



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

## **Análise Comparativa de Sistemas de Impermeabilização**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na  
Especialidade de Construções

Autor

**Luís Filipe Barros Fernandes Bastos**

Orientador

**Professor Doutor Fernando José Forte Garrido Branco**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Janeiro, 2014**

## **AGRADECIMENTOS**

A realização da presente dissertação só foi possível com a colaboração e apoio de diversas pessoas, às quais me sinto no dever de expressar aqui os meus sinceros agradecimentos.

Expresso ao Professor Doutor Fernando José Forte Garrido Branco, orientador científico desta dissertação, o meu profundo agradecimento e reconhecimento pela disponibilidade prestada. Agradeço também pela forma como sempre me motivou ao longo de toda a elaboração do trabalho.

Agradeço à minha família, sem a qual tal objetivo seria impossível de alcançar e, por último, mas não menos importante, a todos os meus amigos por estarem sempre presentes, nos bons e maus momentos e por todo o espírito de entreatajuda e disponibilidade demonstrada.

## RESUMO

A existência de edificações com patologias originadas pela infiltração de água é um fenômeno frequente. A ocorrência deste tipo de patologias pode ser uma consequência de tentativa de redução dos custos durante a construção, mas também por deficiências de conhecimento aprofundado sobre esta temática por parte dos profissionais da construção civil. A ausência de projetos de impermeabilização é outro fator que proporciona a ocorrência de defeitos na aplicação dos sistemas. As patologias originadas por um deficiente ou inexistente projeto de impermeabilização podem conduzir a situações de grande desconforto do ponto de vista estético, problemas estruturais e de insalubridade. Para além disso, os custos decorrentes de intervenções corretivas aumentam consideravelmente o valor global do investimento.

Para um desempenho satisfatório dos sistemas de impermeabilização com a durabilidade desejada, é necessário um conhecimento aprofundado dos produtos, do campo de aplicação e dos seus agentes de degradação, assim como, das técnicas e sistemas de aplicação relativas a cada produto e ao elemento construtivo a impermeabilizar.

Desta forma, surge a necessidade de analisar as várias alternativas existentes no mercado, com o intuito de obter a solução, ou soluções, mais adequadas para a impermeabilização de determinados elementos construtivos.

O presente trabalho pretende contribuir para o conhecimento acerca deste tema. Ao longo desta tese, serão analisados diversos produtos de impermeabilização utilizados na construção civil, identificando-se as suas características e formas de aplicação, as suas vantagens e desvantagens dos mesmos. Serão descritas as técnicas de impermeabilização apropriadas para cada elemento construtivo. Efetuar-se-á ainda uma comparação de diferentes produtos de impermeabilização em situações idênticas.

**ABSTRACT**

The presence of pathologies originated by water infiltrations is a frequent phenomena in buildings. These pathologies may appear as a consequence of an attempt to reduce building costs, but also, because due to a lack of knowledge of the subject by the construction service professionals. The absence of waterproofing projects is another parameter that often leads to the occurrence of pathologies on waterproofing systems. The pathologies caused by a faulty or inexistent waterproofing project may lead to uncomfortable situations by an aesthetic point of view, structural problems and insalubrity. Besides that, the costs related with corrective interventions considerably raise the total amount of the investment.

For a satisfactory performance of the waterproofing systems, it is necessary a great knowledge of the products, field of application and it's degradation agents, as well as of the techniques and application systems related to each product and to the constructive constituent to waterproof.

Therefore, arises the need to analyze the several alternatives existing in the market, in order to obtain the solution, or solutions, more adequate for the waterproofing of certain constructive elements.

The present work aims at contributing to a better knowledge in this theme. Along the thesis, several waterproofing products will be analyzed. Their characteristics and application process will be described, and their advantages and disadvantages will be identified. The existing waterproofing techniques for each constructive element will be described. Finally, a comparison between different existing waterproofing products, used in identical conditions, will be carried out.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE QUADROS.....	vii
ABREVIATURAS.....	ix
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Enquadramento do tema.....	1
1.2 Objetivos da dissertação.....	2
1.3 Metodologia e organização da dissertação.....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Elementos construtivos a impermeabilizar .....	3
2.1.1 Impermeabilização de fundações.....	3
2.1.2 Impermeabilização paredes enterradas .....	4
2.1.3 Impermeabilização de fachadas .....	6
2.1.4 Impermeabilização de coberturas .....	8
2.1.5 Impermeabilização de reservatórios e piscinas .....	10
2.2 Soluções tecnológicas disponíveis.....	12
2.2.1 Membranas de betume polímero .....	14
2.2.2 Membranas de PVC-P.....	17
2.2.3 Membranas de FPO .....	18
2.2.4 Membranas de EPDM.....	19
2.2.5 Membranas bentoníticas .....	20
2.2.6 Emulsões betuminosas .....	21
2.2.7 Argamassas aditivadas .....	22
2.2.8 Membranas líquidas à base de resinas epoxídicas .....	23
2.2.9 Membranas líquidas à base de resinas acrílicas .....	24
2.2.10 Membranas líquidas de poliuretano.....	24
2.2.11 Membranas de poliureia.....	25
2.2.12 Produtos auxiliares.....	26
3 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS E TÉCNICAS.....	28
3.1 Fundações.....	28
3.2 Paredes enterradas.....	33

---

3.2.1	Membranas pré-fabricadas .....	34
3.2.2	Produtos aplicados <i>in situ</i> .....	35
3.3	Coberturas .....	36
3.3.1	Membranas pré-fabricadas .....	36
3.3.2	Produtos aplicados <i>in situ</i> .....	45
3.4	Reservatórios e piscinas .....	47
3.4.1	Membranas pré-fabricadas .....	48
3.4.2	Produtos aplicados <i>in situ</i> .....	50
4	ANÁLISE COMPARATIVA .....	53
4.1	Fundações.....	55
4.2	Paredes enterradas.....	56
4.3	Coberturas .....	57
4.4	Reservatórios e Piscinas .....	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Pormenores de possíveis cortes hídricos em paredes elevadas (Torres, 2010 B).	7
Figura 2.2 – Reservatório enterrado sob pressão hidrostática positiva (Arantes, 2007).....	11
Figura 2.3 - Revestimentos superficiais das membranas de betume polímero (Mascarenhas, 2005) .....	16
Figura 2.4 – Membrana bentonítica (Mendes, 2011).....	20
Figura 2.5 – Aplicação de um <i>waterstop</i> (Mendes, 2011) (Rawell@ 2014).....	26
Figura 2.6 – Principais funções dos geotêxteis (Imperialum@ 2013) (Ferreira Gomes, 2001)	27
Figura 2.7 – Geomembrana de PEAD (Texsa@ 2014) (Mendes, 2011) .....	27
Figura 3.8 – Sistema de impermeabilização de uma sapata isolada (Mendes, 2011).....	29
Figura 3.9 – Impermeabilização de uma sapata com membrana bentonítica (H Pedro Martins@ 2014).....	29
Figura 3.10 – Sistema de impermeabilização de um ensoleiramento geral (Mendes, 2011) ...	30
Figura 3.11 – Impermeabilização de toda a fundação antes da betonagem (Elephantnz@ 2014)	30
Figura 3.12 – Continuidade do sistema de impermeabilização da fundação (Mendes, 2011) .	30
Figura 3.13 – Impermeabilização de estacas (Koester@ 2014) .....	31
Figura 3.14 – Impermeabilização da cabeça de uma estaca (Henkelpolybit@ 2014) .....	31
Figura 3.15 – Impermeabilização de estacas com membranas de betume polímero (Sitaf@ 2014) .....	32
Figura 3.16 – Impermeabilização de um maciço de encabeçamento (Mendes, 2011) .....	32
Figura 3.17 – Impermeabilização de um maciço de encabeçamento com argamassa aditivada (Safeguard@ 2014).....	33
Figura 3.18 – Impermeabilização de parede enterrada com membranas de betume polímero (Imperialum@ 2013).....	34
Figura 3.19 – Fixação mecânica de manta bentonítica em suporte vertical (Archiproducts@ 2014) (Mapei@ 2014).....	35
Figura 3.20 – Impermeabilização de paredes enterradas com emulsão betuminosa (Weber@ 2013) .....	35
Figura 3.21 – Impermeabilização de cobertura plana acessível à circulação de pessoas (Aspim@ 2013) .....	37

Figura 3.22 – Impermeabilização de cobertura plana acessível a veículos (Aspim@ 2013)...	37
Figura 3.23 – Impermeabilização de cobertura plana não acessível (Aspim@ 2013).....	38
Figura 3.24 - Caminhos pedonais em coberturas planas não acessíveis (Walter et al, 2004) (Sika@ 2013).....	38
Figura 3.25 – Impermeabilização de cobertura plana ajardinada (Aspim@ 2013).....	39
Figura 3.26 – Impermeabilização de cobertura metálica com membrana sintética (Renolit@ 2013) .....	39
Figura 3.27 – Orientação das membranas de impermeabilização em coberturas metálicas (Renolit@ 2013) .....	40
Figura 3.28 - Soldadura de uma membrana de betume polímero (Vedacit@ 2013) (Vivenda@2013) .....	41
Figura 3.29 - Remate de impermeabilização de um tubo de queda interior com membranas de betume polímero (Vedacit@ 2013) .....	42
Figura 3.30 - Sistema de fixação mecânica pontual ou utilizando barras de fixação (Sika@ 2013) .....	42
Figura 3.31 - Fixação mecânica pontual e termofusão manual ou mecânica de membranas sintéticas de impermeabilização (Nex Serviços@ 2013) (Techne@ 2013).....	43
Figura 3.32 - Colocação de uma membrana de EPDM (Firestone@ 2013).....	43
Figura 3.33 - Colagem das juntas de sobreposição com banda adesiva (Firestone@ 2013) ...	43
Figura 3.34 – Pormenores de fixação da membrana com elementos verticais (Firestone@ 2013) .....	44
Figura 3.35 – Materiais pré-fabricados acessórios à impermeabilização de coberturas planas (Texsa@ 2014) .....	44
Figura 3.36 - Pormenor de impermeabilização de um tubo de drenagem e de uma junta de dilatação sobreelevada (Aspim@ 2013) .....	45
Figura 3.37 – Cobertura plana impermeabilizada com membrana líquida (Sika@ 2013).....	46
Figura 3.38 – Acessório de impermeabilização para ralos de drenagem e fita adesiva para impermeabilização de juntas de dilatação (Mapei@ 2014) .....	46
Figura 3.39 – Impermeabilização de piscinas com membranas de betume polímero (Clique Arquitetura@ 2014) (Conceito Impermeabilização@ 2014) .....	48
Figura 3.40 – Sistema de impermeabilização de piscinas com membranas PCV-P/FPO (Polyglass@ 2014).....	49
Figura 4.41 – Aplicação de membranas de PVC-P em piscinas (Renolit@ 2013) .....	49
Figura 3.42 – Sistema de impermeabilização de reservatórios com membranas de PVC-P (Sitaf@ 2014) .....	50

---

Figura 3.43 – Aplicação de argamassas aditivadas em reservatórios e piscinas (Vandex@ 2013) .....	51
Figura 3.44 – Sistema de impermeabilização de piscinas com argamassa aditivada revestida de material cerâmico (Alchimica@ 2014) .....	51
Figura 3.45 – Sistema de impermeabilização de reservatórios com membranas líquidas à base de resinas epoxídicas (Alchimica@ 2014).....	52
Figura 3.46 – Aplicação de membrana de poliureia em piscina (Vicodi@ 2013) .....	52

---

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Requisitos de humidade em espaços enterrados consoante o uso (Sika@ 2013)	5
Quadro 2.2 - Classificação das coberturas planas .....	8
Quadro 2.3 - Elementos constituintes de uma cobertura plana .....	9
Quadro 2.4 - Classificação UEAtc quanto à pendente da cobertura (UEAtc, 1982).....	9
Quadro 2.5 - Exigências funcionais das Diretivas UEAtc para revestimentos de impermeabilização de coberturas .....	10
Quadro 2.6 - Modos de ligação das membranas de impermeabilização ao suporte .....	12
Quadro 2.7 – Natureza dos polímeros.....	14
Quadro 2.8 – Produtos de impermeabilização.....	14
Quadro 3.9 - Utilização típica das membranas de impermeabilização pré-fabricadas em função do sistema e exposição .....	40
Quadro 3.10 - Grau de utilização dos produtos de impermeabilização em reservatórios e piscinas.....	48
Quadro 4.11 – Tabela de preços dos produtos de impermeabilização (€/m <sup>2</sup> ).....	54
Quadro 4.12 – Tabela de preços dos produtos auxiliares.....	54
Quadro 4.13 – Quadro comparativo dos sistemas de impermeabilização em fundações .....	56
Quadro 4.14 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em paredes enterradas	56
Quadro 4.15 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas, não transitáveis e transitáveis, com proteção pesada.....	57
Quadro 4.16 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas sem proteção.....	58
Quadro 4.17 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas acessíveis à circulação de veículos .....	58
Quadro 4.18 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas ajardinadas.....	59
Quadro 4.19 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas metálicas.....	59
Quadro 4.20 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em reservatórios de água potável.....	60

Quadro 4.21 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em piscinas .....60

Quadro 4.22 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em depósitos de águas  
residuais .....61

## ABREVIATURAS

APP – Polipropileno atáctico

BS – British Standard

EN – Norma Europeia

EOTA – European Organisation for Technical Assessment

EPDM – Monómero de etileno-propileno-dieno

ETAG – European Organisation for Technical Approvals

FPO – Poliolefinas flexíveis

HDI – Hexametileno disocianato

MDI – Difenilmetano disocianato

NP – Norma portuguesa

PE – Polietileno

PEAD – Polietileno de alta densidade

PP – Polipropileno

PVC-P – Policloreto de vinil plastificado

SBS – Estireno-butadieno-estireno

UEAtc – Union Européenne pour l’Agrément technique dans la construction

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento do tema

Apesar do sistema de impermeabilização se encontrar geralmente fora do alcance visual, as patologias decorrentes de uma ineficiente impermeabilização podem, eventualmente, ser bastante prejudiciais, do ponto de vista estético, estrutural ou mesmo por questões de salubridade. Posto isto, a impermeabilização na construção civil revela-se de extrema importância e não deve ser descurada em nenhuma situação.

Dado que, a função de um sistema de impermeabilização é a criação de uma barreira estanque à passagem da água, prolongando assim, a vida útil dos materiais, é necessário que se reúnam as condições para que este garanta um desempenho satisfatório ao longo do tempo. Desta forma, é essencial que as soluções adotadas sejam pensadas devidamente desde a fase de projeto, que a qualidade dos materiais esteja assegurada e que se opte por mão-de-obra especializada. É ainda necessário, um conhecimento aprofundado das características, do campo de aplicação e dos fatores de degradação dos produtos.

Os sistemas de impermeabilização correspondem a uma reduzida percentagem do investimento total na construção de uma edificação, no entanto, quando não previstos ou quando aplicados incorretamente, as intervenções corretivas necessárias podem originar custos significativamente superiores.

Neste contexto, a presente dissertação, resulta de um trabalho de pesquisa e recolha de informação, com o intuito de efetuar uma análise comparativa de diversos produtos, sistemas e técnicas de impermeabilização.

Em primeiro lugar, procede-se à escolha e definição dos elementos construtivos a analisar. Deste modo, são analisadas as fundações, paredes enterradas, fachadas, coberturas planas, reservatórios e piscinas. Referidos e descritos os elementos construtivos, surge a necessidade de caracterizar os produtos de impermeabilização previamente escolhidos. Depois de devidamente estudados os produtos de impermeabilização e os elementos construtivos alvo, procede-se à descrição das técnicas e sistemas de impermeabilização mais frequentes e adequados a cada situação. Por fim, a análise comparativa revela quais as melhores soluções de sistemas de impermeabilização em determinada circunstância.

## **1.2 Objetivos da dissertação**

Um dos objetivos da dissertação passa por obter uma lista dos produtos de impermeabilização mais utilizados na construção civil, analisando as suas características e formas de aplicação, tal como, as vantagens e desvantagens dos mesmos.

Outro objetivo, é a descrição das técnicas de impermeabilização apropriadas a cada produto na impermeabilização de determinado elemento construtivo.

Por último, a comparação de diferentes produtos de impermeabilização em situações idênticas e a obtenção de resultados sobre quais os sistemas de impermeabilização mais adequados a cada situação. Os resultados alcançados permitem elaborar diversos quadros comparativos com a informação sintetizada e de fácil consulta.

## **1.3 Metodologia e organização da dissertação**

A presente dissertação está dividida em 5 capítulos, incluindo este primeiro, a introdução, no qual já foram apresentadas algumas considerações sobre o tema e os objetivos pretendidos.

No Capítulo 2, capítulo de revisão bibliográfica, é realizada uma sucinta descrição acerca dos principais elementos construtivos passíveis de impermeabilização. São ainda abordadas, as soluções tecnológicas que dominam o mercado, efetuando-se uma descrição sobre os produtos, bem como, as vantagens e desvantagens de cada um.

No Capítulo 3, são abordadas as técnicas e sistemas de impermeabilização mais adequados para cada elemento construtivo e para cada produto.

No Capítulo 4, é apresentada uma análise comparativa dos sistemas de impermeabilização.

No Capítulo 5, são expostas algumas considerações finais e críticas aos resultados obtidos no Capítulo 4, assim como, a referência a alguns trabalhos de interesse a desenvolver.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica que se segue serve essencialmente para expor os conceitos e informações necessárias para os próximos capítulos. Assim, serão definidos e caracterizados, os elementos construtivos a impermeabilizar e as soluções tecnológicas disponíveis.

### **2.1 Elementos construtivos a impermeabilizar**

Desde a fase de projeto que todos os elementos construtivos a impermeabilizar devem estar identificados, assim como as técnicas e os materiais a utilizar, visto que, dependendo das características e exigências funcionais dos mesmos, o tipo de sistema de impermeabilização pode variar consideravelmente.

Posto isto, serão abordados os seguintes elementos construtivos: fundações, paredes enterradas, coberturas planas, reservatórios e piscinas.

#### **2.1.1 Impermeabilização de fundações**

As fundações, tendo como função a transmissão de cargas da estrutura para o terreno, são elementos de extrema importância na estrutura e, como tal, a impermeabilização das mesmas não deve ser negligenciada.

Ao encontrarem-se em contacto direto com o solo húmido, as fundações estão sujeitas a absorção de água por capilaridade. Consequentemente, surgem patologias associadas ao fenómeno da humidade ascensional, sendo uma das formas de humidade mais recorrente e, possivelmente, a mais difícil de eliminar. Como efeitos deste fenómeno podem referir-se, por exemplo, degradações dos rodapés e manchas de humidade na parte inferior das paredes.

As patologias consequentes de uma ineficaz impermeabilização das fundações não se manifestam apenas com a humidade ascensional, mas também com a deterioração do betão e corrosão das armaduras. Estes problemas quando surgem não estão ao alcance visual, nem são detetados a curto prazo, no entanto, podem originar graves danos estruturais.

Um aspeto, bastante relevante, na impermeabilização de fundações é o facto de estas se encontrarem praticamente inacessíveis para posteriores reparos e, por isso, necessitarem de grande investimento na sua reabilitação. Deste modo, o sistema de impermeabilização deve

acompanhar a vida útil da construção, garantindo que ao longo do tempo não se percam alguns requisitos fundamentais, como a resistência à pressão hidrostática, o bloqueio da passagem de vapor de água para o interior do edifício e a garantia de que as fissuras que se possam vir a formar permaneçam vedadas.

A impermeabilização de fundações pressupõe um estudo prévio, de forma a averiguar as condições a que estas eventualmente estarão sujeitas. Estudos geotécnicos, de previsão do nível freático e de presença de sulfatos são essenciais para optar pelo tipo de sistema de impermeabilização adequado.

As fundações, ao contrário de outros elementos, nem sempre são impermeabilizadas, sendo a impermeabilização destas frequentemente substituída por recobrimentos de maior espessura e betões menos porosos. Em situações de nível freático baixo esta metodologia não é crítica, porém, aplicar esta metodologia em fundações com a mesma profundidade do nível freático pode ser bastante prejudicial.

Existem dois géneros distintos de fundações, as diretas e as indiretas, ambas passíveis de impermeabilização, embora de formas diferentes. O género de fundações mais comuns são as fundações diretas, através de sapatas, de vigas de fundação e de ensoleiramentos gerais. As fundações indiretas, também conhecidas por fundações profundas, são fundações onde estacas são cravadas ou moldadas no terreno a uma certa profundidade, geralmente em solos instáveis.

A impermeabilização e drenagem de fundações devem: (Justo, 2004)

- Evitar a penetração das águas nos maciços, visto que, podem danificá-los pela ação do gelo e degelo;
- Evitar a formação de eflorescências e incrustações calcárias no interior dos maciços, provocando a lixiviação do betão;
- Aumentar a durabilidade do revestimento de betão, protegendo-o contra a ação da água, principalmente em casos de agressividade química.

Em qualquer obra subterrânea, a solução de impermeabilização deve ser capaz de resistir às solicitações mecânicas provocadas pela estrutura, às águas agressivas, à pressão hidrostática e aos microrganismos.

### **2.1.2 Impermeabilização paredes enterradas**

Tal como no caso das fundações, a construção de paredes enterradas deve ser precedida de estudos sobre as condições geotécnicas do local, análise do nível freático, presença de sulfatos e outros agentes agressivos.

Mesmo que o terreno à data da construção não apresente o nível freático elevado, o risco de inundação pode advir da capilaridade do solo ou das pendentes do terreno, se estas se encontrarem voltadas para a estrutura.

A infiltração de água proveniente do solo poderá originar a degradação do revestimento interior da parede, a formação de eflorescências, escorrências e acumulação de água, a corrosão de elementos metálicos e o desenvolvimento de fungos.

As paredes podem muitas vezes estar sujeitas a pressão hidrostática contínua, devendo o sistema de impermeabilização ser resistente a pelo menos um metro de coluna de água e acompanhado de um eficaz sistema de drenagem. (Reis, 2010)

Em paredes enterradas, o sistema de impermeabilização deve contemplar um sistema de drenagem, reduzindo assim a pressão hidrostática na superfície exterior da parede.

A norma britânica BS 8102:2009 indica os requisitos de proteção exigidos consoante o uso previsto para a cave, possibilitando a escolha do tipo de sistema de impermeabilização mais adequado a cada situação, sem gastos desnecessários. Para além da impermeabilização, o revestimento interior das paredes está também condicionado pelo teor de humidade que se considere admissível no espaço.

Quadro 2.1 - Requisitos de humidade em espaços enterrados consoante o uso (Sika@ 2013)

<b>Classe 1</b> Utilização básica	<b>Classe 2</b> Boas condições	<b>Classe 3</b> Habitável	<b>Classe 4</b> Requisitos especiais
São toleráveis algumas infiltrações e manchas de humidade	Humidade tolerável mas sem infiltrações	Ambiente seco com ventilação	Ambiente totalmente seco com ventilação
Parques de estacionamento	Armazéns e oficinas	Áreas residenciais, escritórios e restaurantes Centros de lazer e ginásios	Arquivos e equipamentos especiais
			

A fabricante de produtos de impermeabilização Sika, refere ainda que, para espaços de classe 4 apenas impermeabilizações flexíveis são aconselhadas enquanto que, para espaços de classe 1 tais produtos são desnecessários, podendo utilizar-se impermeabilizações rígidas. (Sika@ 2013)

O documento Note d'Information Technique 190 (CSTC, 1993) propõe uma classificação algo semelhante dos sistemas de proteção de paredes enterradas. Esta está dividida em cinco classes e analisa a aplicação dos sistemas de impermeabilização em função dos riscos e consequências da infiltração.

A impermeabilização de caves pode ser feita pelo interior ou pelo exterior, mas a escolha de uma destas opções terá vantagens e desvantagens. Como se pode perceber facilmente, caves a grandes profundidades em centros urbanos são especialmente difíceis de impermeabilizar pelo exterior devido à sua inacessibilidade, optando-se normalmente por impermeabilizar pelo interior. No entanto, essa impermeabilização apenas impede a entrada de água para o interior, não protegendo os elementos construtivos. Quando a impermeabilização é feita pelo interior, é necessário garantir que os produtos resistam a contrapressões, prevenindo o destacamento do sistema de impermeabilização.

### **2.1.3 Impermeabilização de fachadas**

As paredes exteriores de edifícios não são, na maioria das vezes, alvo de impermeabilização especial. A resistência à penetração da água da chuva depende sobretudo dos materiais constituintes da parede, da existência de parede dupla corretamente executada e da existência de revestimento exterior estanque.

Os revestimentos das fachadas não garantem, por si só, a estanquidade à água, mas conferem um complemento importante na impermeabilização. Estes apenas limitam a quantidade de água que atinge o suporte, sendo a completa estanquidade garantida pelo conjunto parede-revestimento. Contudo, o desempenho deste sistema é largamente influenciado pelo comportamento do suporte. (Torres, 2010 A)

Em paredes de alvenaria corrente, é aplicado um reboco de argamassa em três camadas. A camada de base deve ser homogénea, compacta e não fissurável, sendo a que mais contribui para a impermeabilização da parede. A camada de acabamento tem fundamentalmente funções decorativas, devendo mesmo assim, contribuir para a impermeabilização, visto que é a primeira barreira contra infiltrações. Esta última camada deve ser mais flexível, procurando que não ocorram fissurações. Uma das vantagens deste género de rebocos é o facto de, mesmo que as camadas fissurem, as fissuras sejam descontraídas. (Torres, 2010 A)

A composição dos rebocos hidráulicos, com maior ou menor teor de ligante, influencia a resistência à tração por parte dos mesmos. Para rebocos com alto teor em ligante, a resistência à tração é maior, podendo mesmo, ser superior à tensão de aderência ao suporte e provocando fissuras com maior abertura, mas apenas para tensões elevadas. Por outro lado, rebocos com menor teor em ligante e, conseqüente menor resistência à tração, originam maior quantidade

de fissuras de menores dimensões e, geralmente, sem rotura por corte da ligação ao suporte. (Silva, 1998)

Somente em casos muito especiais é que se tomam medidas adicionais de impermeabilização das fachadas. Devido à verticalidade das paredes, não existe acumulação de água no elemento, no entanto, o vento pode ter uma ação bastante gravosa no processo. A pressão do vento pode atuar de forma, a que a trajetória da água passe a ter uma componente horizontal, infiltrando-se nas paredes. Este problema pode ser agravado por fissuras existentes na parede ou deterioração dos revestimentos. (Torres, 2010 B)

Uma solução eficaz contra a humidade são as paredes duplas com caixa-de-ar, contudo, quando deficientemente executadas podem ser ainda mais prejudiciais. Paredes duplas, totalmente preenchidas por isolamento térmico, podem ser especialmente desvantajosas devido à elevada absorção de água de alguns materiais isolantes. (Torres, 2010 B)

Não é só a água da chuva que pode ser prejudicial, também a água proveniente do terreno pode subir pela parede por capilaridade, provocando consideráveis danos. Como supra referido, o fenómeno da humidade ascensional é frequente e devem ser tomadas medidas preventivas nesse aspeto. A figura seguinte especifica três modos de combater a humidade ascensional através da realização de um corte hídrico. Para além de paredes exteriores, o corte hídrico pode ser executado também em paredes interiores quando for necessário.

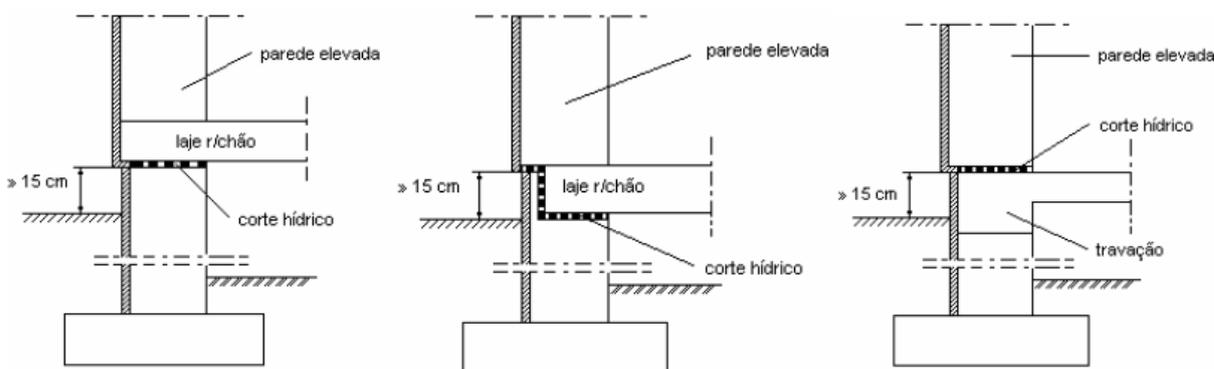


Figura 2.1 – Pormenores de possíveis cortes hídricos em paredes elevadas (Torres, 2010 B)

A impermeabilização de fachadas ocorre, não raras vezes, após a construção do edifício e apenas quando se verificam patologias provenientes de infiltrações. Neste sentido, são adotados materiais de revestimento que confirmam maior impermeabilidade à fachada ou injetados produtos de elevada capacidade de expansão na parede.

Os produtos hidrófugos apresentam-se também como uma solução, visto que, são impermeáveis à água e permeáveis ao vapor. Estes materiais cumprem a função de

impermeabilização através das suas propriedades de hidro-repelência, em vez de colmatarem completamente os poros. No entanto, são produtos de vida útil reduzida, pelo que deve existir uma manutenção periódica e adequada.

#### 2.1.4 Impermeabilização de coberturas

A cobertura de um edifício apresenta a função de o delimitar superiormente, protegendo o interior de agentes externos indesejados. Como a cobertura é o elemento mais exposto a agentes atmosféricos, como a chuva, a neve, o granizo, o vento e a incidência solar, é essencial que exista um estudo bastante cuidado quanto à sua impermeabilização.

A cobertura de um edifício deve responder a algumas exigências funcionais, tais como, exigências de segurança, de habitabilidade, de durabilidade e de economia. Estas exigências só podem ser satisfeitas se todos os elementos da cobertura funcionarem em conjunto e de forma eficiente.

É possível distinguir as coberturas em inclinadas e planas. Nas coberturas inclinadas, o escoamento ocorre de forma natural devido à sua pendente e à sobreposição das telhas, não necessitando da utilização de materiais completamente impermeáveis. Já no caso de uma cobertura plana, o escoamento não é imediato, requerendo assim, um sistema completamente estanque. Com o desenvolvimento dos sistemas de impermeabilização, as coberturas planas ou coberturas em terraço, são cada vez mais utilizadas. No quadro seguinte é possível verificar a classificação das coberturas planas segundo vários aspetos.

Quadro 2.2 - Classificação das coberturas planas

<b>Acessibilidade</b>	Não acessíveis Acessíveis a pessoas Acessíveis a veículos Especiais (jardins, equipamentos industriais)
<b>Proteção da impermeabilização</b>	Sem proteção Com proteção leve Com proteção pesada
<b>Revestimento de impermeabilização</b>	Revestimento tradicional Revestimento não tradicional
<b>Localização do isolamento</b>	Tradicional Invertida
<b>Estrutura resistente</b>	Rígida Flexível

As coberturas invertidas proporcionam maior proteção às membranas de impermeabilização. Protegem-nas das ações mecânicas, da ação do calor e da ação dos raios ultravioleta.

Devido à sua posição aproximadamente horizontal, a cobertura torna-se mais vulnerável à ação prolongada da água. Assim, para além de um sistema de impermeabilização, é

importante que, aliada à pendente do suporte exista também um sistema de drenagem. Como as coberturas se encontram tão expostas, pode afirmar-se que um deficiente sistema de impermeabilização irá originar com toda a certeza patologias num curto período de tempo.

A cobertura plana de um edifício compreende todos os elementos, estruturais ou não, desde o teto do piso subjacente até à superfície de revestimento. O quadro seguinte identifica alguns desses elementos e as suas respetivas funções.

Quadro 2.3 - Elementos constituintes de uma cobertura plana

<b>Barreira pára-vapor</b>	Impede a passagem do vapor de água para as camadas sobrejacentes, nomeadamente para o isolamento térmico, preservando as suas qualidades
<b>Camada de forma</b>	Define a pendente da cobertura
<b>Camada de dessolidarização</b>	Reduz a interação entre a camada de proteção e a impermeabilização, aumentando a durabilidade da impermeabilização
<b>Isolamento Térmico</b>	Reduz as trocas de energia entre o interior e o exterior, contribuindo para a satisfação de exigências de conforto
<b>Camada de drenagem</b>	Permite um escoamento mais rápido da água acumulada
<b>Camada de proteção</b>	Protege a impermeabilização e pode ter também efeitos estéticos
<b>Camada de difusão do vapor de água</b>	Iguala a pressão do vapor de água confinada entre camadas, libertando-o para o exterior
<b>Impermeabilização</b>	Isola e protege as edificações da passagem indesejável da água

As diretivas UEAtc (Diretivas da União Europeia para a apreciação Técnica da Construção) para o estudo de técnicas de construção classificam a cobertura de uma forma diferente. A classificação é efetuada de acordo com a pendente da cobertura, verificando a facilidade de escoamento e possibilidade de aplicação de proteção pesada.

Quadro 2.4 - Classificação UEAtc quanto à pendente da cobertura (UEAtc, 1982)

<b>Classe I</b>	A pendente origina estagnação de água e permite a aplicação de proteção pesada
<b>Classe II</b>	A pendente permite o escoamento de água e a aplicação de proteção pesada
<b>Classe III</b>	A pendente permite o fácil escoamento de água mas não aceita a aplicação de proteção pesada
<b>Classe IV</b>	A pendente impõe medidas especiais na aplicação das suas camadas

Na impermeabilização de coberturas planas é essencial ter cuidados acrescidos com os remates em alguns elementos emergentes, tais como: platibandas, chaminés, tubagens de ventilação, caleiras interiores, etc.

Em grande crescimento estão as coberturas metálicas planas, muito utilizadas para cobrir estruturas de espaços amplos. Este género de cobertura é substancialmente mais leve do que uma laje de betão, sendo por isso uma boa forma de economizar em toda a estrutura subjacente. Uma vez que, um dos principais objetivos desta solução é economizar na estrutura, é fundamental que o sistema de impermeabilização seja também o mais leve possível. Em algumas situações, a impermeabilização deste género de coberturas é efetuada pela própria estrutura metálica, realizando-se apenas uma pintura da estrutura com produtos anticorrosivos.

No quadro seguinte é possível verificar as exigências funcionais das Diretivas Gerais UEAtc para a homologação de revestimentos de impermeabilização de coberturas. (UEAtc, 1982)

Quadro 2.5 - Exigências funcionais das Diretivas UEAtc para revestimentos de impermeabilização de coberturas

Exigências de segurança	Efeitos de sucção do vento Comportamento em relação ao fogo Composição físico-química e libertação de compostos tóxicos
Exigências de aptidão ao uso	Impermeabilidade às águas provenientes do exterior Qualidade no acabamento das superfícies Composição química estável, insolúveis em água ou álcalis Resistência mecânica
Exigências relativas à conservação das qualidades	Efeitos dos agentes do meio ambiente Compatibilidade entre materiais Ações microbiológicas Ações macrobiológicas Deformações da estrutura resistente Cargas de serviço Circulação de pessoas e veículos
Exigências relativas à manutenção e reparação	Manutenção regular da cobertura, especialmente nos pontos críticos: caleiras, remates e tubos de queda Reparação sempre que ocorram materiais danificados ou degradados que possam colocar em risco a estanquidade à água da cobertura, tanto na zona corrente como nos seus pontos singulares

Um sistema de impermeabilização de uma cobertura plana deve, fundamentalmente, possuir resistência mecânica, resistência ao punçamento estático e dinâmico, adaptabilidade aos movimentos estruturais, flexibilidade a baixas temperaturas, insensibilidade aos ciclos quente-frio e resistência aos agentes atmosféricos e raios ultravioleta. (Luschi@ 2013)

### 2.1.5 Impermeabilização de reservatórios e piscinas

Reservatórios e piscinas são estruturas construídas pelo homem com o intuito de reservar líquidos no seu interior e, apesar de serem semelhantes estruturalmente, são diferentes quanto à sua função. É perceptível que neste género de estruturas, terão de existir cuidados especiais na sua impermeabilização por se encontrarem em contacto direto e permanente com líquidos e sujeitos a elevadas pressões hidrostáticas. O tipo de impermeabilização pode variar consoante

o tipo de líquidos a que a estrutura se destina. Na presente dissertação, apenas se analisarão sistemas de impermeabilização para reservatórios de água potável, água não potável e águas residuais. Para além dos reservatórios irão também ser analisados os sistemas de impermeabilização de piscinas.

No caso de piscinas e reservatórios enterrados, os materiais vão estar ao longo do tempo sujeitos a diferentes pressões. Essas pressões podem ser positivas, no caso da estrutura se encontrar cheia, ou negativas (contrapressão), no caso de se encontrar vazia. Deste modo, é imperativo que todos os elementos sejam capazes de suportar essas mesmas pressões.

Já os reservatórios elevados não estão sujeitos a pressões negativas, no entanto, estão mais expostos às variações térmicas e à agressividade das intempéries. Por este motivo, é fundamental que o material impermeabilizante seja capaz de resistir aos movimentos estruturais, devendo optar-se por um produto flexível.

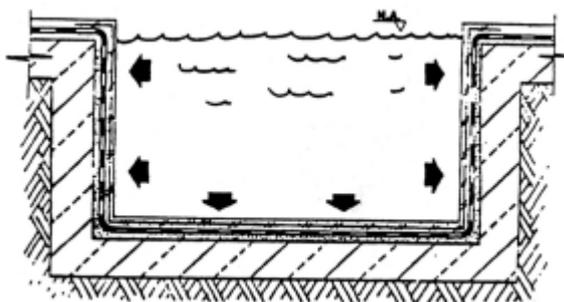


Figura 2.2 – Reservatório enterrado sob pressão hidrostática positiva (Arantes, 2007)

Na impermeabilização de reservatórios de água potável, é fundamental que o produto de impermeabilização não altere a potabilidade da água, devendo este estar certificado para o efeito.

Na impermeabilização de piscinas, o material de impermeabilização deve ser capaz de resistir à agressividade da água tratada quimicamente.

Reservatórios ou caixas de águas residuais podem reservar desde, águas contaminadas, águas da chuva, esgotos residências e esgotos industriais. Deste modo, este género de estruturas tem de resistir a um grau de contaminação continuamente em mudança, aos efeitos ambientais, a um nível de líquido flutuante e à formação de microclimas agressivos que se poderão formar em estruturas fechadas.

Em piscinas e reservatórios enterrados é difícil perceber quando existe um vazamento. Muitas vezes, só se percebe quando ocorre grande variação do volume de água, ou pelos danos

provocados pela acumulação de água atrás das paredes da estrutura e pela pressão exercida, originando desgaste dos revestimentos e abaixamentos do solo.

## 2.2 Soluções tecnológicas disponíveis

Para além dos elementos estruturais passíveis de serem impermeabilizados, o projeto de impermeabilização deve especificar quais as soluções tecnológicas apropriadas a cada situação. Nesta fase, é fundamental conhecer-se ao pormenor as características dos materiais envolvidos, evitando casos de incompatibilização química ou física.

A localização do elemento, a exposição a agentes agressivos e intempéries, ações mecânicas, economia e durabilidade, são alguns dos fatores decisivos na escolha do sistema de impermeabilização. Assim, o sistema de impermeabilização pode surgir de várias formas, sempre com o objetivo comum de proteger os elementos e impedir infiltrações.

Diferentes autores dividem os materiais de impermeabilização em grupos distintos, como por exemplo, produtos aplicados *in situ* ou materiais pré-fabricados, produtos tradicionais ou não tradicionais e impermeabilizações rígidas ou flexíveis. Na presente dissertação adotar-se-á a divisão entre materiais aplicados *in situ* e pré-fabricados.

*“Fundamentalmente, as membranas de impermeabilização podem ser denominadas por materiais pré-fabricados, devido ao facto de estas se encontrarem no seu estado final de aplicação. Por outro lado, os materiais manufaturados in situ apresentam-se na forma líquida ou pastosa, sendo posteriormente preparados em obra.”* (Mendes, 2011)

A fixação das membranas de impermeabilização pré-fabricadas ao suporte pode ser executada de quatro formas distintas, como se pode verificar no quadro seguinte.

Quadro 2.6 - Modos de ligação das membranas de impermeabilização ao suporte

Aderido	Semi-aderido	Independente	Fixação mecânica
A membrana é aderida ao suporte em toda a sua extensão através de colas ou fusão do material. Deve ser utilizada em situações de exposição ao vento e em paramentos com inclinação superior a 15%.	A ligação da membrana ao suporte é feita em pontos ou faixas espalhadas ao longo das membranas através de fusão do material ou colagem. Se o sistema for bicapa, a segunda camada é totalmente aderida à primeira.	A membrana é fixada apenas em zonas de concordância entre panos verticais e horizontais e em pontos singulares. Deve respeitar uma pendente máxima de 5% e ser sobreposta por uma proteção pesada.	Modo de ligação das membranas ao suporte através de fixações pontuais ou lineares onde são utilizadas peças específicas de aço galvanizado, aço inox, alumínio ou plástico.

As membranas pré-fabricadas surgem geralmente associadas a armaduras, que as incorporam interiormente ou nas faces, de modo a melhorar a sua estabilidade e/ou a sua resistência

mecânica. Essas armaduras são habitualmente de feltro de poliéster, de fibra de vidro ou de polietileno, dependendo das características a melhorar. O poliéster é um material durável com elevada resistência à perfuração e ao rasgamento, a fibra de vidro garante uma estabilidade dimensional superior e o polietileno apresenta boa capacidade de alongamento. Quando a impermeabilização é aplicada em sistema bicapa, é aconselhado aplicar membranas reforçadas com diferentes armaduras. (Mendes, 2011)

Revestimento superficial é um material incorporado numa das faces da membrana de impermeabilização, quer como proteção leve da superfície superior dos agentes atmosféricos, quer como substância antiaderente das membranas. (NP EN 13707:2004)

Produtos de impermeabilização aplicados *in situ* são normalmente constituídos por misturas de um ou mais componentes, na forma líquida ou pastosa, ocorrendo a cura por evaporação de solventes ou reação química, que depois de secos formam uma película sólida e impermeável. Estes produtos são aplicados como reboco ou pintura nos elementos, através de talochas, rolos, rodos, escovas ou trinchas. Podem também ser aplicados mecanicamente através de dispositivos de projeção. Estas soluções de impermeabilização podem ainda incorporar armaduras de diversos tipos entre as camadas de aplicação, melhorando assim certas características dos produtos.

A ETAG 005 - parte 1 (EOTA, 2004), define os valores de vida útil expectável dos produtos de impermeabilização aplicados na forma líquida em coberturas. Assim, para situações correntes, é exigida uma durabilidade de 10 anos para este género de produtos. Em situações especiais, tais produtos podem apresentar uma vida útil estimada de 5 ou 25 anos. Para os restantes elementos construtivos, devido à falta de informação, consideram-se os mesmos valores para a vida útil expectável dos produtos.

As características dos produtos de impermeabilização são influenciadas de acordo com a natureza dos seus constituintes, como se pode observar de forma simplificada na tabela seguinte. No entanto, atualmente, não é fácil afirmar que um determinado produto pertence a um dos grupos de polímeros, visto que, existem muitos produtos multicomponentes e inúmeras misturas possíveis.

Quadro 2.7 – Natureza dos polímeros

<b>Termo-rígidos</b>	Por ação do calor, amolecem de forma irreversível, e não voltam a amolecer sob nova ação do calor.
<b>Termo-plásticos</b>	Por ação do calor, amolecem reversivelmente. Amolecem sob nova ação do calor e endurecem a baixas temperaturas.
<b>Elastoméricos</b>	Devido à ação do calor, decompõem-se antes do amolecimento.
<b>Elasto-termoplásticos</b>	Na ação do calor, tem comportamento termoplástico. Sob baixa temperatura, têm propriedades elásticas.

Devido às inúmeras possibilidades de composição dos produtos, torna-se extremamente difícil referir todas as soluções disponíveis. Assim, a presente dissertação foca-se nos produtos de impermeabilização que mais frequentemente são utilizados na construção civil. Desde já, chama-se a atenção que, produtos com o mesmo constituinte principal podem ter desempenhos ligeiramente diferentes, de acordo com os outros componentes da mistura. Desta forma, escolheram-se os produtos de impermeabilização presentes no quadro seguinte.

Quadro 2.8 – Produtos de impermeabilização

<b>Membranas pré-fabricadas</b>	<b>Produtos aplicados <i>in situ</i></b>
Membrana de betume polímero APP/SBS Membrana de PVC-P Membrana de FPO Membrana de EPDM Geocompósito bentonítico	Argamassa aditivada Emulsão betuminosa Membrana líquida à base de resinas acrílicas Membrana líquida à base de resinas epoxídicas Membrana líquida de poliuretano Membrana de poliureias

### 2.2.1 Membranas de betume polímero

Segundo a norma NP EN 12597:2013 (Ed.1), o betume é um material “*praticamente não volátil, adesivo e impermeável, derivado do crude do petróleo ou presente no asfalto natural, completamente ou quase completamente solúvel em tolueno, e muito viscoso ou quase sólido à temperatura ambiente.*”

Nas membranas de betume modificado as suas propriedades reológicas são alteradas durante o processo de fabrico pelo uso de um ou mais agentes químicos, que incluem, os polímeros sintéticos, a borracha natural, o enxofre e compostos organo-metálicos. (NP EN 12597:2013)

“*A mistura de betume-polímero APP é constituída essencialmente por betume de destilação direta, polipropileno atáctico, cargas e aditivos diversos. Destes últimos destacam-se os copolímeros de etileno-propileno, e entre as cargas são usuais as de origem mineral.*” (Grandão Lopes, 1994)

---

*“As misturas que envolvem as armaduras das membranas SBS são constituídas por um betume, em geral de destilação direta, um polímero elastomérico de estireno-butadieno-estireno (SBS), cargas minerais e, eventualmente, aditivos diversos, dos quais se destacam plastificantes, antioxidantes e ainda produtos repelentes de raízes de plantas.” (Grandão Lopes, 1994)*

As membranas de betume polímero são obtidas pela incorporação de polímeros numa mistura betuminosa que irá recobrir uma ou duas armaduras. Esses polímeros podem ser resinas plastoméricas, no caso das membranas de APP, ou resinas elastoméricas, no caso das membranas de SBS. As membranas APP são fabricadas com betume à base de plastómeros, que melhoram a rigidez e a estabilidade dimensional em relação às membranas de betume não modificadas com polímeros. Sendo uma mistura de betume à base de elastómeros, a membrana de SBS tem as suas propriedades de flexibilidade e resistência melhoradas.

O alongamento na rotura exhibe valores muito semelhantes nas duas direções, sendo que, as percentagens mais reduzidas de alongamento na rotura estão relacionadas com membranas armadas com fibras de vidro. Em média, uma membrana de betume polímero apresenta valores de alongamento na rotura de 30% a 50%, variando este valor de acordo com a espessura da membrana e com a natureza da armadura. (Grandão Lopes, 1994)

As membranas SBS apresentam temperatura de amolecimento mais baixa que as membranas APP, verificando-se também que após envelhecimento por ação prolongada do calor, são estas as membranas que apresentam os maiores decréscimos de temperatura de amolecimento. As membranas APP possuem um bom desempenho em exposição aos raios ultra violeta, em contraponto com as membranas SBS. Porém, esse efeito não é significativo, uma vez que, as membranas na sua esmagadora maioria, se encontram protegidas com proteção pesada ou têm incorporado, no seu processo de fabrico, uma proteção superficial durável.

É possível afirmar que as membranas de SBS têm um melhor desempenho a baixas temperaturas, em contraponto com as membranas de APP, que são superiores em altas temperaturas. Este género de membranas, quando corretamente aplicadas e em sistema bicapa, podem superar os 20 anos de vida útil.

São geralmente incorporadas nas membranas betuminosas armaduras de polietileno, de fibra de vidro ou de poliéster. Podem também ser revestidas, na superfície inferior ou superior, com filme de polietileno, granulado mineral, folhas refletoras ou com areias finas, observando-se as vantagens de cada revestimento na figura seguinte.



Figura 2.3 - Revestimentos superficiais das membranas de betume polímero (Mascarenhas, 2005)

Para uma correta aplicação das membranas, o suporte deve estar limpo, livre de materiais soltos e firme, garantindo a adesão desejada. Deve estar completamente seco, prevenindo a formação de bolhas resultantes da evaporação de restos de humidade presente no suporte, uma vez que, estas membranas não são permeáveis ao vapor. A superfície tem de ser regular, evitando a formação de poças e conseqüente contacto prolongado da membrana com água.

O sistema não deve ser aplicado em condições meteorológicas adversas, como é o caso de temperaturas abaixo de 5°C, devido à possível formação de gelo na superfície de suporte e à perda de fluidez das colas. Em altura que se preveja a ocorrência de precipitação é de todo desaconselhada a sua aplicação.

O processo de aplicação é, na maioria dos casos, executado por adesão ao suporte através de chama de maçarico. Não necessitam de mão-de-obra especializada e apresentam um custo reduzido, por isso, são muitas vezes aplicadas duas membranas sobrepostas (bicapa), garantindo um desempenho francamente superior do sistema.

A fim de completar a aplicação das membranas betuminosas, existem alguns produtos complementares de alguma utilidade, tais como: betumes projetados à pistola, emulsões betuminosas, mástiques betuminosos para selagem de juntas e fitas betuminosas para reforço de remates.

Apresentam-se como uma solução muito enraizada nos hábitos construtivos nacionais e aptas a impermeabilizar estruturas enterradas e coberturas planas. Em estruturas enterradas e coberturas ajardinadas, as membranas devem conter um aditivo com o objetivo de repelir

raízes. Devido à resistência à pressão hidrostática positiva e negativa são também utilizadas na impermeabilização de piscinas.

### 2.2.2 Membranas de PVC-P

*“As membranas de PVC plastificado, que se podem apresentar armadas ou não, são fabricadas fundamentalmente por calandragem e laminação, embora existam membranas obtidas por extrusão. Nos casos mais correntes, a matéria-prima – constituída pela resina de policloreto de vinilo, por plastificantes, estabilizantes, pigmentos e cargas – é homogeneizada a quente num misturador, passando em seguida por um conjunto de calandras aquecidas, de modo a obter-se uma das películas que constitui a membrana. Esta resultará da sobreposição de duas ou mais destas películas – cada uma delas com espessura em geral não superior a 0.85mm – a qual é feita por calandragem e laminação a quente, intercalando ou não uma armadura entre elas, consoante se pretenda, respetivamente, uma membrana armada ou não armada.”* (Grandão Lopes, 1994)

O PVC é um material muito rígido e pouco dúctil e, por isso, são adicionados plastificantes à mistura, transmitindo-lhe uma maior flexibilidade. Os estabilizantes e cargas contribuem para uma superior estabilidade da membrana. O primeiro, evitando a perda dos plastificantes, e o segundo, diminuindo a influência do calor sobre a membrana. Com o objetivo de diminuir a perda dos plastificantes, pode recorrer-se também a polímeros de elevado peso molecular.

As armaduras, no caso das membranas de PVC-P, têm um papel importante na minimização das retrações devidas à perda de plastificantes e na diminuição da suscetibilidade térmica, no entanto, os valores de alongamento na rotura, que estariam na ordem dos 300% quando não armadas, sofrem decréscimos significativos quando armadas. Conhecem-se, principalmente, membranas armadas com fibra de vidro ou poliéster. Devido à baixa capacidade de alongamento das membranas, é aconselhado que estas se apliquem em sistema independente, não sofrendo tensões provenientes da estrutura. Por outro lado, membranas não armadas podem ser aderidas parcial ou totalmente, visto que, possuem a capacidade de alongamento necessária para acomodar pequenas deformações do suporte.

As membranas de PVC-P são quimicamente sensíveis ao contacto com alguns materiais (betumes, óleos de origem mineral e alguns isolamentos térmicos), que têm a capacidade de extrair os plastificantes presentes na membrana, traduzindo-se numa diminuição da capacidade de resistência à rotura. Grandão Lopes (1994), citando *Baum e Tutt*, afirma que *“ao fim de quatro a seis anos de contacto de produtos de base betuminosa com membranas de PVC plastificado, perder-se-á cerca de 50% do plastificante das membranas.”* Importa ainda referir que, o calor acelera o referido fenómeno. Porém, o teor de plastificantes da membrana não sofre variações significativas após exposição prolongada ao calor, à radiação ultravioleta e à água.

Apresentam excelente resistência ao ozono, suportam temperaturas significativamente superiores em relação às membranas betuminosas, são permeáveis ao vapor de água e têm uma boa resistência ao punçamento estático e dinâmico. Para além disso, as membranas de PVC são leves e extremamente flexíveis, o que permite a sua aplicação em quase todas as formas geométricas do suporte. Possuem uma durabilidade estimada de 30 anos e não apresentam grandes limitações de aplicação em relação às condições atmosféricas e do suporte. Apenas se devem ter os cuidados básicos de não aplicar em períodos chuvosos ou em superfícies irregulares e com sujidades.

A aplicação da membrana é executada geralmente por fixação mecânica ao suporte ou em sistema independente, com recurso a mão-de-obra especializada. Podem ser aplicadas em sistemas de impermeabilização de estruturas enterradas, coberturas planas, reservatórios e piscinas.

### 2.2.3 Membranas de FPO

*“As membranas termoplásticas flexíveis de poliolefinas (TPO ou FPO) dividem-se em dois grupos de acordo com o constituinte principal, polipropileno (PP) ou polietileno (PE). Num grupo, as membranas são constituídas por polipropileno e um copolímero termostático ou elastomérico, tal como: etileno-propileno-dieno, etileno-propileno-borracha ou polietileno. No outro grupo, as membranas são constituídas por polietileno e um copolímero termostático ou elastomérico, tal como: etileno-propileno-dieno, etileno-propileno-borracha ou polipropileno. A mistura inclui outros componentes: fileres, estabilizantes, retardadores de incêndio, antioxidantes e corantes.”* (Gonçalves et al. 2005)

As membranas de FPO também podem incorporar armaduras, de poliéster ou fibra de vidro, e tal como nas membranas de PVC-P, apesar de melhorarem certas características da membrana, reduzem significativamente o alongamento na rotura, que se encontra na ordem dos 200%.

Habitualmente, este tipo de membranas possui três camadas com características diferentes: a primeira (camada de superfície) é a camada de proteção, 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.

São soluções ecologicamente favoráveis, resistem à exposição aos raios ultravioleta, ao ozono e possuem grande estabilidade química, como comprova a compatibilidade com óleos, poliestireno e produtos betuminosos, tornando-se numa excelente alternativa para soluções de reabilitação. Apresentam ainda maior resistência ao rasgamento e ao punçamento do que as membranas de PVC-P, no entanto, são menos elásticas.

As membranas de FPO são das soluções de impermeabilização mais leves do mercado, permeáveis ao vapor de água e resistentes a micro-organismos, tornando-se uma excelente alternativa para coberturas sob proteção pesada e para estruturas enterradas. Tal como as membranas de PVC-P, são também excelentes soluções para coberturas com a impermeabilização exposta.

Em relação às condições atmosféricas no momento da aplicação, são semelhantes às membranas de PVC-P, permitindo a sua aplicação em praticamente todas as alturas do ano. As condições da base são também idênticas às membranas de PVC-P.

Podem ser aplicadas em sistemas aderidos, mas os sistemas mais comuns são os fixados mecanicamente e independentes sob proteção pesada. Aptas a impermeabilizar estruturas enterradas, coberturas planas, reservatórios e piscinas. Aplicadas corretamente, superam os 35 anos de vida útil.

#### **2.2.4 Membranas de EPDM**

*As membranas de EPDM são obtidas por laminagem e calandragem da mistura do monómero de etileno-propileno-dieno com aditivos diversos, tais como cargas, agentes de vulcanização e óleos, seguidas de vulcanização. Em certas misturas incorporam-se ainda como aditivos, produtos que melhoram o comportamento das respetivas membranas à ação do fogo.” (Grandão Lopes, 1994)*

O etileno-propileno-dieno, como é um elastómero, com propriedades semelhantes às da borracha, proporciona à membrana a capacidade de sofrer deformações recuperando a sua forma original quase na totalidade. (Mendes, 2011)

Aplicadas em camada única, podem ser armadas ou não, sendo as armaduras mais correntes, as de poliéster e de poliamida (nylon), e tal como as membranas de PVC-P, os valores de alongamento na rotura dependem da incorporação ou não de armadura. Uma membrana de EPDM não armada pode atingir valores de alongamento na rotura de 400%.

As condições atmosféricas ideais para a aplicação da membrana variam de acordo com o sistema escolhido, visto que, em sistemas aderidos, as condições são impostas pelo tempo de secagem da cola, que convém ser o mais reduzido possível. Assim, não é recomendável a sua aplicação com temperaturas abaixo de 5°C. (Grandão Lopes, 1994)

A membrana de EPDM exhibe um desempenho sustentável, com tempo de vida útil de 40 anos. A sua reduzida espessura proporciona sistemas bastante leves e a sua comercialização

em rolos de grandes dimensões facilita o revestimento de grandes superfícies, minimizando a possibilidade de ocorrência de defeitos na impermeabilização de juntas.

Aplicadas em sistema aderido, independente ou por fixação mecânica, são aptas para a impermeabilização de estruturas enterradas e coberturas planas, com desempenho satisfatório ao longo de 40 anos.

### 2.2.5 Membranas bentoníticas

*“As membranas de bentonite são compostas por bentonites de sódio natural que, na presença de água no solo onde estão instaladas, absorvem-na e formam uma barreira estanque e contínua de gel de bentonite.”* (Reis, 2010)

Os geocompósitos bentoníticos são normalmente formados por um geotêxtil tecido, uma membrana de bentonite e um geotêxtil não tecido, com capacidade de alongamento na ordem dos 150%. Os geotêxteis são interligados entre si, incorporando a membrana de bentonite no seu interior. Em contacto com o betão fresco, forma-se uma união mecânica muito forte.

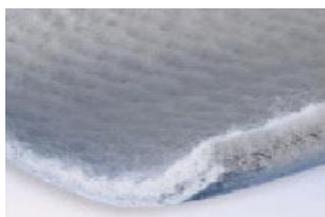


Figura 2.4 – Membrana bentonítica (Mendes, 2011)

Podem referir-se como principais vantagens desta solução de impermeabilização, a capacidade de se auto-vedar na presença de água em casos de defeitos do produto ou perfurações, necessidade de reduzida mão-de-obra na aplicação, possibilidade de aplicação em superfícies irregulares e sem betão de limpeza, possibilidade de aplicação praticamente sob quaisquer condições climáticas, desnecessidade de proteger mecanicamente a membrana e possibilidade de aplicação da membrana com o betão ainda fresco. Possuem grande resistência a agentes químicos e elevada capacidade de alongamento.

Não se aconselha a utilização de membranas bentoníticas em terrenos de elevada alcalinidade, devido à significativa redução de durabilidade dos mesmos. Quando a membrana está entre o solo e a superfície de betão a impermeabilizar, recomenda-se a colocação desta de forma, a que o lado tecido fique em contato direto com o betão.

A durabilidade desta membrana está intimamente ligada às características do terreno, sendo fortemente afetada pela contaminação do solo e da água. A membrana deixa de funcionar corretamente quando a bentonite perde a capacidade de expansão na presença de água.

Contudo, é possível afirmar que as membranas bentoníticas possuem uma vida útil superior a 20 anos.

É uma solução vocacionada para impermeabilizar estruturas enterradas, tanto horizontais como verticais, com instalação rápida e simples, sem colagens nem equipamentos especiais e sem necessidade de pessoal especializado. No entanto, a aplicação de membranas bentoníticas não deve ser executada sem confinamento e, visto que, não resistem a pressões hidrostáticas muito elevadas, não se aconselha a sua utilização em situações de nível freático muito elevado.

### **2.2.6 Emulsões betuminosas**

*“À dispersão, com agente emulsionante, de pequenas partículas betuminosas – com diâmetro na ordem de 1 mm a 5 mm – num líquido, dá-se o nome de emulsão betuminosa. O líquido utilizado, que constitui a fase contínua, em oposição à fase dispersa que é formada pelas partículas betuminosas, é a água ou uma solução aquosa.”* (Grandão Lopes, 1994)

É um produto impermeabilizante aplicado *in situ*, utilizado sobretudo como protetor de outras camadas de impermeabilização e para impregnação e preparação de superfícies. Podem ainda, ser adicionadas cargas e aditivos com o objetivo de melhorar certas propriedades da emulsão. (Ecocasa@ 2013)

Apresenta uma viscosidade tixotrópica, facilitando a aplicação em superfícies verticais ou inclinadas. Depois de completamente seca, forma um revestimento plástico impermeável e resistente ao reemulsão após imersão prolongada em água.

Não é uma solução aconselhada quando é necessária uma elevada elasticidade e não deve ser aplicada em suportes fissurados ou suscetíveis de fissurar. A aplicação da emulsão betuminosa só deve ser feita em suportes rebocados com argamassa de cimento hidrófugo.

O suporte deve apresentar-se livre de impurezas, materiais soltos e vestígios de descofrantes, passíveis de danificar a emulsão. É recomendado que, com temperaturas elevadas ou em zonas expostas à radiação solar, o suporte deva ser ligeiramente humedecido. Não se aconselha a aplicação com temperaturas extremas, existindo a possibilidade dessas mesmas temperaturas alterarem a trabalhabilidade da emulsão, traduzindo-se numa deficiente aplicação. Assim, o intervalo de temperaturas ideal para a sua aplicação situa-se entre os 5°C e os 35°C. Também não deve ser aplicada em condições de risco de ocorrência de precipitação, expostos aos raios ultravioleta e com o suporte demasiado quente.

Esta solução tem sido abandonada ao longo dos últimos anos em elementos de grande dimensão, devido aos custos associados à mão-de-obra, que perfazem uma boa parte do custo

total. Agravando a situação, está a dificuldade inerente à maior parte dos produtos aplicados *in situ*, de garantir a uniformização da espessura e regularidade adequada, assim como, os consumos preconizados. É ainda necessário aplicar várias camadas do produto, sendo essencial um tempo de espera entre camadas para secagem do produto.

Emulsões betuminosas são produtos aptos, com as reconhecidas limitações, a impermeabilizar estruturas enterradas e coberturas planas. A impermeabilização de elementos enterrados com emulsão betuminosa é limitada, já que, não conferem total impermeabilidade ao suporte quando o terreno se encontra saturado, sendo uma solução ineficaz sob pressão hidrostática.

### **2.2.7 Argamassas aditivadas**

*“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.”* (Mendes, 2011)

As características impermeabilizantes são conseguidas fundamentalmente por uma menor porosidade e conseqüente menor capilaridade, ao mesmo tempo que a aplicação em várias camadas assegura a descontinuidade entre poros, garantido a impermeabilização. Os aditivos, para além de melhorarem as características impermeabilizantes, melhoram sobretudo outras características, como a flexibilidade, durabilidade e resistência a agentes externos.

Produtos em pó ou líquidos, a adicionar em obra à argamassa. Aplicados como reboco de superfícies, após a secagem formam uma impermeabilização rígida, não aconselhada a suportes sujeitos a deformações e fissurações. Devido à retração higrotérmica, também não devem ser aplicados em betões frescos.

A superfície a impermeabilizar deverá estar limpa, compacta e de preferência com alguma rugosidade para garantir uma melhor aderência. São produtos exigentes em relação à humidade existente no suporte, devendo este estar saturado mas nunca excessivamente molhado. Estes são fatores importantes para uma correta cura da argamassa, assim como as condições atmosféricas, devendo-se evitar a todo custo a aplicação em alturas de chuva, de formação de gelo, temperaturas elevadas e ventos fortes.

Têm a vantagem de funcionar em contrapressão, serem facilmente aplicadas em pontos singulares, do processo de aplicação ser simples e não necessitarem de mão-de-obra especializada. Por outro lado, o tempo de espera entre camadas e para a argamassa atingir a resistência desejada é uma desvantagem quando se pretende celeridade na aplicação do sistema.

As argamassas aditivadas possuem características que lhes conferem grande durabilidade, no entanto, a eficácia da impermeabilização está condicionada pela possibilidade das argamassas fissurarem. Desta forma, a durabilidade das argamassas é relegada para segundo plano em detrimento da capacidade de acompanhamento das movimentações do suporte. Para além da fissuração, o punçamento dinâmico e a abrasão, são os fatores que mais podem condicionar o tempo de vida útil deste género de produtos de impermeabilização.

As argamassas aditivadas, dependendo do tipo de aditivos que a as constituem, têm um campo de aplicação muito abrangente. Podem ser utilizadas para impermeabilização de estruturas enterradas, coberturas planas, reservatórios e piscinas.

### **2.2.8 Membranas líquidas à base de resinas epoxídicas**

Membranas líquidas à base de resinas epoxídicas são produtos formados por resinas sintéticas através de um processo de polimerização. São compostas por resinas epoxídicas e agentes de cura, normalmente aminas e poliamidas, responsáveis por algumas das características da membrana. A resina epoxídica é um material termofixo que endurece por reação com os agentes de cura e isento de solventes. Devido às suas ligações éteres, as resinas epoxídicas são polímeros muito estáveis, resistentes à água, a vários solventes, ácidos, álcalis e outros produtos químicos.

Após a secagem, o produto forma uma película sólida com excelente poder adesivo. Para além da excelente aderência ao suporte, são membranas altamente resistentes a ataques químicos e de elevada resistência mecânica.

O produto pode ser razoavelmente exigente em relação às condições atmosféricas, só devendo ser aplicado à temperatura e humidade relativa do ar indicadas na ficha técnica. As condições exigidas ao suporte são basicamente as mesmas de outros produtos. Devem encontrar-se limpos e isentos de gorduras, aconselhando-se na maioria dos casos a aplicação de um primário.

É um produto aplicado *in situ* como pintura da superfície manualmente ou com equipamento de projeção *airless*. É essencial que o intervalo de tempo entre camadas e o tempo de cura final seja respeitado, devendo obter-se essa informação na ficha técnica do produto.

Produto muitas vezes usado como proteção anticorrosiva de materiais ou elementos construtivos, podendo ainda desempenhar a função de impermeabilizante sobretudo em depósitos de águas residuais.

### 2.2.9 Membranas líquidas à base de resinas acrílicas

As membranas líquidas à base de resinas acrílicas são produtos que resultam da dispersão aquosa de resinas acrílicas, cargas e agentes estabilizantes. Depois de endurecidas, por evaporação de solventes, as resinas acrílicas termoplásticas formam uma película sólida, permeável ao vapor de água e de grande resistência aos raios ultravioleta e ozono. Possuem ainda elevada capacidade de cobrir pequenas fissuras que se possam formar.

Membrana aplicada como pintura na superfície a impermeabilizar de forma manual ou por projeção com pistola *airless*.

As condições necessárias à sua aplicação são idênticas a outras pinturas em geral, devendo verificar-se os limites máximos e mínimos da temperatura ambiente na ficha técnica do produto, assim como, o tempo de espera entre camadas e de secagem total. Não aplicar com risco de precipitação, ventos fortes ou exposição solar intensa. O suporte deve estar limpo de poeiras e gorduras, aplicando um primário para uma elevada adesão da membrana ao suporte.

Produtos fortemente utilizados na pintura e impermeabilização de fachadas, com possibilidade de utilização em coberturas planas não acessíveis.

### 2.2.10 Membranas líquidas de poliuretano

O poliuretano é um polímero que incorpora uma cadeia de unidades orgânicas unidas por ligações uretânicas e que, a sua principal reação de produção tem como reagentes, um disocianato, disponível nas formas alifáticas ou aromáticas, e um diol. A membrana de poliuretano aplicada na forma líquida, depois de endurecida, forma uma membrana sólida e impermeável, de elevada elasticidade e com boa resistência mecânica e aos raios ultravioleta. Detém também grande resistência química, não estando sujeito a alterações quando em contacto com água do mar, chuvas ácidas, óleos e petróleos. (Explicatorium@ 2013)

É um produto ligeiramente limitado em relação às condições atmosféricas, possuindo um *pot-life* (intervalo de aplicação) reduzido e condicionado pela humidade relativa do ar. Por este motivo, a sua aplicação deve ser efetuada rapidamente, impedindo que surjam alterações às suas propriedades. A temperatura de aplicação, tal como outras membranas, também não deve ser feita em condições extremas de temperatura, visto que, o poliuretano reage muito rapidamente em temperaturas elevadas, originando um acabamento áspero. Pelo contrário, a baixas temperaturas corre o risco de reagir muito lentamente ou mesmo não reagir, mantendo-se líquido. Em suportes de betões novos, aconselha-se a aplicação de primário, evitando que a humidade proveniente da cura do betão afete a membrana.

Produto de impermeabilização aplicado “*in situ*” por projeção, permitindo também a aplicação com rolo ou espátula, possui facilidade de aplicação aliada ao baixo peso e

versatilidade de aplicação. Tem como grandes vantagens, a redução da transmissibilidade térmica numa cobertura e a resistência ao tráfego pedonal sem necessidade de proteção mecânica. A fim de melhorar a resistência à abrasão, ao fogo e às intempéries, é possível a sua proteção através de granulado mineral aplicado antes da secagem da membrana de poliuretano.

Membranas aptas a impermeabilizar, essencialmente, coberturas planas de acessibilidade limitada ou acessíveis ao tráfego pedonal ligeiro, mediante uma camada de revestimento protetor.

### **2.2.11 Membranas de poliureia**

*“Detalhando quimicamente, uma poliureia pode ser obtida da reação entre um isocianato à base de MDI (difenilmetano disocianato) ou HDI (hexametileno disocianato), uma mistura de vários produtos orgânicos, sendo que a cadeia principal é constituída por polióis poliéteres com terminação amina. Estão também presentes na composição diaminas primárias, aromáticas ou alifáticas, além de extensores de cadeia e agentes de cura. Outros, como aditivos e pigmentos, podem ser incorporados, com o cuidado de sempre manter a proporção 1:1. A composição do componente amínico é fundamental para a obtenção de propriedades específicas das poliureias.”* (Tecnologia de materiais@ 2013)

É um produto com elevada resistência química, resistente a ácidos e derivados do petróleo. Possui uma boa estabilidade térmica, elevado módulo de elasticidade e capacidade de alongamento, assim como, uma elevada resistência à abrasão e ao impacto. O seu tempo de vida útil estimado pode superar os 25 anos, sem grandes trabalhos periódicos de manutenção. (Tecnologia de materiais@ 2013)

Aplicado por termoprojeção, tem no seu baixo peso e rapidez de secagem, duas das suas grandes vantagens. A liberação da área após aplicação pode ser feita passado apenas 3 horas. Para além disso, é um produto de alto rendimento, fácil de aplicar e que permite economizar na mão-de-obra. Porém, não dispensa pessoal especializado para a sua aplicação. Tem ainda a vantagem de não necessitar de proteção mecânica e de não ser agressivo para o meio ambiente.

Em relação às condições atmosféricas, o produto não tem limitações significativas, podendo aplicar-se em praticamente quaisquer condições climáticas. Isto deve-se ao facto da cura da poliureia se efetuar de forma tão rápida que não sofre alterações por intervenção da temperatura ou da água.

Os requisitos para o suporte na aplicação da poliureia também não são extensos, aconselhando-se apenas a aplicação de um primário em suportes metálicos.

A poliureia é um impermeabilizante fundamentalmente interessante em submersão, apresentando-se como uma boa escolha para impermeabilização de reservatórios e piscinas. Para além disso, é também muito utilizado em coberturas planas, especialmente em coberturas metálicas como proteção anticorrosiva.

### 2.2.12 Produtos auxiliares

Um sistema de impermeabilização não contempla apenas os produtos analisados nos pontos anteriores, mas sim todos os produtos que completam e contribuem para o correto funcionamento do sistema.

Existem alguns pontos que necessitam de proteção extra, como é o caso das juntas de betonagem. Esses pontos são propícios à entrada de água por capilaridade e devem por isso, ser tratados de forma diferente. Como solução para o problema, existem *waterstops* que podem ser inseridos no interior do betão ou exteriores. É importante referir que, *waterstops* aplicados incorretamente podem ter efeitos contrários, diminuindo a resistência à humidade do elemento. Assim, é fundamental que se tomem cuidados para não danificar ou deslocar os *waterstops* durante a betonagem e que se garanta que o betão fique bem compacto à sua volta. São materiais que acompanham as movimentações das juntas, selando-as e impedindo a entrada de água por capilaridade. São geralmente feitos de PVC ou de bentonite de sódio natural, mas se for expectável grande movimento das juntas deve ser usada uma borracha. CIRIA, (1995)

Os *waterstops* de bentonite de sódio natural são largamente utilizados na impermeabilização de estruturas enterradas. Sendo um material que expande na presença de água, é bastante eficaz nesta função, chegando a expandir cerca de 15 vezes o seu volume. Para além disso, resistem a elevadas pressões hidrostáticas. (Mendes, 2011)



Figura 2.5 – Aplicação de um *waterstop* (Mendes, 2011) (Rawell@ 2014)

Mástique é outro dos produtos muito utilizados para completar sistemas de impermeabilização. Utilizado sobretudo na selagem de juntas de dilatação e fissuras, pode também ser usado em remates de pontos críticos. São produtos bastante elásticos, impermeáveis e com excelente poder de adesão, sendo os mástiques mais frequentes à base de poliuretano, resinas acrílicas e silicones.

Com função de drenagem, proteção, separação e filtragem, os geotêxteis são na grande maioria das vezes imprescindíveis ao sistema de impermeabilização. Segundo Ferreira Gomes (2001), “os geotêxteis podem agrupar-se essencialmente em dois grandes grupos: tecidos e não-tecidos. Um geotêxtil tecido obtém-se por entrelaçamento, geralmente em ângulo recto, de dois filamentos, de vários feixes de filamentos ou em bandas. Os geotêxteis não-tecidos são constituídos por fibras orientadas direccional ou aleatoriamente e ligadas numa estrutura plana.” Geralmente, os geotêxteis utilizados na construção civil são constituídos por fibras de polímeros sintéticos, como é o caso do poliéster, do polietileno e do polipropileno.

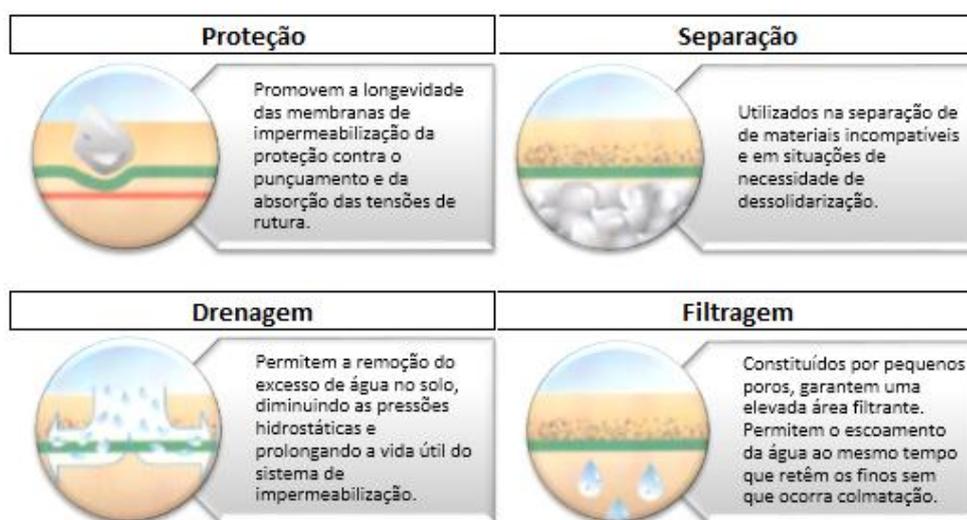


Figura 2.6 – Principais funções dos geotêxteis (Imperialum@ 2013) (Ferreira Gomes, 2001)

Um dos produtos mais utilizados em impermeabilização de estruturas enterradas são as geomembranas de PEAD (polietileno de alta densidade), constituídas por um geotêxtil e uma membrana de polietileno de alta densidade. O geotêxtil tem a função de drenagem, enquanto a membrana de PEAD, possui características que conferem uma reduzida permeabilidade à membrana. É a forma alveolar da membrana que assegura uma drenagem rápida e eficaz das águas do terreno e, como são aplicadas sobre a membrana de impermeabilização, conferem-lhe alguma proteção mecânica. (Mendes, 2011)



Figura 2.7 – Geomembrana de PEAD (Texsa@ 2014) (Mendes, 2011)

### 3 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS E TÉCNICAS

No presente capítulo serão analisados os sistemas e técnicas de impermeabilização dos elementos construtivos referidos no subcapítulo 2.2, à exceção das fachadas. Esta exceção deve-se ao distanciamento verificado entre as técnicas destinadas à impermeabilização de fachadas e as técnicas dos restantes elementos construtivos, tornando-se impossível analisar e comparar da forma mais adequada tais produtos e técnicas.

#### 3.1 Fundações

Uma vez que se trata de impermeabilização de elementos construtivos, neste caso, de fundações, não serão consideradas as impermeabilizações que apenas impedem a passagem de água para os elementos acima, não protegendo o elemento de fundação da ação da água. Deste modo, apenas analisar-se-ão as técnicas de impermeabilização que recobrem totalmente o elemento e evitam o contacto da água presente no solo com a fundação. Assim, produtos aplicados *in situ* como, emulsões betuminosas e membranas líquidas, não são considerados devido à necessidade de adesão ao suporte a impermeabilizar, impossibilitando a aplicação nas superfícies inferiores dos elementos.

Desta forma, vão ser analisadas as técnicas de aplicação das membranas sintéticas de PVC-P, EPDM e FPO, membranas bentoníticas, membranas de betume polímero e argamassas aditivadas. Em determinados elementos, a impermeabilização só é possível com a utilização de mais do que um tipo de produto impermeabilizante.

As membranas sintéticas pré-fabricadas referidas consideram-se ainda mais vantajosas devido à capacidade de resistirem às deformações do suporte, à elevada flexibilidade e à facilidade de se moldarem e fixarem à superfície. (Mendes, 2011)

A impermeabilização de sapatas com membranas, como comprova a figura 3.8, é executada de forma bastante simples e eficaz. É aplicado no fundo do cabouco uma camada de betão de limpeza e de seguida um geotêxtil sobre essa camada. O geotêxtil, para além de ter a função de drenagem, protege a membrana de impermeabilização do contacto com o solo. É então aplicada a membrana de impermeabilização e posteriormente uma nova camada de geotêxtil, de modo a que, a membrana não se danifique durante a betonagem. De forma a possibilitar a

libertação da humidade proveniente da cura do betão, o recobrimento da fundação só deve ser executado após o tempo de cura necessário. Por fim, o sistema deve ser fixado para evitar defeitos decorrentes da soterração da fundação, que poderia deslocar o sistema de impermeabilização. (Mendes, 2011)

A utilização de membranas de betume polímero neste género de elementos não é recomendada devido à baixa flexibilidade das mesmas, dificultando significativamente a execução dos remates e dobras necessárias para envolver a sapata na membrana de impermeabilização.



Figura 3.8 – Sistema de impermeabilização de uma sapata isolada (Mendes, 2011)

A impermeabilização utilizando mantas bentoníticas permite dispensar a utilização de geotêxteis de proteção e drenagem, como se pode comprovar na figura seguinte. Outra vantagem deste produto é o facto de não necessitar de nenhuma espécie de soldadura ou produto de colagem, com as sobreposições agrafadas nos cantos e fixadas mecanicamente ao suporte nos paramentos verticais. A fixação deste género de telas dá-se principalmente pelo confinamento a que vão estar sujeitas, exigindo um cuidado especial para não ocorrerem deslocamentos durante a betonagem.



Figura 3.9 – Impermeabilização de uma sapata com membrana bentonítica (H Pedro Martins@ 2014)

O sistema de impermeabilização de vigas de fundação e ensoleiramentos gerais é idêntico ao das sapatas, utilizando-se também uma membrana e dois geotêxteis, como se pode observar no exemplo da figura seguinte, que descreve o sistema de impermeabilização de um ensoleiramento geral. Em substituição do geotêxtil de drenagem pode ser usado um painel alveolar de PEAD. (Mendes, 2011)



Figura 3.10 – Sistema de impermeabilização de um ensoleiramento geral (Mendes, 2011)

As vigas de fundação devem ser betonadas, o mais possível, de forma contínua, evitando um grande número de juntas de betonagem, que se traduzem em pontos críticos e poderão ser prejudiciais ao sistema. Na figura seguinte pode observar-se a impermeabilização de toda a fundação do edifício com membranas bentoníticas, onde é aconselhado que o lado tecido do geocompósito se encontre virado para cima, para posterior adesão ao betão.



Figura 3.11 – Impermeabilização de toda a fundação antes da betonagem (Elephantnz@ 2014)

Para uma impermeabilização eficaz, é fundamental que se impermeabilize a laje de fundo e a parede, de forma a dar continuidade ao sistema. Em conjunto com as membranas de impermeabilização, são geralmente utilizados drenos e *waterstops*, como se observa na figura seguinte.

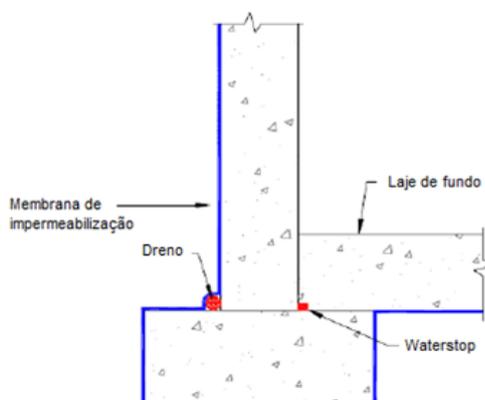


Figura 3.12 – Continuidade do sistema de impermeabilização da fundação (Mendes, 2011)

A impermeabilização de fundações profundas é um pouco mais complexa do que a impermeabilização de fundações diretas. Devido à impossibilidade de impermeabilizar toda a estaca, opta-se por impermeabilizar a cabeça da estaca ou o maciço de encabeçamento.

A impermeabilização da cabeça da estaca só faz sentido se, para além da cabeça da estaca, se impermeabilizar a superfície inferior da laje também. Assim, a membrana de impermeabilização deve cobrir toda a superfície horizontal e a superfície lateral da cabeça da estaca, como se pode observar na figura seguinte. A superfície horizontal da estaca é impermeabilizada com recurso a argamassas aditivadas, visto que, é o único produto com capacidade de suportar as cargas transmitidas ao elemento. (Mendes, 2011)

As membranas sintéticas de PVC-P, FPO e EPDM podem ser aplicadas em sistema independente, aderido ou por fixação mecânica. A adesão deste género de membranas em sistema aderido executa-se com solventes de colagem ou recorrendo a membranas autoadesivas. Na figura seguinte é possível observar a aplicação de tais membranas em fundações indiretas.



Figura 3.13 – Impermeabilização de estacas (Koester@ 2014)

Em volta da cabeça da estaca e no interior da membrana de impermeabilização é aplicado um *waterstop* em forma de arco, formando uma barreira estanque, descrita na figura 3.14.

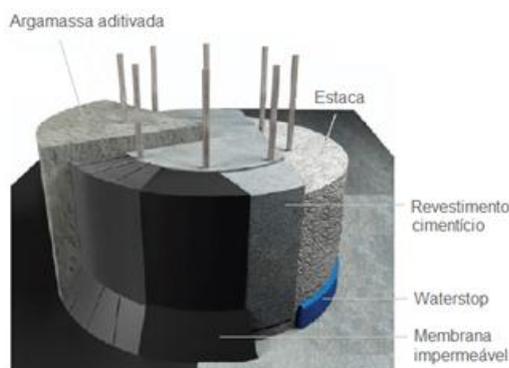


Figura 3.14 – Impermeabilização da cabeça de uma estaca (Henkelpolybit@ 2014)

O sistema de impermeabilização de estacas por meio de membranas de betume polímero funciona de forma semelhante à das membranas sintéticas, como se observa na figura seguinte. Neste caso, a impermeabilização é aderida com a ajuda de um primário betuminoso, aplicada em sistema bicapa e com reforços nas transições entre paramentos verticais e horizontais. À volta da cabeça da estaca é usada uma braçadeira em aço para garantir a fixação e a não deslocação da membrana durante a betonagem. Tal como nos sistemas de impermeabilização com membranas sintéticas, é aplicada uma argamassa aditivada na superfície horizontal da estaca de forma a completar o sistema. (Sitaf@ 2014)

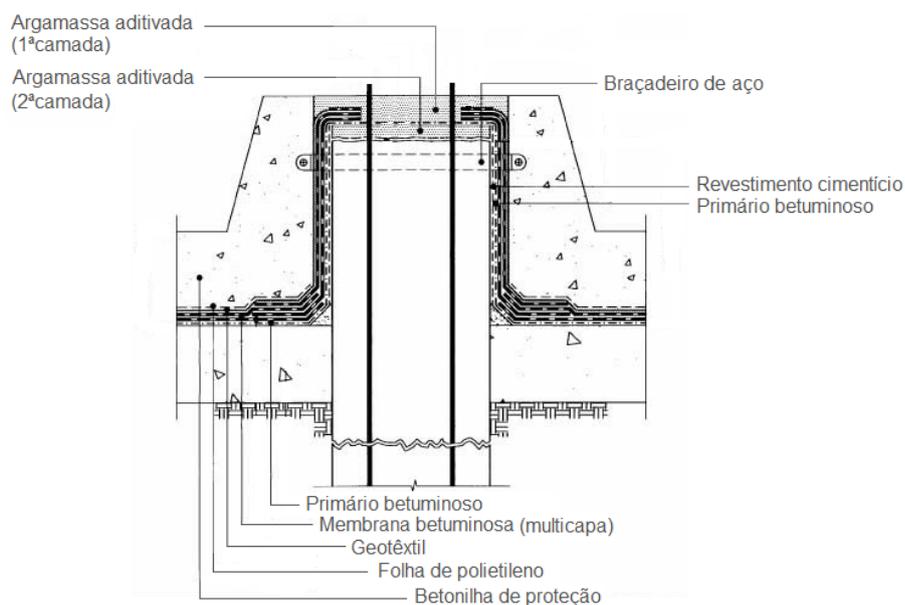


Figura 3.15 – Impermeabilização de estacas com membranas de betume polímero (Sitaf@ 2014)

Outra solução de impermeabilização de fundações profundas é a impermeabilização de todo o maciço de encabeçamento, como se observa na figura seguinte. A cabeça da estaca é impermeabilizada de forma idêntica à descrita anteriormente e o maciço é impermeabilizado como se de uma sapata se tratasse.



Figura 3.16 – Impermeabilização de um maciço de encabeçamento (Mendes, 2011)

Ainda em relação à total impermeabilização do maciço de encabeçamento, podem ser usadas argamassas aditivadas para impermeabilizar a superfície inferior e superior do maciço, para além da superfície lateral e horizontal da cabeça da estaca. Esta solução está representada na figura seguinte e pode ser usada em combinação com membranas de impermeabilização na superfície inferior ou superior do maciço e argamassas aditivadas na cabeça da estaca. (Safeguard@ 2014)

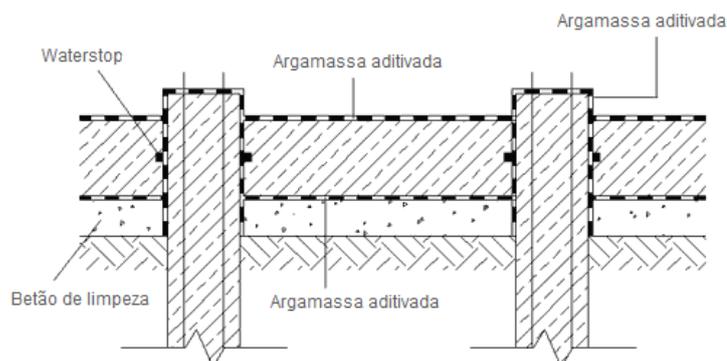


Figura 3.17 – Impermeabilização de um maciço de encabeçamento com argamassa aditivada (Safeguard@ 2014)

### 3.2 Paredes enterradas

As estruturas enterradas são muitas vezes impermeabilizadas pelo interior, impedindo a ocorrência de infiltrações para o interior da estrutura. No entanto, tal procedimento não protege os elementos estruturais como as lajes e as paredes enterradas. Assim, apenas irão ser analisadas as técnicas de impermeabilização pelo exterior, não excluindo a possibilidade de uma impermeabilização complementar no interior da estrutura.

Para além disso, só serão analisadas as paredes enterradas, uma vez que, a impermeabilização de lajes de fundo já foi analisada no subcapítulo 3.1, referente à impermeabilização de fundações. O ideal é executar-se a impermeabilização da laje de forma que esta continue a impermeabilização das paredes, obtendo-se uma impermeabilização contínua e com o mesmo material. Todavia, a presente descrição das técnicas e materiais de impermeabilização irá cingir-se apenas à impermeabilização de paredes, não levando em consideração a impermeabilização existente na laje de fundo ou ensoleiramento geral.

Consideram-se assim, como soluções mais correntes de impermeabilização pelo exterior de paredes enterradas, as membranas pré-fabricadas de betume polímero, de PVC-P, de EPDM, de FPO e mantas bentoníticas. Muito utilizados também, são os produtos de impermeabilização aplicados *in situ*, como as argamassas aditivadas e as emulsões betuminosas.

### 3.2.1 Membranas pré-fabricadas

As membranas de betume polímero, usadas com alguma frequência na impermeabilização de paredes enterradas, são aplicadas em sistema aderido através de soldadura por chama de maçarico, com o suporte previamente impregnado com primário betuminoso. Podem ser reforçadas com armaduras de fibra de vidro ou feltro de poliéster, sendo esta última a mais utilizada para resistir aos esforços da estrutura.

A figura seguinte, em que uma parede enterrada é impermeabilizada com membranas de betume polímero, descreve um sistema de impermeabilização e drenagem associada que é transversal a todos os sistemas de impermeabilização com membranas pré-fabricadas sintéticas. Para além do sistema de impermeabilização, é usado geralmente um painel alveolar em PEAD como camada drenante e um dreno que encaminhará as águas para longe da parede. A camada de separação possui dupla função de drenagem e proteção mecânica.

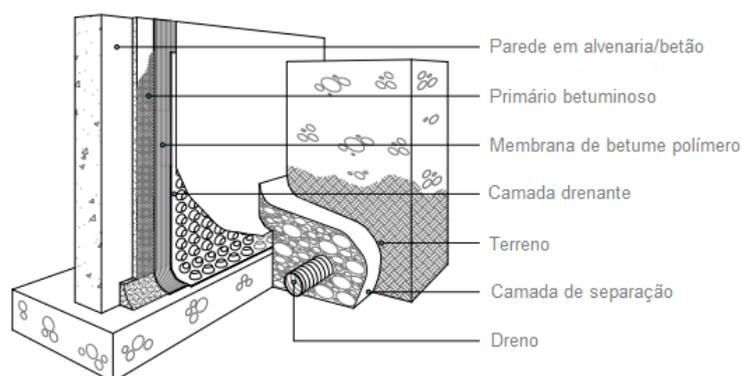


Figura 3.18 – Impermeabilização de parede enterrada com membranas de betume polímero (Imperialum@ 2013)

Conforme mencionado, as membranas de PVC-P, FPO e EPDM podem ser aplicadas em conjunto com o sistema de drenagem representado na figura anterior, variando apenas a forma com é fixada ao suporte. Membranas de PVC-P e FPO são regularmente fixadas mecanicamente e as suas juntas de sobreposição soldadas a ar quente. Já as membranas de EPDM, são habitualmente aderidas ao suporte por meio de solventes de colagem e têm as suas juntas de sobreposição coladas da mesma forma.

As mantas bentoníticas podem ser aplicadas da mesma forma, porém, são na maioria das vezes aplicadas em contacto direto com o solo, dispensando o uso de camadas de proteção e drenagem. Esta possibilidade advém da capacidade dos geocompósitos bentoníticos se auto-vedarem na presença de água e na grande resistência às ações mecânicas.

A fixação mecânica da manta bentonítica deve ser executada de cima para baixo e as sobreposições devem ser agrafadas a cada 30 cm. Com a geomembrana fixada à parede, o aterro deve ser feito com o cuidado de não deslocar a membrana nem deixar argilas ou agregados que possam danificar a membrana entre esta e a parede. Pode observar-se na figura seguinte o modo de fixação das mantas bentoníticas ao suporte vertical. (Mapei@ 2013)



Figura 3.19 – Fixação mecânica de manta bentonítica em suporte vertical (Archiproducts@ 2014) (Mapei@ 2014)

### 3.2.2 Produtos aplicados in situ

As argamassas aditivadas são aplicadas como reboco da superfície a impermeabilizar, precedidas de um primário de base cimentícia de baixa porosidade. As transições entre paramentos horizontais e verticais devem ser arredondadas em formato de meia cana. É ainda utilizada uma camada drenante entre o terreno e a impermeabilização, geralmente um painel alveolar em PEAD. (Koster@ 2014)

As emulsões betuminosas têm uma aplicação semelhante às argamassas aditivadas, com a aplicação também de um primário, neste caso, de um primário betuminoso. Tanto na impermeabilização com argamassas aditivadas como com emulsões betuminosas, recomenda-se a incorporação de armaduras de reforço entre camadas para aumentar a resistência aos movimentos estruturais e reduzir a fendilhação. Na figura seguinte observa-se a impermeabilização das paredes enterradas de uma edificação com emulsão betuminosa.



Figura 3.20 – Impermeabilização de paredes enterradas com emulsão betuminosa (Weber@ 2013)

### 3.3 Coberturas

As coberturas planas dispõem de uma vasta gama de produtos e técnicas de impermeabilização. De seguida, analisar-se-ão algumas das técnicas mais frequentes referentes a produtos de aplicação *in situ* e pré-fabricados.

#### 3.3.1 Membranas pré-fabricadas

Vários estudos realizados acerca do envelhecimento das membranas de impermeabilização em coberturas planas sugerem que, a esmagadora maioria das patologias existentes não são devidas ao produto em si, mas à forma como é aplicado e protegido. (Sartori, 1999)

Com as devidas precauções, as membranas de impermeabilização pré-fabricadas sintéticas e de betume polímero, podem ser utilizadas praticamente em todos os tipos de coberturas. Dependendo da membrana de impermeabilização, da acessibilidade da cobertura, da exposição ao vento, da existência ou não de proteção pesada e do tipo de suporte, deve optar-se pelo tipo de fixação mais adequada, normalmente descrito na ficha técnica de cada produto, assim como os passos básicos de aplicação.

Praticamente todas as membranas pré-fabricadas analisadas no Capítulo 2 são opções válidas para impermeabilização de coberturas planas. Deste modo, consideram-se as membranas de betume-polímero, PVC, EPDM e FPO.

Uma forma de minimizar o problema da resistência reduzida de algumas membranas ao tráfego pedonal é a adoção do sistema de coberturas invertidas, opção extremamente vantajosa em relação à durabilidade das mesmas, principalmente quando a impermeabilização é executada com sistemas de camada única. (Hodges, 2002)

Em coberturas acessíveis à circulação de pessoas é fundamental que exista uma camada com o intuito de proteger a membrana de impermeabilização e a camada de isolamento térmico. Na figura seguinte, observa-se um possível esquema de uma cobertura plana acessível ao tráfego pedonal e o remate da membrana de impermeabilização no paramento vertical. A proteção, dependendo da intensidade de tráfego, pode ser de maior ou menor resistência, como, por exemplo: betão com fibras, betonilha armada, lajetas pré-fabricadas, mosaico e calhau rolado ou brita.

Em situações deste género, o risco da membrana se deslocar é bastante reduzido, adotando-se, habitualmente, a aplicação da membrana em sistema independente, de forma a aproveitar na totalidade a capacidade de alongamento da membrana. No entanto, deve encontrar-se sempre aderida ou fixada aos paramentos verticais e elementos emergentes da cobertura.

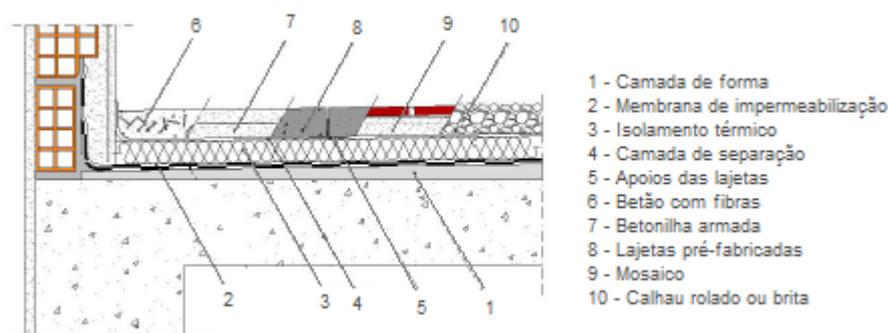


Figura 3.21 – Impermeabilização de cobertura plana acessível à circulação de pessoas (Aspim@ 2013)

O esquema da figura 3.22, referente a uma cobertura plana acessível a veículos, é idêntico ao esquema da figura anterior, exceto a proteção mecânica, que deverá possuir uma resistência mecânica mais elevada. Outro aspeto em que difere é o remate da membrana de impermeabilização com o paramento vertical, apresentando-se como outra possibilidade.

Na presente situação, é de todo desaconselhada a aplicação da membrana de impermeabilização em sistema independente, devido à possibilidade de deslocamento da mesma por ação da circulação dos veículos. Assim, deve optar-se pela adesão completa ou fixação mecânica da membrana ao suporte.

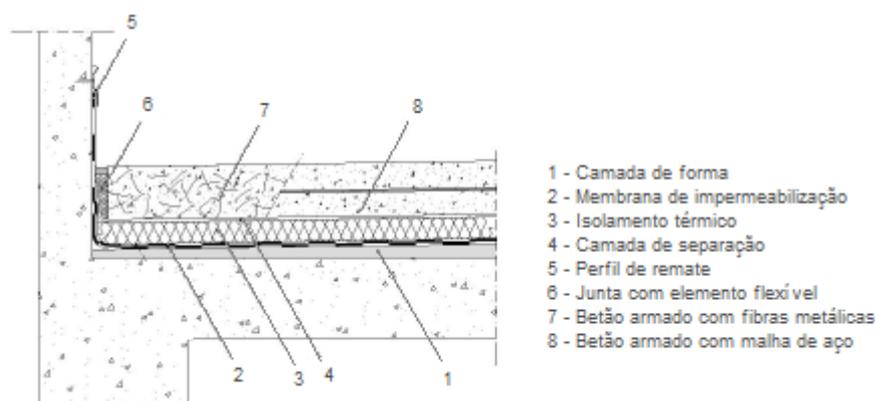


Figura 3.22 – Impermeabilização de cobertura plana acessível a veículos (Aspim@ 2013)

Em coberturas não acessíveis, não é essencial a inclusão de proteção pesada, podendo aplicar-se apenas uma camada de proteção leve. Em algumas situações, como na figura 3.23, a membrana de impermeabilização poderá mesmo ficar exposta, devendo estar totalmente aderida ou fixada mecanicamente à superfície de suporte. Contudo, nem todas as membranas possuem as características necessárias para ficarem expostas, existindo membranas com acabamentos superficiais destinados a tais situações. A exposição da membrana ao vento também deve ser considerada, em virtude da altura e localização do edifício.

As membranas de impermeabilização pré-fabricadas de betume polímero não são correntemente aplicadas sem proteção, existindo, no entanto, membranas com acabamentos superiores destinadas à exposição solar. Por exemplo, acabamentos superficiais com folhas refletoras são uma boa solução, uma vez que, ao refletirem uma boa parte da radiação ultravioleta, evitam o envelhecimento precoce devido à exposição solar.

A maioria das membranas sintéticas de EPDM, PVC-P e FPO, possuem elevadas resistências aos raios ultravioleta e características que lhes conferem um comportamento satisfatório quando expostas às intempéries. Nesta situação, é comum encontrar membranas reforçadas com armaduras de rede de poliéster, alcançando assim, uma maior resistência ao rasgamento e à perfuração.

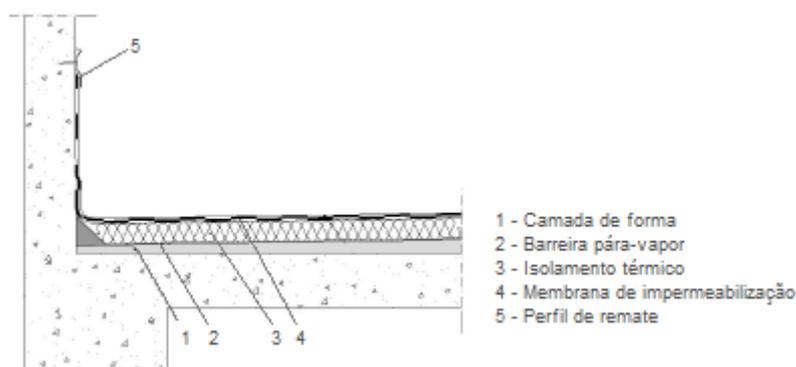


Figura 3.23 – Impermeabilização de cobertura plana não acessível (Aspim@ 2013)

Em coberturas planas não acessíveis, uma boa forma de evitar a perfuração da membrana de impermeabilização, é a colocação de caminhos pedonais para distribuição uniforme das cargas pontuais, como se verifica na figura seguinte. (Walter et al, 2004)



Figura 3.24 - Caminhos pedonais em coberturas planas não acessíveis (Walter et al, 2004)  
(Sika@ 2013)

Na impermeabilização de coberturas ajardinadas, é essencial a incorporação de mantas alveolares ou elementos drenantes sobre o isolamento térmico. Para além disto, apenas devem

ser aplicadas membranas resistentes à perfuração por raízes e a micro-organismos. Dentro das opções de acabamentos superiores das membranas de betume polímero, é o acabamento em granulado mineral, o mais aconselhado a esta situação. A figura seguinte representa um esquema de impermeabilização de uma cobertura ajardinada.

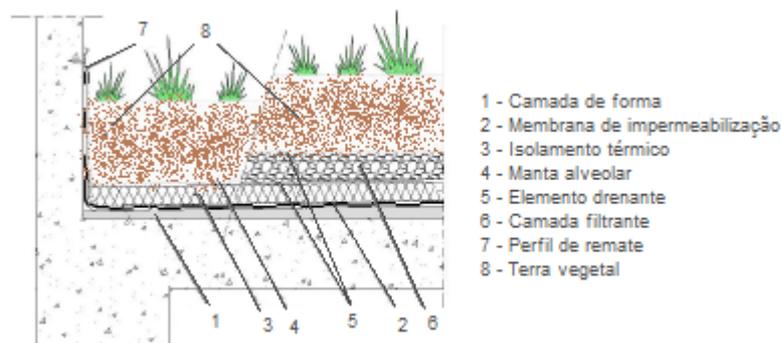


Figura 3.25 – Impermeabilização de cobertura plana ajardinada (Aspim@ 2013)

As membranas sintéticas de impermeabilização de EPDM, PVC-P e FPO, possuem baixo peso em relação às membranas betuminosas, apresentando-se assim, como as mais adequadas a impermeabilizar coberturas metálicas. Para além disso, as membranas sintéticas são facilmente aplicadas por fixação mecânica, sendo este o sistema ideal de aplicação para a situação em análise, como se verifica no exemplo da figura seguinte.

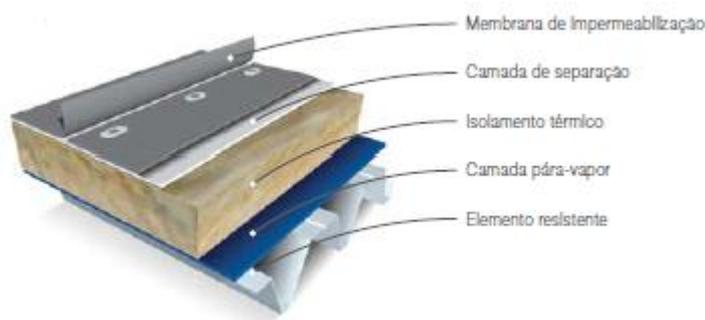


Figura 3.26 – Impermeabilização de cobertura metálica com membrana sintética (Renolit@ 2013)

A figura 3.27 indica a orientação em que as membranas devem ser aplicadas, de forma a impermeabilizar corretamente a cobertura. Estas devem ser aplicadas perpendicularmente à pendente da cobertura. (Renolit@ 2013)

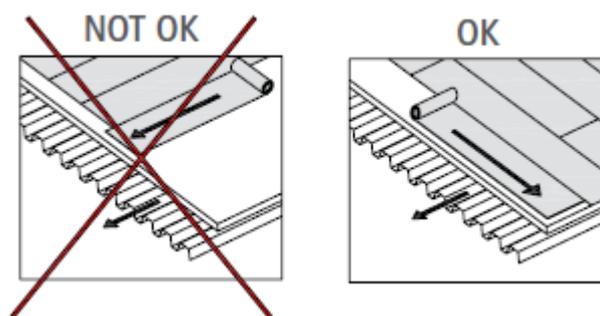


Figura 3.27 – Orientação das membranas de impermeabilização em coberturas metálicas (Renolit@ 2013)

Antes da aplicação de qualquer membrana, o suporte deve ser devidamente preparado, limpo e regularizado. Todas as transições entre superfícies horizontais e verticais devem ser arredondas, evitando pontos angulosos.

O quadro seguinte resulta de uma pesquisa efetuada em catálogos de fabricantes e aplicadores de membranas de impermeabilização em coberturas e, tem como objetivo representar de forma sintética, o grau de utilização de cada membrana em determinado sistema, consoante a exposição ou proteção da mesma. Contudo, os resultados obtidos não traduzem quais as melhores soluções, mas sim as mais frequentes.

Quadro 3.9 - Utilização típica das membranas de impermeabilização pré-fabricadas em função do sistema e exposição

Sistema Membrana pré-fabricada	Membrana exposta em cobertura de acessibilidade limitada				Membrana sob proteção pesada em cobertura acessível ou não			
	independente	aderido	semi independente	fixação mecânica	independente	aderido	semi independente	fixação mecânica
Betume polímero		●●		●	●	●●●	●	
PVC-P		●		●●●	●●●			●
EPDM		●●●		●	●●			
FPO		●		●●●	●●			●

● Utilização rara    ●● Utilização ocasional    ●●● Utilização frequente

Em coberturas planas, as membranas betuminosas são geralmente utilizadas em duas camadas, conferindo uma resistência e durabilidade francamente superiores. Existem soluções adequadas a todos os tipos de fixação ao suporte, desde sistemas aderidos, independentes, semi-aderidos e até fixados mecanicamente. Contudo, são mais recorrentes as membranas preparadas para uma completa adesão ao suporte. A adesão ao suporte e a colagem das juntas de sobreposição é efetuada por meio de chama de maçarico, como se descreve na figura 3.28.

Independentemente do sistema adotado, a segunda membrana deve ser completamente aderida à primeira, por fusão do material através de chama de maçarico. Deve ter-se em consideração que, as juntas de sobreposição da segunda membrana não deverão coincidir com as da primeira.

Em sistema bicapa aderido, é aconselhado que a membrana em contacto com o suporte possua armadura de poliéster, devido à maior capacidade de alongamento e acomodação das tensões do suporte. Já a segunda membrana deve ser reforçada com armadura de fibra de vidro.

Nas situações de adesão da membrana ao suporte, este deve ser previamente impregnado com um primário betuminoso, a fim de melhorar a adesão da membrana ao suporte.



Figura 3.28 - Soldadura de uma membrana de betume polímero (Vedacit@ 2013)  
(Vivenda@2013)

Quando a aplicação é executada diretamente sobre o isolamento térmico, a chama de maçarico poderá danificá-lo, aconselhando-se a colagem por betumes insuflados a quente e, sempre que possível, a aplicação de uma camada protetora entre a membrana betuminosa e o isolamento.

A membrana deve ser sempre aderida por soldadura aos paramentos verticais, previamente impregnados com primário betuminoso e fixada mecanicamente quando se considerar necessário. A impermeabilização em elementos emergentes, tal como ilustrada na figura seguinte, é feita recorrendo a um processo de amolecimento da membrana através da chama de maçarico e moldando-a ao local, de forma a evitar infiltrações. Poderão ainda ser usadas bandas autoadesivas para vedação completa do local.



Figura 3.29 - Remate de impermeabilização de um tubo de queda interior com membranas de betume polímero (Vedacit@ 2013)

As membranas sintéticas de impermeabilização de PVC-P e FPO têm aplicações semelhantes. Geralmente aplicadas por fixação mecânica em situações que se preveja a exposição da membrana e em sistema independente quando protegidas por proteção pesada. Embora não seja frequente, podem ser aderidas ao suporte na sua totalidade através de produtos à base de solventes.

Em coberturas invertidas, é importante que o isolamento térmico não seja aderido à membrana de impermeabilização, permitindo o funcionamento independente do sistema. Por vezes, é usado um geotêxtil como camada de separação entre a membrana de PVC-P e o isolamento térmico por razões de incompatibilidade química, anteriormente referido na descrição do material presente no Capítulo 2.

A fixação mecânica das membranas ao suporte, como se observa na figura seguinte, deve ser executada no interior das juntas de sobreposição, através de fixações pontuais ou recorrendo a barras de fixação protegidas por uma banda autoadesiva ou soldada a ar quente. As barras de fixação têm a vantagem de distribuírem de forma homogênea as cargas originadas pela sucção do vento.

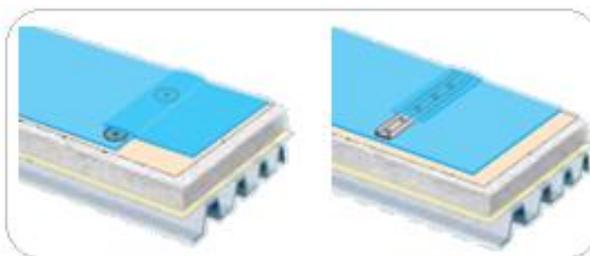


Figura 3.30 - Sistema de fixação mecânica pontual ou utilizando barras de fixação (Sika@ 2013)

As juntas de sobreposição são usualmente coladas por termofusão manual ou mecânica, da forma que se observa na figura subjacente, podendo recorrer-se também a solventes de colagem.



Figura 3.31 - Fixação mecânica pontual e termofusão manual ou mecânica de membranas sintéticas de impermeabilização (Nex Serviços@ 2013) (Techne@ 2013)

As membranas sintéticas de EPDM são aplicadas normalmente em sistema aderido ao suporte através de solventes. Todavia, em coberturas invertidas e sob proteção pesada, é possível que a sua aplicação seja efetuada em sistema independente e fixada mecanicamente ao suporte, de forma idêntica às membranas de PVC-P e FPO.



Figura 3.32 - Colocação de uma membrana de EPDM (Firestone@ 2013)

As juntas de sobreposição são executadas por colagem entre membranas com auxílio de solventes e de uma banda autoadesiva, como se pode observar, em maior detalhe, na figura seguinte. Nos casos em que as membranas são fixadas mecanicamente ao suporte, os parafusos devem localizar-se no interior da junta de sobreposição, seguindo-se o mesmo processo de colagem.

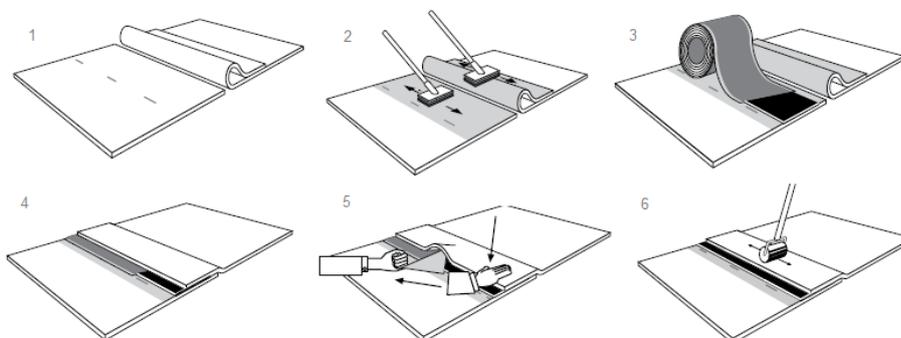


Figura 3.33 - Colagem das juntas de sobreposição com banda adesiva (Firestone@ 2013)

Independentemente do sistema adotado, as membranas sintéticas devem ser fixadas mecanicamente nos limites, na concordância entre elementos verticais e horizontais e à volta das penetrações e elementos emergentes. A figura seguinte representa duas formas de fixação mecânica das membranas entre elementos verticais e horizontais.

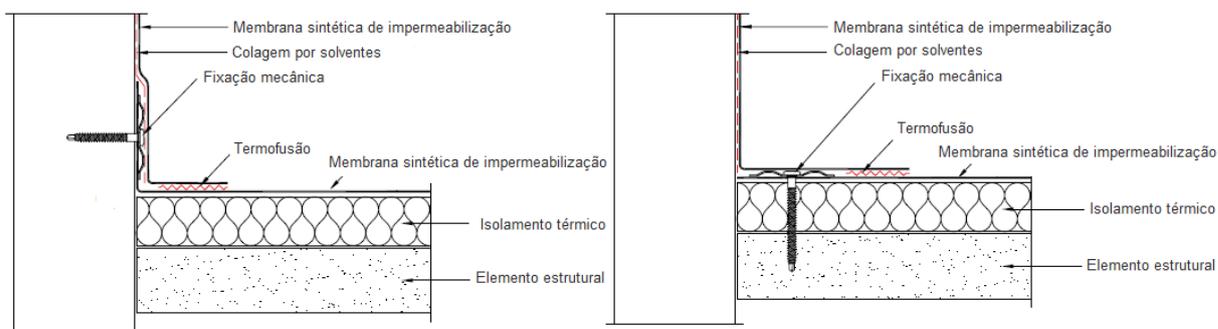


Figura 3.34 – Pormenores de fixação da membrana com elementos verticais (Firestone@ 2013)

Na figura seguinte, são possíveis de identificar alguns dos acessórios pré-fabricados disponíveis para facilitar a aplicação das membranas em pontos críticos da cobertura. Dão-se como exemplo, os bocais de descarga horizontais e verticais, reforços para cantos e esquinas e ralos de drenagem.



Figura 3.35 – Materiais pré-fabricados acessórios à impermeabilização de coberturas planas (Texsa@ 2014)

Como referido anteriormente, existem alguns pontos críticos na impermeabilização de coberturas que devem ser tratados de forma especial e cuidada. A figura seguinte representa uma solução de impermeabilização de um tubo de drenagem e de uma junta de dilatação elevada. No pormenor do tubo de drenagem, é utilizado um ralo de pinha, que se apresenta como uma boa solução para problemas de acumulação de detritos, peças de remate pré-fabricadas e uma concordância em chanfro. No segundo pormenor, a impermeabilização da junta de dilatação elevada é executada com recurso a, uma banda de impermeabilização, mástique ou cordão de espuma flexível capaz de acomodar os movimentos estruturais da cobertura e um material vedante e flexível para preenchimento de juntas.

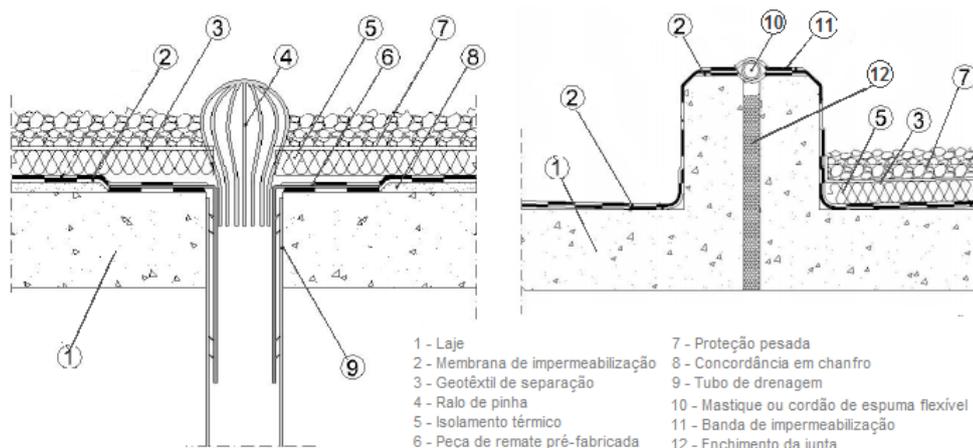


Figura 3.36 - Pormenor de impermeabilização de um tubo de drenagem e de uma junta de dilatação sobreelevada (Aspim@ 2013)

### 3.3.2 Produtos aplicados *in situ*

Não é habitual encontrarem-se coberturas planas impermeabilizadas apenas com produtos aplicados *in situ*, sendo estes produtos, geralmente aplicados em zonas da cobertura onde não é possível a aplicação de membranas pré-fabricadas ou em coberturas de áreas reduzidas. Devido à necessidade de adesão ao suporte como pintura ou reboco, a impermeabilização não suportará as deformações da estrutura, originando fissuras na camada de impermeabilização, situação que se agrava substancialmente em função da dimensão da cobertura.

Os produtos aplicados *in situ*, que mais frequentemente são utilizados na impermeabilização de coberturas planas são: as argamassas aditivadas, as emulsões betuminosas, as membranas de poliureia e as membranas líquidas de poliuretano e resinas acrílicas. São aplicados sobretudo em coberturas de acessibilidade limitada, normalmente sem proteção pesada. Contudo, existem soluções onde a camada de impermeabilização é revestida por produtos com propriedades satisfatórias ao tráfego pedonal ligeiro.

A aplicação de membranas líquidas em coberturas metálicas é bastante frequente, no entanto, considera-se que essa aplicação entra no domínio da proteção dos materiais e não da impermeabilização de elementos estruturais. Por esse motivo, tais situações não serão analisadas na presente dissertação.

As argamassas aditivadas são aplicadas como reboco na superfície a impermeabilizar, em duas ou mais camadas, dependendo do tráfego da cobertura. São reforçadas, em alguns casos, por armaduras de fibra de vidro ou poliéster entre camadas. Na grande maioria das situações, são revestidas por um material cerâmico, de forma a garantir um acabamento superior do ponto de vista estético e resistência mais elevada.

As emulsões betuminosas são produtos de rara aplicação na impermeabilização de coberturas planas, porém, podem ser aplicadas em coberturas de acessibilidade limitada sob revestimento de proteção contra os raios ultravioleta.

As membranas líquidas à base de poliuretano e de resinas acrílicas são aplicadas em coberturas planas acessíveis ao tráfego pedonal ligeiro ou de acessibilidade limitada. Em algumas zonas da cobertura, aconselha-se a incorporação de armaduras de reforço, aplicadas entre camadas e imediatamente após a aplicação da primeira. A figura 3.37 exemplifica uma cobertura plana impermeabilizada com uma membrana líquida.

As membranas de poliureia são mais utilizadas na proteção anticorrosiva de coberturas metálicas, podendo também ser utilizadas em outros tipos de suportes como impermeabilizantes, tanto em coberturas não acessíveis, como em coberturas acessíveis à circulação de pessoas.



Figura 3.37 – Cobertura plana impermeabilizada com membrana líquida (Sika@ 2013)

Tal como nas membranas de impermeabilização pré-fabricadas, os produtos aplicados *in situ* dispõem de acessórios pré-fabricados a utilizar em pontos críticos da cobertura. Observa-se na figura seguinte, o exemplo de um acessório pré-fabricado para impermeabilizar a envolvente de um ralo de drenagem e a impermeabilização de juntas estruturais utilizando fitas adesivas impermeáveis e flexíveis.



Figura 3.38 – Acessório de impermeabilização para ralos de drenagem e fita adesiva para impermeabilização de juntas de dilatação (Mapei@ 2014)

### 3.4 Reservatórios e piscinas

Como referido anteriormente, este género de estruturas está destinada a reservar líquidos de características diferentes. Dependendo do tipo de líquidos a reservar e do tipo de estrutura, as opções de sistemas de impermeabilização podem ser bastante variadas. Deste modo, vão ser analisadas as técnicas de aplicação de membranas pré-fabricadas de betume polímero, PVC-P e FPO. Em relação aos produtos de impermeabilização aplicados *in situ*, os mais recorrentes são: as argamassas aditivadas, as membranas líquidas à base de resinas epoxídicas e membranas de poliureia.

Facilmente se conclui que membranas pré-fabricadas têm uma aplicabilidade reduzida em reservatórios e depósitos de pequenas dimensões. Assim, neste género de estruturas, e devido à facilidade de aplicação em espaços de difícil acesso, são mais frequentes os produtos de aplicação *in situ*.

Em reservatórios elevados não devem ser usados produtos de impermeabilização rígidos, visto que vão estar sujeitos a variações térmicas e consequentes dilatações e contrações. Em reservatórios enterrados, recomenda-se a incorporação de armaduras de poliéster para suportar possíveis deformações da estrutura e a utilização de produtos de impermeabilização resistentes a pressões hidrostáticas positivas e negativas.

Reservatórios enterrados e piscinas devem ser impermeabilizados pelo interior e pelo exterior, principalmente quando se verifica um nível freático elevado. A impermeabilização pelo exterior pode ser executada de forma idêntica à impermeabilização de paredes e lajes enterradas térreas analisada anteriormente.

A utilização de certos produtos de impermeabilização está dependente do tipo de líquido a reservar pela estrutura. O quadro que se segue, resulta de uma pesquisa efetuada em catálogos de fabricantes e aplicadores, obtendo-se assim, o grau de utilização dos produtos conforme o tipo de estrutura a impermeabilizar. É importante salientar que estes resultados não se traduzem na maior ou menor adequabilidade dos produtos, mas sim, nas soluções mais correntes onde são utilizados. Obviamente que, qualquer um dos produtos aptos a impermeabilizar pelo menos uma das estruturas analisadas no quadro pode também ser utilizado em impermeabilizações de reservatórios de água não potável.

Quadro 3.10 - Grau de utilização dos produtos de impermeabilização em reservatórios e piscinas

Produtos de aplicação <i>in situ</i>	Estruturas	Reservatórios		Piscinas
		Água potável	Águas residuais	
Membranas de betume polímero				•
Membranas de PVC-P		••		•••
Membranas de FPO		•		
Argamassas aditivas		•••	••	•••
Membranas líquidas à base de resinas epoxídicas			•	
Membranas de poliureias		•	•••	•

• Utilização rara    •• Utilização ocasional    ••• Utilização frequente

### 3.4.1 Membranas pré-fabricadas

As membranas de impermeabilização pré-fabricadas de betume polímero, PVC-P e FPO, são aplicadas principalmente em reservatórios de água não potável e piscinas. No entanto, podem ser encontradas soluções de impermeabilização de reservatórios de água potável com membranas de FPO e PVC-P.

As membranas de betume polímero são aplicadas, tal como nos casos analisados anteriormente, em sistema aderido ao suporte por soldadura através da chama de maçarico, com aplicação prévia de um primário betuminoso. Aplicadas em camada única, são geralmente reforçadas com armaduras de feltro de poliéster. Em estruturas de reduzidas dimensões ou fechadas, devido à dificuldade e insegurança na utilização do maçarico, podem ser aplicadas membranas autoadesivas. Para além disso, a aplicação de membranas de betume polímero em piscinas com geometrias complexas, pode ser algo difícil, obrigando a um número elevado de remates e consequentes gastos elevados em mão-de-obra.



Figura 3.39 – Impermeabilização de piscinas com membranas de betume polímero (Clique Arquitetura@ 2014) (Conceito Impermeabilização@ 2014)

As membranas de PVC-P, com dupla função de impermeabilização e acabamento estético, proporcionam uma instalação rápida, limpa e grande possibilidade de personalização. São resistentes à água tratada quimicamente e aos microrganismos, incorporando, na maioria das vezes, armaduras de poliéster que contribuem para a elevada resistência ao rasgamento e flexibilidade. (Renolit@ 2013) Em suportes menos próprios para receber a membrana de

PVC-P, são recomendadas telas de proteção e separação, coladas ao suporte ou autoadesivas. (Flagpool@ 2014)

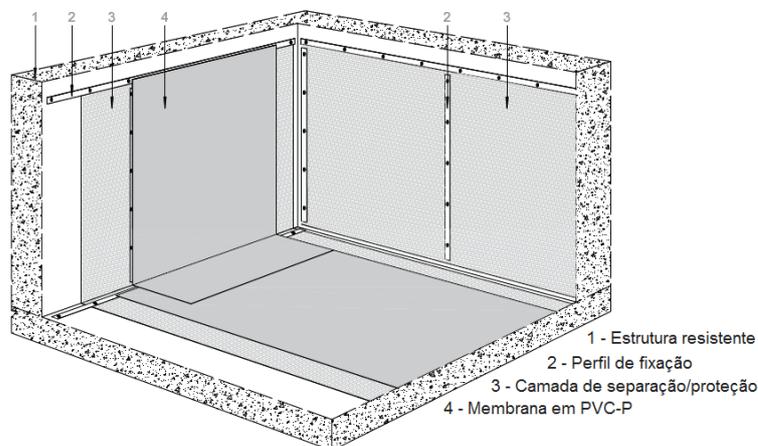


Figura 3.40 – Sistema de impermeabilização de piscinas com membranas PCV-P/FPO (Polyglass@ 2014)

Os remates com os muros são executados por união ao paramento vertical através de fixação com perfis laminados ou perfis metálicos revestidos a PVC, sendo a membrana aderida a estes por meio de termofusão. Os locais de saída de água são impermeabilizados com recurso a peças pré-fabricadas de PVC termofundidos à membrana. (Renolit@ 2013)



Figura 4.41 – Aplicação de membranas de PVC-P em piscinas (Renolit@ 2013)

Os reservatórios, tanto de água potável, como de água não potável, podem ser impermeabilizados com membranas de PVC-P da forma que se observa na figura seguinte. O sistema é aplicado por fixação mecânica nas zonas de transição entre paramentos verticais e horizontais e nas paredes verticais acima do nível de água. No remate superior do sistema é utilizado um selante, geralmente de silicone. Dependendo da altura do reservatório, podem ser necessárias fixações extras ao longo das paredes.

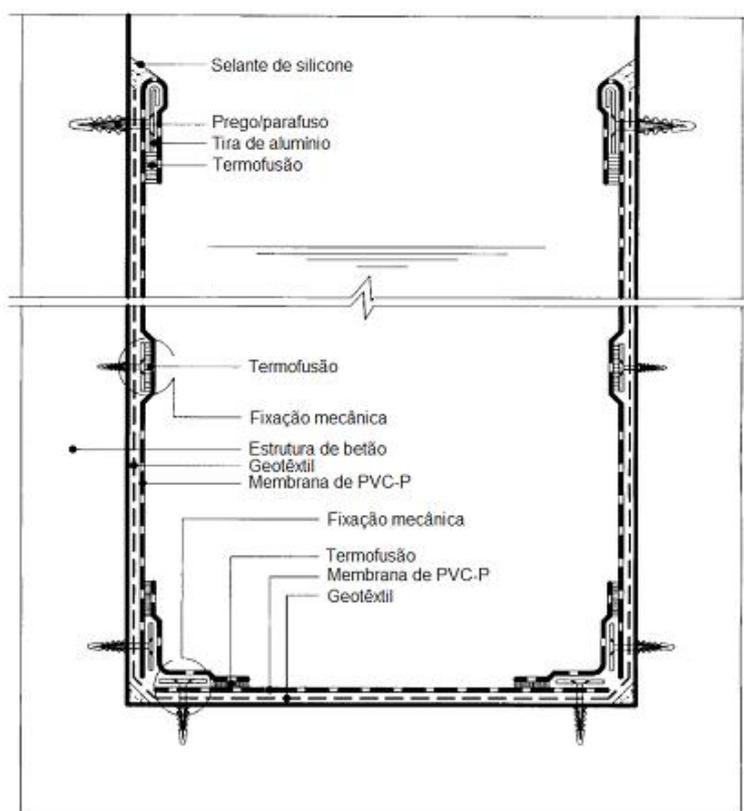


Figura 3.42 – Sistema de impermeabilização de reservatórios com membranas de PVC-P  
(Sitaf@ 2014)

As membranas sintéticas de FPO apresentam modos de aplicação semelhantes às membranas de PVC-P, tanto para piscinas, como para reservatórios.

### 3.4.2 Produtos aplicados *in situ*

As argamassas aditivadas são dos produtos mais usados na impermeabilização de reservatórios e piscinas enterradas, uma vez que, possuem resistência a pressões hidrostáticas negativas e positivas. A sua utilização em reservatórios elevados não é tão comum, devido à menor flexibilidade que apresentam em relação a outros materiais, situação que pode ser gravosa em estruturas sujeitas a movimentos estruturais. São aplicadas, de forma manual ou mecânica, como reboco na superfície a impermeabilizar e as espessuras das camadas podem variar consoante a pressão hidrostática a que vão estar sujeitas.



Figura 3.43 – Aplicação de argamassas aditivadas em reservatórios e piscinas (Vandex@ 2013)

A aplicação das argamassas de impermeabilização executa-se geralmente em duas camadas, devendo a segunda camada ser significativamente mais flexível que a primeira, reduzindo a probabilidade de fissurar e originar infiltrações.

Em piscinas, as argamassas de impermeabilização são geralmente protegidas por material cerâmico com recurso a um produto cimentício de elevada adesão. Em reservatórios de água potável, recorre-se na maioria das vezes a pinturas epoxídicas de revestimento certificadas para o efeito.

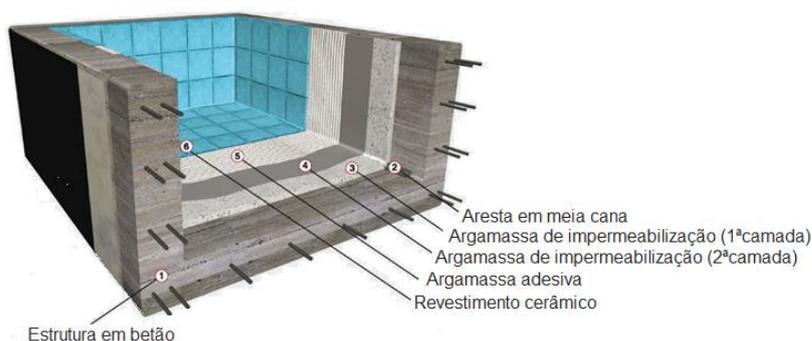


Figura 3.44 – Sistema de impermeabilização de piscinas com argamassa aditivada revestida de material cerâmico (Alchimica@ 2014)

As membranas líquidas à base de resinas epoxídicas são aplicadas como pintura manual ou mecânica em superfícies previamente impregnadas com um primário. Os cantos e arestas devem ser arredondados e reforçados. Habitualmente não são revestidas com nenhum material, no entanto, encontram-se algumas soluções em que se recomenda a proteção por material cerâmico.

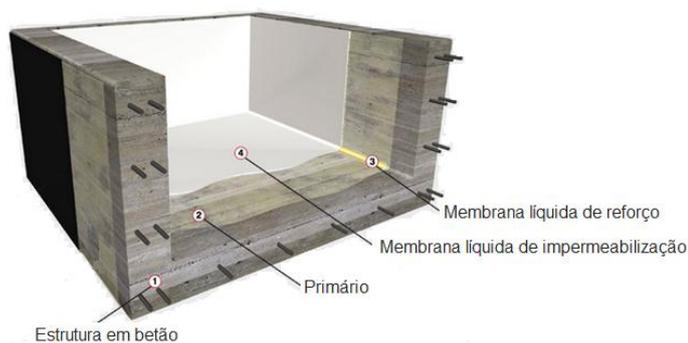


Figura 3.45 – Sistema de impermeabilização de reservatórios com membranas líquidas à base de resinas epoxídicas (Alchimica@ 2014)

Tanto as argamassas aditivadas, como as membranas líquidas, devem ser reforçadas com armaduras em pontos críticos da estrutura, como cantos e arestas, ralos e zonas de entrada ou saída de água. Como prevenção, as armaduras de reforço podem ser aplicadas sobre toda a superfície a impermeabilizar.

A aplicação das membranas de poliureia é executada de forma idêntica à aplicação das mesmas em coberturas, através de equipamentos de projeção multicomponentes, como se pode verificar na figura seguinte. São membranas largamente utilizadas na impermeabilização de reservatórios de produtos agressivos, como é o caso das caixas de águas residuais.



Figura 3.46 – Aplicação de membrana de poliureia em piscina (Vicodi@ 2013)

## 4 ANÁLISE COMPARATIVA

Após a descrição dos produtos, sistemas e técnicas de impermeabilização, impõe-se a realização de uma análise comparativa entre produtos, sob determinadas condições e para os elementos construtivos anteriormente estudados.

Para a escolha dos produtos mais adequados a cada situação foi realizado um trabalho prévio de seriação, primeiro de empresas e por último de produtos. Identificaram-se assim os produtos mais aconselhados, pelo próprio fabricante ou vendedor, a aplicar em determinados casos. Na escolha das empresas era importante também que conseguissem oferecer uma grande variedade de produtos, diminuindo, desta forma, o número de empresas necessárias para abranger a totalidade dos produtos. Assim, foram escolhidas oito empresas com grande impacto a nível nacional, existindo ainda a possibilidade de incorporar algum produto não encontrado nessas empresas no ponto “outras empresas”.

Com o intuito de efetuar a referida comparação, serão determinados alguns parâmetros onde cada tipo de produto será avaliado de acordo com uma escala quantitativa. Os parâmetros e a escala de pontuação têm como base um sistema de comparação realizado por Raul Perdigão (Perdigão 2007), no qual os tipos de produtos são avaliados segundo os seguintes critérios: custos, condições da base e atmosféricas, facilidade de aplicação, tempo de cura, alongamento na rotura e durabilidade. No entanto, foram efetuadas algumas alterações ao sistema de avaliação que serão enunciadas e explicadas posteriormente. Posto isto, procede-se à definição dos critérios e das escalas quantitativas inerentes a cada parâmetro, onde o valor mais baixo se refere ao pior produto e, o mais alto, ao melhor.

- Custos: neste parâmetro será definido um custo médio para cada tipo de produto entre as empresas pré-definidas, procurando, deste modo, que os resultados da análise final não sejam comprometidos por preços fora do habitual. Como se pode imaginar, o custo de um produto de impermeabilização é um dos fatores mais importantes na sua escolha, optando-se pela atribuição de uma escala de 1 a 5 neste parâmetro, de forma a refletir essa mesma importância. No entanto, serão feitas algumas alterações ao sistema de comparação de base. Assim, não serão contabilizados apenas os custos dos produtos, mas sim de todo o sistema de impermeabilização. Pelo contrário, não serão

computados aos produtos os custos referentes à mão-de-obra, por se considerar que tal aspeto já se encontra diluído no parâmetro “facilidade de aplicação”, procurando, desta forma, não duplicar a sua importância. Os intervalos de preços referentes aos produtos de impermeabilização e dos produtos auxiliares podem ser consultados no Quadro 4.11 e 4.12, respetivamente.

Quadro 4.11 – Tabela de preços dos produtos de impermeabilização (€/m<sup>2</sup>)

Elementos	Produtos	Betume polímero	PVC-P	FPO	EPDM	Bentonite	Argamassa	Emulsão betuminosa	Resina acrílica	Resina epoxidica	Poliuretano	Poliureia
Fundações		7.6 - 9.5	10.2 - 15.92	12.6 - 13.3	12.9	6.8 - 10.4	5.4 - 23.2	-	-	-	-	-
Paredes enterradas		6.9 - 9.5	10.2 - 15.9	12.6 - 13.3	12.9	6.8 - 10.5	5.4 - 23.3	3.3 - 10.5	-	-	-	-
Coberturas		7.4 - 19.7	11.1 - 16.56	11.9 - 19.8	12.9 - 22.4	-	14.2 - 21.3	8.5	10.2 - 14.3	-	22.1 - 34.6	32.55
Coberturas ajardinadas		14.3 - 19.8	11.1 - 14.5	11.9 - 19.8	13.3 - 22.4	-	-	-	-	-	-	-
Coberturas metálicas		12.7 - 14.6	11.4 - 15.2	11.9 - 19.8	13.3 - 22.4	-	-	-	-	-	-	-
Reservatórios de água potável		-	16.2	16.5 - 17.9	-	-	9.9 - 14.7	-	-	-	-	35.45
Piscinas		21.8	22.7 - 24.4	-	-	-	9.9 - 23.2	-	-	-	-	35.45
Depósitos de águas residuais		-	25.5 - 26.3	-	-	-	4.2	-	-	25.5 - 26.3	-	32.55

Quadro 4.12 – Tabela de preços dos produtos auxiliares

Membrana de PEAD 5.96 €/m <sup>2</sup>	Armadura de reforço 0.1 €/m <sup>2</sup>	Primário betuminoso 0.98 €/m <sup>2</sup>	Lajetas térmicas 15 €/m <sup>2</sup>	Colagem de cerâmicos 14.5 €/m <sup>2</sup>	Geotêxtil 1.2 €/m <sup>2</sup>
---	---	--	---	---	-----------------------------------

- Condições da base e atmosféricas: neste parâmetro também foram introduzidas algumas alterações em relação ao sistema de comparação de base, aumentando o número de critérios a ter em conta. Desta forma, serão analisadas algumas limitações de aplicação dos produtos em relação às condições da base e atmosféricas. Definiram-se limitações para as condições atmosféricas como, a impossibilidade de aplicação com temperaturas inferiores a 5°C, temperaturas superiores a 30°C, exposição ao vento, exposição ao sol e humidade relativa do ar. Em relação às condições da base, a impossibilidade de aplicação com o suporte húmido, com vestígios de óleos descofrantes, poeiras e suportes irregulares. Este parâmetro será contabilizado numa escala de 1 a 3.
- Facilidade de aplicação: os critérios definidos neste parâmetro foram alterados em relação ao sistema de comparação de base, refletindo aspetos como, a necessidade de efetuar um grande número de juntas de sobreposição, de mão-de-obra especializada, de equipamento especial na aplicação, de aplicação de mais do que uma camada do produto, de tempo de espera entre camadas, de reforços, de bandas em juntas de dilatação e da dificuldade na execução de remates e de juntas de sobreposição. Para este parâmetro será também adotada uma escala de 1 a 3.

- **Tempo de cura:** o tempo de cura pode, por vezes, ser um fator determinante na escolha do produto, principalmente, em casos que o tempo de execução da obra seja prioritário. A avaliação dos produtos, neste parâmetro, será avaliada de 1 a 3.
- **Alongamento na rotura:** o alongamento na rotura é uma das características mais importantes dos produtos, devido à necessidade de cobrir pequenas fissuras que possam surgir. Por este motivo, todos os fabricantes procuram ao máximo melhorar essa mesma característica, alcançando capacidades de alongamento bastante significativas. Contudo, acima de um determinado valor, as capacidades de alongamento deixam de ter importância considerável, uma vez que, para atingir tais alongamentos, o suporte tem de sofrer enormes deformações e movimentações, o que não é compatível com a utilização satisfatória da estrutura. Deste modo, definiu-se o valor de 200%, acima do qual todos os produtos terão a mesma pontuação. A escala deste parâmetro, de 1 a 3, bem como o critério acima definido, são alterações efetuadas ao sistema de comparação de base.
- **Durabilidade:** o tempo de vida expectável de um produto assume-se garantidamente como um dos pontos fundamentais na caracterização do mesmo. Posto isto, a escala definida para este parâmetro, de 1 a 5, reflete bem essa importância.

#### **4.1 Fundações**

No Quadro 4.13 observa-se a avaliação segundo os parâmetros já indicados para alguns sistemas de impermeabilização. As membranas de betume polímero, PVC-P, FPO e EPDM, encontram-se protegidas em ambas as faces por geotêxteis, enquanto que, as membranas bentónicas estão em contacto direto com o betão e com o terreno. Estas membranas são aptas a impermeabilizar qualquer um dos tipos de fundações, à exceção das membranas de betume polímero, que não são aconselhadas na impermeabilização de sapatas e vigas de fundação, como referido anteriormente no subcapítulo 3.1.

As argamassas aditivadas são utilizadas apenas na impermeabilização de fundações indiretas, nomeadamente, na impermeabilização de cabeças de estacas ou de maciços de encabeçamento. Mesmo em situações em que se preveja a impermeabilização de fundações indiretas por qualquer outro produto, a impermeabilização das cabeças das estacas só pode ser executada com recurso a estas argamassas aditivadas.

Quadro 4.13 – Quadro comparativo dos sistemas de impermeabilização em fundações

Parâmetros / Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Betume polímero	4	2	1	3	1	2	13
PVC-P	1	2	1	3	3	4	14
FPO	1	2	1	3	3	5	15
EPDM	1	2	2	3	3	5	16
Bentonite	5	3	3	3	2	2	18
Argamassa	1	1	1	1	1	1	6

Analisando os resultados obtidos, é possível afirmar que, as membranas bentoníticas se apresentam como a melhor solução. Contudo, este género de membranas não é indicado, como já referido na caracterização do produto, para impermeabilização de estruturas enterradas quando se preveja um nível freático elevado. Desta forma, para tais situações, qualquer uma das membranas sintéticas (PVC-P, FPO, EPDM) são uma boa solução, com as membranas de EPDM a obterem a melhor pontuação.

## 4.2 Paredes enterradas

Os sistemas de impermeabilização com membranas de betume polímero, PVC-P, FPO e EPDM, avaliados no Quadro 4.14, contemplam ainda, a incorporação de uma membrana drenante de PEAD, aumentando o custo total dos sistemas, ao mesmo tempo que, melhoram significativamente os seus desempenhos. Em contraponto, encontram-se as membranas bentoníticas e as emulsões betuminosas, que são aplicadas diretamente contra o terreno.

As membranas de betume polímero são aplicadas em sistema aderido com recurso a um primário betuminoso, enquanto que as restantes membranas são fixadas mecanicamente ao suporte.

Quadro 4.14 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em paredes enterradas

Parâmetros / Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Betume polímero	2	2	1	3	1	2	11
PVC-P	1	2	1	3	3	4	14
FPO	1	2	1	3	3	5	15
EPDM	1	2	2	3	3	5	16
Bentonite	5	3	3	3	2	2	18
Argamassa	3	1	1	1	1	1	8
Emulsão betuminosa	5	1	1	2	3	1	13

Os resultados obtidos demonstram, mais uma vez, que as membranas bentoníticas são a melhor solução, com a limitação que foi enunciada no subcapítulo anterior. Novamente, encontra-se nas membranas sintéticas uma boa solução.

### 4.3 Coberturas

Os quadros comparativos referentes à impermeabilização de coberturas planas dividem-se, para uma comparação mais direta e justa, em quadros de sistemas de impermeabilização em coberturas planas não transitáveis e transitáveis com proteção pesada, sem proteção, acessíveis à circulação de veículos, coberturas ajardinadas e metálicas.

Optou-se pela utilização de lajetas térmicas como proteção pesada de todos os sistemas de impermeabilização que constam do Quadro 4.15. Para além disso, contabilizaram-se ainda, para efeitos de custos, geotêxteis de proteção entre as membranas de impermeabilização e o suporte e entre a argamassa ou a membrana líquida de poliuretano e as lajetas.

A membrana de betume polímero é aplicada em sistema aderido com recurso a um primário betuminoso e as restantes membranas em sistema independente.

As membranas sintéticas exibem elevadas pontuações, com o melhor resultado a ser alcançado pela membrana de FPO, traduzindo-se na melhor solução encontrada, segundo os vários critérios e parâmetros definidos.

Quadro 4.15 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas, não transitáveis e transitáveis, com proteção pesada

Parâmetros Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Betume polímero	5	3	3	3	2	2	18
PVC-P	5	3	3	3	3	4	21
<b>FPO</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>22</b>
EPDM	4	2	3	3	3	5	20
Argamassa	4	1	2	1	1	1	10
Poliuretano	1	2	1	2	3	1	10

Os sistemas de impermeabilização de coberturas planas sem proteção e com a camada de impermeabilização exposta são avaliados no quadro seguinte, onde a membrana de betume polímero é aplicada em sistema aderido e com recurso a um primário betuminoso, as membranas de PVC-P e FPO são fixadas mecanicamente ao suporte e a membrana de EPDM aplicada em sistema aderido por colagem.

O sistema de impermeabilização com a membrana de PVC-P prevê a utilização de um geotêxtil de separação entre o isolamento térmico e a membrana, devido à sua incompatibilidade química com alguns destes isolamentos.

As emulsões betuminosas, membranas líquidas de resinas acrílicas e de poliuretano, são aplicadas como pintura, prevendo ainda a contabilização de primários adequados a cada produto. Tanto para estes produtos, como para as argamassas e membranas de poliureia, foram incorporadas armaduras de reforço entre camadas.

Mais uma vez, as membranas de FPO conquistam a melhor pontuação e verifica-se que, apenas no parâmetro “custos” não possuem pontuação máxima.

Quadro 4.16 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas sem proteção

Parâmetros Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Betume polímero	5	3	3	3	2	2	18
PVC-P	4	3	3	3	2	4	19
FPO	4	3	3	3	3	5	21
EPDM	4	2	3	3	3	5	20
Argamassa	4	1	2	1	1	1	10
Emulsão betuminosa	5	2	2	2	3	1	15
Resina acrílica	5	2	1	2	3	1	14
Poliuretano	1	2	1	2	3	1	10
Poliureia	1	3	1	3	3	1	12

O quadro que se segue, relativo às coberturas planas assecíveis à circulação de veículos, apenas avalia as membranas de betume polímero, PVC-P, FPO e EPDM. Neste caso, as membranas de PVC-P alcançaram a melhor pontuação, única e exclusivamente, devido ao custo mais baixo que apresentam em relação às restantes membranas sintéticas.

O sistema de impermeabilização em PVC-P contempla a utilização de três geotêxteis, enquanto que, membranas de betume polímero, FPO e EPDM, dois geotêxteis apenas. Os sistemas de aplicação escolhidos são idênticos à situação analisada anteriormente.

Quadro 4.17 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas acessíveis à circulação de veículos

Parâmetros Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Betume polímero	3	3	1	3	1	1	12
PVC-P	5	3	1	3	3	3	18
FPO	2	3	1	3	3	4	16
EPDM	1	1	3	3	3	5	16

O Quadro 4.18, relativo às coberturas ajardinadas, apresenta pontuações muito próximas e onde se destacam, novamente, as membranas de FPO. Os sistemas de fixação das membranas

aos suportes são os mesmos que foram utilizados no quadro anterior, à exceção, da inclusão de membranas alveolares de PEAD e mais um geotêxtil por sistema.

Quadro 4.18 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas ajardinadas

Parâmetros / Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Betume polímero	3	3	1	3	1	1	12
PVC-P	5	3	1	3	2	3	17
FPO	4	3	1	3	3	4	18
EPDM	1	1	3	3	3	5	16

No subcapítulo 3.3.1, refere-se a inadequação das membranas de betume na impermeabilização de coberturas metálicas. Contudo, esta possibilidade não deixou de ser avaliada, como se pode verificar no quadro seguinte. Como se esperava, as membranas sintéticas voltam a obter a melhor classificação, destacando-se, novamente, as membranas de FPO. Nos sistemas analisados, apenas a membrana de PVC-P prevê a utilização de um geotêxtil.

Quadro 4.19 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em coberturas planas metálicas

Parâmetros / Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Betume polímero	5	3	1	3	1	1	14
PVC-P	4	3	1	3	2	3	16
FPO	3	3	1	3	3	4	17
EPDM	1	1	3	3	3	5	16

Verifica-se que os poliuretanos e as argamassas são as piores soluções nos casos em que são considerados. Em relação aos poliuretanos, as reduzidas pontuações devem-se, sobretudo, aos parâmetros “custos” e “durabilidade”. Já as argamassas, à exceção dos custos, em todos os restantes parâmetros apresentam pontuação medíocre.

#### 4.4 Reservatórios e Piscinas

Os produtos mais utilizados na impermeabilização de reservatórios de água potável encontram-se avaliados no Quadro 4.20, com clara vantagem das membranas sintéticas de PVC-P e FPO em relação às argamassas aditivadas e à poliureia.

Os sistemas de impermeabilização com membranas sintéticas contemplam a aplicação de um geotêxtil entre a membrana e o suporte, em contraponto com as argamassas aditivadas e a

poliureia, que são aplicadas diretamente sobre o suporte. Como medida preventiva, optou-se por considerar a incorporação de armaduras de reforço em toda a extensão do reservatório.

Quadro 4.20 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em reservatórios de água potável

Parâmetros / Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
PVC-P	4	3	1	3	3	5	19
FPO	4	3	1	3	3	5	19
Argamassa	5	1	3	1	1	1	12
Poliureia	1	2	3	2	3	1	12

Na impermeabilização de piscinas, a membrana de PVC-P apresenta-se como a solução mais indicada, como se pode confirmar no quadro seguinte.

Os sistemas que recorrem a membranas de betume polímero e a argamassas aditivadas, necessitam de ser revestidos, geralmente através de material cerâmico. Este facto foi também contabilizado no parâmetro “custos”, com o valor de um cerâmico usado frequentemente em piscinas e com a argamassa de colagem necessária para o processo. Foi também contabilizado um geotêxtil, nas membranas de betume polímero com o objetivo de receber a argamassa de colagem e nas membranas de PVC-P entre o suporte e a respetiva membrana.

Quadro 4.21 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em piscinas

Parâmetros / Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Betume polímero	1	3	1	3	2	3	13
PVC-P	5	3	1	3	2	5	19
Argamassa	3	1	3	1	1	1	10
Poliureia	2	2	3	2	3	1	13

Em relação aos sistemas de impermeabilização em depósitos de águas residuais, avaliados no Quadro 4.22, as membranas de poliureia e as argamassas aditivadas têm pontuações próximas, com vantagem para as membranas de poliureia. No entanto, quando é prioritário um produto de custo reduzido, as argamassas aditivadas apresentam-se claramente como a melhor solução. Pelo contrário, se a prioridade for o tempo de execução da obra, o tempo de cura das argamassas pode ser um problema, sobressaindo, neste aspeto, as membranas de poliureia.

Outro fator a ter em atenção, é a origem e características dos líquidos a reservar. Isto porque, para líquidos com maior agressividade, as argamassas não são aconselhadas, ao contrário da poliureia que é um produto bastante resistente quimicamente.

Quadro 4.22 – Quadro comparativo de sistemas de impermeabilização em depósitos de águas residuais

Parâmetros Produtos	Custos	Condições da base e atmosféricas	Facilidade de aplicação	Tempo de cura	Alongamento na rotura	Durabilidade	Total
Argamassa	5	2	3	1	1	3	15
Resina epoxídica	1	1	1	2	3	3	11
Poliureia	1	3	3	3	3	3	16

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Terminada a caracterização dos elementos construtivos, dos produtos, técnicas e sistemas de impermeabilização, existem algumas considerações e críticas que se tornam pertinentes.

Os resultados obtidos vieram confirmar, como se previa, que as membranas sintéticas são das melhores soluções de impermeabilização encontradas no mercado para a generalidade dos casos. Já as membranas de bentonite têm uma excelente relação custo-desempenho, apresentando no entanto, diversas limitações.

Verificou-se que, apesar de existirem produtos e técnicas destinados à impermeabilização de fundações, não é dada considerável relevância a esta situação. Apenas em edificações de grande envergadura ou em casos muito especiais é que se aplicam alguns dos sistemas considerados. Como consequência deste facto, encontraram-se algumas dificuldades na obtenção de bibliografia sobre o assunto, nomeadamente documentos técnicos referentes aos sistemas de impermeabilização.

Ao contrário das fundações, as coberturas planas são alvo de inúmeros documentos técnicos, normas e estudos, de tal forma que é possível encontrar informação detalhada sobre qualquer pormenor da cobertura. Neste ponto, foram analisados sistemas de impermeabilização com produtos aplicadas *in situ*, algo que, como explicado anteriormente, não é comum e, como se comprova nos quadros comparativos de coberturas planas, com e sem proteção, não são os mais adequados para o efeito. Contudo, estes produtos podem ser de grande utilidade em algumas situações de difícil aplicação das membranas pré-fabricadas.

Como se pode verificar, os resultados gerais obtidos em certas situações podem ser ligeiramente influenciados por determinados produtos. Isto acontece quando um produto tem uma avaliação muito diferente dos restantes em determinados parâmetros, fazendo com que a escala de avaliação tenha intervalos muito grandes e, conseqüentemente, um intervalo poder abranger vários produtos. Desta forma, seria interessante, em trabalhos futuros, a organização dos produtos de forma diferente, tentando ao máximo a inexistência de desvios tão elevados entre produtos distintos.

---

Na presente dissertação, optou-se pela escolha dos produtos aconselhados pelas empresas para os vários elementos construtivos. Por outro lado, seria interessante, efetuar um estudo mais aprofundado de cada produto, com a realização de quadros comparativos para o mesmo produto base, com aditivos, reforços e outras pequenas modificações, comprovando ou não, a adequabilidade dos mesmos a diversas situações.

Alguns produtos apresentam um intervalo de preços muito elevado. Isto deve-se ao facto de existir, principalmente em produtos aplicados *in situ*, um elevado número de possibilidades de conjugação de aditivos. Apesar do preço de cada produto estar diretamente relacionado com o seu desempenho, seria interessante efetuar-se um estudo comparativo, de modo a perceber-se até que ponto o aumento de preço compensa a qualidade do produto.

Como já referido anteriormente, a capacidade de alongamento na rotura foi eleita para caracterizar a resistência mecânica do material, em detrimento de diversas características, fundamentais também, ao correto desempenho do sistema. Assim, um estudo que abordasse apenas as características mecânicas dos produtos seria de grande utilidade, ao ponto de perceber quais as características indispensáveis a cada produto em determinada situação.

A estratégia adotada para avaliar a capacidade de alongamento dos produtos é limitada num aspeto, que não deve ser ignorado. Apesar dos produtos terem sido comparados de igual forma nesse parâmetro, não se pode considerar que um produto aplicado *in situ*, que se encontra obrigatoriamente aderido ao suporte, seja capaz, por muito elevado que seja o valor de alongamento na rotura, de se alongar mais do que uma membrana aplicada em sistema independente ou fixada mecanicamente. Desta forma, é necessário alguma sensibilidade ao analisar os resultados deste parâmetro e, sempre que possível, comparar apenas produtos com aplicação idêntica.

Os catálogos das empresas fabricantes ou vendedoras de produtos de impermeabilização, apesar de serem uma fonte de informação essencial, não podem deixar de ser encarados como uma fonte de forte componente publicitária e por isso as informações devem ser tratadas com algum cuidado.

O tempo de vida útil expectável dos produtos é uma das situações em que não é fácil dissociar a informação fidedigna do marketing das empresas. Deste modo, os valores de durabilidade que caracterizam os produtos são resultado de pesquisas em catálogos e contactos efetuados com alguns fabricantes, tentando obter valores o mais próximo possível da realidade. Todavia, não foram consideradas variações de durabilidade consoante a utilização e características do sistema. Um estudo sobre os fatores de degradação dos produtos de impermeabilização e consequentemente, da durabilidade dos mesmos, seria um estudo interessante a ser realizado,

de modo a dissecar corretamente as informações relativas à durabilidade dos produtos fornecidas pelos próprios fabricantes.

Tal como referido no Capítulo 3, os produtos, as técnicas e sistemas de impermeabilização de fachadas, são no geral distintos dos estudados e analisados na presente dissertação. Deste modo, abre-se lugar a um futuro trabalho sobre os produtos e revestimentos de impermeabilização de fachadas, bem como, a uma análise do próprio elemento construtivo.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alchimica@ (2014) <http://www.alchimica.com/articlefiles/3d-designs>. Consultado a 3 de janeiro de 2014.
- Arantes, Yara K. (2007). “Uma Visão Geral Sobre Impermeabilização na Construção Civil”. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2007.
- Archiproducts@ (2014) <http://www.archiproducts.com/pt/produtos/72909/geocomposito-bentonitico-vero-betonfix-lineavero-serra.html>. Consultado a 5 de janeiro de 2014.
- Aspim@ (2013) [http://www.aspim.org/PDF%20sistemas%20recomendados\\_P2.pdf](http://www.aspim.org/PDF%20sistemas%20recomendados_P2.pdf). Consultado a 5 de dezembro de 2013.
- BS 8102 (2009). “Code of practice for protection of structures against water from the ground”. British Standard Institute, United Kingdom, 2009.
- CIRIA, (1995). “Report 139 Water-Resisting Basement Construction – A Guide – Safeguarding New and Existing Basements against Water and Dampness”. CIRIA, London, 1995.
- Clique Arquitetura@ (2013) <http://www.cliquearquitetura.com.br/portal/dicas/view/impermeabilizacao-com-manta-asfaltica/192>. Consultado a 11 de dezembro de 2013.
- Conceito Impermeabilização@ (2014) [http://www.conceitoimpermeabilizacao.com.br/?page\\_id=6](http://www.conceitoimpermeabilizacao.com.br/?page_id=6). Consultado a 3 de janeiro de 2014.
- CSTC (1993). Centre Scientifique et Technique de la Construction. “Protection des constructions enterrées contre l’infiltration des eaux de surface.” Note d’Information Technique 190, CSTC, Bruxelles, 1993.
- Ecocasa@ (2013). [http://www.ecocasa.pt/agua\\_content.php?id=33](http://www.ecocasa.pt/agua_content.php?id=33). Consultado a 26 de Dezembro de 2013.
- Elephantnz@ (2014) <http://www.elephantnz.co.nz/voltex.html>. Consultado a 5 de janeiro de 2014.
- EOTA (2004). European Organisation for Technical Approvals. “Liquid Applied Roof Waterproofing Kits”. ETAG 005 – Part 1, EOTA, Brussels, 2004.

- 
- Explicatorium@ (2014). [http://www.explicatorium.com/quimica/Polimero\\_Poliuretano.php](http://www.explicatorium.com/quimica/Polimero_Poliuretano.php). Consultado a 12 de Janeiro de 2014.
- Ferreira Gomes, L.M. (2001). “Geotêxteis e suas aplicações” Seminário, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2001.
- Firestone@ (2013). <http://www.firestonebpe.com/en/roofing>
- Flagpool@ (2014) <http://www.flagpool.com/images/downloads/flagpool-liner-pvc-swimming-pool-setting-methods-2013.pdf>. Consultado a 5 de janeiro de 2014.
- Gonçalves, Manuela et al (2005). “Características das Membranas de Impermeabilização de Coberturas em Terraço”. Revista Engenharia Civil, nº22, Universidade do Minho, 2005.
- Grandão Lopes, Jorge (1994). “Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço”. ITE 34, LNEC, Lisboa, 1994.
- H Pedro Martins@ (2014) [http://www.hpedromartins.pt/impermeabilizacao/juntas\\_water.html](http://www.hpedromartins.pt/impermeabilizacao/juntas_water.html) Consultado a 5 de janeiro de 2014.
- Henkelpolybit@ (2014)  
[http://www.henkelpolybit.com/images/stories/PDF/TDS/Waterproofing/POLYPROTEK\\_P\\_H.pdf](http://www.henkelpolybit.com/images/stories/PDF/TDS/Waterproofing/POLYPROTEK_P_H.pdf). Consultado a 5 de janeiro de 2014.
- Hodges, C.P. (2002). “Design Decisions for Durable Roofing”. 09th DBMC, Rotterdam, 2002.
- Imperialum@ (2013). <http://www.imperialum.com>
- Justo, João L. (2004). “Obras Subterrâneas: Impermeabilização e Drenagem Associada”. Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa, 2004.
- Koster@ (2014) <http://www.koster.pt>. Consultado a 5 de janeiro de 2014.
- Luschi@ (2013) <http://www.luschi.com.br/impermeabilizacao-coberturas>. Consultado a 12 de novembro de 2013
- Mapei@ (2013) <http://www.mapei.com>
- Mascarenhas, Jorge. (2005). “Sistemas de Construção. Volume IV – Coberturas Planas, Juntas; Materiais Básicos (2ª parte); Materiais Ferrosos e Alumínio”. Livros Horizonte, Lisboa, 2005.
- Mendes, Paula Alexandra da Silva (2011). “Impermeabilização de fundações de edifícios e estruturas especiais”. Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa, 2011.
- Nex Serviços@ (2013) <http://nexservicos.weebly.com/membrana-tpo.html>. Consultado a 11 de dezembro de 2013.
- NP EN 12597:2013 - Ed.1. “Betumes e ligantes betuminosos. Terminologia”, IPQ, Lisboa, 2013.

- NP EN 13707:2004. “Membranas de impermeabilização flexíveis. Membranas betuminosas armadas para impermeabilização de coberturas. Definições e características”. IPQ, Lisboa, 2004.
- Polyglass@ (2014) [http://www.polyglass.com/public/COM/products/Mapeplanwteng11\\_13.pdf](http://www.polyglass.com/public/COM/products/Mapeplanwteng11_13.pdf). Consultado a 3 de janeiro de 2014.
- Rawell@ (2014). <http://www.rawell.co.uk/pdf/brochures/Structural%20Waterproofing.pdf>. Consultado a 2 de janeiro de 2014.
- Reis, Daniel H. (2010). “Sistemas de impermeabilização de caves: aplicação a dois casos de estudo”. Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização em Edificações, ISEL, Lisboa, 2010.
- Renolit@ (2013) <http://www.renolit.com/waterproofing-roofing/en/services/downloads>
- Safeguard@ (2014) <http://www.safeguardeurope.com/applications/piled-foundations.php>. Consultado a 5 de janeiro de 2014.
- Sartori, P.M. et al (1994). “Natural Ageing of Waterproofing Membranes”. CIB078, Roterdão, 1994.
- Sika@ (2013) <http://prt.sika.com>
- Silva, J. A. Raimundo Mendes da (1998). “Fissuração das alvenarias – Estudo do comportamento das alvenarias sob ações térmicas”. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, FCTUC, Coimbra, 1998.
- Sitaf@ (2014) <http://www.sitaf.com>
- Techne@ (2013) <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/143/artigo287631-1.aspx>. Consultado a 11 de dezembro de 2013.
- Tecnologia de materiais@ (2013). [http://www.tecnologiademateriais.com.br/consultas\\_tm/poliureia/imppoliureia.html](http://www.tecnologiademateriais.com.br/consultas_tm/poliureia/imppoliureia.html). Consultado a 29 de dezembro de 2013.
- Texsa@ (2014). <http://www.texsa.com/pt>.
- Torres, Maria Isabel Morais (2010) B. “Paredes de Alvenaria”. Texto de apoio à cadeira de Tecnologias das Construções, Departamento de Engenharia Civil, FCTUC, Coimbra.
- Torres, Maria Isabel Morais (2010) A. “Revestimentos de Paredes”. Texto de apoio à cadeira de Tecnologias das Construções, Departamento de Engenharia Civil, FCTUC, Coimbra.
- UEAtc (1982). Union Européenne pour l’Agrément Technique dans la construction. “Directives générales UEAtc pour l’agrément dès revêtements d’étanchéité de toitures”. UEAtc, Paris, 1982.

Vandex@ (2013)

[http://www.vandex.com/fileadmin/pdf/Brochures/broch\\_en/e\\_gen\\_leaflet.pdf](http://www.vandex.com/fileadmin/pdf/Brochures/broch_en/e_gen_leaflet.pdf). Consultado a 12 de dezembro de 2013

Vedacit@ (2013) <http://www.vedacit.com.br>

Vicodi@ (2013) <http://www.vicodi.com/page.jsp?T=2&M=1&I=5>. Consultado a 12 de dezembro de 2013.

Vivenda@ (2013) [http://vivendadomarreco.blogspot.pt/2010\\_08\\_01\\_archive.html](http://vivendadomarreco.blogspot.pt/2010_08_01_archive.html). Consultado a 11 de dezembro de 2013.

Walter, Ana et al (2003) “Impermeabilização de coberturas em terraço. Prevenir o aparecimento de anomalias em superfície corrente”. ENCORE 03, Lisboa, 2003.

Weber@ (2013) <http://www.weber.com.pt>