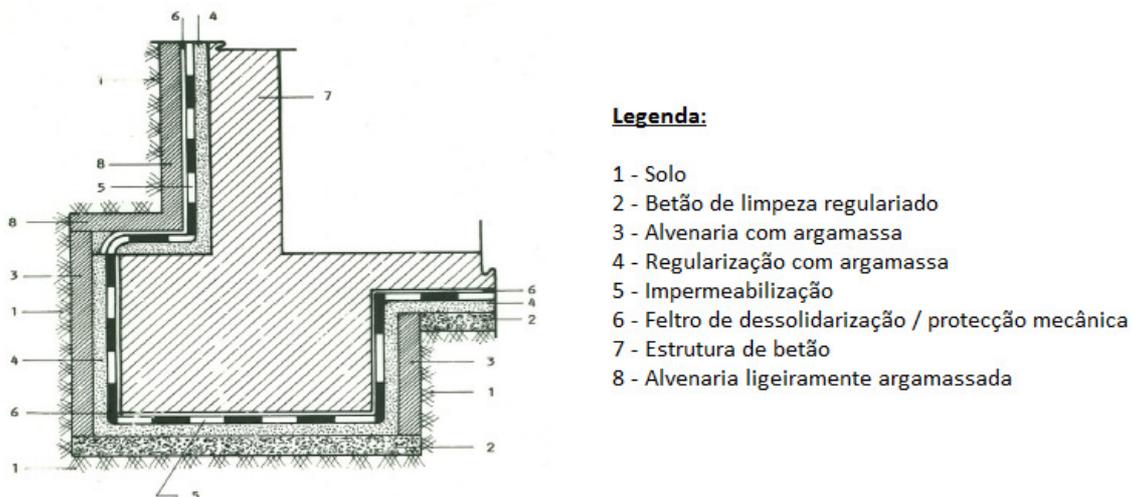
Figura 4.5 - Soterramento depois das sapatas impermeabilizadas [w₄₈]

Na Figura 4.6, é possível observar a solução final de impermeabilização, com todas as camadas de protecção e impermeabilização propostas.

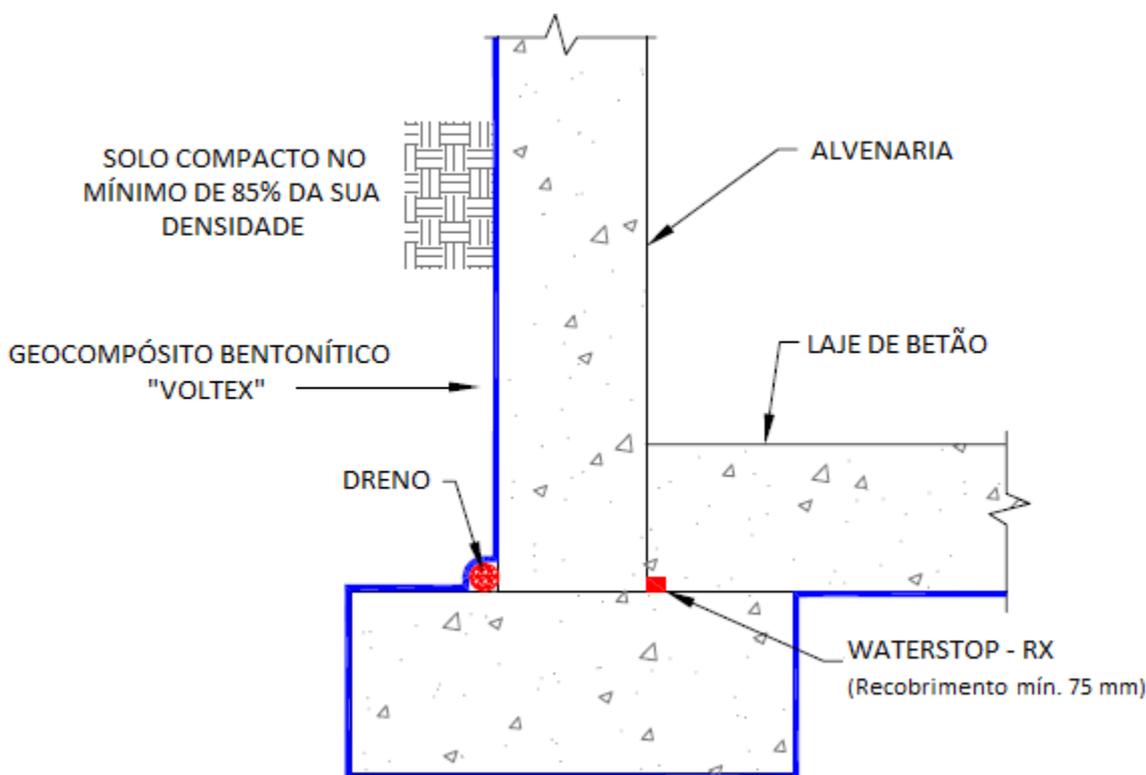


ssoa]]

Na Figura 4.7, é também incluído o geotêxtil (feltro de dessolidarização) como meio de protecção da membrana. Neste caso, apenas envolve a sapata entre a membrana e o elemento, reaparecendo na zona superior por cima da membrana. Esta solução é a mais indicada no caso de o nível freático se encontrar acima da superfície inferior da sapata e deste modo consegue-se economizar o geotêxtil no sistema de impermeabilização, o que poderia dificultar a sua execução. Ainda neste caso, recorreu-se ao uso de uma alvenaria de argamassa como forma de protecção exterior à membrana.



É importante salientar a necessidade de impermeabilizar a laje de fundo como forma de dar continuidade ao sistema. Esta situação está patente nas Figuras 4.7 e 4.8, através de um exemplo de um pormenor técnico, onde o elemento construtivo foi impermeabilizado com um geocompósito bentonítico.



apata

É possível observar ainda na Figura 4.8 o *waterstop* (*redstop*, denominação geral, para um *waterstop* vermelho) entre a junta de betonagem da sapata e a laje de fundo. Como referido no capítulo anterior, é aconselhável cumprir uma largura da laje de betão de 75 mm para que o betão não fissure.

No caso das fundações do tipo vigadas, a impermeabilização pode ser feita de maneira idêntica à de uma sapata. No entanto, devido à sua extensão, deve-se tomar especial atenção na betonagem ao longo do elemento, evitando um maior número de juntas através da execução de uma betonagem quase contínua. Tendo em atenção todos estes factores e por se tratar de um sistema complexo, é fundamental ter-se a noção de que a impermeabilização de uma fundação deste tipo pode facilmente aumentar os pontos críticos do sistema e tornar-se mais dispendiosa, dado o número de remates, dobras e recantos existentes comparativamente à realização de um ensoleiramento geral.

Como tal, é aconselhado ao dono de obra / projectista, se economicamente viável, a substituição da sapata vigada por uma fundação do tipo ensoleiramento geral, que será abordado no próximo subcapítulo deste documento. No entanto, é possível, como se pode verificar na Figura 4.9, a impermeabilização de sapatas e das vigas de fundação, neste caso com uma manta bentonítica.



Figura 4.9 - Impermeabilização de fundações do tipo sapata vigada [w₄₉]

4.1.2 - Ensoleiramento geral

A impermeabilização neste tipo de fundações é realizada de forma idêntica à de uma laje de fundo, pois podem ser impermeabilizadas por ambas as faces, tanto superior como inferior. A única diferença entre estes dois tipos de fundação apresenta-se apenas ao nível da execução do próprio elemento, resultando numa diferença de espessuras e consequentemente de resistência. No caso da laje de fundo, esta não suporta as cargas do edifício, apenas faz o limite entre este e o solo, sendo as cargas aplicadas nas fundações, sapatas ou estacas, consoante o caso. Já o ensoleiramento suporta toda a carga exercida pelo edifício, visto ser esta a sua função enquanto fundação.

Quando realizada pela superfície inferior, a impermeabilização é mais segura, pois evita o contacto directo da humidade com o elemento e quaisquer danos no ensoleiramento geral a curto prazo, uma vez que o mesmo se encontra totalmente vedado. Neste caso, o sistema adoptado deve respeitar as seguintes camadas: um geotêxtil, uma membrana prefabricada e um geotêxtil, de forma idêntica ao aplicado nas sapatas.

O processo deve iniciar-se com uma correcta compactação do solo, que permita assentar todo o ensoleiramento geral e, consequentemente, o peso do edifício de forma equilibrada. A compactação deve ser sempre realizada com equipamentos adequados, tendo em conta o tipo de solo em causa.

Uma zona que não se encontre devidamente compactada poderá sofrer pequenas movimentações de terras, os chamados abatimentos. Estas movimentações podem ser de maiores dimensões no caso de extrema deficiência de compactação. Ao longo do tempo, podem dar-se reestruturações do solo, por exemplo: quando surge um reagrupamento diferente das partículas devido a alterações do nível freático e, principalmente se o edifício se encontrar junto a uma linha de

água, pode dar-se o abatimento do terreno. Assim, a fundação ao longo da sua vida útil pode perder a sua horizontalidade e provocar esforços prejudiciais aos pilares. Como tal, sempre que possível, é útil recorrer a ensaios que proporcionem a informação concreta da qualidade da compactação.

Na Figura 4.10, é possível ver um cilindro de porte médio a compactar o solo em que está inserido, preparando o terreno para receber o ensoleiramento geral como fundação do futuro edifício.



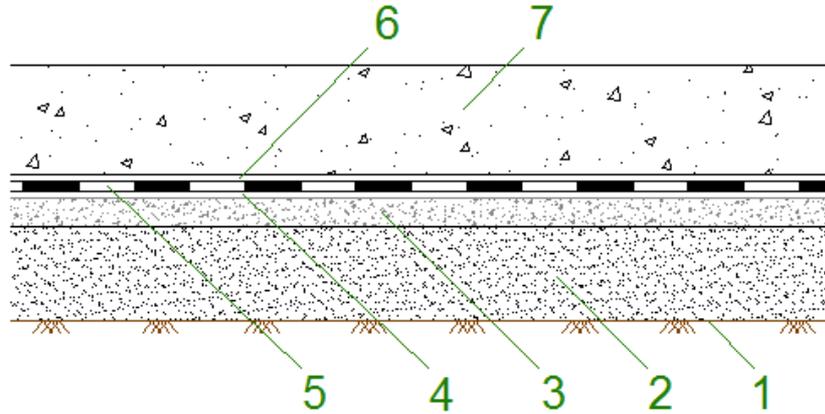
Figura 4.10 - Compactação do solo com o auxílio do equipamento cilindro [w_{50}]

Na Figura 4.11, pode observar-se o ensaio de carga com placa (EPC), em que camião exerce carga sobre o instrumento de medição, indicando os resultados objectivos necessários para comparação e conclusão sobre se o terreno se encontra em condições. Neste tipo de ensaio, é imprescindível que a terra esteja distribuída uniformemente e que se conheça o peso exacto do camião, pois só assim os cálculos poderão ser correctos.



Figura 4.11 - Ensaio de carga com o auxílio de um camião carregado de terra [w_{51}]

Depois de realizado o tratamento ao solo, inicia-se a aplicação da camada de betão de limpeza (regularização) com a espessura indicada em projecto. Toda a área do ensoleiramento deve ser devidamente coberta e uniformizada. A sua função é tanto a de regularizar a superfície do solo, como a de evitar o contacto directo entre o betão do elemento construtivo e o solo. Na Figura 4.12, tem-se o sistema de um ensoleiramento geral impermeabilizado pela face inferior.

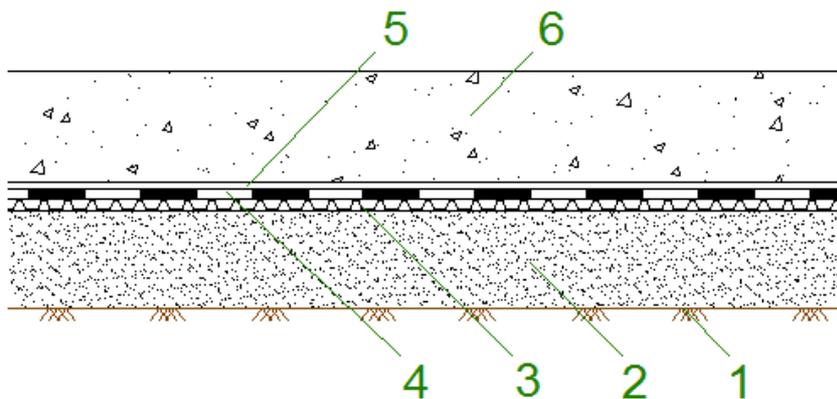


Legenda:

- 1 - Solo
- 2 - Enrocamento
- 3 - Betão de limpeza regularizado
- 4 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica e de drenagem)
- 5 - Membrana impermeável
- 6 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 7 - Fundação do tipo ensoleiramento geral

[arquivo pessoal]

Outro dos sistemas é apresentado na Figura 4.13 e consiste na substituição do primeiro geotêxtil (o mais próximo do betão de regularização) por um painel alveolar de PEAD com a mesma função. É possível observar, na figura, os nódulos do painel voltados para cima. Deste modo, o interior do nódulo drenará a água que possa existir no solo evitando a aproximação desta à membrana.



Legenda:

- 1 - Solo
- 2 - Enrocamento
- 3 - Painel alveolar de PEAD
- 4 - Membrana impermeável
- 5 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 6 - Fundação do tipo ensoleiramento geral

[arquivo pessoal]

Na Figura 4.14, é possível observar mais um sistema de prevenção do contacto da água com o elemento construtivo. Neste caso, é apresentado um painel alveolar de PEAD como substituto de uma membrana impermeável ou geotêxtil [w₅₂]. Caso seja necessário, o painel alveolar poderá ser reforçada por um geotêxtil que ficará em contacto com o solo e cujos nódulos ficarão de forma inversa (para baixo). Para não ocorrerem danos no painel devidos à carga excessiva, nem provocar diferentes movimentos na fundação, este sistema deve ser aplicado apenas na construção de edifícios de pequeno porte. Entende-se que não se trata de um sistema impermeabilizante, não sendo por isso apropriado quando o nível freático existe junto ao elemento construtivo.

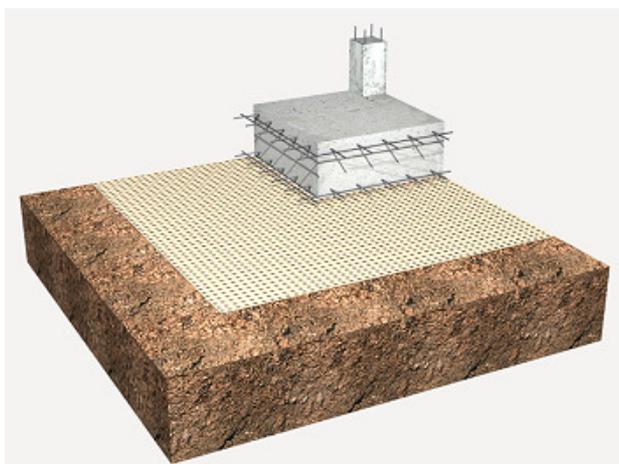


Figura 4.14 - Representação da membrana PEAD no fundo da fundação ensoleiramento geral [w₅₂]

Um outro sistema pode conseguir-se com a exclusão de qualquer material entre a camada de regularização e a membrana, sendo fundamental verificar que o betão de limpeza esteja devidamente regular de modo a não haver danos na membrana de impermeabilização.

O último sistema de impermeabilização foca-se apenas na membrana aplicada directamente sobre a camada de regularização sobre a qual é realizada directamente a betonagem. É importante recorrer a mão-de-obra especializada, de modo a detectar com maior facilidade possíveis cortes na membrana e a proceder ao seu remate.

Em qualquer um dos sistemas apresentados, é aconselhado o uso de membranas de espera, isto é, a membrana deve ser mais comprida do que a área do ensoleiramento para que facilmente se consiga cobrir as faces laterais da fundação. Assim, depois de betonada a fundação, a membrana pode cobrir as faces laterais evitando a entrada de humidade, o que tornaria o sistema ineficiente.

Na existência de uma fundação do tipo ensoleiramento geral, tem-se como pressuposto a existência de paredes laterais em toda a sua área; como tal, deve também ter-se em atenção a subida da membrana pelo elemento vertical, assunto que é aprofundado no subcapítulo 4.3.1.

Todos os sistemas anteriores retratam possíveis soluções a serem aplicadas na superfície inferior da fundação. Em seguida, são referidos os melhores sistemas a aplicar na face superior. É em geral suficiente que a impermeabilização seja realizada apenas numa das superfícies, para conduzir a uma melhor relação custo-benefício a longo prazo.

Caso se decida por uma impermeabilização realizada pela superfície superior do ensoleiramento geral, não será evitada a deterioração do elemento de fundação, é apenas acrescentada uma barreira à humidade para que esta não atinja a lajeta de betão como protecção da membrana. O betão só por si impede a entrada de água durante algum tempo. Quando o betão fica totalmente submerso, o que provoca o preenchimento de todos os vazios no elemento, saturando a zona e fragilizando-a, este sistema de impermeabilização não é aconselhado.

É assim possível observar, na Figura 4.15, uma impermeabilização realizada com uma membrana polimérica. De seguida, procede-se à betonagem da laje de fundo, apresentada também nesta figura.

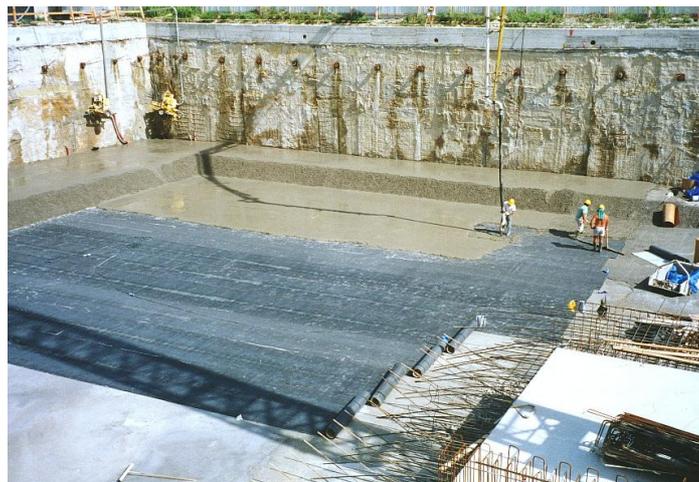
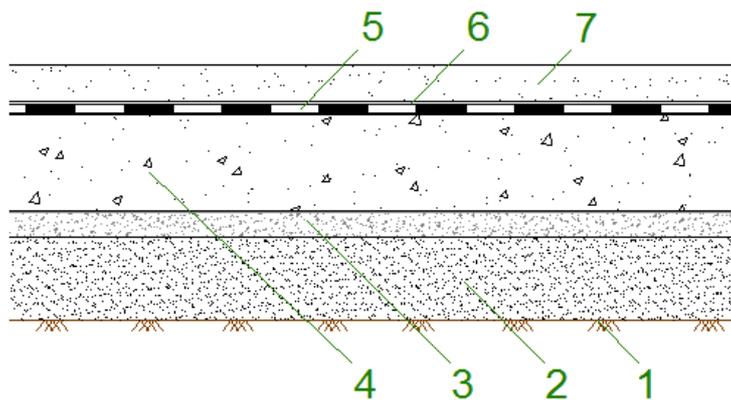


Figura 4.15 - Betonagem da laje de fundo depois de impermeabilizado o ensoleiramento geral na face superior [w₅₃]

Também na Figura 4.16, pode observar-se um exemplo de desenho técnico da impermeabilização pela face superior. Este tipo de sistema pode ser feito por qualquer dos materiais citados no capítulo três, tanto com materiais manufacturados *in situ* como por materiais prefabricados. É sabido que os materiais manufacturados *in situ* não funcionam por si só como um sistema de impermeabilização adequado e, como tal, é comum auxiliar o sistema com uma membrana impermeável.



Legenda:

- 1 - Solo
- 2 - Enrocamento
- 3 - Betão de limpeza regularizado
- 4 - Fundação do tipo ensoleiramento geral
- 5 - Membrana impermeável (qualquer das membranas prefabricadas enumeradas no capítulo três)
- 6 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 7 - Lajeta de betão

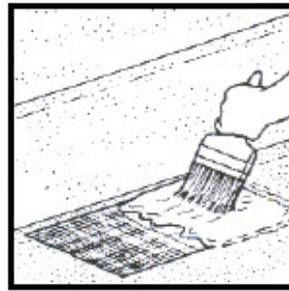
superior [arquivo pessoal]

Assim, numa impermeabilização deste tipo, é possível substituir o primeiro geotêxtil pela aplicação de emulsões ou tintas betuminosas. Para estes casos é necessário assegurar que a superfície do ensoleiramento se encontre totalmente livre de impurezas e saliências que possam danificar a emulsão. A superfície deve encontrar-se regular e firme, garantindo-se o suporte da emulsão e a uniformidade do produto final (Perdigão, 2007). De forma geral, a impermeabilização apenas é aplicada em novas fundações, sendo, por isso, importante que se cumpra o tempo de cura necessário (28 dias) (Perdigão, 2007) [w₅₄].

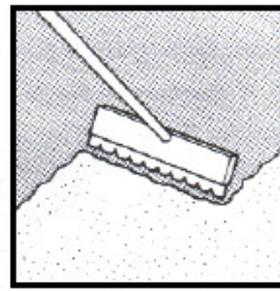
A aplicação de uma emulsão betuminosa deve ser feita no mínimo em duas camadas. A zona onde se vai aplicar a emulsão deve ser previamente seca para que esta adira mais facilmente. A primeira demão aplicada serve de primário, enquanto que a segunda demão tem a função de proporcionar a consistência e espessura necessária à impermeabilização. O tempo de secagem entre a aplicação das camadas deve ser cumprido, seguindo sempre que possível a orientação do fornecedor do produto. O tempo médio de secagem entre as aplicações é de cerca de três horas.

A espessura da segunda camada deve estar compreendida entre 2 e 4 mm, devendo-se por isso recorrer a mão-de-obra especializada, com o intuito de atingir uma camada suficientemente uniforme e com a espessura suficiente.

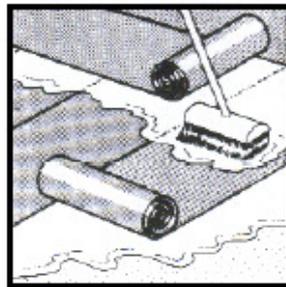
Por se tratar de uma aplicação horizontal, no caso do ensoleiramento geral, a aplicação pode ser feita das seguintes formas apresentadas na Figura 4.17, no caso de materiais manufacturados *in situ*.



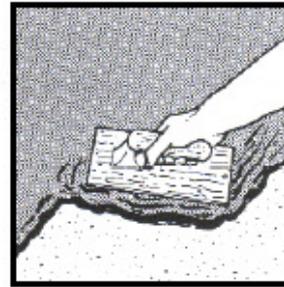
a) Trincha



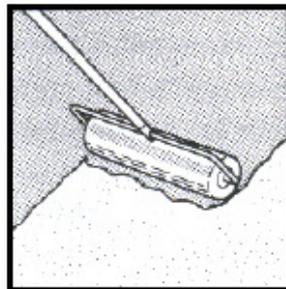
b) Rolo dentado



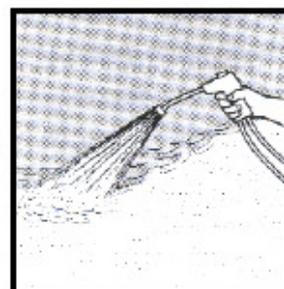
c) Escova



d) Talocha



e) Rolo



f) Pistola

u (Grandão Lopes, 2006)

Assim como as emulsões betuminosas, também os revestimentos de base cimentícia são materiais manufacturados *in situ* e podem ser aplicados de igual modo do que as emulsões; no entanto, o uso de ambos é desaconselhado por serem pouco eficientes na protecção de um ensoleiramento geral.

As diferentes camadas de impermeabilização de revestimento de base cimentícia são denominadas de regularização (primeira camada) e de acabamento da impermeabilização (segunda camada). O tempo entre elas deve ser o necessário para que a primeira camada adquira a consistência suficiente permitindo-lhe receber uma segunda camada. De forma geral, o tempo de cura da argamassa é de cerca de quatro dias, sendo ainda aconselhável molhar a argamassa regularmente em períodos de seis em seis horas, obtendo assim uma cura próxima do óptimo (Perdigão, 2007).

A sua aplicação deve ser feita apenas quando o betão adquire resistência suficiente para que a superfície receba da melhor forma o material impermeabilizante, mesmo que o tempo de cura não tenha sido cumprido na sua totalidade (Narzarchuk, 2005).

No caso de membranas de betume oxidado, o principal processo actualmente usado será por soldadura à superfície (chama de maçarico). Este processo visa uma união localizada de materiais idênticos, isto é, os materiais quando sujeitos ao calor fundem-se num só, formando uma barreira única. Membranas que se aplicam de modo semelhante são as membranas de betume-polímero de APP e de betume-polímero de SBS, bem como as de PVC, as de TPO, de PP e as de PE.

Relativamente às últimas quatro membranas referidas, a sua ligação é feita através de termosoldadura (cunha quente ou insuflação de ar quente). Os equipamentos usados são visualizados no capítulo anterior (Figuras 3.6 e 3.7).

Na Figura 4.18, é possível observar a aplicação de uma membrana de EPDM, não aderida à superfície, sendo que no final se irá apenas proceder à ligação das membranas entre si. Também as membranas de EPDM são aplicadas através da soldadura, mas a união entre membranas é feita por vulcanização. Este processo baseia-se no aquecimento do produto derivado de borracha, que se funde quando sujeito ao calor. O método de ligação mais correcto entre elas é através de colas aplicadas apenas numa ou nas duas superfícies das membranas a colar.



Figura 4.18 - Aplicação de membrana de EPDM sobre ensaleiramento geral [w₅₃]

Como forma de concluir a execução do elemento de fundação, é necessário betonar a lajeta de betão uniformemente evitando a realização de juntas.

Neste tipo de fundações, é importante que haja uma continuidade entre o elemento horizontal (ensaleiramento geral) e o elemento vertical (na maioria dos casos uma parede). Será por isso indispensável o estudo das técnicas mais adequadas as quais são aprofundadas no subcapítulo 4.3.1.

4.1.3 - Estacas

Existem dois casos possíveis de impermeabilização das estacas, a cabeça da estaca simples ou o maciço de encabeçamento da estaca que em geral alberga mais do que uma estaca. Como referido, não é possível impermeabilizar o fuste da estaca; como tal, deve proceder-se à impermeabilização da zona em contacto directo com os elementos construtivos acima destas.

Para uma correcta impermeabilização da zona, a cabeça da estaca deve ser devidamente limpa e livre de impurezas para que o produto impermeabilizante possa atingir de forma uniforme a superfície. É possível observar na Figura 4.19 a zona superior da estaca, depois de betonada, pronta para receber o material de impermeabilização.



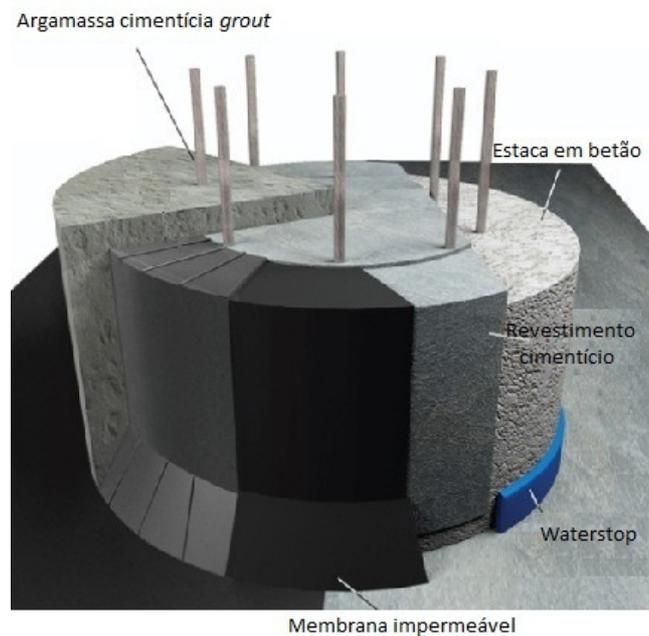
ra 4.19 - Limpeza da zona superior da estaca [w₅₂]

É conveniente que a impermeabilização se efectue em toda a zona em contacto com o solo, isto é, é inútil impermeabilizar o topo da estaca e depois não proteger a superfície inferior da laje. Será então necessário que a membrana aplicada na horizontal vá ao encontro do topo da estaca, procedendo-se à forra da cabeça da sapata. Como se pode observar na Figura 4.20, a zona horizontal da estaca é impermeabilizada com um produto de base cimentícia.

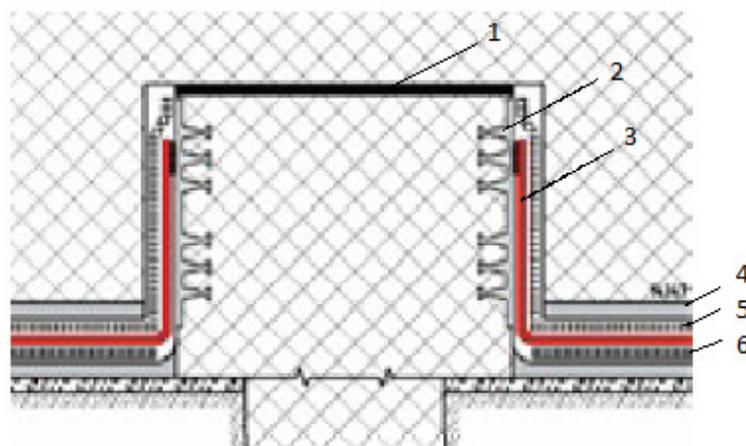


No entanto, na zona lateral deve receber um arco que “abraçe” o elemento construtivo estaca, para que depois se possa proceder à impermeabilização. Este arco denominado por

waterstop, forma uma barreira à água, conforme indicado na Figura 4.21. No pormenor da figura, são facilmente identificados todos os acessórios inerentes a uma correcta impermeabilização.



Devido à sua flexibilidade e capacidade de impermeabilização, a membrana mais aconselhável será a membrana de PVC-P, mas também é possível encontrar soluções em membranas de TPO ou geocompósitos bentoníticos [w₅₄]. Na Figura 4.22, é apresentada uma proposta de um desenho técnico de impermeabilização.



Legenda:

- 1 - Argamassa cimentícia *grout*
- 2 - Junta em PVC
- 3 - Membrana impermeável
- 4 - Fundação do tipo ensoleiramento geral
- 5 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 6 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica e de drenagem)

07)

Como se pode ver na figura, deve existir uma continuidade da impermeabilização do pavimento até à cabeça da estaca, na qual deve ser aplicada uma a duas camadas de base cimentícia e, de seguida, deve ser aplicada a membrana vedando uniformemente toda a lateral da cabeça. Conclui-se, assim, que a impermeabilização é realizada como um sistema, recorrendo ao uso de um revestimento de base cimentícia e de uma membrana impermeabilizante.

O segundo elemento construtivo a ser estudado será a impermeabilização do maciço de encabeçamento das estacas. Entende-se por maciço, a laje que une a cabeça de várias estacas. Nas Figuras 4.23 e 4.24, estão representados o maciço de encabeçamento ainda por impermeabilizar e uma situação idêntica na mesma empreitada depois de impermeabilizada.



Figura 4.23 - Maciço de encabeçamento que une as várias estacas [w₅₆]



Figura 4.24 - Maciço de encabeçamento a ser impermeabilizado [w₅₆]

Assim como no caso das sapatas, na impermeabilização do maciço de encabeçamento ou apenas da cabeça da estaca, deve recorrer-se a membranas de PVC, de TPO, de EPDM ou a mantas bentoníticas, dado que estes materiais são recomendados pelas principais empresas comerciantes de Portugal, devido à sua flexibilidade e ao seu modo de aplicação. Sempre que seja necessário efectuar

uma ligação entre membranas, esta será mais eficaz, se a membrana utilizada for do mesmo tipo, quer na superfície inferior quer na superior.

Na Figura 4.25, pode observar-se um pormenor de impermeabilização. A membrana percorre todas as zonas do maciço, tanto as laterais das estacas como a superfície inferior e superior do maciço.

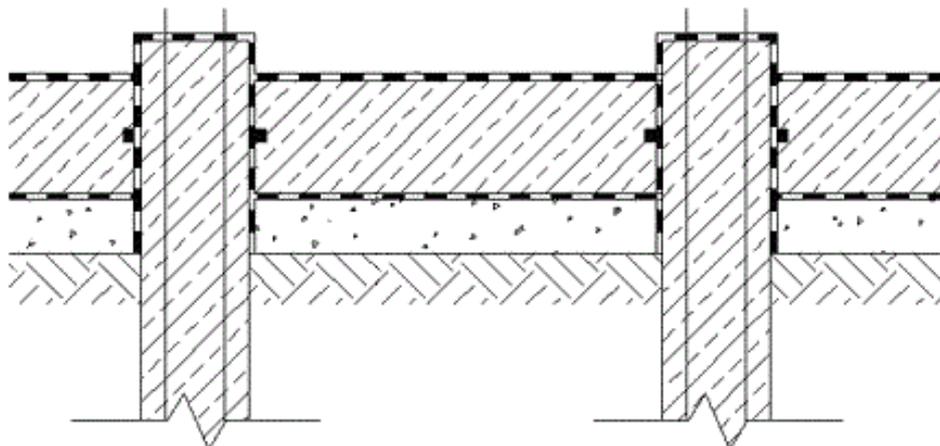


Figura 4.25 - Proposta de impermeabilização de um encabeçamento de estaca [w₅₇]

É possível ver, na Figura 4.26, um exemplo real de impermeabilização de um maciço de encabeçamento de uma estaca, novamente durante a construção do edifício da Fundação Champalimaud, Lisboa. Mais uma vez, o sistema de impermeabilização escolhido foi com o recurso a um geocompósito bentonítico.

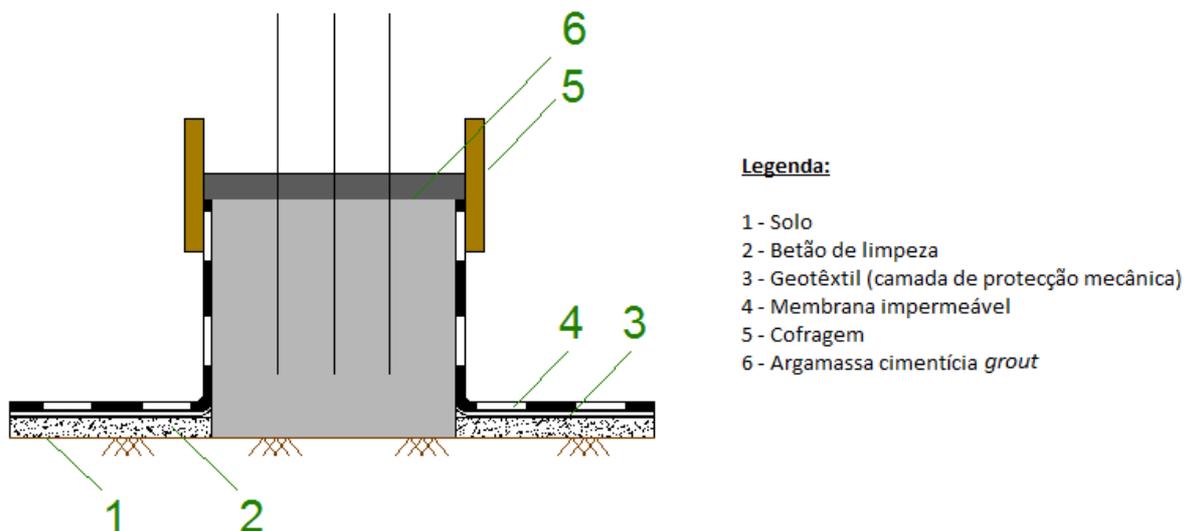


Figura 4.26 - Impermeabilização dos maciços de encabeçamento com o recurso a geocompósitos bentoníticos
(acervo pessoal HPedroMartins)

A impermeabilização da estaca é realizada de forma igual à descrita acima, visto que as estacas são executadas antes do maciço. Depois, procede-se à impermeabilização da superfície inferior do maciço, de forma idêntica a um ensoleiramento geral. Como tal, é aconselhável o uso de um primeiro geotêxtil seguido de uma membrana impermeabilizante e, por último, um novo geotêxtil. Só então se deverá proceder à betonagem do maciço em toda a área em volta das estacas.

Na superfície superior, é novamente aconselhado o uso do mesmo tipo de membrana, mas é sempre possível usar-se outro tipo de membrana. Para este caso, é possível dispensar o geotêxtil entre o maciço e a membrana, fazendo assim uma melhor ligação à superfície, aplicando directamente a membrana impermeável sobre o elemento construtivo. A protecção da superfície inferior tem como função evitar a passagem de água por capilaridade na construção, bem como evitar o contacto da humidade com o elemento construtivo. No entanto, a impermeabilização realizada na zona superior tem a propriedade de encaminhar para fora da construção águas que possam afluir do interior do edifício para o elemento.

A próxima solução tem como objectivo combater uma incorrecta impermeabilização lateral formada por espaços vazios entre a cabeça da estaca e o *waterstop*. Nesse caso, recorre-se a uma argamassa monocomponente de retracção compensada, de base cimentícia, designada de *grout*, criando assim uma barreira impermeável. Depois de descasque do topo da estaca, deve proceder-se à sua correcta limpeza, pois a existência de impurezas prejudicaria a ligação entre o “velho” betão e o novo revestimento. Para isso, deve picar-se o topo da estaca deixando-a com uma superfície rugosa e, de seguida, coloca-se a cofragem de forma redonda, impermeabilizando em toda à volta com o dito produto *grout*. Este produto é bastante resistente e, como tal, é um material indicado para aplicação em zonas mais críticas como esta. É assim possível observar o pormenor técnico da hipótese de impermeabilização apresentada (Figura 4.27).



a)]

A última solução apresentada foi criada pela empresa Sotecnisol e consiste numa superfície de continuidade da cabeça da estaca, em ferro, com varões de aço termosoldados impossibilitando a passagem de água (Figura 4.28).



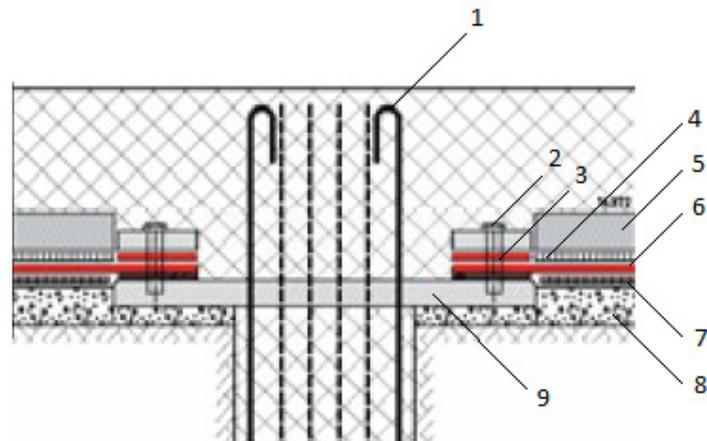
Figura 4.28 - Solução apresentada pela empresa Sotecnisol (acervo pessoal João Justo)

É ainda importante reforçar com uma nova banda de membrana impermeável de forma quadrada, a zona entre a chapa onde se encontram os parafusos. Esta nova membrana deve ser devidamente soldada à membrana abaixo. O próximo passo será fixar a chapa com os respectivos varões à cabeça de estaca; para isso, é necessário perfurar a cabeça da estaca de forma a receber os varões, ligando-os com betão novo. Depois, é útil a colocação de mais uma membrana em forma de anel, apenas com furações nos locais dos parafusos termosoldados, permitindo assim a colocação da membrana entre chapas. Como tal, por último, é colocada uma última chapa de fixação, como se pode ver na Figura 4.29.



Figura 4.29 - Sistema final de impermeabilização da estaca (obra do Banco de Portugal) (acervo pessoal João Justo)

Pode-se por isso observar, na Figura 4.30, o pormenor técnico da empresa Sika que reconheceu como uma técnica eficaz a aplicada em Portugal, pela empresa Sotecnisol. A empresa entende que a solução por eles aplicada, por mais dispendiosa que seja, apresenta-se como a mais eficiente e de fácil aplicação em obra, aumentando por isso a vida útil do elemento. Visto que um sistema de impermeabilização que utilize um *waterstop* não se torna totalmente eficaz, pode-se assim, através deste processo, colmatar este ponto singular.

**Legenda:**

- 1 - Armaduras termosoldadas ao sistema de continuidade
- 2 - Parafusos devidamente termosoldados
- 3 - Membrana impermeável em redondo, entre a chapa de continuidade e a chapa de aperto dos parafusos
- 4 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 5 - Laje de pavimento
- 6 - Membrana impermeável
- 7 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica e drenante)
- 8 - Betão de limpeza
- 9 - Sistema de continuidade da cabeça da estaca

ika, 2007)

No subcapítulo seguinte, é abordada a forma mais correcta de impermeabilizar e corrigir os pontos singulares que possam surgir nos sistemas de impermeabilização apresentados.

4.2 - Pontos singulares

Pontos singulares são potenciais fragilidades dos elementos construtivos que devem ser devidamente tratadas de modo a impedir a passagem de água. Tanto podem ser fissuras, juntas de dilatação, orifícios de passagem de tubagens, tiges de cofragens do betão, como pontos em que a membrana necessita de ser dobrada, o que pode danificar a sua estrutura, devendo a mesma de ser correctamente reforçada.

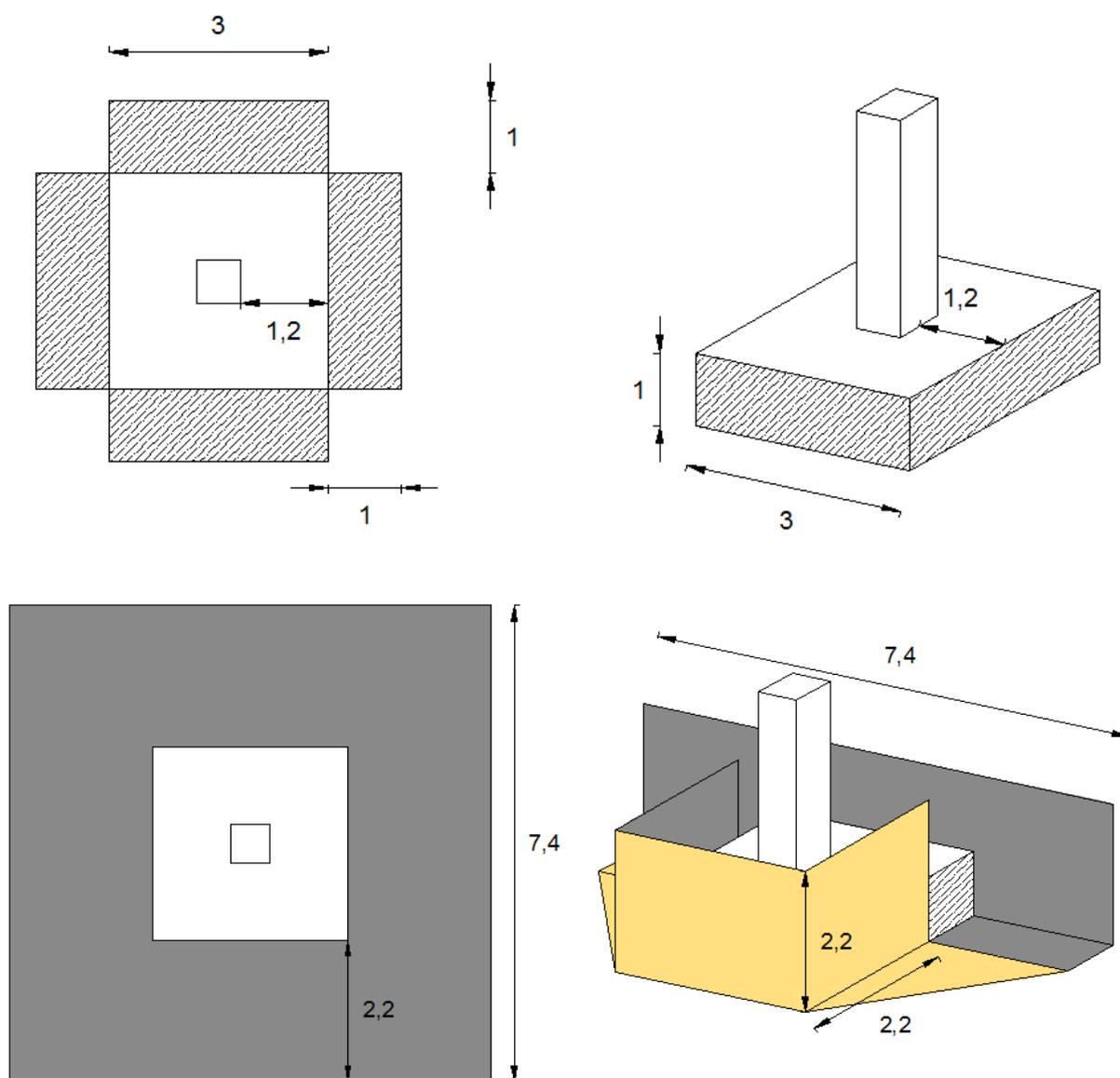
Neste subcapítulo 4.3, são retratados três pontos críticos a que se deve ter uma maior atenção quando aplicada a impermeabilização: pormenor das dobras a realizar em sapatas; extremidade da membrana na base do pilar e pormenorização do ensoleiramento geral e dos elementos verticais.

4.2.1 - Pormenor das dobras a realizar em volta da sapata

Ao longo deste subcapítulo, é descrito o modo de impermeabilizar o tipo de fundação sapata. As medidas utilizadas são apenas uma referência e representam uma sapata quadrada de três metros de lado e um metro de profundidade.

O padrão riscado representa um geotêxtil escolhido em projecto, a membrana impermeável pode ser de PVC, de EPDM, de TPO (flexibilidade decrescente) ou um geocompósito bentonítico. O exemplo específico representa uma membrana de PVC de duas cores, preta e amarela, em que a zona escura se coloca no interior e a clara no exterior.

As imagens apresentadas à esquerda representam a vista da sapata em planta enquanto que as da direita representam o perspectiva da sapata, unidades em metros (Figura 4.31).

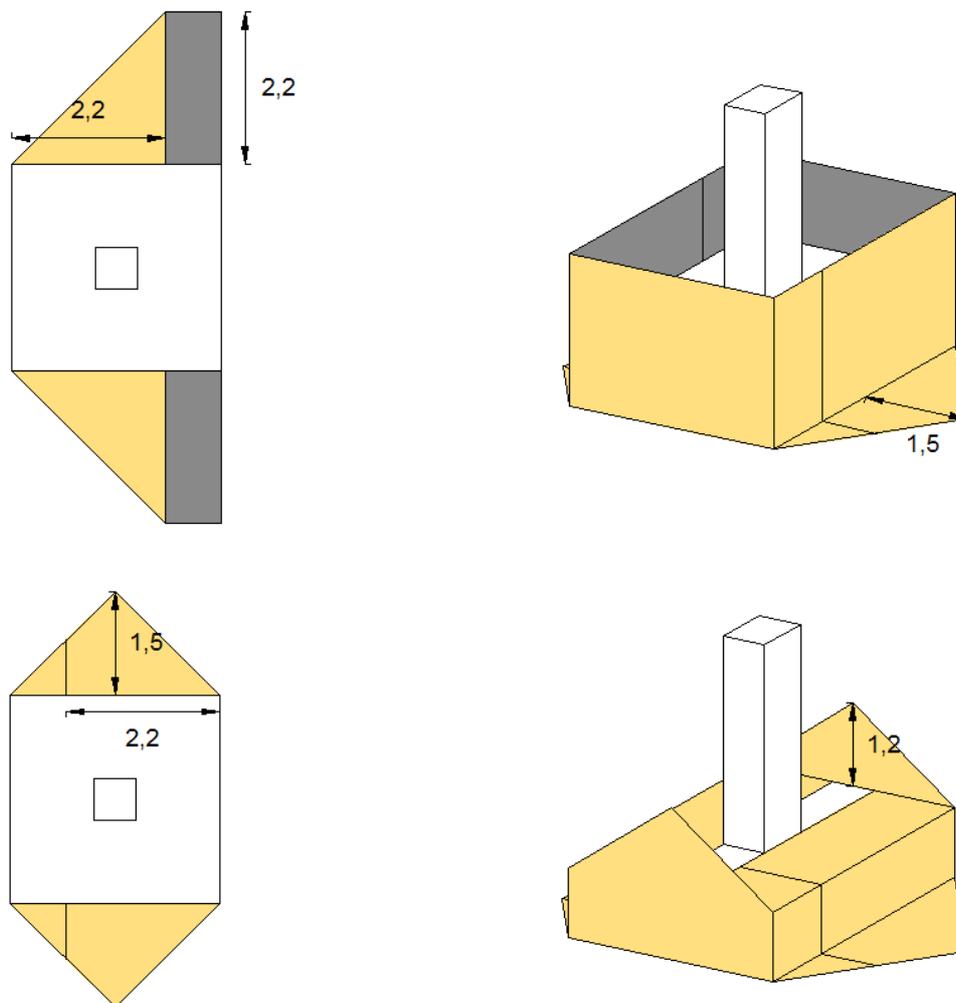


ivo pessoal]

O geotêxtil representado na primeira imagem necessita apenas de ter a dimensão da profundidade da sapata, visto que o geotêxtil não necessita de envolver a superfície horizontal do topo da sapata, mas sim de proteger a membrana impermeável abaixo dela, aquando da betonagem do elemento construtivo.

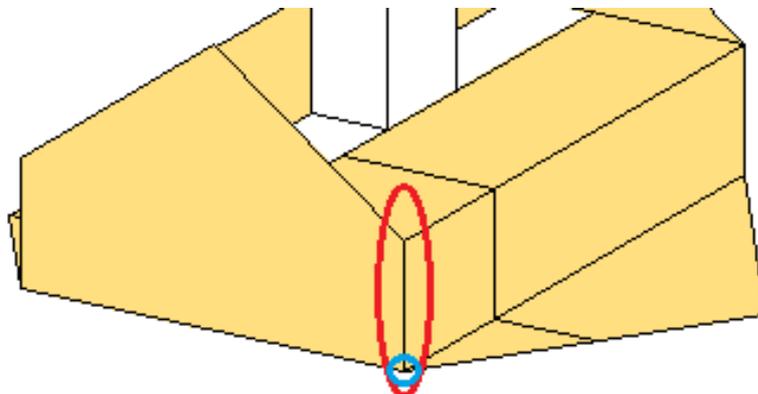
No entanto, a membrana deverá ser suficiente para atingir e envolver toda a zona superior. Para que a arestas da sapata não resultem num ponto frágil da impermeabilização, não deverão ser efectuados quaisquer cortes na membrana; esta deve ser aplicada numa forma quadrada ou rectangular, devendo as dobras ser efectuadas de acordo com o apresentado na Figura 4.31. Já no geotêxtil poderão ser executados cortes como apresentados na primeira imagem da Figura 4.31.

Na última imagem da Figura 4.31, pode observar-se o procedimento em que se sobe um dos lados da membrana, de forma idêntica a um embrulho, fazendo um triângulo de dois catetos de comprimentos iguais de 2,20 m, fixando-a com os devidos acessórios, neste caso com recurso a arandelas. A Figura 4.32 ilustra a continuação deste processo.



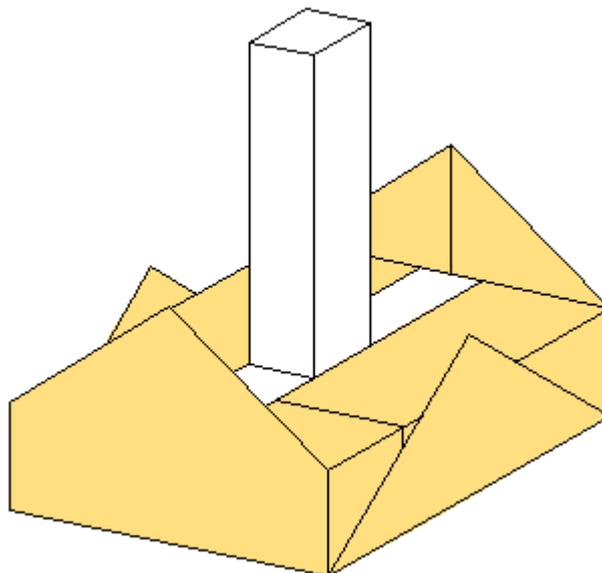
3 sapata [arquivo pessoal]

Na Figura 4.33, a elipse representada a vermelho foca aqueles que tendem a ser os pontos frágeis do sistema. Por esse motivo, e como referido, não se pode cortar a membrana num formato idêntico ao de um geotêxtil, porque o remendo ou a soldadura no local seria complicado. Assim sendo, é necessário o uso de uma maior quantidade de membrana junto às arestas para que se consiga proceder de forma contínua e eficaz.



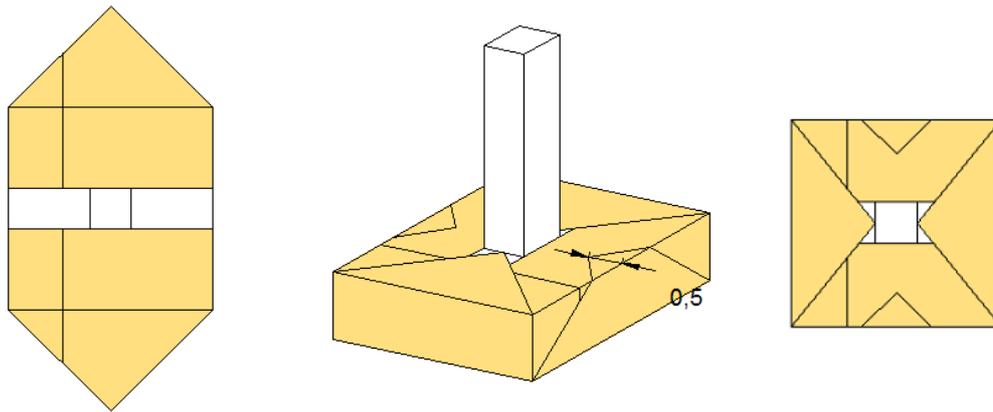
pessoal]

O círculo de cor azul seria o ponto singular mais crítico, caso as dobras não fossem realizadas do modo apresentado, pois nunca seria possível fazer um remendo neste local devido à sua inacessibilidade. Como se pode ver, além de a membrana ser contínua, quando a membrana junto ao canto, em forma de triângulo, é dobrada para cima (Figura 4.34) existe um novo reforço neste ponto.



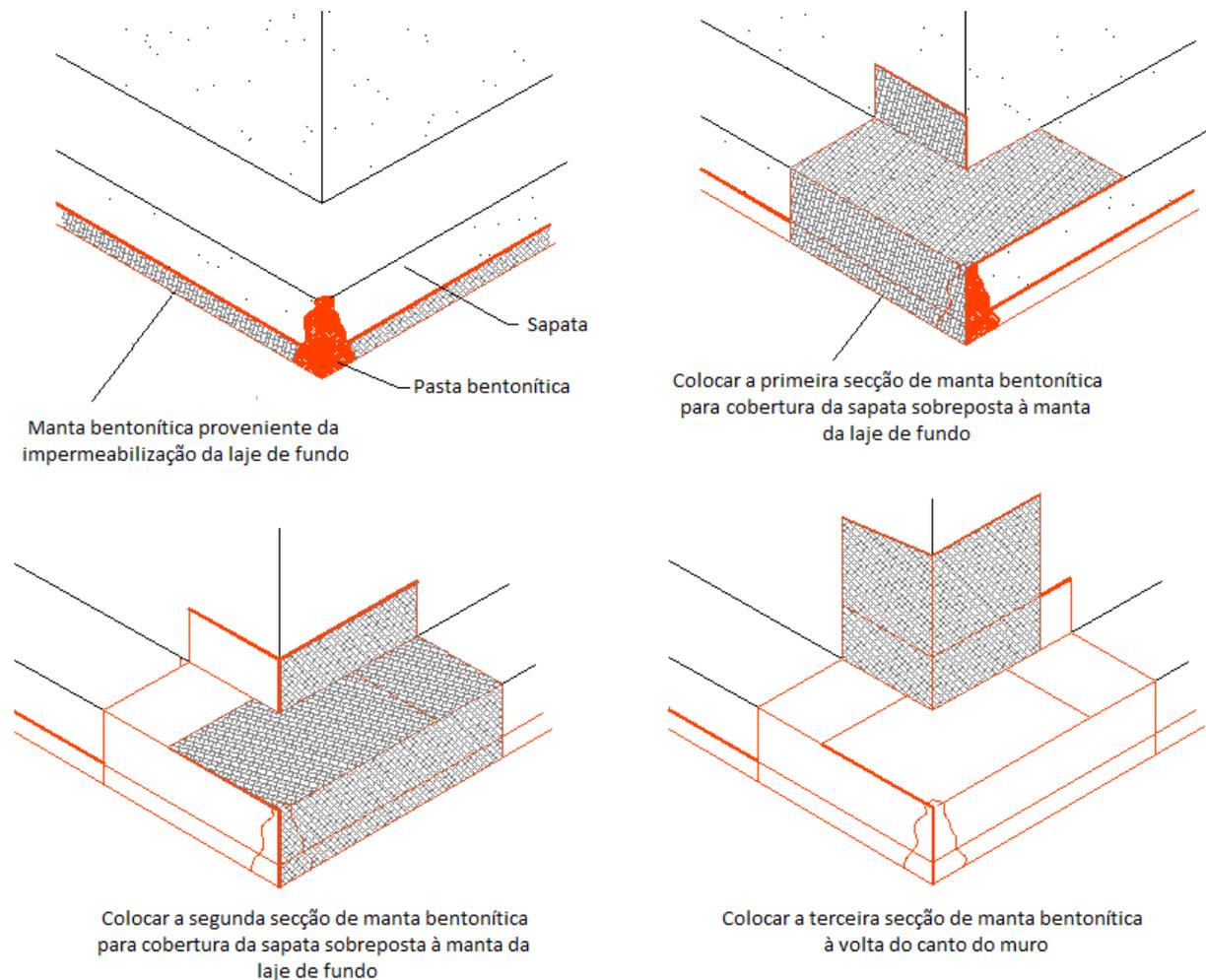
sapata [arquivo pessoal]

Por último, na Figura 4.35, é possível observar a representação das últimas dobras a realizar tanto em planta como em perfil. Como se pode observar na última imagem, o topo da sapata não fica totalmente coberto, mas a solução é possível para zonas em que o nível freático fique abaixo do pilar, protegendo apenas o elemento de fundação da água que, por efeito da capilaridade, pode atingir a sapata.



sapata [arquivo pessoal]

No caso de se utilizar um geocompósito bentonítico como forma de impermeabilização, a água dificilmente atingiria o ponto singular da sapata representado na Figura 4.33, devido à união das mantas bentoníticas resultante da expansão da argila no seu interior. A empresa H Pedro Martins propõe, como forma de reforçar este ponto crítico, a aplicação de uma pasta bentonítica (mistura de água com bentonite) seguida das restantes mantas de espera, como é possível observar na sequência de imagens apresentadas na Figura 4.36.



Pode-se ainda concluir que o sistema de impermeabilização com este tipo de geocompósito permite uma correcta impermeabilização, evitando excessos de material, e um sistema mais económico.

Caso o nível freático esteja acima da fundação, isto é, atinja os pilares, também parte do pilar deverá ser impermeabilizada. Como tal, é possível observar a pormenorização do sistema junto ao pilar no subcapítulo seguinte.

4.2.2 - Pormenor da extremidade da membrana impermeável na base do pilar

A membrana impermeabilizante nesta zona deve ser fixada através dos acessórios apresentados no capítulo três (as arandelas). Neste caso, fixa-se a membrana no betão armado, o mais ajustada possível ao elemento, para que alguma água que possa surgir não se acumule no interior da membrana.

A solução passa por envolver o pilar com uma membrana e remendar a membrana que pousa na face superior da sapata através de soldadura, como se pode observar na Figura 4.37. Ainda nesta figura, são demonstrados os cortes necessários de forma a que a membrana consiga envolver todo o pilar, pois sem eles a membrana não teria capacidade de fazer de uma só vez a dobra necessária.

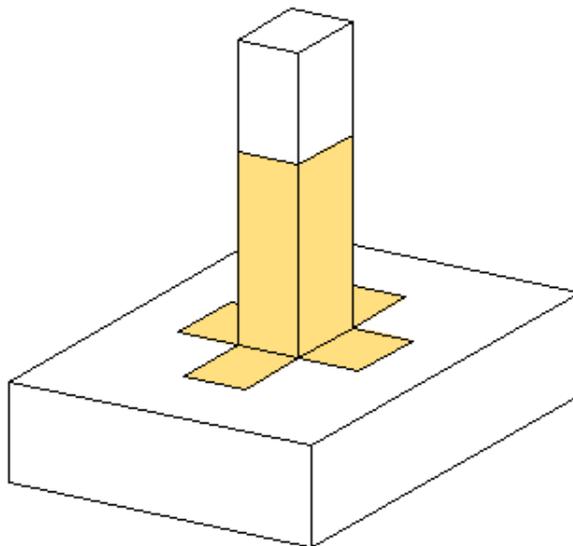


Figura 4.37 - Cortes necessários a aplicar no topo do pilar [arquivo pessoal]

Assim, a Figura 4.38 mostra o seguimento dos remendos a realizar na face superior do pilar, permitindo assim vedar e fechar todo o sistema de impermeabilização.

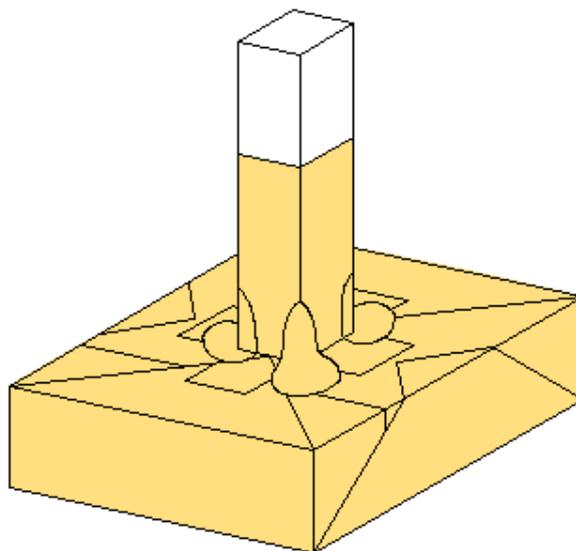


Figura 4.38 - Remates finais de ligação entre a membrana do pilar e a da sapata, através de soldadura [arquivo pessoal]

Todas as soldaduras devem ser feitas por mão-de-obra especializada, exigindo que o trabalho final cumpra as funções pretendidas. É importante, ainda, que sejam feitos ensaios de estanqueidade ao ar de forma regular, nas diversas soldaduras de remate, tanto no que se refere à impermeabilização de pilares como de sapatas. Toda a empresa que possuir a capacidade de realizar soldaduras, deve no final de cada intervenção entregar um certificado, onde constem todas as soldaduras em conformidade, bem como a sua localização e respectivos ensaios realizados.

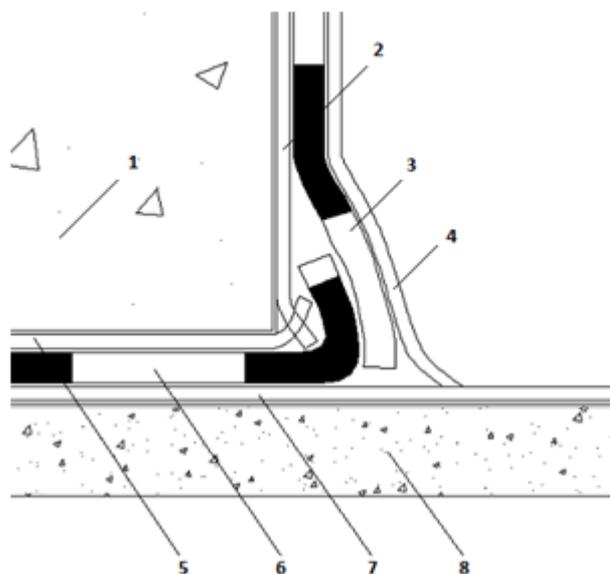
No subcapítulo seguinte, são retratados os possíveis pormenores de remate de um ensoleiramento geral, focando-se apenas a superfície inferior.

4.2.3 - Pormenor de ligação entre o ensoleiramento geral e o elemento vertical

O remate com o elemento vertical verifica-se maioritariamente num sistema de impermeabilização realizado pela superfície inferior do elemento de fundação ensoleiramento geral. Quando este se encontrar relativamente perto do nível freático, deve ter-se a especial atenção à continuação da impermeabilização desta face. Serão assim apresentadas três hipóteses de remate ao elemento vertical: duas pelo exterior e uma pela interior do elemento vertical.

A primeira hipótese passa por impermeabilizar o elemento por fora e soldar a membrana junto à parede, mas antes procede-se à subida do geotêxtil que deve ser rematado com um geotêxtil vindo paralelamente à parede e a sua união é feita através do empalme entre materiais. Basta que o

geotêxtil seja sobreposto nas extremidades, visto que a ligação não necessita de ser totalmente vedada nem fixa. Na fase de enterrar o sistema de impermeabilização, deve-se ter um cuidado acrescido de forma a deixar a soldadura numa posição vertical. Deste modo, o peso exercido pelo solo não danificará a soldadura, visto que esta se encontra na vertical, como se pode observar na Figura 4.39.



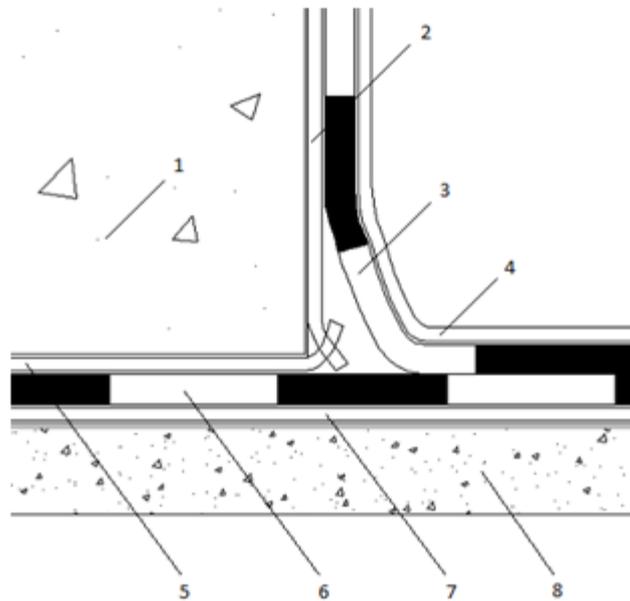
Legenda:

- 1 - Fundação do tipo ensoleiramento geral
- 2 - Geotêxtil (junto à superfície vertical, camada de protecção mecânica)
- 3 - Membrana impermeável
- 4 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica e de drenagem)
- 5 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 6 - Membrana impermeável
- 7 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica e de drenagem)
- 8 - Betão de limpeza

o pessoal]

Ainda nesta figura, é possível ver a soldadura necessária entre membranas. A membrana na vertical deve ser soldada por cima da membrana vinda da zona inferior do ensoleiramento geral. Deste modo, a água que eventualmente possa surgir vinda da superfície, através da absorção do solo, pode escorrer por cima da membrana, evitando assim a acumulação de água na soldadura. A sobreposição da membrana impermeável deve ser de 5 a 20 cm consoante a sua necessidade, visto que deve ser suficientemente resistente. Como se pode ainda ver na figura, o primeiro geotêxtil apenas serve como protecção da membrana para não haver o contacto directo da membrana com o betão de regularização. A membrana impermeabilizante é soldada à que surge na vertical, passando-se o mesmo no caso do geotêxtil.

A segunda hipótese apresentada trata o elemento vertical também pelo exterior, mas as membranas são soldadas junto à cota mais baixa do ensoleiramento, realizando a soldadura na zona que se pode observar na Figura 4.40.



Legenda:

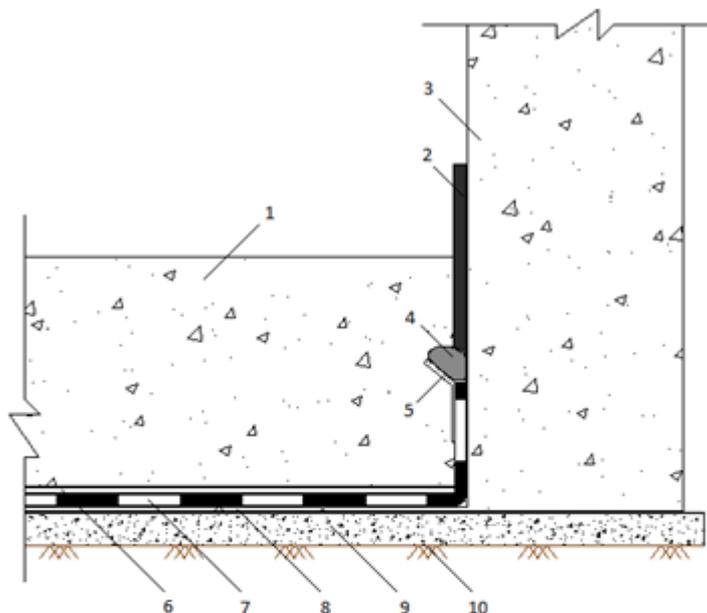
- 1 - Fundação do tipo de ensoleiramento geral
- 2 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 3 - Membrana impermeável
- 4 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica e de drenagem)
- 5 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 6 - Membrana impermeável
- 7 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica e de drenagem)
- 8 - Betão de limpeza

[o pessoal]

A terceira e última hipótese realiza-se pelo interior da parede em que a membrana remata na alvenaria. Como tal, quando se procede à impermeabilização do ensoleiramento geral, é deixada uma membrana de espera que facilmente será rematada à alvenaria depois da sua construção. Depois de executado o elemento vertical, é-lhe aplicada uma camada de um revestimento de base cimentícia. Para além de conter ainda uma chapa quinada em aço onde se aplica mastique de protecção à membrana, o remate é feito sobre o revestimento.

É possível observar na Figura 4.41 o sistema de protecção. O mesmo é constituído por cinco materiais diferentes ao longo de todo o comprimento do sistema: membrana impermeável, geotêxtil, revestimento de base cimentícia, chapa quinada em aço inox e mastique.

Para além da função de fixar a membrana à alvenaria, o conjunto da chapa em aço inox e o produto mastique tem também como função proteger a membrana da entrada de água lateral; neste caso, a água será retida no mastique evitando a passagem para o interior do sistema de impermeabilização.



Legenda:

- 1 - Fundação do tipo ensoleiramento geral
- 2 - Revestimento de base cimentícia
- 3 - Elemento vertical (alvenaria)
- 4 - Mastique
- 5 - Chapa em aço inox
- 6 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica)
- 7 - Membrana impermeável
- 8 - Geotêxtil (camada de protecção mecânica e de drenagem)
- 9 - Betão de limpeza
- 10 - Solo

stique [arquivo pessoal]

De seguida, é apresentada uma síntese do presente capítulo, reunindo a informação descrita ao longo deste.

4.3 - Síntese do capítulo

Ao longo do capítulo, foi retratada a forma mais apropriada de impermeabilização dos seguintes tipos de fundação: sapatas, ensoleiramentos gerais, cabeça e maciço de encabeçamento de estaca.

No caso do elemento construtivo sapata, existem três tipos: a isolada, a corrida e a vigada. Os dois primeiros tipos são tratados de forma idêntica, respeitando a sequência um geotêxtil, uma membrana e um geotêxtil.

Quanto à impermeabilização das sapatas vigadas, esta seria demasiado complexa e dispendiosa. Por este motivo, é sugerida, sempre que possível, a alteração do projecto de fundações para uma fundação do tipo ensoleiramento geral. Esta alteração facilitaria quer o processo construtivo do elemento quer a sua impermeabilização, evitando a presença de um elevado número de remates e consequentes pontos críticos na membrana, quando esta poderia ser simplesmente na horizontal.

Assim sendo, é importante realizar-se um estudo de mercado durante o projecto com o objectivo de avaliar os custos de impermeabilizar um dado número de sapatas isoladas ao invés da aplicação imediata de um ensoleiramento.

Num ensoleiramento geral, pode ainda ter-se em conta a sua impermeabilização, pela superfície superior ou pela inferior. No caso de o nível freático se encontrar junto ao elemento construtivo, é imprescindível recorrer à impermeabilização pela superfície inferior. Quanto mais alto o nível, mais elevado deverá ser o nível superior da impermeabilização, isto é, os pilares deverão ser impermeabilizados, assim como todas as paredes laterais do edifício em contacto directo com a água.

Quando o nível freático já se encontra a uma relativa distância do elemento construtivo, e a humidade não possa atingir a fundação por capilaridade, a sua impermeabilização poderia ser feita em ambos os lados mas este processo acarretaria custos desnecessários. Sugere-se neste caso a impermeabilização pela face superior.

O tipo de impermeabilização pela superfície inferior tem a vantagem de continuidade com a facilidade de remates e acondicionamentos do material, sendo por isso apresentada primeiro uma membrana impermeável e logo depois a fundação tipo ensoleiramento geral. Outra solução será a execução de forma inversa, ou seja primeiro executa-se o ensoleiramento, depois aplica-se a membrana e só depois se executa uma betonilha de protecção.

Tendo em conta estes factores, é aconselhado que a impermeabilização seja feita sempre por fora (superfície inferior) independentemente da altura dos possíveis níveis freáticos. Deste modo, o principal elemento construtivo das fundações do edifício encontra-se completamente protegido contra agentes externos durante a sua vida útil. Uma outra vantagem deste procedimento é a de evitar a aplicação da laje de fundo de protecção à membrana.

De forma sintetizada, são apresentadas as soluções com diferentes ordens de aplicação dos materiais na impermeabilização do tipo de fundação ensoleiramento geral:

- superfície superior, em que pode ser usada qualquer das membranas enumeradas no capítulo três, mas a sua aplicação implica a criação de uma laje de fundo resistente;
- superfície inferior, em que apenas é aconselhado o recurso a membranas impermeabilizantes à base do polímero de PVC, de TPO, de EPDM ou geocompósitos bentoníticos;
- no caso acima, a membrana pode ser protegida com dois geotêxteis, um entre o elemento construtivo e a mesma e outro entre o betão de regularização e novamente a membrana. Qualquer dos geotêxteis apresentados nos sistemas pode ser dispensado devido ao seu carácter protector. No entanto, a sua utilização é importante, pois auxilia o sistema de uma forma preventiva.

O último tipo de fundação a ser tratado ao longo do capítulo foi a estaca bem como o seu maciço de encabeçamento. Neste caso, foram apresentados três tipos de soluções:

- membrana ao nível do topo da estaca em conjunto com a proposta da empresa Sotecnisol (sistema de continuidade, com varões termosoldados posteriormente fixados no topo da estaca, terminando com a betonagem do topo da estaca de forma a isolar e completar o sistema);
- membrana superior, membrana inferior (membranas que envolvem o maciço de encabeçamento), *waterstop*, revestimento de base cimentícia (ambos no topo da estaca);
- impermeabilização de forma idêntica à solução anterior mas, ao invés do uso do *waterstop*, recorre-se ao produto *grout*.

Por último, no Quadro 4.1, pode-se observar um resumo das membranas possíveis de aplicar nos diversos tipos de fundação, sendo por isso novamente enumerados os materiais tratados no capítulo três.

Quadro 4.1 - Membranas que podem ser aplicadas nas diversas fundações

| Tipo de fundação | Superfície | Betume oxidado | APP | SBS | PEAD | PVC | TPO | PP | PE | EPDM | Geomopósito bentonítico | Emulsões | Tintas | Revestimentos cimentício | grout |
|----------------------|----------------------------------|----------------|-----|-----|------|-----|-----|----|----|------|-------------------------|----------|--------|--------------------------|-------|
| Sapata | Exterior | | | | | x | x | x | x | x | x | | | | |
| | Inferior | | | x | x | x | x | x | x | x | x | | | | |
| | Superior | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Ensoleiramento geral | Topo da cabeça | | | | | | | | | | | | | | |
| | Maciço de encabeçamento inferior | | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | Maciço de encabeçamento superior | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |

APP - (membrana à base de) polímero polipropileno actáctico

SBS - (membrana à base de) polímero estireno-butidieno-estireno

PEAD - (membrana à base de) polímero polietileno de alta densidade

PVC - (membrana à base de) polímero cloreto de polivinilo

TPO - (membrana à base de) polímero poliolefinas

PP - (membrana à base de) polímero polipropileno

PE - (membrana à base de) polímero polietileno

EPDM - (membrana à base de) polímero etileno-propileno-dieno

CAPÍTULO 5

ANOMALIAS CONSTRUTIVAS E PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO

5.1 - Considerações gerais

São diversas as soluções de reparação de anomalias provocadas pela humidade em diferentes elementos construtivos, que dependem de factores como: a anomalia observada; a sua evolução; o tipo de construção onde se encontra; a forma como se pretende atingir e reparar a anomalia.

No exemplo das fundações, esta reabilitação é dificultada pelo seu difícil acesso, implicando uma menor, ou praticamente quase nula, manutenção ao longo da vida útil do edifício. Por este motivo, devem à partida ser devidamente cuidadas e impermeabilizadas para que se possa evitar estragos futuros.

Pode-se tipificar as soluções possíveis de reparação em fundações, para as diferentes situações patológicas da seguinte forma (Henriques, 2007):

- eliminação de anomalias;
- substituição dos elementos e materiais afectados;
- protecção contra os agentes agressivos;
- eliminação das causas.

A eliminação anomalia é uma intervenção temporária, que acarreta custos mais baixos mas consecutivos. Se não se verificar a eliminação total das suas causas, a anomalia facilmente volta a aparecer, provocando degradação dos elementos construtivos em contacto com a água ou outros factores prejudiciais.

No presente estudo, em fundações, a aplicação de impermeabilização por reabilitação torna-se praticamente inviável, já que os elementos são fundamentais ao edificado tornando as correcções economicamente inviáveis e de difícil acesso. Devido à sua localização, as anomalias são ocultas por natureza.

Em impermeabilizações de locais comuns, por vezes, a substituição de materiais danificados é inevitável para que se consiga solucionar o problema. Deve-se recorrer a este método apenas

quando os elementos se encontrem em estado terminal e perante a certeza de que a causa da anomalia é eliminada na totalidade.

No caso da protecção contra os agentes agressivos, a metodologia aplicada é a de prevenir ou impedir a actuação directa sobre os elementos construtivos, sem eliminar os agentes causadores das anomalias. A hipótese de protecção do meio contra os agentes agressivos corresponde a diversas soluções de impermeabilização. Ainda assim, a impermeabilização deve ser vista como providência e não como resolução, isto é, deve sempre ser aplicada no tempo da construção e não após o aparecimento da anomalia. A eliminação da causa é uma medida bastante eficaz, embora de difícil aplicação. O mesmo ocorre no método de resolução do reforço das características funcionais que, no caso das fundações, se torna demasiado oneroso.

Existem diferentes tipos de causas possíveis das anomalias, sendo as mesmas enumeradas no subcapítulo seguinte. Estas causas podem estar associadas a uma incoerente execução, a alterações de cargas no edifício (mudanças estruturais), a acções meteorológicas ou até mesmo acidentais (sismos, ventos excessivos, incêndios, exposições, entre outros).

A designação de anomalia corresponde a um defeito, falha ou disfunção que prejudicará o desempenho da edificação, o seu aspecto estético ou qualquer das suas partes. A patologia das construções é a ciência que visa estudar os defeitos dos materiais e componentes dos diversos elementos construtivos do edifício como um todo, tendo como objectivo final responder a quatro questões importantes referentes à anomalia: o seu diagnóstico; prognóstico; terapia a aplicar e o agente de origem da causa (Brito, 2001).

Neste capítulo, são enumeradas três fases distintas do aparecimento de anomalias: anomalias no decorrer da pré-execução; anomalias que podem ocorrer quando a incorrecta ou inexistente impermeabilização ou simplesmente anomalias que podem manifestar-se na própria membrana.

5.2 - Anomalias

Quando as anomalias se manifestam, estas devem ser estudadas, com o intuito de diminuir ou eliminar o agente que as provoca. Como tal, deve-se analisar e responder a quatro pontos fundamentais indicados de seguida: diagnóstico; prognóstico; terapia que deve ser aplicada e qual o agente que deu origem à anomalia.

Assim sendo, é fundamental fazer-se um diagnóstico correcto para decisão das medidas preventivas a ser tomadas e consequente correcção do problema. Através de um diagnóstico, pretende-se detectar as causas que originaram a patologia e a consequente degradação da

construção, bem como os seus mecanismos de evolução, formas de manifestação, medidas de prevenção e de recuperação a executar. Apenas se considera reparada a anomalia no caso de esta não voltar a aparecer; caso contrário, esta encontra-se apenas temporariamente oculta. Tem-se por exemplo que, no caso de assentamento de apoios, que facilmente origina fissuras nas alvenarias mais próximas do elemento danificado, é possível ir reparando constantemente as fissuras, mas não se atinge qualquer sucesso em relação à eliminação da origem da anomalia.

Raramente as deficiências graves numa construção se devem a uma única causa, nomeadamente as estruturais, pois em geral devem-se à acumulação de erros de projecto e/ou de execução. Como tal, o diagnóstico é o passo mais difícil da avaliação, visto que se baseia na experiência e intuição do observador, o que pode originar erros grosseiros de observação.

De seguida, deve-se elaborar um prognóstico, onde constem as avaliações colhidas aquando do diagnóstico e que se baseiem na duração, na evolução ou no término do problema. Estas avaliações estipulam as acções posteriores a aplicar no que se refere a aspectos eminentemente estruturais. Estes dependem do conhecimento e avaliação da capacidade resistente da estrutura. Será então a partir deste prognóstico que se se tomará uma decisão da hipótese de solução: demolição; reforço; remodelação; reparação ou deixar a estrutura inalterada. Como tal, é fundamental ter em atenção os seguintes aspectos: modificação das características mecânicas dos materiais; redistribuição dos esforços ao longo do tempo; transmissão de esforços para os elementos menos danificados devido à cedência de outros; bem como modificação das características dinâmicas da estrutura (Brito, 2007).

Inclui-se na terapia o conjunto de medidas a tomar de forma a corrigir o problema patológico, através da reabilitação, recuperação ou reforço do local.

Ao longo do período e do processo de construção, podem ocorrer diversas anomalias de execução, visto que, na maioria das vezes, o betão é preparado no local (excepto em sapatas e estacas prefabricadas). Consoante a origem da anomalia, o tipo de causa pode distanciar-se no tempo, podendo assim ser: provocada antes da construção (erros de projecto); por erros de execução; durante a exploração normal da construção; por catástrofes naturais imprevisíveis; acidentes ou apenas pela vontade humana de alterar as condições de serviço inicialmente previstas.

Durante a execução de qualquer dos elementos construtivos apresentados no capítulo 4 (sapatas, ensoleiramento geral e maciço de encabeçamento de estaca), podem ocorrer diversos tipos de anomalias diferentes. Uma vez que o seu principal constituinte é o betão, as anomalias que se manifestam (fundamentalmente durante o processo de execução) são motivo de estudo, tais como vazios e zonas porosas, segregação, erros de geometria (principalmente em sapatas e estacas) e

fissuração. Pode verificar-se ainda o aparecimento de manchas provocadas por uma deficiente cofragem ou devidas a óleos descofrantes. No caso da fissuração, esta ocorre quando existe uma rápida secagem em que o betão tem tendência a contrair provocando o aparecimento de fissuras (Brito, 2007).

5.2.1 - Anomalias no decorrer da execução da fundação

Neste tipo de anomalias, inclui-se as que podem prejudicar o elemento construtivo fundação caso este não se encontre impermeabilizado. As indicadas são fundamentalmente anomalias no betão, uma vez que se trata do principal constituinte em fundações.

Assim sendo, são apresentadas duas anomalias prejudiciais, que permitem a passagem da água e de outros factores prejudiciais (por exemplo o pH do solo), através do elemento, fundamentalmente por capilaridade. São assim preconizadas as seguintes anomalias: vazios e zonas porosas, bem como, a anomalia de segregação. Como tal, caso não esteja prevista a sua protecção através de impermeabilização, o aparecimento deste tipo de anomalias pode ser bastante prejudicial em fundações.

Vazios e zonas porosas:

Os vazios e zonas porosas ocorrem no interior ou junto às superfícies exteriores do betão. As suas principais causas são a deficiente compactação do betão com segregação dos agregados (deficiente, inexistente ou excessiva vibração), a escolha indevida da granulometria dos agregados (relação de finos), uma relação água / cimento muito baixa ou muito alta (exsudação) ou, no caso das sapatas, uma cofragem mal escorada, de rigidez insuficiente ou com falta de estanqueidade.

Existem dois exemplos para esta anomalia, bolhas de pele e chochos, apresentados respectivamente nas Figuras 5.1 e 5.2. O primeiro caso, em pouco ou nada influencia a passagem da água ou de factores prejudiciais ao elemento, devido à pequena dimensão que possuem.



Figura 5.1 - Bolhas de pele na superfície de betão [w_{58}]

As possíveis causas do aparecimento da anomalia designada de chocho são: deficiente compactação do betão; cofragem impermeável / flexível; baixa trabalhabilidade do betão e/ou qualidade do agente descofrante ou simplesmente a pormenorização inapropriada (excessiva concentração de armaduras). Este tipo de anomalia ocorre principalmente em sapatas mas também em ensoleiramentos gerais e poderá permitir a passagem dos agentes deteriorantes para o interior do elemento no caso de não ser protegida aquando da betonagem.



Figura 5.2 - Aparecimento de chochos na superfície de betão [w₅₉]

Segregação:

Neste caso, o fenómeno provém da distribuição não uniforme dos constituintes do betão. Os finos que entram na sua constituição têm tendência a ficar à superfície devido à elevada percentagem de água / cimento.

As causas na origem deste tipo de fenómeno provêm de uma das seguintes situações: preparação incorrecta do material; deficiente vibração da mistura ou até mesmo devido a betonagem realizada de uma altura excessiva, provocando uma incorrecta distribuição dos materiais que o constituem, em que os finos se concentram no topo e os agregados grossos no fundo. Neste caso, quando se procede à descofragem da fundação, é possível observar os chamados “ninhos de pedras”, apresentados na Figura 5.3. Esta anomalia pode ser vista de modo idêntica à anomalia chochos, uma vez que a aberturas puderam ter dimensões idênticas. A localização destas anomalias é diferente, já que no caso da segregação as zonas são mais localizadas do que as dos chochos.



Figura 5.3 - Segregação do betão, os chamados “ninhos de pedras” [w₆₀]

No subcapítulo seguinte, são retratadas as anomalias que podem facilmente ocorrer quando o sistema de impermeabilização não é o adequado ao elemento, ou não é aplicado da melhor forma.

5.2.2 - Anomalias no decorrer da vida útil do elemento

No decorrer da vida útil do elemento de fundação, o sistema de impermeabilização pode mostrar-se inadequado ao tipo de fundação ou simplesmente não ser aplicado correctamente segundo as instruções do fabricante. Assim, qualquer das anomalias enumeradas no subcapítulo anterior permitirá a passagem de água para o interior do sistema.

Neste subcapítulo, incluem-se a fissuração do betão, ataque de sulfatos e corrosão das armaduras. Este tipo de anomalias pode demorar algum tempo a manifestar-se, uma vez que é necessário ultrapassar a barreira física da membrana de impermeabilização aplicada.

Fissuração do betão:

As fissuras podem ser de diferentes origens: movimentos higroscópicos; cargas mal distribuídas; diferentes tipos de solo sob o mesmo edifício; diferentes tipos de fundação para o mesmo edificado ou até mesmo raízes de árvores demasiado próximas dos elementos construtivos e que os possam danificar.

No caso das fissuras provocadas por assentamento de apoio, estas ocorrem geralmente em zonas do terreno em que a sua carga e deformabilidade não são constantes ao longo do edifício. Assim sendo, devem ser tidos em conta diversos factores, tais como: tipo e o estado do solo; nível do lençol freático; intensidade da carga; tipo de fundação usado (directa ou profunda) e cota a que se encontra; dimensões e formato, no caso das sapatas; ou interferência das fundações vizinhas.

É compreensível que o solo influencie a fissuração do edifício, pois, para solos argilosos ou de areia compacta, os assentamentos apenas ocorrem devido a uma mudança da forma do solo. Perante argilas, os assentamentos devem-se à redução do seu volume, visto que a água presente no bolbo de tensões das fundações tenderá a percolar para regiões sujeitas a pressões menores. Na sequência da saída desta água, existe reestruturação do solo e conseqüente movimentação do mesmo. Para fundações directas, a intensidade dos assentamentos poderá ser tanto devida ao tipo de solo onde são aplicadas, como às suas dimensões e formas. No caso de solos arenosos, a capacidade de carga e o módulo de deformação aumentam rapidamente com a profundidade, que ocorre com a mesma frequência quer para sapata isoladas quer para corridas (Pereira, 2005) [w₆₁]. Como tal, qualquer movimento que ocorra na fundação irá influenciar todos os elementos acima destes, isto é, irá provocar fendilhação nas paredes adjacentes a esta.

A higroscopicidade ocorrerá com maior intensidade em locais da obra sujeitos a uma elevada acção da humidade, como por exemplo: platibandas, base das paredes, podendo as anomalias surgir devido a salpicos ou, neste caso, ocorrer através da ascensão da humidade do solo por capilaridade, em fundações mal impermeabilizadas ou sem qualquer tipo de protecção (Pereira, 2005).

É possível também observar, na Figura 5.4, um edifício com diferentes tipos de fundação, neste caso, estacaria e sapatas, provocando assentamentos diferentes na mesma estrutura reticulada. A fissuração que ocorre entre os dois edifícios será de corte, provocando a sua separação física.

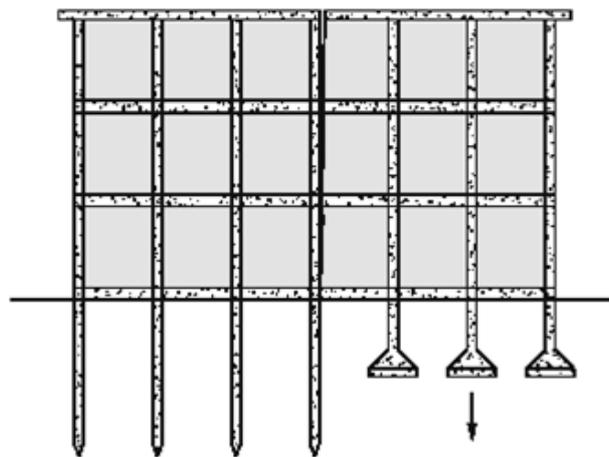


Figura 5.4 - Diferentes tipos de fundação aplicados no mesmo edifício (Pereira, 2005) [w₆₂]

As variações de humidade do solo, principalmente no caso de argilas, provocam alterações volumétricas e variações no seu módulo de deformação, com possibilidade de ocorrência de assentamentos localizados. Estes assentamentos são bastante comuns devido à saturação do solo pela absorção da água das chuvas que por percolação atinge as fundações, podendo também ocorrer pela absorção da água existente no solo pela vegetação localizada próxima do edifício, de forma idêntica ao apresentado na Figura 5.5.

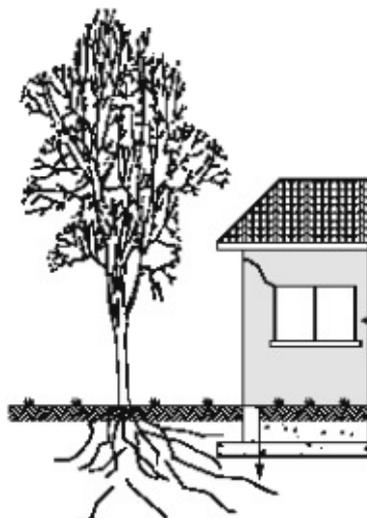


Figura 5.5 - Fissuração devido ao assentamento do apoio provocado pela contracção do solo (Pereira, 2005) [w₆₂]

Resultam diferentes configurações de fissuras consoante o tipo de força aplicado no elemento. Os esforços com capacidade de originar fissuras nos elementos são os seguintes: tracção compressão; corte ou torção.

A configuração de uma fissura resultante de forças de tracção é perpendicular à direcção do esforço actuante e abrange toda a secção transversal da peça. No caso da compressão, as fissuras são paralelas à direcção do esforço actuante [w_{63}].

Para a força de corte, as fissuras apresentam uma configuração inclinada na direcção paralela às bielas de compressão geralmente localizadas próximas dos apoios. No entanto, para a flexão, as fissuras exibem uma forma perpendicular ao eixo da estrutura e situam-se na região traccionada do elemento. Também a fissuração devido à retracção se apresenta, de uma forma geral, perpendicular aos eixos dos elementos estruturais. Por último, no caso da torção, as fissuras são inclinadas, idênticas às de corte, mas a sua direcção depende do sentido da força de torção.

Quando resultam fissuras dos movimentos enumerados, origina-se um ponto frágil da estrutura que permite a entrada de humidades prejudiciais aos constituintes do betão. Por exemplo o caso do aço, quando em contacto directo com água, perde a sua camada de passivação, provocando a corrosão do material e levando à destruição do elemento daquela zona.

Pode-se assim concluir que no caso de fundações em que não se prevê nenhuma protecção do elemento contra factores prejudiciais existentes no solo, será facilmente permitida a entrada destes constituintes, o que proporcionará uma degradação acelerada do elemento. Como tal, é aconselhada, sempre que possível, a aplicação de um sistema de impermeabilização adequado ao tipo de fundação, com o intuito de proteger e prolongar a vida útil da fundação, elemento construtivo fundamental à sustentação do edifício.

É importante referir que a impermeabilização não previne este tipo de anomalias mas apenas evita o contacto entre os factores prejudiciais e o elemento, evitando a sua degradação precoce.

Ataque de sulfatos:

Na Figura 5.6, é possível observar a desagregação provocada por ataques de sulfatos. Os sulfatos de sódio e cálcio são os mais comuns em solos e na água, enquanto que os de magnésio, são menos comuns, mas mais destrutivos. Todos os solos em que estes sulfatos se encontram são geralmente denominados de alcalinos. Têm a capacidade de atacar e alterar a matriz de ligação do cimento e transformá-lo numa espécie de gesso através de uma reacção altamente expansiva (Brito, 2005).



Figura 5.6 - Pilar danificado devido ao ataque de sulfatos [w₆₄]

Assim como os sulfatos, também os ácidos atacam a matriz de ligação dos agregados ao cimento, provocando conseqüentemente a sua queda. Nestes casos, a reacção dá-se entre o ácido e o hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento (por vezes de forma expansiva).

Este tipo de anomalia provoca facilmente a desagregação do betão, tornando-o frágil e propício à passagem de agentes prejudiciais (a água; micro-organismos, entre outros) para o interior do elemento. Esta anomalia consiste na separação dos agregados após a perda progressiva da ligação que existia no betão devido ao seu ligante (pasta de cimento). Tem início na superfície, com a mudança de coloração e com o aumento consecutivo da largura das fissuras que vão aparecendo, fenómeno que não pode ser detectado no caso das fundações, uma vez que a sua localização não o permite.

Assim, reforça-se novamente a necessidade de proteger o elemento construtivo com um sistema de impermeabilização adequado e devidamente aplicado, para que este tipo de agentes de degradação não possa atingir as fundações.

Corrosão das armaduras:

Por último, surge a anomalia corrosão das armaduras, que pode ser evitada com o recurso a este tipo de protecção.

É possível observar, na Figura 5.7, as armaduras excessivamente corroídas, prejudicando e pondo em risco a estabilidade da fundação. Na Figura 5.8, tem-se outro exemplo, que devido à oxidação das armaduras, originou o descasque do betão, numa viga de fundação e o respectivo pilar adjacente.

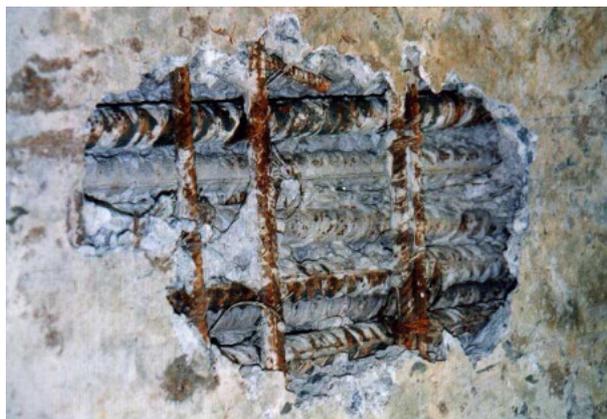


Figura 5.7 - Descasque do betão armado (Brito, 2005)



Figura 5.8 - Corrosão de armaduras de vigas de fundação e do pilar adjacente [w₆₅]

Este fenómeno, de corrosão das armaduras pode ser devido a ciclos molhado / seco (subida e descida do nível freático, por exemplo, junto à margem de um rio) ou à carbonatação. No caso de o elemento se encontrar totalmente submerso, o betão encontra-se no estado de saturação total. Uma vez que o dióxido de carbono não consegue penetrar nos poros no betão, não é possível ocorrer a reacção de carbonatação, não provocando por isso a degradação do elemento.

Assim sendo, no caso de os agentes prejudiciais existentes no solo atingirem a armadura, a camada de passivação é eliminada, o que origina a sua oxidação, formando-se óxidos ferrosos que expandem, fracturando o betão à superfície e provocando a sua queda (fenómeno de descasque).

De seguida, é apresentado um subcapítulo onde são retratadas as anomalias possíveis em membranas impermeáveis.

5.2.3 - Anomalias em membranas impermeáveis

Neste subcapítulo, incluíram-se as diversas anomalias que podem ocorrer na própria membrana impermeável que, quando danificada, prejudica o objectivo da impermeabilização. Acto

que consiste em isolar o elemento construtivo fundação dos diversos agentes existentes no solo (água, micro-organismos, entre outros). Por vezes, o aparecimento de anomalias altera totalmente o sistema de impermeabilização, provocando a sua ineficácia.

São por isso retratados quatro tipos de anomalias distintas: perfurações; pregas; empolamentos e fissuração da membrana ou do suporte em que assenta. Além da sua apresentação, serão indicadas possíveis causas e precauções a ser tomadas para evitar a sua deterioração.

Perfurações:

Este tipo de anomalia pode facilmente ter origem durante o processo de execução, devido à queda indevida de objectos ou a uma incorrecta fixação da membrana. Podem ainda ocorrer perfurações em membranas que estejam na presença de raízes de árvores em volta do edifício.

Como prevenção no caso de perfurações de raízes, aconselha-se o uso de membranas em que no seu fabrico é inserido um aditivo anti-raízes. No final da aplicação, e caso seja possível, toda a área de impermeabilização deve ser verificada, para reparar possíveis perfurações ocultas. No caso de membranas aplicadas por soldadura, recorre-se a chama de maçarico ou cunhas quentes, consoante o tipo de membrana, como técnica de reparação. A existência de orifícios nas membranas, mesmo de pequenas dimensões, pode comprometer seriamente o funcionamento total do sistema de impermeabilização, pois será sempre uma possível passagem da humidade e da água existente no solo.

Pregas:

Outra das anomalias que pode levar à deteriorização precoce da membrana é a formação de pregas que poderá ocorrer em fundações aquando da presença da água ou quando a membrana se encontra sujeita a elevadas temperaturas, durante a sua aplicação ou armazenamento.

Este tipo de anomalias acontece frequentemente em membranas não armadas ou autoprotégidas com folhas metálicas (no caso de folhas de alumínio ou de cobre). A temperatura elevada é um factor importante para membranas betuminosas ou betumes insuflados, com pontos de amolecimento baixos. O mesmo não se verifica com tanta frequência em membranas de betume-polímero.

Pode assim observar-se, na Figura 5.9, uma membrana impermeável com protecção de folha de alumínio, com a formação de pregas ao longo de todo o seu comprimento devido ao seu incorrecto armazenamento.



Figura 5.9 - Pregas em membrana com protegido com folha de alumínio [w₆₁]

No caso de membranas de PVC, as pregas podem ocorrer devido à sua baixa ductilidade provocada pela perda do plastificante incorporado no produto pastoso, durante o seu fabrico (Walter, 2002). Outra causa da formação de pregas pode ser uma deficiente fixação em sistemas aderentes, semi-aderentes ou fixados mecanicamente. Como tal, como forma de precaução, o material deve ser devidamente armazenado, conforme indicação do fornecedor, aplicado com condições climatéricas indicadas e procedendo de forma correcta à sua fixação no suporte.

Empolamento:

A anomalia empolamento apresenta-se quase de forma idêntica às pregas, mas de forma isolada. Como tal, também os empolamentos são sobrelevações do revestimento de impermeabilização, facilmente visíveis ao longo do tempo numa zona impermeável de acesso. No caso das fundações, esta anomalia pode ocorrer mas, quando se dá o seu aparecimento, já a fundação se encontra soterrada sendo impossível de detectar.

Visualiza-se um exemplo de empolamento, na Figura 5.10, numa membrana de EPDM, em que também é facilmente reconhecida a sua dimensão, devido à proximidade de um objecto. Os empolamentos resultam da existência de vazios entre as camadas do sistema de impermeabilização.



Figura 5.10 - Exemplo de empolamento numa membrana de EPDM [w₆₆]

Podem dever-se a diferentes causas, tais como: a deficiente colagem das camadas totalmente aderentes à superfície de suporte; falta de planeza do suporte; rolos achatados devido ao incorrecto armazenamento (Figura 5.11); deficiente ou inexistente limpeza do suporte de materiais estranhos que facilmente criam estes vazios.



Figura 5.11 - Rolos achatados devido ao seu incorrecto armazenamento (Walter, 2002)

Caso o processo de aplicação seja por soldadura, por meio de chama, deve garantir-se sempre que possível uma soldadura de forma contínua, controlando a velocidade do movimento do maçarico e a distância a que este se encontra da membrana. Caso contrário, a pasta fluida formada sob a membrana não adquire a consistência suficiente nem um volume constante.

Outra causa, bastante relevante, é o teor de humidade do suporte onde será aplicado o material impermeável, principalmente em elementos construídos *in situ*, uma vez que, na presença de um teor de humidade alto, a camada de impermeabilização pode não conseguir atingir a resistência suficiente de suporte, no caso dos revestimentos de base cimentícia. O mesmo se passa com as emulsões betuminosas, já que o teor de humidade pode não permitir a secagem rápida e correcta da primeira camada de emulsão, não se devendo por isso aplicar a segunda sem que a primeira se encontre seca.

A qualidade de armazenamento e de aplicação é a principal questão a ter em conta para que se consiga evitar empolamentos das membranas. Assim sendo, deve-se armazenar o material de forma correcta e a temperaturas devidas, consoante o tipo de membrana a armazenar. Deve-se ainda garantir o teor de humidade indicado para o suporte para uma correcta aplicação.

Fissuração:

A última anomalia em pontos singulares de membranas é a sua fissuração enquanto membrana ou apenas a fissuração do suporte que a sustenta. Por outras palavras, a fissuração da

membrana pode ocorrer para situações em que a temperatura de execução e exposição à radiação ultravioleta é elevada, durante a realização de outros trabalhos em curso.

No caso do suporte, a membrana impermeável pretende proteger contra a entrada de líquidos nas fissuras. Consoante a dimensão da fissura criada, a membrana pode ou não suportar o movimento exercido. Por exemplo, no caso de fundações, onde o principal constituinte é o betão, se não existirem juntas de esquadramento devidamente afastadas entre si, a camada rígida pode ter tendência a fissurar, manifestando-se também na membrana.

Na Figura 5.12, é possível observar a membrana fissurada, em que aparentemente a fissuração ocorreu apenas no revestimento de impermeabilização.



Figura 5.12 - Fissuração do revestimento de impermeabilização (Walter, 2002)

Quanto ao tipo de ligação do sistema de impermeabilização ao suporte, a probabilidade de ocorrência de fissuras é maior nos sistemas aderentes, devido à maior facilidade de transmissão das deformações do suporte que as sustenta.

A forma de prevenção do aparecimento de fissuras é através do uso das disposições construtivas correctas que permitam o movimento livre do material. Perante temperaturas elevadas, deve ser-se o mais eficiente possível, evitando exposição excessiva à luz solar, durante a sua aplicação, evitando tempos de espera elevados para o soterramento.

No subcapítulo seguinte, são apresentadas diversas propostas de reabilitação apenas para um dos três tipos de fundações, o ensoleiramento geral, uma vez que a reabilitação da impermeabilização de fundações do tipo sapata e estaca não é economicamente recomendável.

5.3 - Propostas de reabilitação

Neste subcapítulo, são dados exemplos de possíveis técnicas de reabilitação, apenas nos casos em que tal é possível, o que exclui as sapatas, de qualquer dos tipos, ou os maciços de

encabeçamento de estacas, devido à sua inacessibilidade depois da construção do edifício. Resta, assim, apenas o ensoleiramento geral como objecto de possível reabilitação, total ou apenas parcial.

Existem três situações passíveis de reabilitação em ensoleiramentos gerais: impermeabilização deficiente pela face inferior ou pela face superior ou simplesmente sem qualquer protecção de impermeabilização.

Quando a impermeabilização do ensoleiramento geral é realizada pela face inferior, a sua reabilitação torna-se impossível devido à sua inacessibilidade. Assim sendo, é possível reparar ou acrescentar a membrana de espera que possa existir nas zonas laterais da fundação. Outra solução de reabilitação passa por impermeabilizar simplesmente a fundação pela face superior.

Esta solução pela face superior é também a solução mais indicada no caso de inicialmente não ter sido prevista qualquer impermeabilização e se manifestarem anomalias no pavimento térreo. A tendência é por isso ocultá-las, aplicando um sistema de impermeabilização do elemento construtivo já degradado, impossibilitando a passagem de humidades por higroscopicidade. Dá-se por terminada a reabilitação com a aplicação de uma betonilha como protecção ao sistema.

A situação será mais crítica para edificados situados em zonas urbanas, em que os edifícios acabam por ser todos unidos (em banda) sendo por isso inacessível aceder às suas paredes enterradas laterais. Pode por isso aconselhar-se que a reabilitação seja realizada pelo interior, com outras técnicas que não as apresentadas como impermeabilização de fundações, mas sim como sistemas de impermeabilização pelo interior de paredes enterradas.

No entanto, no caso de a impermeabilização de um ensoleiramento geral ser realizada pela superfície superior, pode ser totalmente reabilitada, uma vez que a laje de protecção e a betonilha, criadas acima da impermeabilização, podem ser demolidas e executadas outras depois da intervenção.

Assim sendo, no caso de se querer reabilitar um sistema de impermeabilização superior, deve-se remover toda a betonilha, bem como o revestimento impermeável por completo. De seguida, prepara-se a superfície superior do ensoleiramento geral picando toda a área para que o novo betão possa aderir ao antigo. Depois da nova camada de betão regularizada, seca e livre de impurezas, pode-se assim proceder como na aplicação do sistema normal de impermeabilização antes previsto. Como no processo anteriormente aplicado, realiza-se uma betonilha capaz de resistir aos esforços projectados.

No caso de o sistema aplicado o permitir, é possível reabilitar apenas a zona que se encontra danificada, quando esta é pequena. Por isso, é necessário possuir o conhecimento das técnicas aplicadas anteriormente como modo de protecção da fundação. Se o sistema for constituído por

uma membrana que facilmente possa ser acrescida ou reparada, a reabilitação pode ser apenas local. Para este tipo de situação, como a causa não pode ser eliminada, procede-se à substituição dos elementos danificados. Assim sendo, a zona a reabilitar deve ser devidamente delimitada, sempre que possível abrangendo uma área maior, pois a anomalia pode já afectar uma área superior, sem se ter manifestado da mesma forma. Deve-se por isso atingir o sistema de impermeabilização e proceder de modo idêntico ao descrito acima, isto é, remover toda a betonilha nessa área e o sistema de impermeabilização.

No caso das membranas de PVC, de EPDM e de TPO (PP e PE), a ligação ao sistema antigo é através do recurso a cunha ou ar quente e, no caso de membranas betuminosas, a solução passa por aquecimento por chama de maçarico. Em locais como estes, zonas subterrâneas, em que a ventilação pode não ser a mais adequada, devem-se ter bastantes cuidados com as botijas de gás usadas para acender a chama do maçarico.

Para materiais manufacturados *in situ*, a reabilitação deve ser quase completa, visto que o nível de sucesso de impermeabilização nestes casos é mais baixo, principalmente no caso de ter sido usado no sistema de impermeabilização um único material. Para isso, a solução deve passar por substituir todo o sistema antigo aplicado e aplicar membranas de impermeabilização adequadas à zona em questão.

De seguida, é apresentada a síntese do capítulo.

5.4 - Síntese do capítulo

Neste capítulo, foram enumeradas diversas anomalias passíveis de acontecer, antes e depois da execução dos elementos construídos. Para reabilitar algo deteriorado, deve-se ter em mente todas as soluções passíveis de reparação, tendo sido enumeradas as seguintes: eliminação da anomalia; ocultação; substituição dos elementos e materiais afectados; eliminação de causas e, por último, reforço das características funcionais. Existem quatro questões fundamentais para uma compreensão eficiente das causas e métodos de reabilitação das anomalias; são elas:

. qual o seu diagnóstico? - diagnóstico correcto para selecção das medidas preventivas a efectuar, detecção da origem da anomalia, mecanismos de evolução da mesma, formas de manifestação e recuperação;

. qual o seu prognóstico? - é necessário um relatório da avaliação do diagnóstico com base na duração, evolução ou término do problema, ponto de partida para a decisão da solução a aplicar: demolição; reforço; remodelação; reparação ou deixar inalterada a estrutura;

. qual a terapia a aplicar? - conjunto de medidas a tomar de forma a corrigir o problema patológico, através de reabilitação, recuperação ou reforço do local;

. qual o agente na origem do problema? - as causas podem diferir no tempo consoante a sua origem: erros de projecto; erros de execução; durante a exploração normal da construção; catástrofes naturais imprevisíveis ou acidentes.

Uma vez que o capítulo tem por objectivo enumerar as anomalias possíveis em fundações, foram indicadas as que ocorrem durante a pré-execução do elemento, as que se manifestam ao longo da vida útil do elemento construtivo e, por fim, as anomalias que podem ocorrer em membranas impermeáveis usadas em fundações.

Deve por isso conhecer-se as anomalias que eventualmente ocorrerão durante a obra e a execução dos elementos, que são prejudiciais às fundações, no sentido em que permitem a passagem dos agentes deteriorantes, caso não se encontrem protegidas com a impermeabilização. Foram por isso incluídas as seguintes: vazios e zonas porosas (chochos) e segregação.

No subcapítulo seguinte, foram introduzidas as anomalias que ocorrem ao longo da vida útil do elemento, quando a membrana aplicada não é a adequada ou quando não é aplicada correctamente. Neste grupo, apenas se incluíram três anomalias: fissuração; ataques de sulfatos e corrosão das armaduras. Estas podem ser evitadas pelo recurso a membranas, impedindo o contacto imediato com os agentes agressivos.

No terceiro subcapítulo, foram enumeradas as anomalias em membranas de impermeabilização, onde se incluem as seguintes: perfurações, pregas, empolamento e fissuração da própria membrana, com o decorrer da vida útil da membrana.

Por último, foram apresentados alguns exemplos de reabilitação possível, excluindo-se a reabilitação da impermeabilização de sapatas ou estacas. Como tal, num ensoleiramento geral impermeabilizado pela superfície superior, pode sempre demolir-se, parcial ou totalmente, o pavimento existente acima da laje estrutural. De seguida, substitui-se ou repara-se o sistema, com o recurso a técnicas e sistemas de impermeabilização apropriados e, por fim, executa-se novamente uma laje de pavimento, como camada de protecção ao sistema.

Facilmente se conclui a importância da eficiente protecção das fundações, elemento este fulcral nos edifícios. Para tal, é necessária uma escolha inteligente do sistema de impermeabilização a adoptar e o recurso a mão-de-obra especializada.

CAPÍTULO 6

ESTIMATIVA DE CUSTOS

6.1 - Considerações gerais

Os custos de construção são, na maioria das vezes, o principal factor de decisão de qualquer investidor. Como tal, deve ser elaborado um estudo prévio e objectivo no sentido de evitar derrapagens orçamentais, ainda que mínimas.

É importante distinguir dois tipos de custos: de construção e de exploração. Entende-se por custos iniciais aqueles que são contabilizados até à conclusão da obra, isto é, até à sua entrada em funcionamento. Já os custos de exploração referem-se a custos de manutenção e reparações que possam ocorrer ao longo do tempo de vida útil do edifício. A soma dos custos iniciais e dos finais de uma obra denomina-se por custo global.

Salienta-se neste estudo a importância da impermeabilização de estruturas e, por conseguinte, geralmente quanto maior for o investimento do custo inicial de impermeabilização, menor será o custo de exploração, e consequentemente o custo global. Visto que uma intervenção subterrânea terá sempre um custo elevado, também os investimentos nesta área representam um custo elevado.

O diferencial de custo de manutenção e reparação, ao longo da vida útil, entre duas intervenções semelhantes, com e sem impermeabilização, é de tal dimensão que o custo global de uma obra com impermeabilização pode ser substancialmente inferior (Justo, 2010).

Assim sendo, o custo da impermeabilização e drenagem associada a um custo inicial é pouco relevante, visto que assegura a durabilidade da obra ao longo da vida útil da estrutura, garantindo a sua longevidade em condições idênticas às iniciais.

6.2 - Custos de base associados às respectivas técnicas

Ao longo do capítulo quatro, foram descritos diferentes sistemas de impermeabilização e as várias técnicas utilizadas em fundações. No presente capítulo, são enumerados os custos associados aos sistemas utilizados aos diversos tipos de fundação.

Recorda-se que os tipos de fundação referidos ao longo dos capítulos anteriores são: a impermeabilização de sapatas isoladas e corridas, de ensoleiramentos gerais (pela superfície inferior como pela superfície superior) e, por último, de estacas (apenas a sua cabeça ou o maciço de encabeçamento).

Para um estudo aproximado dos custos envolvidos em cada sistema, foram reunidos os preços dos diversos materiais, passíveis de comparação, isto é, com características idênticas (gramagem, espessura, por exemplo). Este estudo foi baseado na informação prestada pelas principais empresas fornecedoras de materiais estabelecidas em Portugal: Danosa; Imperialum; Mapei; Sika; Sotecnisol; Texsa; Weber (enumeradas por ordem alfabética).

Nos Anexos A.1 e A.2, é possível observar os preços diferenciados e o nome dos respectivos tipos de materiais. Nem todas as empresas apresentadas possuem nos seus catálogos todos os produtos referenciados no capítulo três, fornecendo por vezes apenas um só tipo, por exemplo, dos materiais manufacturados *in situ*. No Quadro 6.1, são apresentados os preços médios organizados por grupos de materiais. Os preços apresentados foram consultados nos diversos fornecedores e publicados em Março de 2011, sendo que, aos valores apresentados, será necessário acrescer o I.V.A. à taxa legal em vigor.

Quadro 6.1 - Média de preços dos diversos produtos, Março de 2011, sem I.V.A incluído

| | Tipo de produto | Preço médio |
|--|---------------------------------|------------------------|
| Membranas betuminosas | Betume oxidado | 7,51 €/m ² |
| | Betume-polímero APP | 8,88 €/m ² |
| | Betume-polímero SBS | 8,29 €/m ² |
| Membranas sintéticas | Painel alveolar de PEAD | 6,00 €/m ² |
| | PVC | 11,68 €/m ² |
| | TPO | 10,25 €/m ² |
| | EPDM | 9,98 €/m ² |
| Geocompósitos | Mantas bentónicas | 8,60 €/m ² |
| | Geotêxtil polipropileno | 1,37 €/m ² |
| | Geotêxtil fibras sintéticas | 2,02 €/m ² |
| | Geotêxtil poliéster | 1,60 €/m ² |
| Materiais manufacturados <i>in situ</i> | Emulsão como primário (25 kg) | 1,80 €/kg |
| | Emulsão betuminosa (25 kg) | 2,76 €/kg |
| | Revestimento cimentícios (5 kg) | 2,46 €/kg |
| | <i>Grout</i> (25 kg) | 1,48 €/kg |

No Quadro 6.2, são apresentados os preços médios e os respectivos rendimentos das diferentes categorias de profissão, que possuem as capacidades necessárias de impermeabilizar, consoante o tipo de membrana [w₇₆].

Quadro 6.2 - Preços médios da diversas categorias de mão-de-obra aptas a impermeabilizar

| Categorias | Preço médio (€/h) |
|------------------------------------|--------------------------|
| Oficial de impermeabilizador de 1ª | 12,55 |
| Ajudante de impermeabilizador | 12,11 |

Como forma de incluir custos externos ao sistema, mas igualmente necessários, foram inseridas duas percentagens com o intuito de representar os custos de meios auxiliares e os custos indirectos com a actividade, respectivamente 2% e 3%. O primeiro custo, meios auxiliares, é a percentagem da soma dos custos dos diversos artigos utilizados. Quanto aos custos indirectos, correspondem à percentagem da soma total correspondente aos custos dos meios auxiliares.

Assim sendo, nos custos de meios auxiliares deverão ser inseridos os custos de aquisição de equipamentos necessários à realização do trabalho como, por exemplo: os maçaricos ou os aparelhos de soldar. Já nos custos indirectos, deverão incluir-se, com o intuito de cobrir despesas de escritório, o custo com pessoal administrativo, despesas fixas, entre outros. Estes são custos diluídos ao longo dos diversos trabalhos realizados pelas empresas, que no entanto devem constar no orçamento.

De seguida, são apresentados os custos relativos à impermeabilização dos diversos tipos de fundação: sapatas, ensoleiramento geral e estacas.

6.2.1 - Sapatas

Como forma de relembrar os sistemas de impermeabilização, é importante enumerar as propostas apresentadas no capítulo quatro que são:

- um primeiro geotêxtil de protecção e separação entre o betão de limpeza e a membrana, aplicando-se de seguida a membrana impermeável e, por último, um novo geotêxtil de protecção (solução A);
- uma membrana impermeável e um geotêxtil de protecção entre a membrana e o elemento construtivo (solução B);
- por último, um sistema de impermeabilização constituído apenas por uma só membrana impermeável (solução C).

Para os casos apresentados, foram aconselhadas apenas as membranas de PVC, TPO e EPDM, bem como as mantas bentoníticas (geocompósitos bentoníticos). Consoante o tipo de material a aplicar, o rendimento será diferente, assim como o trabalho necessário a realizar num sistema de

impermeabilização. É possível observar, no Quadro 6.3, os rendimentos para cada material e, no Quadro 6.4, o rendimento dos aplicadores dos sistemas, os impermeabilizadores [w_{86}].

Quadro 6.3 - Rendimento dos produtos maioritariamente usados em sapatas

| Tipo de produto | Rendimento (m^2/m^2) |
|---------------------|--------------------------|
| PVC | 1,300 |
| TPO | 1,300 |
| EPDM | 1,300 |
| Mantas bentoníticas | 1,150 |

Quadro 6.4 - Rendimentos do oficial impermeabilizador e do respectivo ajudante em sapatas

| Categorias | Rendimento (h/m^2) |
|------------------------------------|------------------------|
| Oficial de impermeabilizador de 1ª | 0,182 |
| Ajudante de impermeabilizador | 0,182 |

São assim apresentados três quadros que reflectem a variação por m^2 relativos a cada tipo de solução de sistema (Quadros 6.5, 6.6 e 6.7, que correspondem aos Anexos A.3, A.4 e A.5). Neste caso, como exemplo, são apresentados sistemas com recurso a membranas de PVC que, por sua vez, se apresenta como o mais dispendioso no leque das membranas impermeáveis. Assim sendo, o cálculo do custo das restantes membranas foi remetido para anexos. No Quadro 6.5, com recurso aos preços médios apresentados no Quadro 6.1, é apresentado o exemplo de um sistema de impermeabilização de uma sapata, com recurso a dois geotêxteis de protecção e uma membrana.

Quadro 6.5 - Custos associados à solução A do sistema de impermeabilização com o recurso a uma membrana de PVC

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m² de gramagem cada | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de drenagem e de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /m ² | 11,42 | 14,85 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1ª | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 22,69 €/m ² | 0,45 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 23,14 €/m ² | 0,69 |
| | | | Total: | 23,82 €/m² |

Ainda para o Quadro 6.5, quando se aplica uma membrana de TPO ou EPDM, os custos passam a ser € 22,23 e € 20,48 (Anexos A.6 e A.7).

No Quadro 6.6, é possível observar a variação de custos entre os dois sistemas preconizados, sendo que a diferença entre ambos é de € 1,75 por se extrair um dos geotêxteis. Como tal, a exclusão de só um geotêxtil não é economicamente relevante e a sua presença é bastante útil, sendo por isso recomendada a sua inclusão no sistema (Anexo A.4).

Quadro 6.6 - Custos associados à solução B de sistema de impermeabilização com o recurso a uma membrana de PVC

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo , fixada mecanicamente, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² de gramagem cada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /m ² | 11,42 | 14,85 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 21,01 €/m ² | 0,42 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 21,43 €/m ² | 0,64 |
| | | | Total: | 22,07 €/m² |

No Quadro 6.7, é possível observar o custo de uma membrana de PVC, sem qualquer recurso a um geotêxtil de separação, obtendo-se assim um valor por m² de € 20,31 (Anexo A.5)

Quadro 6.7 - Custos associados à solução C de sistema de impermeabilização com o recurso a uma membrana de PVC

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo , fixada mecanicamente | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /m ² | 11,42 | 14,85 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 19,33 €/m ² | 0,39 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 19,72 €/m ² | 0,59 |
| | | | Total: | 20,31 €/m² |

As restantes membranas aconselhadas, de TPO e de EPDM, possuem preços idênticos aos da membrana de PVC, pelo que os quadros são idênticos aos apresentados para os diferentes casos. Os

sistemas, expostos do anexo A.6 ao A.11, apresentam valores inferiores aos indicados, devido ao custo das membranas TPO e EPDM ser inferior. No caso do Quadro 6.6, os valores variam de € 20,48 e € 20,11 para membranas de TPO e EPDM, respectivamente (Anexos A.8 e A.9). Já para o Quadro 6.7, os valores vão desde € 18,72 a € 18,34 para membranas de TPO e EPDM, respectivamente (Anexos A.10 e A.11).

No caso de se aplicar um geocompósito bentonítico, os geotêxteis deixam de ser necessários, visto que a própria manta já os incorpora. Como tal, os custos são apresentados no Quadro 6.8 como forma de comparação com os restantes casos (Anexo A.12).

Quadro 6.8 - Custos associados à solução C de sistema de impermeabilização com o recurso a uma manta bentonítica

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma manta bentonítica , fixada mecanicamente | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Manta bentonítica | 1,150 m ² /m ² | 8,60 | 9,89 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 14,38 €/m ² | 0,29 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 14,67 €/m ² | 0,44 |
| | | | Total: | 15,11 €/m² |

Como se pode observar, o valor difere bastante quando comparado com uma membrana de PVC, sendo por isso a opção economicamente mais viável, no caso da impermeabilização de fundações do tipo sapatas. A diferença entre custos finais por m² é de € 5,20, valor bastante elevado no que toca a obras de grandes dimensões.

É importante salientar que, no caso em que a estrutura se encontra num solo em que o nível freático é elevado, a solução da manta bentonítica não será a mais indicada, uma vez que a membrana poderá ficar totalmente saturada, prejudicando o sistema.

Conclui-se então que, para elementos construtivos junto ao nível freático, a melhor escolha será recorrer a uma membrana de PVC, de TPO ou de EPDM, mesmo que estas resultem num custo mais elevado, devido às características superiores destas membranas relativamente às mantas, enumeradas no capítulo três. No caso de o nível freático se encontrar afastado dos elementos, pode ser usado qualquer dos sistemas apresentados, recomendando-se o sistema que inclua apenas os geocompósitos bentoníticos, o que levará a um custo total inferior.

6.2.2 - Ensoleiramento geral

Neste tipo de fundações, os casos de estudo de impermeabilização foram essencialmente dois:

- a impermeabilização pela face superior do ensoleiramento geral, aplicando-se qualquer dos materiais referidos no capítulo três, entre a fundação e a laje de fundo de protecção;
- a impermeabilização da fundação pela superfície inferior, onde são aconselhados os seguintes materiais: as membranas de PVC, de TPO, de EPDM e as de PEAD, bem como os geocompósitos bentoníticos; a sua escolha já foi justificada no capítulo quatro, uma vez que as restantes membranas são de difícil fixação, devido à necessidade do seu pré-aquecimento como forma de fixação ao elemento.

Qualquer dos sistemas apresentados, impermeabilização pela face superior ou pela inferior, pode ser auxiliado com geotêxteis como camada de protecção.

Nos sistemas de impermeabilização abordados na fundação por ensoleiramento geral, o rendimento é superior ao das sapatas, uma vez que a sua aplicação é maioritariamente realizada na horizontal, facilitando o processo de execução e aumentando o aproveitamento da membrana.

A pesquisa referente aos rendimentos apresentados foi realizada em *sites* de aplicação de membranas, sendo apresentada a sua média, como forma de atingir o valor correcto de aplicação (Quadro 6.9).

Quadro 6.9 - Rendimento dos produtos maioritariamente usados em ensoleiramentos gerais

| | Tipo de produto | Rendimento |
|--|-----------------------------|--------------------------------------|
| Membranas betuminosas | Betume oxidado | 1,150 m ² /m ² |
| | Betume APP | 1,150 m ² /m ² |
| | Betume SBS | 1,150 m ² /m ² |
| Membranas sintéticas | Painel alveolar de PEAD | 1,100 m ² /m ² |
| | PVC | 1,100 m ² /m ² |
| | TPO | 1,100 m ² /m ² |
| | EPDM | 1,100 m ² /m ² |
| Geocompósitos | Mantas bentoníticas | 1,050 m ² /m ² |
| | Geotêxtil polipropileno | 1,050 m ² /m ² |
| | Geotêxtil fibras sintéticas | 1,050 m ² /m ² |
| | Geotêxtil poliéster | 1,050 m ² /m ² |
| Materiais manufacturados <i>in situ</i> | Emulsão como primário | 0,500 m ² /h |
| | Emulsão betuminosa | 0,500 m ² /h |
| | Revestimento cimentícios | 0,200 m ² /kg |
| | <i>Grout</i> | 0,200 m ² /kg |

Ainda relativamente à impermeabilização do ensoleiramento geral, o rendimento dos aplicadores é também superior ao das sapatas, visto que o número de metro quadrados realizados durante o tempo de trabalho é superior, por ser um trabalho maioritariamente aplicado na horizontal.

Quadro 6.10 - Rendimentos do oficial de impermeabilizador e do respectivo ajudante em ensoleiramentos gerais

| Categorias | Rendimento (h/m²) |
|--|-------------------------------------|
| Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 |
| Ajudante de impermeabilizador | 0,121 |

De forma resumida, são apresentados os diversos custos por m², para possíveis sistemas de impermeabilização em ensoleiramentos gerais, apresentados mais detalhadamente em anexo. Neste caso de impermeabilização, em que é utilizado apenas um material, aconselha-se a sua aplicação pela superfície superior da fundação.

Neste caso, são apresentados os custos associados aos diferentes sistemas de impermeabilização de possível aplicação sob o ensoleiramento geral:

- aplicação de membranas betuminosas (betume, APP e SBS): € 12,21, € 13,86 e € 13,14, respectivamente (Anexos A.13, A.14 e A.15);
- no caso da aplicação de membranas sintéticas (PVC, TPO e EPDM): € 16,63, € 14,99 e € 14,67, respectivamente (Anexos A.16, A.17 e A.18);
- na aplicação simples de uma manta bentonítica, o preço é cerca de € 12,62 (Anexo A.19);
- para materiais manufacturados *in situ* (emulsão betuminosa simples; revestimentos cimentícios e *grout*), o custo pode variar entre: € 4,54, € 3,66 e € 3,45, respectivamente (Anexos A.20, A.21 e A.22).

No caso de se proceder à impermeabilização igualmente pela face superior, pode recorrer-se também a um geotêxtil aplicado por cima da membrana, como modo de protecção, ou simplesmente à aplicação de um primário, emulsão betuminosa e uma membrana betuminosa como forma de completar o sistema.

De seguida, são indicados os custos associados aos diferentes sistemas de impermeabilização de possível aplicação sobre a fundação ensoleiramento geral:

- aplicação de duas camadas de emulsão betuminosa e, de seguida, uma membrana betuminosa (betume, APP e SBS), sendo que os custos podem variar entre: € 13,15, € 14,81 e € 14,09, respectivamente (Anexos A.23, A.24 e A.25);

- no caso da aplicação de membranas sintéticas (PVC, TPO e EPDM), estas devem ser protegidas por um geotêxtil, principalmente pela face superior da membrana; os custos podem variar entre: € 18,15, € 16,49 e € 16,18, respectivamente, no caso um geotêxtil polipropileno; € 18,86, € 17,21 e € 16,89, respectivamente, no caso um geotêxtil fibras sintéticas; € 18,40, € 16,74 e € 16,43, respectivamente, no caso um geotêxtil poliéster (mais usado) (Anexos A.26, A.27, A.28, A.29, A.30, A.31, A.32, A.33 e A.34).

Como referido, no capítulo quatro, as mantas bentoníticas não necessitam de um geotêxtil de protecção ou de drenagem, visto que a sua constituição já os inclui. Assim sendo, como forma simples de impermeabilização, a sua aplicação é a mais adequada. Na eventualidade de se proceder à aplicação de um revestimento de base cimentícia, material manufacturado *in situ*, este deve ser igualmente aplicado, de forma singular, sem o auxílio de outro material.

Para sistemas de impermeabilização cuja aplicação seja realizada pela superfície inferior do ensoleiramento geral, como modo de protecção das membranas sintéticas, pode recorrer-se ao uso de dois geotêxteis. Novamente, as membranas mais comuns neste tipo de sistemas são as de PVC, de TPO ou as de EPDM; assim sendo, utilizando geotêxteis de poliéster, os custos podem variar entre € 20,16, € 18,50 e € 18,19 (Anexos A.35, A.36 e A.37).

Noutro sistema de impermeabilização utilizado, como forma de reforçar a drenagem do solo junto ao elemento, o geotêxtil de protecção e drenagem poderá ser substituído por um painel alveolar de polietileno de alta densidade, cujos custos do sistema podem variar entre € 25,33, € 23,68 e € 23,36 (Anexos A.38, A.39 e A.40).

Por último, num sistema de impermeabilização realizado pela face inferior, pode aplicar-se a manta bentonítica de forma isolada, como referido relativamente à impermeabilização pela face superior, correspondendo a um valor de € 12,62, indicado no Anexo A.19.

De seguida, são apresentados os custos das diversas formas de impermeabilizar a cabeça de uma estaca.

6.2.3 - Estacas

Neste tipo de fundação, as três soluções apresentadas como forma de impermeabilização no capítulo quatro correspondem a:

- aplicação de uma membrana ao nível do topo da estaca em conjunto com o sistema de continuidade; neste caso, as membranas aconselhadas são as de PVC, de TPO e as de EPDM, visto serem as mais maleáveis e de fácil aplicação entre as chapas do sistema (solução apresentada no capítulo 4, Figura 4.28);

- envolvimento do maciço de encabeçamento com o mesmo tipo de membrana (superior e inferior), seguido da aplicação de um *waterstop* envolvendo o remate da membrana à cabeça da estaca; como forma de completar o sistema, deverá proceder-se à aplicação de um revestimento de base cimentícia no topo da estaca;

- idêntica à anterior, mas contemplando a utilização de um produto *grout*, em substituição do produto complementar *waterstop*.

O custo da membrana por m² de um ensoleiramento geral até junto da cabeça da estaca é idêntico ao apresentado no subcapítulo anterior.

O custo apresentado para os diversos sistemas de impermeabilização decorre de um estudo para aplicação de uma estaca com 50 cm de diâmetro, por 20 cm de altura depois de saneada. A primeira estimativa de custos é bastante elevada, mas o seu grau de fiabilidade é bastante superior quando comparado com outros sistemas e com recurso a membranas diferentes. A sua aplicação geralmente ocorre em obras de grande porte e de carácter social importante, como o caso de edifícios públicos (exemplo: Banco de Portugal).

Assim sendo, é possível observar no Quadro 6.11 o custo mínimo e aproximado de um sistema de impermeabilização que inclua como solução um sistema de continuidade (Anexo A.41).

Quadro 6.11 - Custos do primeiro caso de sistema de impermeabilização com um sistema de continuidade

| Impermeabilização do topo da estaca (\varnothing 0,50 m), com uma membrana de cloreto polivinilo , soldada, e um sistema de continuidade | | | | |
|--|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /est | 11,42 | 14,85 |
| un | Sistema de continuidade | 1,000 un | 585,00 | 585,00 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1ª | 0,500 h/est | 12,55 | 6,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,500 h/est | 12,11 | 6,06 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 612,18 | 12,24 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 624,42 | 18,73 |
| | | | Total: | 643,15 €/est |

Neste caso, e em todos os outros que se seguem, é incluída uma membrana impermeável de 1 m², como representação do trabalho que é necessário realizar em volta da cabeça da estaca.

O próximo sistema a abordar tem como base os seguintes produtos: juntas de PVC (por vezes denominadas de *waterstop*, podendo ser de outro material) e revestimentos de base cimentícia. No

rendimento das juntas de PVC, foi calculado o perímetro de uma estaca de 50 cm, calculando-se assim os metros lineares necessários. No caso do rendimento do revestimento de base cimentícia, foi assumida uma camada de 3 cm, tanto topo como na lateral da estaca, calculando-se assim o volume de argamassa necessária.

No Quadro 6.12, é possível observar o resumo do custo médio de juntas de PVC fornecidas por algumas empresas estabelecidas em Portugal. É possível encontrar os respectivos custos do produto no Anexo A.42.

Quadro 6.12 - Custo médio das juntas de PVC (*waterstop*)

| | Tipo de produto | Preço médio (€/m) |
|----------------------|-----------------|-------------------|
| Juntas de PVC | 150 | 7,66 |
| | 200 | 10,06 |
| | 300 | 17,30 |

Pode observar-se no Quadro 6.13, a soma dos custos do segundo sistema de impermeabilização apresentado (Anexo A.43), sendo que o valor de rendimento apresentado para o *waterstop* é o perímetro de uma estaca de 50 cm de diâmetro. Para o cálculo do preço do revestimento cimentício, utilizou-se um peso específico médio de 1,3 kg/m³.

Quadro 6.13 - Custos do segundo caso com recurso a um *waterstop* e revestimento de base cimentícia

| Impermeabilização do topo da estaca (\varnothing 0,50 m), uma membrana de cloreto polivinilo, com o auxílio de uma junta de PVC (<i>waterstop</i>) e um revestimento de cimentícia | | | | |
|---|--|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /est | 11,42 | 14,85 |
| m | Junta de PVC de 200 (<i>waterstop</i>) | 1,571 m/est | 10,06 | 15,79 |
| m ³ | Revestimento de base cimentícia | 0,015 m ³ /est | 31,49 | 0,48 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,500 h/est | 12,55 | 6,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,500 h/est | 12,11 | 6,06 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 43,45 €/est | 0,87 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 44,32 €/est | 1,33 |
| | | | Total: | 45,65 €/est |

No terceiro caso de impermeabilização em que o revestimento de base cimentícia é substituído por um revestimento monocomponente mais resistente, o *grout* com cerca de 5 cm, o quadro relativo aos custos da aplicação deste sistema é apresentado no Anexo A.44, correspondendo a um valor por estaca de € 45,53.

Por fim, o último sistema apresentado exclui a junta de PVC e complementa o sistema com uma espessura superior de *grout*. Assim, o preço relativo a este sistema de impermeabilização é o apresentado no Quadro 6.14 (Anexo A.45).

Quadro 6.14 - Custos do quarto caso de sistema de impermeabilização com a um sistema de continuidade

| Impermeabilização do topo da estaca (\varnothing 0,50 m), uma membrana de cloreto polivinilo e <i>grout</i> | | | | |
|--|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/est) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /est | 11,42 | 14,85 |
| m ³ | <i>Grout</i> | 0,019 m ³ /est | 18,64 | 0,36 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1ª | 1,000 h/est | 12,55 | 12,55 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 1,000 h/est | 12,11 | 12,11 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 39,86 €/m ² | 0,80 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 40,66 €/m ² | 1,22 |
| | | | Total: | 41,88 €/m² |

6.3 - Síntese do capítulo

Após análise do capítulo, foi possível elaborar um quadro de síntese, onde se referem todos os sistemas de impermeabilização tratados e os respectivos custos mínimos associados a cada técnica (Quadros 6.15 a 6.19).

Quadro 6.15 - Quadro de síntese dos diferentes sistemas de impermeabilização, com respectivos custos (€/m²)

| Designação | Custos |
|---|---------|
| Sapatas | |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem cada (Anexo A.3) | 23,82 € |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.4) | 22,07 € |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada (Anexo A.5) | 20,31 € |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de poliolefinas, mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem cada (Anexo A.6) | 22,23 € |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de poliolefinas, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.7) | 20,48 € |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de poliolefinas, mecanicamente fixada (Anexo A.8) | 18,72 € |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de etileno-propileno-dieno, mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem cada (Anexo A.9) | 21,87 € |

Quadro 6.16 - Quadro de síntese dos diferentes sistemas de impermeabilização, com respectivos custos (continuação)

| | |
|--|---------|
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de etileno-propileno-dieno, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.10) | 20,11 € |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de etileno-propileno-dieno, mecanicamente fixada (Anexo A.11) | 18,34 € |
| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma manta bentonítica, mecanicamente fixada (Anexo A.12) | 15,11 € |

Quadro 6.17 - Quadro de síntese dos diversos sistemas de impermeabilização em ensoleiramentos gerais, com os respectivos custos (€/m²)

| Ensoleiramento geral | |
|---|---------|
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume oxidado, soldada (Anexo A.13) | 12,21 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume-polímero polipropileno atáctico, soldada (Anexo A.14) | 13,86 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume-polímero estireno-butadieno-estireno, soldada (Anexo A.15) | 13,14 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada (Anexo A.16) | 16,63 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas, soldada (Anexo A.17) | 14,99 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de etileno-propileno-dieno, soldada (Anexo A.18) | 14,67 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma manta bentonítica, mecanicamente fixada (Anexo A.19) | 12,62 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma emulsão bentonítica (Anexo A.20) | 4,54 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com um revestimento de base cimentícia (Anexo A.21) | 3,66 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com <i>grout</i> (Anexo A.22) | 3,45 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume oxidado e emulsão bentonítica como primário (Anexo A.23) | 13,15 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume-polímero polipropileno atáctico e uma emulsão bentonítica como primário (Anexo A.24) | 14,81 € |
| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume-polímero estireno-butadieno-estireno e emulsão bentonítica como primário (Anexo A.25) | 14,09 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de polipropileno, de 160 g/m ² de gramagem (Anexo A.26) | 18,15 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de polipropileno, de 160 g/m ² de gramagem (Anexo A.27) | 16,49 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de etileno-propileno-dieno, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de polipropileno, de 160 g/m ² de gramagem (Anexo A.28) | 16,18 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de fibras sintéticas, de 250 g/m ² de gramagem (Anexo A.29) | 18,86 € |

Quadro 6.18 - Quadro de síntese dos diversos sistemas de impermeabilização em ensoleiramentos gerais, com os respectivos custos (€/m²) (continuação)

| | |
|---|---------|
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de fibras sintéticas, de 250 g/m ² de gramagem (Anexo A.30) | 17,21 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de etileno-propileno-dieno, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de fibras sintéticas, de 250 g/m ² de gramagem (Anexo A.31) | 16,89 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.32) | 18,40 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.33) | 16,74 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de etileno-propileno-dieno, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.34) | 16,43 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem cada (Anexo A.35) | 20,16 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas, mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem cada (Anexo A.36) | 18,50 € |
| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral com uma membrana de etileno-propileno-dieno, mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem cada (Anexo A.37) | 18,19 € |
| Impermeabilização sob ensoleiramento geral, com um painel alveolar de polietileno de alta densidade, uma membrana de cloreto polivinilo, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.38) | 25,33 € |
| Impermeabilização sob ensoleiramento geral, com um painel alveolar de polietileno de alta densidade, uma membrana de poliolefinas, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.39) | 23,68 € |
| Impermeabilização sob ensoleiramento geral, com um painel alveolar de polietileno de alta densidade, uma membrana de etileno-propileno-dieno, mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m ² de gramagem (Anexo A.40) | 23,36 € |

Quadro 6.19 - Quadro de síntese dos diferentes sistemas de impermeabilização em estacas, com respectivos custos (€/est)

| Estacas | |
|--|----------|
| Impermeabilização do topo da estaca (Ø 0,50 m), com uma membrana de cloreto polivinilo, soldada, e o sistema de continuidade (Anexo A.41) | 643,15 € |
| Impermeabilização do topo da estaca (Ø 0,50 m), com uma membrana de cloreto polivinilo, com o auxílio de uma junta de PVC (<i>waterstop</i>) e um revestimento de base cimentícia (Anexo A.42) | 58,61 € |
| Impermeabilização do topo da estaca (Ø 0,50 m), com uma membrana de cloreto polivinilo, com o auxílio de uma junta de PVC (<i>waterstop</i>) e <i>grout</i> (Anexo A.44) | 58,47 € |
| Impermeabilização do topo da estaca (Ø 0,50 m), com uma membrana de cloreto polivinilo e <i>grout</i> (Anexo A.45) | 41,88 € |

É importante salientar que os preços apresentados correspondem a uma estimativa aproximada da realidade. Como tal, o valor apresentado corresponde simplesmente a um valor médio, não devendo por isso ser considerado como um valor final e preciso. Por outras palavras, no caso de se solicitar um orçamento a uma empresa que efectue impermeabilizações, o preço poderá variar devido a diversos factores: a marca do produto aplicado; o fornecedor escolhido; a inflação; o

valor hora do aplicador; a facilidade ou não de acesso ao local de impermeabilização; as condições de trabalho; e, principalmente, a dimensão da fundação a impermeabilizar. Por exemplo, no caso de um ensoleiramento de grandes dimensões, o preço por m² poderá ser mais baixo do que um de menores dimensões, pois o seu rendimento de aplicação é superior.

Por último, é apresentado um capítulo que reflecte as conclusões retiradas do estudo da presente dissertação e algumas perspectivas de futuro na área de impermeabilizações em fundações.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

7.1 - Considerações finais

Em Portugal, em edifícios de porte médio, são poucas as obras em que se aplicam sistemas de impermeabilização em fundações. No entanto, é possível observar a inclusão de impermeabilização em obras de grande porte, com o objectivo de prolongar a vida útil do edifício, de que são exemplos referenciados na dissertação os edifícios da Fundação Champalimaud e do Banco de Portugal.

No caso de o elemento não estar devidamente impermeabilizado, a água acumulada no solo poderá deteriorá-lo através da absorção por capilaridade, o que facilmente provoca riscos e danos no elemento e conseqüentemente no edifício. Por se tratar de uma zona de difícil acesso após o seu aterro, a sua reabilitação torna-se quase impossível. Só a protecção através da impermeabilização permite o bloqueio da humidade por ascensão capilar.

Pode concluir-se que uma impermeabilização de qualidade é uma solução fácil de alcançar, desde que pensada atempadamente (durante o projecto) e prevendo possíveis anomalias no futuro.

É assim fácil entender que a falta de informação normativa e técnica seja um entrave para as grandes empresas que queiram seguir uma norma, que consiga inserir certos parâmetros na execução, tais como: ensaios; materiais mais comuns; entre outros. Como tal, grande parte da aplicação é feita tendo por base a experiência que os fornecedores e aplicadores vão adquirindo ao longo do tempo.

A análise de custos do capítulo anterior tenta aproximar-se da realidade, podendo ocorrer variações consoante o tipo de trabalho e a dificuldade de execução. Tornou-se evidente a complexidade em determinar um custo geral correcto por unidade de construção para este tipo de obras, que envolve tantos factores e pontos críticos nas membranas de impermeabilização. Nesta dissertação, não foi possível efectuar uma análise de custos de reabilitação, pois os factores condicionantes neste campo acabam por ser ainda mais complexos do que numa construção previamente idealizada.

Os custos não devem ser vistos apenas como um preço acrescido à obra, mas sim como um contributo para o aumento da vida útil do edifício, sendo por isso um investimento a longo prazo, no

mínimo de 100 anos (num cálculo simplista, a vida útil da membrana mais a vida útil do elemento de betão sem qualquer protecção, cerca de 50 anos). No entanto, no caso de membranas com uma vida útil elevada, o sistema geral poderá atingir uma idade superior.

No subcapítulo seguinte, são apresentadas as principais conclusões do estudo da impermeabilização de fundações em edifícios.

7.2 - Principais conclusões do estudo

Iniciou-se a dissertação com uma pequena introdução ao tema de impermeabilização de fundações, onde se concluiu e explicou quais as fundações passíveis de impermeabilizar: sapatas; ensoleiramento geral e estacas.

De seguida, estudaram-se os factores e agentes deteriorantes que podem acelerar a deterioração do material principal das fundações, o betão, e consequentemente o aço que se encontra no seu interior, permitindo a deformação e redução da capacidade de suporte deste elemento construtivo. Identificaram-se como factores prejudiciais os seguintes: os diversos tipos de água (de infiltração; acumulada; suspensa; de capilaridade; de condensação; freática; adsorvida e intersticial); os diferentes tipos de humidade que existem (a humidade de construção; a humidade do terreno (diversos tipos de água indicados) e fenómenos de higroscopicidade; humidade de condensação e a humidade devido a causas fortuitas). Entre este leque de tipo de humidade, só os dos primeiros tipos, a humidade de construção e a humidade do terreno, se apresentam como um perigo quando em contacto com fundações. Como factores prejudiciais em estudo, incluíram-se os micro-organismos, as raízes no solo, o pH do terreno, bem como a altura a que se encontra o nível freático no solo, uma vez que estes factores em contacto directo com o elemento sem qualquer protecção (impermeabilização) aceleram a sua deterioração.

De seguida, identificaram-se no terceiro capítulo os materiais tipicamente usados nos diversos sistemas de impermeabilização possíveis, uma vez que nem todos os materiais impermeabilizantes são utilizados nesta área. O estudo focou-se fundamentalmente nos seguintes produtos: membranas de betume oxidado; de betume-polímero de APP; de betume-polímero de SBS; de PEAD; de PVC; de TPO; de PP; de PE; de EPDM; geocompósitos; emulsões betuminosas e revestimentos de base cimentícia. Foi assim possível reunir as características relevantes das membranas e produtos com o intuito de perceber e comparar entre elas as propriedades cruciais na escolha adequada do sistema. Consideraram-se assim as seguintes características úteis num produto: a vida útil; o alongamento; a resistência ao frio; a flexibilidade; a resistência às raízes; a adequabilidade do material ao meio ambiente; o modo de aplicação e as dimensões habitualmente comercializadas.

O estudo relevou ainda que os materiais com uma vida útil superior são as membranas de PEAD, de PVC, de TPO, de PP, de PE, de EPDM e os geocompósitos bentoníticos (mantas), com uma vida média superior a 50 anos e que, nalguns casos, atinge 100 anos.

Consoante o material, assim varia o método de aplicação e a dimensão normalmente comercializada. O método de aplicação pode variar entre as seguintes técnicas de impermeabilização: soldadura; aplicação mecânica; rolo; trincha ou talocha. No caso das membranas de betume oxidado, de betume-polímero de APP, de betume-polímero de SBS e de EPDM, a aplicação faz-se apenas por soldadura (recurso a maçarico). No caso das membranas de PEAD e das mantas bentoníticas (geocompósitos), a sua fixação é apenas mecânica. No entanto, para as restantes membranas, de PVC, de TPO, de PP e de PE, a fixação pode ser tanto por soldadura (cunha ou ar quente) como mecânica. Por último, os materiais manufacturados *in situ* (emulsões e revestimentos de base cimentícia) podem ser aplicados em rolo, à trincha e à talocha.

No quarto capítulo, apresentaram-se os diversos sistemas de impermeabilização para os tipos de fundação estudados. No caso das sapatas, conclui-se que a impermeabilização é feita sem grande dificuldade; no entanto, no caso da impermeabilização de sapatas ligadas por vigas de fundação, a sua execução é bastante mais complexa e demorada, aumentando a possibilidade de erros de execução e de pontos de infiltração que possam permitir a entrada de água. Como referido ao longo da dissertação, se o número das sapatas a impermeabilizar for significativo, é aconselhado que o tipo de fundação seja alterado para um ensoleiramento geral contínuo, sempre que possível. Por outras palavras, deve ser feito um estudo de comparação entre os dois tipos de fundação e respectiva impermeabilização, e de seguida concluir e verificar qual a mais conveniente de aplicação. Esta alteração facilitaria quer o processo construtivo do elemento quer a sua impermeabilização, evitando a presença de um elevado número de remates e consequentes pontos críticos na membrana, por ser aplicada maioritariamente na horizontal.

Para impermeabilizações em fundações do tipo ensoleiramento geral, foram abordados e estudados dois tipos de sistemas: um executado pela face superior do ensoleiramento e outro pela face inferior. Conclui-se que a escolha dos materiais mais apropriados depende do sistema adoptado, mas outros factores mencionados (por exemplo, a altura do nível freático) também influenciam em parte essa escolha. Quando se tem uma fundação deste tipo, caso o nível freático esteja relativamente perto do elemento, a solução mais aconselhada é a de impermeabilizar pela face inferior, protegendo o interior da laje do ensoleiramento. É importante referir que a impermeabilização pode ser realizada apenas numa das faces, evitando custos excessivos, e não nas duas, superior e inferior.

No caso da impermeabilização de estacas, foi referido o sistema de protecção do topo da estaca, depois de saneada, bem como o maciço de encabeçamento da ligação de diversas estacas.

Além dos materiais comuns, foi apresentada uma solução de continuidade, realizada por uma empresa da especialidade, tornando o trabalho mais limpo, perfeito e com maiores certezas de estanqueidade. Em contrapartida, o seu custo é bastante superior (sistema aplicado no Banco de Portugal).

Foram ainda estudadas as anomalias possíveis em fundações durante a fase da pré-execução, durante a vida útil do elemento (este não tenha sido protegido ou ter sido indevidamente aplicado), e anomalias que podem aparecer na própria membrana. No subcapítulo de anomalias de pré-execução, deu-se ênfase às seguintes: vazios e zonas porosas e segregação. No caso de se prever inicialmente a aplicação de uma membrana como protecção, a fundação ficará protegida, deixando de estar em contacto com a água, evitando a degradação do elemento. Em termos de anomalias durante o decorrer da vida útil, foram incluídas as que ocorrem quando a membrana aplicada não é a adequada ou quando não é aplicada correctamente, permitindo a passagem dos agentes degradantes. Neste caso, apenas se introduziram três anomalias: fissuração do betão, ataques de sulfatos e, por fim, corrosão das armaduras. No terceiro subcapítulo, anomalias em membranas de impermeabilização, identificaram-se as seguintes: pregas, empolamento e a própria fissuração da membrana, com o decorrer da vida útil da membrana.

Por último, foram referidas algumas técnicas de reabilitação de anomalias em fundações, focando-se fundamentalmente em fundações do tipo ensoleiramento geral, uma vez que se concluiu que as restantes geralmente não são passíveis de ser reabilitadas, tanto pela sua inacessibilidade, como por ser economicamente inviável.

Por fim, realizou-se um estudo, onde se efectuou um levantamento dos preços médios dos diversos produtos apresentados para os diferentes sistemas de impermeabilização, com o intuito de relacionar as diversas técnicas de aplicação. Foi assim realizada uma estimativa de custos, onde se incluíram os materiais aplicados, a mão-de-obra especializada usada, bem como uma pequena percentagem do custo total, com o objectivo de contemplar meios auxiliares e custos indirectos por metro quadrado de trabalho. Determinou-se assim o custo em €/m² para cada sistema de impermeabilização estudado no capítulo quatro. Para tal, foi necessário recorrer a uma pesquisa dos diversos custos e rendimentos de aplicação de membranas.

7.3 - Perspectivas de desenvolvimento futuro

O elemento fundação do edifício, devido à sua função e importância na construção, deve ser preservado e mantido, sempre que possível, nas condições ideais, como forma de prolongar a sua vida útil e consequentemente a do edifício onde se inclui.

Como tal, a impermeabilização destes elementos com o auxílio de membranas impermeáveis permite cumprir o seu principal objectivo, isto é, evitar que a água e outros constituintes do solo atinjam o elemento e o deteriore.

No presente documento, foi possível aprofundar os materiais utilizados em fundações, sem a possibilidade de uma base de informação normativa ou de ensaios realizados por instituições mundiais e creditadas, devido à escassez ou inexistência de informação. Apenas se encontra alguma informação sobre a impermeabilização de coberturas e de paredes enterradas, que serviu de base ao presente estudo, principalmente ao capítulo dos materiais, devido às características comuns entre sistemas.

Devido às lacunas existentes, são dadas sugestões numa perspectiva futura desta área, como forma de a melhorar e implementar cada vez mais na construção:

- conhecimento geral das soluções aplicadas em Portugal e noutros países, com o intuito de apresentar um esquema de trabalho adequado a cada tipo de fundação, onde se incluam os materiais mais apropriados a cada sistema; pode considerar-se que este ponto foi atingido nesta dissertação, mas que é necessário reforçar o estudo científico nesta área; devem ainda ser estudadas as medidas de segurança fundamentais durante a execução destes trabalhos; bem como possíveis ensaios a fazer como prova de uma correcta impermeabilização;

- realização de ensaios em laboratórios especializados, como base de informação para aplicadores e fornecedores de materiais, nesta área tão específica e pouco aprofundada, aumentando o conhecimento e evitando erros de execução; a normalização dependeria de diversos factores: das técnicas aplicadas que variam com o tipo de fundação; dos ensaios necessários que variam consoante o material; da percentagem de amostragens que varia consoante o material e o tipo de fundação; do material a adoptar, consoante o tipo de solo, o tipo de fundação e a cota do nível freático; o estudo destes factores seria uma mais-valia durante a execução do elemento construtivo, permitindo um maior controlo no investimento inicial;

- realizar um trabalho de campo que avalie as diversas anomalias junto dos elementos, que demonstrem propagação de água por capilaridade, por exemplo, desde as fundações até ao interior do edifício; reunir a informação das características do solo (por exemplo, a humidade presente no solo) e, com isso, realizar um estudo que permita relacionar as suas características com as dos produtos de impermeabilização, permitindo assim a escolha adequada do material;

- realizar inspecções nos edifícios, durante a fase de construção, permitindo registar a ocorrência de anomalias e a sua rápida intervenção, realizando-se simultaneamente um levantamento de: anomalias detectadas, respectivas causas e efeitos e soluções de intervenção;

realizar um estudo que compreenda e evite que ocorram efeitos idênticos na nova construção de edifícios;

- elaborar pormenores construtivos normalizados para cada tipo de fundação: sapatas, ensoleiramento geral e estacas; também este ponto foi tratado no Capítulo 4 mas, como referido, fundamentalmente influenciado e baseado na base da experiência de fornecedores e aplicadores; como tal, é sugerido um estudo que possa indicar as correctas pormenorizações, consoante o tipo de fundação, depois de estudadas em laboratório, com a variação dos diversos factores de deterioração.

Como João Justo (2010) refere: “Regista-se ainda que a normalização sobre este assunto está longe de ser consensual e não existe, para já, normalização europeia que contemple os múltiplos materiais aplicados nas obras subterrâneas”.

BIBLIOGRAFIA

ADAMOVICH, E. - “How to protect structures from water”, Construction and reconstruction, V.1, n.º 8, pp. 8-9, EUA, 2001

ASTM - “Standard specification for emulsified asphalt used as a protective coating for roofing”, Standard D 1227-82, Filadélfia, ASTM, 1982

BBA - “Elastophene roof covering systems”, British Board of Agrément, Agrément Certificate n.º 89/2279/C, Garston, 1989

BBA - “SARNAFIL S PVC Roof Covering System”, British Board of Agrément, Agrément Certificate n.º 87/1849, Garston, 1987

BRITO, Jorge de - “Anomalias em betão armado e pré-esforçado”, Documento de apoios às aulas de Patologia e Reabilitação de Edifícios, IST, Lisboa, 2007

BRITO, Jorge de; GUERREIRO, Silvério - “Impermeabilização de pisos enterrados”, Documentos de apoio à cadeira de Processos de Construção, IST, Lisboa, 1999

BRITO, Jorge de - “Metodologias de intervenção”, Documento de apoios às aulas de Inspeção e Reabilitação de Construções, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2001

BRITO, Jorge de - “Muros de Berlim e muros de Munique”, Documentos de apoio à cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, IST, Lisboa, 2009

BRITO, Jorge de - “Patologias em pontes de betão”, 1º Ciclo de Seminários de Engenharia Civil, ESTIG, Beja, 2005

CETCO - "Foudantion detail - Slab on footing (hydrostatic condition)", Detalhe VT-105, Estados Unidos da América, 2004

ENGEPOL - "Capítulo 14 - Geocomposto bentonítico", Manual de Geossintético, 3ª Edição, pp 157-163, Barueri, Brasil, 2006

GOMES, L. M. Ferreira - “ Geotêxteis e suas aplicações”, Seminário: A indústria têxtil nos caminhos da inovação, pp. 10-20, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2001

GONÇALVES, Manuela; GRANDÃO LOPES, Jorge; BRITO, Jorge de e LOPES, Maria da Graça - “Características das membranas de impermeabilização de coberturas em terraço”, Revista Engenharia Civil, n.º 22, pp. 59-71, Universidade do Minho, Guimarães, 2005

GRANDÃO LOPES, Jorge - “Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço”, Informação Técnica Edifícios ITE 34, LNEC, Lisboa, 2006

HENRIQUES, Fernando M. A. - “Humidade em paredes”, Conservação e Reabilitação, LNEC, Lisboa, 2007

JAMES A.D., NEEDHAM D., BROWN S.F. - “The benefits of using Ordinary Portland Cement in solvent free dense graded bituminous emulsion mixtures”, Washington, 1996

JOSEPH, Claude - “L’étanchéité des toiture”, Les Dossiers de la Construction, Paris, 1985

JUSTO, João - “4º e 5º Sessões - Impermeabilização de paredes enterradas”, Seminário sobre impermeabilizações em edifícios correntes, FUNDEC, IST, 2003

JUSTO, João - “Impermeabilização de paredes enterradas e coberturas”, Seminário, Universidade do Minho, 2010

JUSTO, João - “Obras subterrâneas: Impermeabilização e drenagem associadas”, Dissertação de Mestrado em Construção, IST, Lisboa, 2004

MALHADO, Silvio; SOUZA, Ubinaci; Barros, Mercia de; Franco, Luiz; Hino Maurício; Godói, Eduardo; Hoo, Gregory e Shimizu, Júlio - “Fundações”, Documentos de apoio à cadeira de Tecnologia de Construção de Edifícios I, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, 2002

MUTH, Wilfried - “Abdichtung und Dränung am Bau. Schutz vor nichtdrückendem Wasser (traduzido, revisto e adaptado para Português “Impermeabilização e drenagem na construção e protecção contra as águas freáticas” por DUERHOLT, Edgard, Divisão Comportamento das Construções, LNEC, Lisboa, 1974), Gütersloh, 1971

NARZARCHUK, Alex, P.E. - “Water intrusion in underground structures”, UCLA, Los Angeles, 2005

PERDIGÃO, Raul - “Impermeabilização de construções, soluções tecnológicas e critérios de selecção”, Dissertação de Mestrado em Construção, IST, Lisboa, 2007

PEREIRA, Manuel - “Anomalias em paredes de alvenaria sem função estrutural”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, 2005

RGEU - “Regulamento Geral das Edificações Urbanas”, Ministério das Obras Públicas, Diário da República Decreto-Lei nº 38.382 do dia 7 de Agosto de 1951

SABBATINI, Fernando, CARDOSO, Francisco, FRANCO Luiz e BARROS, Mercia - “Fundações”, Documentos de apoio à cadeira de Tecnologia da Construção de Edifícios I, EPUSP, Brasil, 2003.

SANGAM, Henri P. e ROWE, R. Kerry - “Durability of HDPE geomembranes”, Geotextiles and Geomembranes, V. 20, n.º 2, pp. 77-95, 2002

SIKA - “Flexible waterproofing of basement structures with Sikaplan membranes”, Publicação Sika, p. 9, Suíça, 2007

TARNOWSHI, C. e BALDANF, S. - “Ageing resistance of HDPE - geomembrane evolution of long-term behavior under consideration of project experiences”, Geosynthetics: Proceedings of the 8th International Conference on Geosynthetics (8ICG), J. Kuwano & J. Kosaki (eds), Yokohama, Japão, pp. 359-362, 2006

TORRES, Isabel - “Humidades em paredes de edifícios”, Documentos de apoio à cadeira de Tecnologia das Construções, FCTUC, Coimbra, 2009.

UEAct - “Revêtement d’étanchéité de toitures POLYRUBBER, Union Belge por L’agrément Technique dans la Construction, ATG 1579, Bruxelas, 1984

WALTER, Ana - “Sistemas de classificação para inspeção de impermeabilizações de coberturas em terraço”, Dissertação de Mestrado em Construção, IST, Lisboa, 2002

Acervo pessoal do Eng. João Justo

Acervo pessoal da empresa HPedroMartins

Páginas de Internet consultadas:

[w₁] - www.estt.ipt.pt/download/.../1136__Humidade_Construção.pdf, consultada a 05.11.2010

[w₂] - http://4.bp.blogspot.com/_3X0dRqRhtQ8/TF4EesOpCXI/AAAAAAAAACQ/RtisgvYGBkg/s1600/28072010559.jpg, consultada a 13.03.2011

[w₃] - <http://img517.imageshack.us/img517/9414/imagem10rf1.jpg>, consultada a 01.11.2009

[w₄] - <http://www.ode.com.tr/page.en/urun.yapi/img/odemembranplanlamasf4.jpg>, consultada a 09.01.2011

[w₅] - <http://img381.imageshack.us/img381/8875/imagem3ff0.jpg>, consultada a 29.11.2009

[w₆] - <http://picasaweb.google.com/ruicasal/AMinhaConstruO#>, consultada a 18.10.2010

[w₇] - <http://sites.google.com/site/fundacoes082/visita-de-obra-1>, consultada a 18.10.2010

- [w₈] - <http://www.thesebuildblog.com/blog/page/4/>, consultada a 20.10.2010
- [w₉] - http://www.icfhomes.com/PhotoPages/photo_waterproof.htm, consultada a 20.10.2010
- [w₁₀] - www.rawell.co.uk, consultada a 24.02.2010
- [w₁₁] - <http://www.wiskoamerica.com>, consultada a 29.12.2010
- [w₁₂] - <http://www.fibertite.com/comparison-pages/ft-membrane-roofing-vs-TPO-roofs.html>, consultada a 29.11.2009
- [w₁₃] - <http://relatorioecontas.galpenergia.com/P%C3%A1gina-2-305.aspx>, consultada a 27.11.2010
- [w₁₄] - <http://www.losimi.pt/pdf/membranas.pdf>, consultada a 03.01.2011
- [w₁₅] - <http://www.bilev.az/upload/Image/2%287%29.jpg>, consultada a 03.12.2010
- [w₁₆] - http://www.arwmag.com/Articles/Feature_Article/BNP_GUID_9-5-2006_A_10000000000000286670, consultado a 15.08.2010
- [w₁₇] - <http://www.indiamart.com/civildocter/crystalline-waterproofing.html>, consultada a 14.08.2010
- [w₁₈] - http://www.tradekorea.com/product-detail/P00095106/sbs_Modified_Waterproofing_Membrane__Rubydeck_.html#, consultada a 22.07.2010
- [w₁₉] - www.imperialum.com, consultada a 10.12.2009
- [w₂₀] - www.texsa.com/pt
- [w₂₁] - <http://www.tegola.ro/sisteme-de-protectie-hdpe,49,isostudgeop.html>, consultada a 27.11.2010
- [w₂₂] - <http://www.fulma.es/verimagen.asp?fichero=documentos/file/productos/imagen/123.jpg>, consultada a 29.12.2010
- [w₂₃] - <http://www.belmontroofing.co.uk/SpecialistSystems.html>, consultada a 28.12.2010
- [w₂₄] - <http://www.plastemart.com/Plastic-Technical-Article.asp?LiteratureID=1516>, consultada a 29.12.2010
- [w₂₅] - <http://www.wiskoamerica.com/>, consultada a 28.12.2010
- [w₂₆] - <http://www.made-in-china.com/showroom/ntkdfh08/product-detailCqNxnROuhgVG/China-Polyethylene-Polypropylene-Fiber-Waterproof-Membrane.html>, consultada a 26.08.2010
- [w₂₇] - <http://www.tradepad.net/>, consultada a 26.08.2010

- [w₂₈] - <http://shandongjinyuwang.en.made-in-china.com/product/LqEmVxIAWrYp/China-EPDM-Waterproof-Sheet.html>, consultada a 10.08.2010
- [w₂₉] - <http://www.sg-bg.com/pageen2.php?H=65>, consultada a 13.08.2010
- [w₃₀] - <http://www.superpages.com/supertips/what-is-epdm-roofing.html>, consultada a 10.08.2010
- [w₃₁] - <http://www.franklinhodge.com/water-tank-liners.aspx>, consultada a 10.08.2010
- [w₃₂] - <http://shandongjinyuwang.en.made-in-china.com/product/LqEmVxIAWrYp/China-EPDM-Waterproof-Sheet.html>, consultada a 10.08.2010
- [w₃₃] - http://www.forumdaconstrucao.com.br/materias/imagens/00261_02.jpg, consultada a 15.01.2011
- [w₃₄] - <http://www.enkadrain.it/img/foto/geocomposito-drenante.jpg>, consultada a 15.01.2011
- [w₃₅] - <http://www.edilportale.com/upload/prodotti/prodotti-5331-fot1.jpg>, consultada a 15.01.2011 - confirmar última imagens
- [w₃₆] - <http://www.anteprojectos.com.pt/2011/02/07/43385/>, consultado a 08.03.2011
- [w₃₇] - <http://reformeja.com.br/projetos/projeto/15-impermeabilizacao>, consultada a 05.06.2010
- [w₃₈] - <http://www.benzeneinternational.com/113234.html>, consultada a 26.08.2010
- [w₃₉] - <http://www.patentstorm.us/patents/4877457/description.html>, consultada a 26.08.2010
- [w₄₀] - <http://www.maxit.pt/image.asp?id=4443>, consultada a 06.06.2010
- [w₄₁] - http://www.dolphinlining.com/english/HDPE_membrane_liner_properties.php#Physical_Properties, consultada a 15.10.2010
- [w₄₂] - http://www.qualitydress.com/d-p119904159740886025-thermoplastic_polyolefin_tpo_water_proof_membrane_with_inner_reinforced_layer_polyester_scrim_fiber_glass/, consultada a 10.08.2010
- [w₄₃] - <http://www.kamsons.com/KAMICRYL-LAVATEX.html>, consultada a 26.08.2010
- [w₄₄] - <http://searchwarp.com/swa449755-Advantages-And-Disadvantages-Of-Cement-Based-Cementitious-Waterproofing.htm>, consultada a 15.10.2010
- [w₄₅] - <http://www.waterproofcn.com/3-hdpe-1.html>, consultada a 15.10.2010
- [w₄₆] - <http://picasaweb.google.com/lh/photo/Ulu15KY5k870IR-8-Kjp2Q>, consultada a 06.12.2010
- [w₄₇] - http://4.bp.blogspot.com/_9vx0n-lgWhI/SEwtmfmY0PI/AAAAAAAAABI/6xg0ymqbuEA/s320/Fotos+constru%C3%A7%C3%A3o+004.jpg, consultada a 06.12.2010

- [w₄₈] - <http://picasaweb.google.com/ruicasal/AMinhaConstruO#>, consultada a 18.10.2010
- [w₄₉] - <http://www.elephantnz.co.nz/Voltex%20to%20footings%20and%20pads.html>, consultada a 28.03.2011
- [w₅₀] - <http://www.geoplano.pt/aherne/fotos/Ensaio%20est%E1tico%20de%20carga%20com%20placa.jpg>, consultada a 28.03.2011
- [w₅₁] - www.imperialum.pt, consultada a 06.12.2011
- [w₅₂] - <http://portalegre.geradordeprecos.info/NIC/NIC030.html>, consultada a 06.12.2010
- [w₅₃] - www.rawell.co.uk, consultada a 01.12.2009
- [w₅₄] - www.weber.com, consultada a 06.12.2011
- [w₅₅] - <http://www.henkelpolybit.com/images/stories/waterproofing/Polyprotek%20PH.jpg>, consultada a 04.01.2011
- [w₅₆] - <http://www.5pioneers.ae/dec.html>, consultada a 28.02.2011
- [w₅₇] - <http://www.safeguardeurope.com/diagrams/pile-head-ground-beam.gif>, consultada a 06.10.2010
- [w₅₈] - <http://www.sharecg.com/images/medium/458.jpg>, consultada a 13.03.2011
- [w₅₉] - http://4.bp.blogspot.com/_uxMPAO6JSxY/Sund4qU6AXI/AAAAAAAAApc/AGdUeiDA1ZM/s1600-h/concrete_large_holes_9250007.jpg, consultada a 13.03.2011
- [w₆₀] - http://www.weber.com.pt/uploads/pics/8288_img.jpg, consultada a 11.03.2011
- [w₆₁] - http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/51678651/Self_Adhesive_Waterproofing_Membranes_with_Aluminium_Foil.jpg, consultada a 20.04.2011
- [w₆₂] - http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1162__Anomalias%20em%20paredes.pdf, consultada a 09.04.2011
- [w₆₃] - http://www.comprasnet.gov.br/publicacoes/manuais/manual_manutencao.pdf, consultada a 16.04.2011
- [w₆₄] - <http://filer.case.edu/slr21/Bridge/sulfate1.jpg>, consultada a 16.04.2011
- [w₆₅] - <http://paulo.luigi.blog.uol.com.br/images/DSC05855.JPG>, consultada a 19.04.2011
- [w₆₆] - http://www.inspectapedia.com/roof/EPDM_Roofing_361_DJFs.jpg, consultada a 20.04.2011
- [w₆₇] - <http://www.danosa.fr/danosa/CMSServlet?cmd=volverHome&lng=4&site=3>, consultada a 08.06.2011

[w₆₈] - www.imperialum.com, consultada a 08.06.2011

[w₆₉] - www.mapei.pt, consultada a 08.06.2011

[w₇₀] - www.sika.pt, consultada a 08.06.2011

[w₇₁] - www.sotecnisol.pt, consultada a 08.06.2011

[w₇₂] - www.texsa.pt, consultada a 08.06.2011

[w₇₃] - www.weber.com/pt, consultada a 08.06.2011

[w₇₄] - www.geradordeprecos.info, consultada a 08.06.2011

ANEXOS

Anexo A.1 - Custo dos diversos produtos possíveis de aplicar em sistemas de impermeabilização, consoante a empresa comerciante [w₆₇] [w₆₈] [w₆₉] [w₇₀]

| | Tipo de produto | Empresas comerciantes | | | | | | | |
|---|---|-----------------------|-------|---------------------|-------|-----------------------|-------|----------------------|-------|
| | | Danosa | | Imperialum | | Mapei | | Sika | |
| Membranas betuminosas | Betume oxidado (€/m ²) | - | | Imperplas Neo R 40 | 7,10 | - | | - | |
| | Betume APP (€/m ²) | - | | Polyester 40 Garden | 9,77 | - | | - | |
| | Betume SBS (€/m ²) | Esterdan 30 | 8,12 | - | | - | | - | |
| Membranas sintéticas | Painel alveolar de PEAD (€/m ²) | Danodren Jardin | 5,62 | Aguadraingeo | 6,26 | - | | Sika PHD 500 Geo/20 | 6,82 |
| | PVC (€/m ²) | Danopol FV 1,8 | 10,29 | Imperplan G 15 | 12,91 | Mapeplan TU S | 13,50 | Sikaplan 15 G | 11,53 |
| | TPO (€/m ²) | - | | - | | - | | - | |
| | EPDM (€/m ²) | - | | - | | - | | - | |
| Geocompósitos | Mantas bentoníticas (€/m ²) | - | | - | | Mapeproof | 10,40 | - | |
| | Geotêxtil polipropileno (€/m ²) | Danofelt 160 | 1,75 | Impersep 150 | 1,48 | - | | - | |
| | Geotêxtil fibras sintéticas (€/m ²) | - | | Impersep 250 | 2,97 | - | | - | |
| | Geotêxtil poliéster (€/m ²) | Danofelt PY 300 | 1,41 | - | | - | | - | |
| Materiais manufacturados in situ | Emulsão como primário (€/kg) | Curidan | 2,13 | Imperkote F | 1,48 | - | | Igol P | 1,98 |
| | Emulsão betuminosa (€/kg) | Maxdan | 2,45 | Imperkote L | 2,19 | Plastimul | 2,53 | Inertol F | 3,43 |
| | Revestimento cimentícios (€/kg) | Oxiasfalto | 2,77 | - | | Mapelastic Foundation | 3,50 | Sika Minipack Imperm | 2,45 |
| | Grout (€/kg) | - | | Impercim 201 | 1,54 | Mapetherm AR1 | 0,73 | Sika Grout 218 | 0,86 |

Anexo A.2 - Custo dos diversos produtos possíveis de aplicar em sistemas de impermeabilização, consoante a empresa comerciante [w₇₁] [w₇₂] [w₇₃]

| | Tipo de produto | Empresas comerciantes | | | | | |
|--|---|-----------------------|-------|-----------------------|-------|------------------|------|
| | | Sotecnisol | | Texsa | | Weber | |
| Membranas betuminosas | Betume oxidado (€/m ²) | - | | Moply N FP 5 Kg | 7,92 | - | |
| | Betume APP (€/m ²) | Ecoplas PY 40 Jardim | 8,87 | Texal FP 4 Kg Mineral | 8,01 | - | |
| | Betume SBS (€/m ²) | - | | Moterplas SBS FP | 8,45 | - | |
| Membranas sintéticas | Painel alveolar de PEAD (€/m ²) | Tecdrain Jardim | 5,96 | Drentex Protect Plus | 5,35 | - | |
| | PVC (€/m ²) | Alkorplan 35041 | 10,96 | Vinitex SL 1,5 | 11,90 | - | |
| | TPO (€/m ²) | - | | Texsalon WR 1,52 | 10,25 | - | |
| | EPDM (€/m ²) | - | | Sure-seal MP 1,52 | 9,98 | - | |
| Geocompósitos | Mantas bentoníticas (€/m ²) | Voltex | 6,80 | - | | - | |
| | Geotêxtil polipropileno (€/m ²) | Tecgeo ST 150 | 0,66 | Texxam 1000 | 1,60 | - | |
| | Geotêxtil fibras sintéticas (€/m ²) | - | | Roofex FV 100 | 1,07 | - | |
| | Geotêxtil poliéster (€/m ²) | - | | Roofex 300 | 1,78 | - | |
| Materiais manufacturados <i>in situ</i> | Emulsão como primário (€/kg) | Tecsol 1 | 1,48 | Emufal I | 1,93 | Weber.dry fondo | 1,81 |
| | Emulsão betuminosa (€/kg) | Tecsol 2 | 2,19 | Emufal N | 2,96 | Weber.dry lastic | 3,58 |
| | Revestimento cimentícios (€/kg) | - | | - | | Weber.dry KF | 0,97 |
| | <i>Grout</i> (€/kg) | - | | - | | Weber.tec 824 | 2,60 |

Anexo A.3 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de PVC e dois geotêxteis

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m² de gramagem cada | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de drenagem e de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /m ² | 11,42 | 14,85 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 22,69 €/m ² | 0,45 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 23,14 €/m ² | 0,69 |
| | | | Total: | 23,82 €/m² |

Anexo A.4 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de TPO e um geotêxtil

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo , fixada mecanicamente, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² de gramagem cada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /m ² | 11,42 | 14,85 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 21,01 €/m ² | 0,42 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 21,43 €/m ² | 0,64 |
| | | | Total: | 22,07 €/m² |

Anexo A.5 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de TPO

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /m ² | 11,42 | 14,85 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 19,33 €/m ² | 0,39 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 19,72 €/m ² | 0,59 |
| | | | Total: | 20,31 €/m² |

Anexo A.6 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de TPO e dois geotêxteis

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de poliolefinas , mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m² de gramagem cada | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de drenagem e de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,300 m ² /m ² | 10,25 | 13,33 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 21,16 €/m ² | 0,42 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 21,58 €/m ² | 0,65 |
| | | | Total: | 22,23 €/m² |

Anexo A.7 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de TPO e um geotêxtil

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de poliolefinas , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² de gramagem | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,300 m ² /m ² | 10,25 | 13,33 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 19,49 €/m ² | 0,39 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 19,88 €/m ² | 0,60 |
| | | | Total: | 20,48 €/m² |

Anexo A.8 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de TPO

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de poliolefinas , mecanicamente fixada | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,300 m ² /m ² | 10,25 | 13,33 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 17,81 €/m ² | 0,36 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 18,17 €/m ² | 0,55 |
| | | | Total: | 18,72 €/m² |

Anexo A.9 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de EPDM e dois geotêxteis

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de etileno-propileno-dieno , mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m² de gramagem cada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de drenagem e de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,300 m ² /m ² | 9,98 | 12,97 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 20,81 €/m ² | 0,42 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 21,23 €/m ² | 0,64 |
| | | | Total: | 21,87 €/m² |

Anexo A.10 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de EPDM e um geotêxtil

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de etileno-propileno-dieno , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² de gramagem | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,300 m ² /m ² | 9,98 | 12,97 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 19,14 €/m ² | 0,38 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 19,52 €/m ² | 0,59 |
| | | | Total: | 20,11 €/m² |

Anexo A.11 - Impermeabilização sob sapatas com membrana de EPDM

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma membrana de etileno-propileno-dieno , mecanicamente fixada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,300 m ² /m ² | 9,98 | 12,97 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 17,46 €/m ² | 0,35 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 17,81 €/m ² | 0,53 |
| | | | Total: | 18,34 €/m² |

Anexo A.12 - Impermeabilização sob sapatas com uma manta bentonítica

| Impermeabilização sob sapatas isoladas, com uma manta bentonítica , fixada mecanicamente | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Manta bentonítica | 1,150 m ² /m ² | 8,60 | 9,89 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,182 h/m ² | 12,55 | 2,28 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,182 h/m ² | 12,11 | 2,20 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 14,38 €/m ² | 0,29 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 14,67 €/m ² | 0,44 |
| | | | Total: | 15,11 €/m² |

Anexo A.13 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com membrana de betume oxidado

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume oxidado , soldada | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de betume oxidado | 1,150 m ² /m ² | 7,51 | 8,64 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 11,62 €/m ² | 0,23 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 11,85 €/m ² | 0,36 |
| | | | Total: | 12,21 €/m² |

Anexo A.14 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com membrana de polímero-betume de APP

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de polímero polipropileno atáctico , soldada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de polímero-betume APP | 1,150 m ² /m ² | 8,88 | 10,22 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 13,20 €/m ² | 0,26 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 13,48 €/m ² | 0,40 |
| | | | Total: | 13,86 €/m² |

Anexo A.15 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com membrana de polímero-betume de SBS

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de polímero estireno-butadieno-estireno , soldada | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de polímero-betume SBS | 1,150 m ² /m ² | 8,29 | 9,53 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 12,51 €/m ² | 0,25 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 12,76 €/m ² | 0,38 |
| | | | Total: | 13,14 €/m² |

Anexo A.16 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com membrana de PVC

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,100 m ² /m ² | 11,68 | 12,85 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 15,83 €/m ² | 0,32 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 16,15 €/m ² | 0,48 |
| | | | Total: | 16,63 €/m² |

Anexo A.17 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com membrana de TPO

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas, soldada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,100 m ² /m ² | 10,25 | 11,28 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 14,26 €/m ² | 0,29 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 14,55 €/m ² | 0,44 |
| | | | Total: | 14,99 €/m² |

Anexo A.18 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com membrana de EPDM

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de etileno-propileno-dieno, soldada | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,100 m ² /m ² | 9,98 | 10,98 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 13,96 €/m ² | 0,28 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 14,24 €/m ² | 0,43 |
| | | | Total: | 14,67 €/m² |

Anexo A.19 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma manta bentonítica

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma manta bentonítica, mecanicamente fixada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Manta bentonítica | 1,050 m ² /m ² | 8,60 | 9,03 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 12,01 €/m ² | 0,24 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 12,25 €/m ² | 0,37 |
| | | | Total: | 12,62 €/m² |

Anexo A.20 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com emulsão bentonítica

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma emulsão bentonítica | | | | |
|---|--|-------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| kg | Emulsão bentonítica | 0,500 kg/m ² | 2,68 | 1,34 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 4,32 €/m ² | 0,09 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 4,41 €/m ² | 0,13 |
| | | | Total: | 4,54 €/m² |

Anexo A.21 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com revestimento de base cimentícia

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com um revestimento de base cimentícia | | | | |
|--|--|-------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| kg | Revestimento de base cimentícia | 0,200 kg/m ² | 2,46 | 0,49 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 3,48 €/m ² | 0,07 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 3,55 €/m ² | 0,11 |
| | | | Total: | 3,66 €/m² |

Anexo A.22 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com revestimento *grout*

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com grout | | | | |
|---|--|-------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| kg | <i>Grout</i> | 0,200 kg/m ² | 1,48 | 0,30 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 3,28 €/m ² | 0,07 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 3,35 €/m ² | 0,10 |
| | | | Total: | 3,45 €/m² |

Anexo A.23 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de betume oxidado e emulsão bentonítica

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume oxidado e uma emulsão bentonítica como primário | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| kg | Emulsão bentonítica | 0,500 kg/m ² | 1,80 | 0,90 |
| m ² | Membrana de betume oxidado | 1,150 m ² /m ² | 7,51 | 8,64 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 12,52 €/m ² | 0,25 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 12,77 €/m ² | 0,38 |
| | | | Total: | 13,15 €/m² |

Anexo A.24 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de betume-polímero APP e emulsão bentonítica

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume-polímero polipropileno atáctico e uma emulsão bentonítica como primário | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| kg | Emulsão bentonítica | 0,500 kg/m ² | 1,80 | 0,90 |
| m ² | Membrana de polímero-betume APP | 1,150 m ² /m ² | 8,88 | 10,22 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 14,10 €/m ² | 0,28 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 14,38 €/m ² | 0,43 |
| | | | Total: | 14,81 €/m² |

Anexo A.25 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de betume-polímero SBS e emulsão bentonítica

| Impermeabilização sobre uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de betume-polímero estireno-butadieno-estireno e uma emulsão bentonítica como primário | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| kg | Emulsão bentonítica | 0,500 kg/m ² | 1,80 | 0,90 |
| m ² | Membrana de polímero-betume SBS | 1,150 m ² /m ² | 8,29 | 9,53 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 13,41 €/m ² | 0,27 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 13,68 €/m ² | 0,41 |
| | | | Total: | 14,09 €/m² |

Anexo A.26 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de PVC e um geotêxtil de polipropileno

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de polipropileno, de 160 g/m² de gramagem | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,100 m ² /m ² | 11,68 | 12,85 |
| m ² | Geotêxtil de polipropileno (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,37 | 1,44 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 17,27 €/m ² | 0,35 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 17,62 €/m ² | 0,53 |
| | | | Total: | 18,15 €/m² |

Anexo A.27 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de TPO e um geotêxtil de polipropileno

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de polipropileno, de 160 g/m² de gramagem | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,100 m ² /m ² | 10,25 | 11,28 |
| m ² | Geotêxtil de polipropileno (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,37 | 1,44 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 15,70 €/m ² | 0,31 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 16,01 €/m ² | 0,48 |
| | | | Total: | 16,49 €/m² |

Anexo A.28 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de EPDM e um geotêxtil de polipropileno

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de etileno-propileno-dieno , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de polipropileno, de 160 g/m² | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,100 m ² /m ² | 9,98 | 10,98 |
| m ² | Geotêxtil de polipropileno (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,37 | 1,44 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 15,40 €/m ² | 0,31 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 15,71 €/m ² | 0,47 |
| | | | Total: | 16,18 €/m² |

Anexo A.29 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de PVC e um geotêxtil de fibras sintéticas

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de fibras sintéticas, de 250 g/m² de gramagem | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,100 m ² /m ² | 11,68 | 12,85 |
| m ² | Geotêxtil de fibras sintéticas (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 2,02 | 2,12 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 17,95 €/m ² | 0,36 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 18,31 €/m ² | 0,55 |
| | | | Total: | 18,86 €/m² |

Anexo A.30 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de TPO e um geotêxtil de fibras sintéticas

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de fibras sintéticas, de 250 g/m² de gramagem | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,100 m ² /m ² | 10,25 | 11,28 |
| m ² | Geotêxtil de fibras sintéticas (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 2,02 | 1,41 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 16,38 m ² /m ² | 0,33 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 16,71 €/m ² | 0,50 |
| | | | Total: | 17,21 €/m² |

Anexo A.31 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de EPDM e um geotêxtil de fibras sintéticas

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de etileno-propileno-dieno , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de fibras sintéticas, de 250 g/m² de gramagem | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,100 m ² /m ² | 9,98 | 10,98 |
| m ² | Geotêxtil de fibras sintéticas (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 2,02 | 2,12 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1ª | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 16,08 €/m ² | 0,32 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 16,40 €/m ² | 0,49 |
| | | | Total: | 16,89 €/m² |

Anexo A.32 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de PVC e um geotêxtil de poliéster

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² de gramagem | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,100 m ² /m ² | 11,68 | 12,85 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1ª | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 17,51 €/m ² | 0,35 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 17,86 €/m ² | 0,54 |
| | | | Total: | 18,40 €/m² |

Anexo A.33 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de TPO e um geotêxtil de poliéster

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² de gramagem | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,100 m ² /m ² | 10,25 | 11,28 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 15,93 €/m ² | 0,32 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 16,25 €/m ² | 0,49 |
| | | | Total: | 16,74 €/m² |

Anexo A.34 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de EPDM e um geotêxtil de poliéster

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de etileno-propileno-dieno , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² de gramagem | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,100 m ² /m ² | 9,98 | 10,98 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 15,64 €/m ² | 0,31 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 15,95 €/m ² | 0,48 |
| | | | Total: | 16,43 €/m² |

Anexo A.35 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de PVC e dois geotêxteis de poliéster

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m² de gramagem cada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de drenagem e de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,68 |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,100 m ² /m ² | 11,68 | 12,85 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 19,19 €/m ² | 0,38 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 19,57 €/m ² | 0,59 |
| | | | Total: | 20,16 €/m² |

Anexo A.36 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de TPO e dois geotêxteis de poliéster

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral, com uma membrana de poliolefinas , mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster, de 300 g/m² de gramagem cada | | | | |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de drenagem e de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,100 m ² /m ² | 10,25 | 11,28 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 17,61 €/m ² | 0,35 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 17,96 €/m ² | 0,54 |
| | | | Total: | 18,50 €/m² |

Anexo A.37 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de EPDM e dois geotêxteis de poliéster

| Impermeabilização sob uma fundação do tipo ensoleiramento geral com uma membrana de etileno-propileno-dieno , mecanicamente fixada, e dois geotêxteis de poliéster , de 300 g/m ² de gramagem | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de drenagem e de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,100 m ² /m ² | 9,98 | 10,98 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1ª | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 17,31 €/m ² | 0,35 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 17,66 €/m ² | 0,53 |
| | | | Total: | 18,19 €/m² |

Anexo A.38 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de PVC, um geotêxtil de poliéster e um painel alveolar de PEAD

| Impermeabilização sob ensoleiramento geral, com um painel alveolar de polietileno de alta densidade , uma membrana de cloreto polivinilo , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster , de 300 g/m ² | | | | |
|---|---|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Painel alveolar de polietileno de alta densidade (PEAD) | 1,100 m ² /m ² | 6,00 | 6,60 |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,100 m ² /m ² | 11,68 | 12,85 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1ª | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 24,11 €/m ² | 0,48 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 24,59 €/m ² | 0,74 |
| | | | Total: | 25,33 €/m² |

Anexo A.39 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de TPO, um geotêxtil de poliéster e um painel alveolar de PEAD

| Impermeabilização sob ensoleiramento geral, com um painel alveolar de polietileno de alta densidade , uma membrana de poliolefinas , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² | | | | |
|---|---|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Painel alveolar de polietileno de alta densidade (PEAD) | 1,100 m ² /m ² | 6,00 | 6,60 |
| m ² | Membrana de poliolefinas (TPO) | 1,100 m ² /m ² | 10,25 | 11,28 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 22,54 €/m ² | 0,45 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 22,99 €/m ² | 0,69 |
| | | | Total: | 23,68 €/m² |

Anexo A.40 - Impermeabilização sobre ensoleiramento geral com uma membrana de EPDM, um geotêxtil de poliéster e um painel alveolar de PEAD

| Impermeabilização sob ensoleiramento geral, com um painel alveolar de polietileno de alta densidade , uma membrana de etileno-propileno-dieno , mecanicamente fixada, e um geotêxtil de poliéster, de 300 g/m² | | | | |
|--|---|--------------------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Painel alveolar de polietileno de alta densidade (PEAD) | 1,100 m ² /m ² | 6,00 | 6,60 |
| m ² | Membrana de etileno-propileno-dieno (EPDM) | 1,100 m ² /m ² | 9,98 | 10,98 |
| m ² | Geotêxtil de poliéster (camada de protecção) | 1,050 m ² /m ² | 1,60 | 1,67 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 0,121 h/m ² | 12,55 | 1,52 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 0,121 h/m ² | 12,11 | 1,47 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 22,24 €/m ² | 0,44 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 22,68 €/m ² | 0,68 |
| | | | Total: | 23,36 €/m² |

Anexo A.41 - Impermeabilização do topo de estaca, com uma membrana de PVC e um sistema de continuidade

| Impermeabilização do topo da estaca (\varnothing 0,50 m), com uma membrana de cloreto polivinilo , soldada, e um sistema de continuidade | | | | |
|--|--|---------------------------|--------------------------|---|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/m ²) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /est | 11,42 | 14,85 |
| un | Sistema de continuidade | 1,000 un | 585,00 | 585,00 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 1,000 h/est | 12,55 | 12,55 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 1,000 h/est | 12,11 | 12,11 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 624,51 | 12,49 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 637,00 | 19,11 |
| | | | Total: | 656,11 €/est |

Anexo A.42 - Custos de juntas de PVC (waterstop) fornecidas pelas empresas comerciantes Imperialum e Sotecnisol

| Juntas de PVC | Imperialum (€/m) | | Sotecnisol (€/m) | |
|------------------|------------------|--------------|------------------|------|
| | Imperstop BL 150 | 7,40 | Tecwater 150 | 7,91 |
| Imperstop BL 200 | 9,78 | Tecwater 200 | 10,33 | |
| Imperstop BL 300 | 16,84 | Tecwater 300 | 17,76 | |

Anexo A.43 - Impermeabilização do topo de estaca, com uma membrana de PVC, auxílio de uma junta de PVC e o revestimento de base cimentícia

| Impermeabilização do topo da estaca (\varnothing 0,50 m), uma membrana de cloreto polivinilo , com o auxílio de uma junta de PVC (waterstop) e um revestimento de base cimentícia | | | | |
|---|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/est) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /est | 11,42 | 14,85 |
| m | Junta de PVC de 200 (<i>waterstop</i>) | 1,571 m/est | 10,06 | 15,79 |
| m ³ | Revestimento de base cimentícia | 0,015 m ³ /est | 31,49 | 0,48 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 1,000 h/est | 12,55 | 12,55 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 1,000 h/est | 12,11 | 12,11 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 55,78 €/est | 1,12 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 56,90 €/est | 1,71 |
| | | | Total: | 58,61 €/est |

Anexo A.44 - Impermeabilização de topo da estaca, com membrana de PVC, *waterstop* e revestimento e *grout*

| Impermeabilização do topo da estaca (\varnothing 0,50 m), uma membrana de cloreto polivinilo, com o auxílio de uma junta de PVC (<i>waterstop</i>) e <i>grout</i> | | | | |
|--|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/est) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /est | 11,42 | 14,85 |
| m | Junta de PVC de 200 (<i>waterstop</i>) | 1,571 m ² /est | 10,06 | 15,79 |
| m ³ | <i>Grout</i> | 0,019 m ³ /est | 18,64 | 0,36 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 1,000 h/est | 12,55 | 12,55 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 1,000 h/est | 12,11 | 12,11 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 55,66 €/m ² | 1,11 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 56,70 €/m ² | 1,70 |
| | | | Total: | 58,47 €/est |

Anexo A.45 - Impermeabilização de topo da estaca, com membrana de PVC, *waterstop* e revestimento e *grout*

| Impermeabilização do topo da estaca (\varnothing 0,50 m), uma membrana de cloreto polivinilo e <i>grout</i> | | | | |
|--|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Unidade | Composição | Rendimento | Preço por unidade (€/un) | Preço final do artigo (€/est) |
| m ² | Membrana de cloreto polivinilo (PVC) | 1,300 m ² /est | 11,42 | 14,85 |
| m ³ | <i>Grout</i> | 0,019 m ² /est | 35,84 | 0,36 |
| h | Oficial de impermeabilizador de 1 ^a | 1,000 h/est | 12,55 | 12,55 |
| h | Ajudante de impermeabilizador | 1,000 h/est | 12,11 | 12,11 |
| % | Meios auxiliares | 2,0 % | 39,86 €/m ² | 0,80 |
| % | Custos indirectos | 3,0 % | 40,66 €/m ² | 1,22 |
| | | | Total: | 41,88 €/est |